

ISVOS JOURNAL

INTERNATIONAL



**SCIENTIFIC
AND
VOCATIONAL
STUDIES
JOURNAL**

TOPICS

**Engineering
Science
Maths
Health**

ISSN: 2618-5938

EDİTÖR LİSTESİ / LIST OF EDITORS

EDİTÖR / EDITOR

Umut Saray / Tokat Gaziosmanpaşa University

Tolga Yücehan / Afyon Kocatepe University

YARDIMCI EDİTÖRLER / ASSOCIATE EDITORS

Abdil Karakan / Afyon Kocatepe University

Canan Başlak / Selçuk University

Munise Didem Demirbaş / Erciyes University

EDİTÖR KURULU / MEMBER OF EDITORS

Ph.D. Cem Cüneyt Ersanlı	ORCID: 0000-0002-8113-5091	Sinop University
Ph.D. Uğur Çavdar	ORCID: 0000-0002-3434-6670	İzmir Demokrasi University
Ph.D. Tolga Yücehan	ORCID: 0000-0002-8835-0907	Afyon Kocatepe University
Ph.D. Munise Didem Demirbaş	ORCID: 0000-0001-8043-6813	Erciyes University
Ph.D. Özgür Alparıslan	ORCID: 0000-0002-2264-2886	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Elif Tezel Ersanlı	ORCID: 0000-0003-0608-9344	Sinop University
Ph.D. Pınar Çavdar	ORCID: 0000-0002-1989-4759	İzmir Demokrasi University
Ph.D. Özlem Toprak	ORCID: 0000-0002-6910-011x	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Fatih Polat	ORCID: 0000-0002-8758-8040	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Neslihan Özbek		Ahi Evran University
Ph.D. Ahmet Saygılı	ORCID: 0000-0001-8625-4842	Namık Kemal University
Ph.D. Bilal Şenol	ORCID: 0000-0002-3734-8807	İnönü University
Ph.D. Mevlida Operta		International Saraybosna University
Ph.D. Recep Ekici		Erciyes University
Ph.D. Alper Bideci	ORCID: 0000-0003-2385-7552	Düzce University

Ph.D. Canan Başlak	ORCID: 0000-0003-1444-1272	Selçuk University
Ph.D. Cem Emeksiz	ORCID: 0000-0002-4817-9607	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Sefa Ersan Kaya	ORCID: 0000-0003-1754-3901	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Ahmet Tolunay	ORCID: 0000-0001-9028-9343	Isparta University of Applied Sciences
Ph.D. Altuğ Çağatay	ORCID: 0000-0001-7067-5570	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Samed İnyurt		Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Oktay Erdoğan	ORCID: 0000-0003-1466-3035	Pamukkale University
Ph.D. Ali Çiftçi		University of Health Sciences
Ph.D. Arzu Ay		Trakya University
Ph.D. Mohammad Ali Ghorbani		University of Tabriz
Ph.D. Waggas Galib Atshan	ORCID: 0000-0002-7033-8993	University of Al-Qadisiyah
Ph.D. Rasoul Daneshfaraz	ORCID: 0000-0003-1012-8342	University of Maragheh
Ph.D. Ayhan Erciyes	ORCID: 0000-0002-0942-5182	Aksaray University
Ph.D. Feyza Gürbüz	ORCID: 0000-0002-6327-8232	Erciyes University
Ph.D. Serdar Özyön	ORCID: 0000-0002-4469-3908	Kütahya Dumlupınar University
Ph.D. Arzu Erçetin	ORCID: 0000-0002-8381-0011	İstanbul Kültür University
Ph.D. Güllü Kırat		Yozgat Bozok University
Ph.D. Nil Doğruer Ünal		Mersin University
Ph.D. Gökçe Şeker Karatoprak	ORCID: 0000-0001-5829-6914	Erciyes University
Ph.D. Mürşide Dartay		Fırat University
Ph.D. Mahdi Hosseini	ORCID: 0000-0003-0850-496X	Nanjing Forestry University
Ph.D. Abdil Karakan	ORCID: 0000-0003-1651-7568	Afyon Kocatepe University

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Multi-Criteria Analysis of Site Selection for Pasture Improvement: Provincial Example	1
Focusing on the Structural, Electronic, Optic and Elastic Behaviours of RhBiSe Compound by Ab-initio Calculations	13
PID Control Medium Size Wind Turbine Control with Integrated Blade Pitch Angle	22
Transforming of Conventional Type Squirrel Cage Induction Motor to Permanent Magnet Synchronous Motor for Improving Efficiency on Industrial Applications	32
Anomaly Diagnosis Using Autoencoder in Edge Computing Systems	41
Investigation Of Mechanical Properties Of Nano Boron Nitride Added Aluminum Material Produced By Different Production Method	51
Reorganization Studies on The Organizational Structure of The General Directorate of Forest and Their Effects on Employment in Turkey	60
The Effect of Fear of COVID-19 on Demonstrating Personal Health Behavior and Prosocial Behavior	73
Coping Methods Used by Students of a Health School for Dysmenorrhea Management	81
Investigation of Global Warming Case of Antalya	92
Evaluation of the Performance of ANN Algorithms with the Bidirectional Functionally Graded Circular Plate Problem	103
Association between Prior Pain Intensity, Back Function and The Characteristics of Episodes in Patients with Low Back Pain	116
Applicability Of Incineration Technology In Waste Management: Istanbul Case Study	121
Investigation Of The Conversion Procedures For Fossil Fuel Vehicles To Electric Vehicles In Turkey	138
Runge Kutta Optimization for Fixed Size Multimodal Test Functions	144
Investigation Effect of Magnet Skew on Thrust Force in Linear Brushless Direct Current Motor with FEM	156
Experimental Analysis of Pneumatic Motion Control Application with Piezo Technology	166

Multi-Criteria Analysis of Site Selection for Pasture Improvement: Provincial Example

Elifcan Göçmen Polat ¹

Munzur University, Tunceli, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-0316-281X

Abstract

The importance of meadows and pastures and their share in the agricultural sector are increasing significantly. Meadows and pastures are the cheapest and easiest sources to obtain quality roughage. Meadows and pastures are the cheapest and main feed sources for livestock in Turkey. Considering that sheep and goats and cattle breeding is carried out intensively in our country, the importance of these areas becomes more evident. Therefore, it is very important to develop an effective and sustainable pasture system. In this context, it is aimed to analyse the adequacy of pasture capacities of a province based on general, district and village and to determine the places where pasture management should be applied first. To find pasture capacity adequacy, AHP (Analytical Hierarchy Process) based TOPSIS (Preference sorting technique according to similarity to ideal solution) method is used for grazing capacity formulation and for priority improvement areas. It was observed that the results obtained are consistent and are applied on a real given case study.

Keywords: “Pasture improvement, grazing capacity, sheep and goats breeding, multi-criteria decision making.”

1. Giriş

Dünyadaki politik ve sosyoekonomik gelişmeler ve artan rekabet, tarım sektörünün rolünün yeniden tanımlanmasına yol açmaktadır (Taşova ve Ergüneş, 2018). Sektörün gelişimi, küreselleşme ile stratejik, ekonomik, sosyal ve kültürel olarak hızla artan ve değişken taleplerden kaynaklanmaktadır. Bu talepleri karşılamak adına, verimliliğin ve iktisadi yaklaşımın esas alındığı bir bakış açısı geliştirilmelidir.

Hayvancılığın gelişmesi, yem kaynaklarındaki iyileştirmeler ve etkili mera yönetiminden geçmektedir. Bu bağlamda, çayır ve meraların tespit, tahdit ve tahsis işlemlerine hız vermek, mera ıslah ve amenajman projelerini hayata geçirmek önem kazanmaktadır. Botanik kompozisyon, verim kapasitesi, otlatma kapasiteleri gibi durumların meraların uygun kullanımı için bilinmelidir (Seydosoğlu ve ark., 2019). Özellikle, çayır ve meraların otlatma kapasitelerinin artırılması, sınırlarının belirlenmesi, yem bitkileri ekilişlerinin artırılması hedefe ulaşmanın en önemli yollarındandır. Mera amenajmanının en önemli kurallarından biri olan otlatma kapasitesinin analizinde bilimin ve mühendisliğin temel uygulamalarından yoksun bir anlayış vardır. Ülkemizde hayvancılık yoğun faaliyetler çok hızlı artmasına rağmen, mera alanlarının hem genişliği hem de verimi azaldığı için, bu ikisi arasındaki denge de çözülmesi zor problemlere sebep olabilmektedir.

Çalışmamızda, ilk aşamada, küçükbaş yetiştiriciliğinin yoğun yapıldığı Türkiye'nin bir ili olan Tunceli ili için mevcut mera alanlarının otlatma kapasitelerinin analizi gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada, ilin her ilçesindeki köyler için otlatma kapasitesi ve mevcut küçükbaş sayısı arasındaki negatif farkın büyüklüğü önemli olmaktadır. Bu analiz sonucunda elde edilen hesaplamalı sonuçlar, ikinci aşamada, toplam farkı en büyük çıkan ilçelerden biri için en uygun ıslah yeri seçiminde kullanılmaktadır. Çalışmanın orijinal katkısı, mera ıslah analizi için hem otlatma kapasitelerini matematiksel olarak inceleyen hem de ÇKKV ile köy bazında seçim kararı verme metodolojisi uygulayan ilk çalışmadır.

2. Literatür Özeti

Literatürde, ÇKKV ile tarım ve hayvancılık alanında çalışmalar yürütülmektedir. Akbulak (2010), arazi kullanımı uygunluk analizi için AHP ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanmıştır. Çalışmada, mera olarak kullanılması gereken alanların bir bölümünde

¹ Corresponding Author
E-mail Address: elifcangocmen@gmail.com

tarımsal faaliyetlerde bulunduğu gözlemlenmiştir. Dedeoğlu ve Dengiz (2018), tarımsal kapasiteyi belirlemek için AHP ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak, tarımsal uygunluk analizi yapmışlardır. Erdoğan ve ark. (2015), tarım alanlarının belirlenmesinde AHP yöntemi ile uygunluk değer ağırlıkları bulmuşlardır. Bu ağırlıklar da CBS yazılımı ile analiz edilmiştir. Dağlı ve Çağlayan (2006), Analitik Hiyerarşi yöntemi ile bir havzanın arazi kullanımını analiz etmiştir. Bu bağlamda, arazi kullanımını etkileyen bağımsız değişkenlerin arazi kullanımı üzerinde etkileri araştırılmıştır. Urmak ve ark. (2017), ağaçlandırma, erozyon, fidan üretim, mera ıslahı gibi çeşitli ormancılık faaliyetlerini, il bazında AHP gibi çok kriterli karar verme teknikleriyle analiz etmişlerdir. Bu faaliyetler bakımından en iyi ve en kötü performans gösteren iller sıralanmıştır. Şen ve Güngör (2018) endüstriyel ağaçlandırma için yatırım kararı verebilmek adına fayda sağlayacak ağaç türü seçimi için ÇKKV yöntemlerinden olan AHP yöntemi kullanmışlardır. Belirlenen ana kriterler ve alt kriterler ile, dişbudak en öncelikli tür olarak belirlenmiştir. Budak (2018) çalışmasında, AHP ile amenajman kalitesine mera otlatma yoğunluğunun, çevre politikalarının, nüfus ve tarıma arazilerinin kullanım yoğunluğunun etkilerini araştırmıştır. Otlatma yoğunluğunun, kaliteyi etkileyen en önemli parametre olduğu saptanmıştır. Demir (2019), çalışmasında, büyükbaş hayvancılık ile ilgilenen işletmelerin hayvan ırkları seçim kararı için AHP gibi ÇKKV tekniklerinden yararlanmışlardır. Elde edilen sonuçların, değerlendirilmesi için de güçlü ve zayıf alanları, fırsatları ve tehditleri ortaya konulmuştur. Yel (2020) yaptığı çalışmada, özel çevre koruma Bölgesi'nde eko turizme açılma potansiyeli olan yerlerin AHP ile belirlenmesini hedeflemiştir. Ayrıca, uygunluk haritaları çıkarılarak sınıflandırma yapılmıştır. En uygun arazilerin hazine alanları olduğu belirlenmiştir. Akıncı ve ark. (2012), AHP yöntemi kullanarak arazi kullanımı uygunluk analizi yapmışlardır. Değerlendirmede, topoğrafik özellikler ve toprak yapısını içeren kriterler ele alınmıştır. Abedi (2022), İran'daki orman yönetim planlarındaki en önemli ÇKKV yönteminin TOPSIS yöntemi olduğu ve ekolojik ve çevresel faktörlerin orman yangınlarının ortaya çıkması ve yayılması üzerindeki etkisinin araştırılması gerektiğinin sonucuna varmıştır. Sari (2021), orman yangını duyarlılığını analiz etmek için çok kriterli yöntemler kullanarak, orman yangınlarında topoğrafik, çevresel, iklimsel ve orman yapısal parametrelerinin belirleyici rol oynadığı sonucuna varmışlardır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Problemin Tanımı

Çalışmanın ilk aşamasında, Tunceli ili mera alanları için otlatma kapasitelerinin durumu araştırılmaktadır. İkinci aşamada, ilk aşamadan elde edilen otlatma kapasitesinin yeterliliğine dair sonuçlara göre en uygun ıslah yeri seçimi bulunmaktadır. Bu çalışmada, hayvancılık faaliyetleri bakımından önde gelen illerden Tunceli ele alınmaktadır. Tunceli, coğrafi olarak yüksek ve dağlık bir toprak yapısı barındırmaktadır. Bu yüzden, küçükbaş hayvan yetiştiriciliği için daha elverişli bir alan sağlamaktadır. Büyükbaş hayvancılık, daha çok ailelerin kendi ihtiyaçlarını karşılamak için yapılmaktadır. Hayvancılığın meraya dayalı olarak yapıldığı düşünüldüğünde, meraları doğru yönetmeden mera hayvancılığını iyileştirmek mümkün değildir. Planlama çalışmalarının köyler bazında incelenmesi uygun kabul edilmektedir. Uygulamalarda, otlatma izinleri köyler düzeyinde verilmektedir.

3.2. Veri

ÇKKV yönteminde kullanılan verilerden, Tunceli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden temin edilen Tunceli ilçelerinin mera alanları (da) Tablo 1' de verilmektedir. En yüksek mera alanı büyüklüğü, 833.966,09 da ile Ovacık ilçesinde mevcut iken, Pülümür ve Pertek de alan büyüklüğü olarak göze çarpmaktadır.

Tablo 1. İlçelere göre mera alanları (da) (tunceli il tarım ve orman müdürlüğü, 2021).

İlçe Adı	Toplam Mera Alanı (da)
Merkez	195.678,28
Çemişgezek	202.793,05
Hozat	22.196,91
Mazgirt	54.031,41
Nazımiye	71.598,11
Ovacık	833.966,09
Pertek	278.331,53
Pülümür	293.573,04
İL TOPLAMI (da)	1.952.168,42
İL TOPLAMI (ha)	195.216,84

İkinci verimiz, Tunceli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden temin edilen Tunceli ilçelerinin Büyükbaş hayvan (BBH) ve Küçükbaş hayvan (KBH) sayıları da Tablo 2' de verilmektedir. Toplam KBH sayısında en yüksek sayı 157786 ile Pertek ilçesinde mevcut olup, toplam BBH sayısı, Mazgirt ilçesinde bulunmaktadır. En az KBH sayısı, Nazımiye ilçesinde, En az BBH sayısı, Hozat ilçesinde mevcuttur. Çalışmada kullanılan, KBH sayılarının köy bazında elde edilmesi, her bir köydeki işletme sahiplerinin toplam koyun ve keçi sayılarının toplamından elde edilmektedir.

Tablo 2. İlçelere göre BBH- KBH sayıları (tunceli il tarım ve orman müdürlüğü).

İlçe Adı	Koyun Sayısı	Keçi Sayısı	Toplam KBH	Sığır Sayısı	Manda Sayısı	Toplam BBH
Merkez	9341	15073	24414	4027	0	4027
Çemişgezek	133072	12350	145422	3945	0	3945
Hozat	19104	15085	34189	1901	0	1901
Mazgirt	34799	14864	49663	6627	0	6627
Nazımiye	1406	6549	7955	3126	0	3126
Ovacık	23256	12396	35652	4511	0	4511
Pertek	131332	26454	157786	4275	0	4275
Pülümür	16246	5500	21746	4281	3	4284

Hedefe ulaşmanın en öncelikli yolu, mera alanlarının ıslah edilerek otlatma kapasitelerinin artırılmasıdır. Mera ıslah çalışmalarında öncelik vermek adına, köylerdeki nüfus sayısı, toplam alan, otlatma kapasitesi ve küçükbaş hayvan sayısı gibi kriterler dikkate alınmaktadır. Çalışmanın amacı, öncelikle ıslah edilecek yerlere karar vererek, diğer alanlar için de örnek bir rehber oluşturmaktır. En uygun ıslah yeri seçimi ÇKKV Yöntemleri kullanılabilir.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden;

- AHP (Analytical Hierarchy Process) yöntemi
- TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi kullanılmaktadır.

4. Analiz

Çalışmanın bu kısmında, otlatma kapasitelerinin bulunması için kullanılan metot için varsayımlar ve formülden bahsedilmektedir.

4.1. Çalışmanın Varsayımları

Eğim faktörü (feğ), mera alanları düz kabul edildiğinden dolayı 1 olarak alınmaktadır. Su kaynağından uzaklık faktörleri (fsu) 1,6 km de hayvanların suya ulaşmaları mümkün olduğu için 1 olarak değerlendirilebilir (Gökkuş ve Koç, 2001).

Eşitlikte (Denklemler 1-2), mera alanı Tunceli İl Tarım ve Orman Müdürlüğünden alınan mera alanları (da) kullanılmaktadır. Meranın değerlendirildiği bölgeler, yarı kurak olduğunda faydalanılabilir yem oranı (Tukel ve Hatipoğlu, 1997) %50 alınmaktadır. Çalışmamızda, Tunceli, 800-950 yağış kuşağı (mm) nda yer aldığı için, yararlanılabilir ot verimi 270 kg/da alınmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı aralıklı yağış kuşaklarındaki meraların faydalanılabilir yeşil ot verimleri (mera mevzuatı, 2011).

Yağış Kuşağı	Dekara Yararlanılabilir Yeşil Ot Verimi (kg/da)			
	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf
200-350	180	135	90	45
350-500	270	225	135	68
500-650	360	270	180	90
650-800	450	338	225	113
800-950	540	405	270	135
950-1100	630	473	315	158
1100-1250	720	540	360	180

Otlatma kapasitesi ölçümünde, KBH girdi olarak kullanılmaktadır. KBH günlük yem tüketimi, 50 kg bir KBH, canlı ağırlığının %10 'u ot tüketebileceği düşünülerek 5 kg/gün kullanılmaktadır. Tunceli Tarım İl Müdürlüğü verilerinde göre, merada otlatma mevsiminin 210 gün (7 ay) bir olduğu kabul edilmiştir.

4.2. Otlatma Kapasitesi Hesaplama

Otlatma kapasitesi hesaplama aşağıda sunulan her iki formül de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Mera mevzuatında belirtilen formülün (Denklemler 2) uygulaması yapılmaktadır.

$$\text{Otlama Kapasitesi} = \frac{\text{Mera Alanı (da)} \times \text{Faydalı Ot (kg}^{da}) \times f_{eg} \times f_{su}}{\text{Günlük Ot İhtiyacı (kg)} \times \text{Otlatma Günü}} \quad (1)$$

$$\text{Otlama Kapasitesi} = \frac{\text{Mera Alanı (da)} \times \text{Mera Verimi (kg / da)} \times \text{Yararlanma Oranı}}{\text{Hayvanın Günlük Yem Tüketimi (kg)} \times \text{Otlatma Gün Sayısı (gün)}} \quad (2)$$

Bu aşamadan elde edilen çıktılar, en uygun mera amenajman yerine karar vermek amacıyla için otlatma kapasitesi girdisi olarak kullanılmaktadır. Diğer girdiler, KBH sayısı, toplam alan ve nüfus kriterlerinden oluşmaktadır. 8 farklı alternatif lokasyon ve 4 farklı değerlendirme kriteri ile uygun bir amenajman lokasyonu seçilir. AHP yöntemi, 4 farklı kriterin birbirine göre önemini belirlemek için tartışılmıştır. Bu metodolojinin adımları şu şekilde sunulmaktadır: (i) kriterlerin belirlenmesi; (ii) kriterlerin ağırlıklandırılması; (iii) ikili karşılaştırma; (iv) genel öncelik sıralaması ve (v) en iyi alternatifin seçimi. AHP, problemi hiyerarşik bir yapıda sunmaktadır (Göçmen, 2021). Her bir kriterin ağırlığı, TOPSIS’de kullanılmaktadır. TOPSIS yöntemi, alternatifleri değerlendirmek için belirlenen ağırlıklar ve değerlendirme kriterleri bilgileri dikkate alınarak uygulanır.

İlk adımda, bir karar matrisi oluşturulur.

Adım 1: M alternatif ve N kriterden oluşan A matrisi

$$A' = [A'_{ij}] n \times m, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Daha sonra, karar matrisinin normalizasyonu yapılır ve ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

Adım 2: Karar matrisinin normalize edilmesi:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (4)$$

Adım 3: Normalize edilmiş matris (r_{ij}), ilgili kriterin ağırlığı ile çarpılır (w_j) ve V_{ij} matrisi elde edilir.

$$V_{ij} = [w_j \cdot r_{ij}], \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

Pozitif ideal ve negatif ideal çözümler, karar verilir ve ideal çözüme yakınlık hesaplanır. Sonuç olarak, alternatifler skorlarına göre sıralanır.

Adım 4: Her kriter için en iyi ve en kötü sonuçlar elde edilir.

$$\begin{aligned} A^- &= \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \\ A^+ &= \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

Adım 5: Hedef alternatif ve en iyi/ en kötü alternatif arasında Öklid uzaklığı hesaplanır ve C_i oranı hesaplanır:

$$\begin{aligned} S_i^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \\ S_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \\ C_i^* &= \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \end{aligned} \quad (7)$$

Adım 6: TOPSIS skora göre alternatifler sıralanır.

5. Uygulama

Çalışmanın bu bölümünde, ilk aşama olan otlatma kapasitelerinin bulunması için kullanılan formülasyonun Matlab adlı yazılımda uygulanması yapılmaktadır. Kodun gösterimi Şekil 1’ de verilmektedir. Her bir ilçedeki, mera ıslahı yapılması düşünülen yerlerin köy bazında analizlerini vermektedir.

```

clc
clear all

%work folder
wf = ['C:\Users\elif\MATLAB Drive\MERA\Data'];

%%
%Current Folder Path:
CFP=pwd;
cd(wf);
wf=pwd;

%% Data read
HS_raporu = csvread(['hayvan_sayisi_raporu.csv'],1,2);
KBH_rapor = HS_raporu(:,3);

mera_gen = csvread(['icmal.csv'],2,1);
YYem=270;
KBH=5;
OGS=210;
% A(:,[end]) = []; % to delete the last column

for i = 1:length(mera_gen);

KBH_ot_cap(i,:) = (mera_gen(i)*YYem)/(KBH*OGS);

end

OT_CAP=[KBH_ot_cap];

MAT = [KBH_rapor KBH_ot_cap KBH_ot_cap-KBH_rapor KBH_rapor./KBH_ot_cap...

```

Şekil 1. Matlab kapasite hesaplama kodu.

Problemde, öncelikle Tunceli ilinde 8 ilçenin meralarının otlatma kapasiteleri hesaplanmıştır. Her bir ilçenin köylerinin otlatma kapasitelerinin bulunduğu Tablolar Ek 1’de verilmektedir. Buna göre, otlatma kapasitesi ve mevcut KBH sayısı arasındaki fark büyüklüğü bize ıslah öncelikli ilçeleri verecektir. Tunceli ili Hozat ilçesi, negatif fark büyüklüğü yüksek olan ilçelerden olduğu için o ilçenin köyleri ele alınmaktadır. İlçenin köylerinde de yine negatif açıklığı yüksek olan köyler, ÇKKV ile en uygun mera ıslah alanı seçimi için girdi olarak düşünülmektedir. Literatürde çoğu çalışma, performans faktörlerinin, modellere girdi olarak kullanılmasını ve iki ayrı yöntemin entegre edilmesini önermektedir (Derse ve Göçmen, 2021). Ele alınan 8 farklı alternatif köy (Baldan, Burmageçit, Çukur, Doluküp, Karşılar, Kopuzlar, Suvat ve Uzuntarla) ve 4 farklı değerlendirme kriteri (nüfus sayısı, toplam alan, otlatma kapasitesi ve küçükbaş hayvan sayısı) ile uygun bir mera ıslah yeri seçimi yapılmaktadır. 4 farklı kriterin birbirlerine göre önemlerini belirlemek için AHP yöntemi ele alınmaktadır. Tablo 4’ de her bir kriterin önem durumları 3 alanında uzman karar verici tarafından puanlanmıştır. Alternatifleri değerlendirmek için belirlenen ağırlıklar ve değerlendirme kriterleri bilgileri ele alınarak TOPSIS yöntemi uygulanmaktadır. AHP tabanlı TOPSIS yöntemi, kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak ve alternatifleri sıralamak için bir hiyerarşi sağlayan mükemmel bir yöntem iken, hedef programlama yöntemi en iyi hedef kombinasyonunu sağlamaktadır (2) Kriterlerin ağırlıkları ikili karşılaştırmalarla belirlenir ve değerlendirme yüksek deneyime sahip uzmanlar tarafından yapılır (Polat, 2022).

Tablo 4. AHP karar matrisi.

	Kapasite	KBH sayısı	Toplam Alan	Nüfus
Kapasite	1.0	0.3	0.3	0.5
KBH sayısı	4.0	1.0	2.0	3.0
Toplam Alan	3.0	0.5	1.0	3.0
Nüfus	2.0	0.3	0.3	1.0

Tablo 5'te TOPSIS karar matrisi için her köyün otlatma kapasiteleri, KBH sayısı, toplam alanı ve nüfus bilgileri girilmektedir.

Tablo 5. TOPSIS karar matrisi.

	Kapasite	KBH sayısı	Toplam Alan	Nüfus
Baldan	3	432	10.87	53
Burmageçit	468	2043	1,819.51	659
Çukur	1180	2697	4,588.68	94
Doluküp	125	340	484.24	44
Karşılar	4	114	13.85	98
Kopuzlar	24	519	95.05	158
Suvat	67	175	259.68	16
Uzuntarla	101	280	392.00	71

6. Bulgular ve Tartışma

Uygulama çalıştırdıktan sonra, KBH otlatma kapasiteleri sonuçları elde edilmektedir (Ek 1). Sonuçlara göre, mevcut meraların otlatma kapasitelerinden KBH sayısını çıkardığımızda en yüksek fark, Tunceli ili merkez ilçede oluşmaktadır. Merkez ilçede farkı en yüksek çıkan köyler arasında da ÇKKV yöntemleri ile en optimal ıslah alanları seçilmiştir.

En uygun mera ıslah yeri seçimi, maliyeti minimize etmek için en öncelikli yer seçimi açısından oldukça önemlidir. Doğru bir mera ıslah alanı seçimi gerçekleşmiş ya da gerçekleşecek olan zararların azaltılmasına yardımcı olabilir. ıslah yeri seçimi için seçilen alternatiflerin en uygun kriterlerle incelenmesi ve karar verilmesi, sonraki yer seçim hizmetlerinin verimini oldukça arttırabilir.

Çalışmada uygulanan ÇKKV yöntemlerinden AHP yönteminin sonucunda elde edilen ağırlık değerleri sırasıyla; KBH sayısı, toplam alan, köylerdeki nüfus sayısı ve otlatma kapasitesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Tablo 6, AHP yönteminin sonuçlarını sunmaktadır.

Tablo 6. AHP yöntemine göre ağırlık değerleri.

Kriter	Kriter ağırlıkları
Kapasite	0.09439
KBH sayısı	0.45636
Toplam Alan	0.30318
Nüfus	0.14606

Uygulanan TOPSIS yöntemi sonucunda ise en uygun mera ıslah yeri seçim alanının Çukur köyü olduğu görülmektedir (Tablo 7). Bu köyü takiben sırasıyla Burmageçit, Kopuzlar, Baldan, Doluküp, Uzuntarla, Karşılar, Suvat köylerinin olduğu elde edilmektedir.

Tablo 7. TOPSIS yöntemine göre her köy için ağırlıklar ve sıralama.

Alternatif	P Skor	Sıralama
Baldan	0.180723	4
Burmageçit	0.6165215	2
Çukur	0.7553631	1
Doluküp	0.1710062	5
Karşılar	0.15859	7
Kopuzlar	0.2000701	3
Suvat	0.1548455	8
Uzuntarla	0.1651121	6

Elde edilen sonuçlar, mera ıslahının öncelikle mevcut KBH sayısı ve toplam alan kriterlerinin AHP yönteminden gelen önceliği sebebiyle tutarlıdır. Çukur ve Burmageçit, TOPSIS karar matrisinden de görüleceği üzere en yüksek alan ve KBH sayısına sahiptir. Sonuçlar doğrultusunda, çalışmanın literatürdeki boşluğa katkıları şu şekilde sunulmaktadır: (1) Makalede kullanılan yöntem, Türkiye'nin gerçek bir vaka çalışmasının mera ıslah yeri için en uygun alanlara karar vermek için hem otlatma kapasitelerini matematiksel olarak inceleyen hem de ÇKKV ile köy bazında seçim kararı verme metodolojisi uygulayan ilk

çalışmadır. (2) KBH sayısı, toplam alan, köylerdeki nüfus sayısı ve otlatma kapasitesi gibi kriterlerde karar vericiler tarafından elde edilen sübjektif değerlendirmeler ile mera alanı, faydalı ot, günlük ot ihtiyacı, otlatma gün sayısı, mera verim, gibi objektif bilgilerin entegre edildiği bir mera yönetim çalışmasıdır.

7. Yönetimsel Çıkarımlar

- Mera yönetiminin sürdürülebilirliğini sağlamak için, otlatma kapasitesinin mevcut hayvan varlığına yeterli gelmediğinde, meralar dışındaki tarım alanları da yem bitkisi ekimi için kullanılmalıdır.
- Suni mera kuruluşu ve uygun ıslah metotları ile yem üretiminin artırılması sağlanmalıdır. Suni meralar, otlatma kapasitesi bakımından, aynı bölge sınırlarındaki doğal meralardan en az üç kat fazla verim vermektedir (Bakır, 1969).
- Dönüşümlü otlatma yapılarak, meraların verimi korunmalıdır.
- Sıvat ve gölgelik gibi otlatmayı kolaylaştırıcı uygulamalarla mera alanlarında otlatma verimliliğinin artırılması amaçlanmalıdır.
- Mera planları yapılırken, köy bazında hayvan sayısı ile verimli otlama yapabilecek hayvan sayısı arasındaki farklılık analizleri, mera yönetiminin başlangıcını oluşturacak bir analiz sunabilir. Öncelikle, farkları pozitif çıkan köylerle negatif çıkan köylerin komşu olma durumları, aynı merayı paylaşma durumları, öncelikli alanlardan ortak yararlanma gibi durumlar planlanabilir.
- Komşu köylerdeki otlatma kapasitesi optimum çıkan yerlerin, düşük kapasiteli köyler tarafından optimal ücret karşılığı yararlanmaları düzenlenmelidir.

8. Sonuç ve Değerlendirme

Mera planlamasının etkin yürütülmemesi, hayvancılık faaliyetlerinde olumsuz etkiler yaratır. Hayvan sayılarının artması ve yanlış uygulamalar, bölgesel ve ulusal hükümetler için artan bir sorun haline gelmiştir. Bu etkileri önlemek için doğru mera amenajman planlamalarına ihtiyaç vardır. İyi bir planlama için ön çalışmalar, esas olarak otlatma kapasitesi sorunlarına odaklanmaktadır. İkinci olarak da otlatma kapasitesi yetersiz alanlarda doğru amenajman için bütünleşmiş bir karar verme yaklaşımı yürütülür. Bu nedenle, AHP bazlı TOPSIS, ÇKKV bütünleşmiş bir yöntem sağlanmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin il, ilçe ve köy düzeyinde gerçek bir vaka çalışmasının amenajman için en uygun yerlerin belirlenmesidir. Sorunu köy düzeyinde çözmek, ildeki diğer köyler için örnek bir rehber olabilir. İlçelerdeki kapasite ile KBH sayısı arasındaki olumlu ve olumsuz farklılıklar önemli bir argümandır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin amenajman alanlarını seçmek için etkili bir çerçeve sağladığını ortaya koymaktadır. Optimal planlama, özellikle sınırlı veri kaynaklarına sahip lokasyonlar için mera amenajmanı olaylarında öncelik yönetimi için önemli bir bakış açısı sağlar.

Teşekkür

Bu çalışma, Tunceli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'ne ve Ziraat Mühendisi Ferhat EKİCİ' ye çalışmaya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

EK A. - Her İlçenin Köylerinin Mevcut Durum, Otlatma Kapasitesi ve Fark Sonuçları

HOZAT					
Köy Kodu	Köy İsmi	Toplam Alan	Ot kap	mevcut	fark
62.02.003	Altınçevre	2.535,19	652	909	-257
62.02.005	Balkaynar	3,12	1	140	-139
62.02.006	Beşelma	306,97	79	19	60
62.02.007	Buzlupınar	2.628,21	676	1810	-1134
62.02.008	Çağlarca	1.714,57	441	6753	-6312
62.02.011	Dalören	2.065,85	531	165	366
62.02.012	Dervişcemal	13,49	3	137	-134
62.02.013	Geçimli	3.104,61	798	1202	-404
62.02.014	İn	3.622,16	931	964	-33
62.02.017	Karaca	867,41	223	365	-142
62.02.018	Karaçavuş	944,12	243	1064	-821
62.02.023	Merkez Köprübaşı	1.362,97	350	1497	-1147
62.02.024	Merkez Fikripaşa	15,98	4	2921	-2917
62.02.027	Tavuk (Kardelen)	126,75	33	807	-774
62.02.028	Türktaner	2.853,91	734	1046	-312

MERKEZ					
Köy Kodu	Köy İsmi	Toplam Alan	Ot kap	KBH	Fark
62.00.001	Aktuluk	11.718,66	3013	943	2070
62.00.002	Alacık	69.046,49	17755	1199	16556
62.00.006	Atlantı	1.816,38	467	27	440
62.00.008	Baldan	10,87	3	432	-429
62.00.009	Başakçı	1.898,36	488	406	82
62.00.010	Batman	891,20	229	97	132
62.00.011	Baylık	1.596,27	410	301	109
62.00.013	Burmageçit	1.819,51	468	2043	-1575
62.00.019	Çimenli	1.877,49	483	409	74
62.00.020	Çukur	4.588,68	1180	2697	-1517
62.00.022	Demirkapı	905,67	233	211	22
62.00.026	Doluküp	484,24	125	340	-215
62.00.027	Düzpelit	3.603,01	926	489	437
62.00.031	Gökçek	61.211,17	15740	21	15719
62.00.033	Gözen	9.423,70	2423	613	1810
62.00.034	Güdeç	1.518,53	390	283	107
62.00.036	Gürbüzler	1.656,87	426	506	-80
62.00.037	Kanoğlu	1.328,13	342	417	-75
62.00.038	Karşılar	13,85	4	114	-110
62.00.041	Kopuzlar	95,05	24	519	-495
62.00.049	Suvat	259,68	67	175	-108
62.00.052	Uzuntarla	392,00	101	280	-179
62.00.054	Yolkonak	4.673,86	1202	1301	-99

PÜLÜMÜR					
Köy Kodu	Köy İsmi	Toplam Alan	Ot kap	mevcut	fark
62.07.005	Bardakçı	8.101,17	2083	463	1620
62.07.006	Başkalecik	4.920,33	1265	4105	-2840
62.07.008	Bozağakaraderbent	9.650,73	2482	1433	1049
62.07.010	Çakırkaya	286,36	74	358	-284
62.07.011	Çobanyıldızı	6.163,56	1585	925	660
62.07.012	Dağbek	752,74	194	1036	-842
62.07.013	Dağyolu	7.716,64	1984	971	1013
62.07.017	Doğanpınar	407,93	105	371	-266
62.07.020	Göcenek	2.923,03	752	264	488
62.07.022	Hacılı	2.467,65	635	131	504
62.07.023	Hasangazi	11.379,87	2926	525	2401
62.07.027	Karagöz	26.213,88	6741	1620	5121
62.07.030	Kırdım	14.112,61	3629	1631	1998
62.07.031	Kırklar	37.283,05	9587	4598	4989
62.07.034	Kocatepe	12.505,70	3216	1443	1773
62.07.038	Merkez	1.905,93	490	1304	-814
62.07.041	Sağlamtaş	2.179,66	560	126	434
62.07.043	Sarıgül	16.495,53	4242	172	4070

NAZİMİYE					
Köy Kodu	Köy İsmi	Toplam Alan	Ot kap	mevcut	fark
62.04.001	Aşağıdoluca	35,29	9	613	-604
62.04.003	Balıca	591,04	152	738	-586
62.04.005	Bostanlı	1.405,92	362	812	-450
62.04.006	Büyük yurt	10.146,58	2609	100	2509
62.04.010	Dereova	9.599,47	2468	135	2333
62.04.014	Güneycik	233,88	60	279	-219
62.04.015	Günlüce	1.503,69	387	400	-13
62.04.017	Kapıbaşı	975,96	251	177	74
62.04.018	Kılköy	2.628,42	676	1175	-499
62.04.021	Sapköy	804,07	207	132	75
62.04.022	Sarıyayla	16.157,09	4155	107	4048
62.04.024	Yayıkağıl	23.245,29	5977	155	5822

ÇEMİŞGEZEK

Köy Kodu	Köy İsmi	Toplam Alan	Ot kap	mevcut	fark
62.01.001	Akçapınar	446,65	115	1336	-1221
62.01.002	Alakuş	881,01	227	1756	-1529
62.01.003	Anıl	40.377,58	10383	5295	5088
62.01.004	Arpaderen	9,40	2	2420	-2418
62.01.005	Aşağıbudak	637,97	164	444	-280
62.01.006	Aşağıdemirbük	35,80	9	50	-41
62.01.010	Cebe	4.866,20	1251	14756	-13505
62.01.015	Erkalkan	16.777,50	4314	5007	-693
62.01.017	Gözlüçayır	23.324,65	5998	2507	3491
62.01.022	Meydan Mescit	8.044,60	2069	7342	-5273
62.01.024	Paşacık	13.971,88	3593	6248	-2655
62.01.025	Payamdüzü	10.704,62	2753	22498	-19745
62.01.027	Sarıbalta	1.751,10	450	11158	-10708
62.01.030	Toratlı	2.187,58	563	4030	-3467
62.01.031	Ulukale	15.984,76	4110	2569	1541
62.01.033	Vişneli	2.319,30	596	2647	-2051
62.01.034	Yemişdere	453,23	117	4523	-4406
62.01.035	Yukarıbudak	394,40	101	280	-179
62.01.036	Yünbük	1.314,50	338	1306	-968

OVACIK

Köy Kodu	Köy İsmi	Toplam Alan	ot kap	mevcut	fark
62.05.001	Ada	8.296,12	2133	29	2104
62.05.002	Ağaçpınar	2.931,07	754	190	564
62.05.003	Aktaş	2.061,47	530	477	53
62.05.004	Akyayık	1.428,50	367	2164	-1797
62.05.007	Aşağıtorunoba	19.501,21	5015	1623	3392
62.05.010	Buzlutepe	132,48	34	314	-280
62.05.012	Cevizlidere	2.584,66	665	199	466
62.05.013	Çakmaklı	2.459,06	632	371	261
62.05.015	Çat	29.017,86	7462	2727	4735
62.05.019	Doludibek	2.639,73	679	12	667
62.05.022	Eğripınar	108.386,91	27871	1024	26847
62.05.024	Eskigedik	54.240,83	13948	2206	11742
62.05.026	Gözeler	38.620,68	9931	2881	7050
62.05.027	Güneykonak	78,00	20	204	-184
62.05.030	Havuzlu	41.654,00	10711	1208	9503
62.05.031	Isıtma	299,15	77	202	-125
62.05.033	Karaoğlan	1.036,97	267	27	240
62.05.034	Karataş	6.588,28	1694	347	1347
62.05.036	Kızık	11,42	3	484	-481
62.05.037	Konaklar	154,30	40	198	-158
62.05.038	Koyungölü	45.027,32	11578	768	10810
62.05.039	Kozluca	1,97	1	394	-393
62.05.040	Köseler	27.207,54	6996	1167	5829
62.05.041	Kuşluca	464,96	120	359	-239
62.05.043	Mollaaliler	35.742,39	9191	3350	5841
62.05.045	Öveçler	124,70	32	73	-41
62.05.046	Paşadüzü	39.208,09	10082	295	9787
62.05.049	Şahverdi	78.980,70	20309	2179	18130
62.05.050	Tatuşağı	1.908,55	491	205	286
62.05.052	Topuzlu	268,30	69	506	-437
62.05.054	Yalmanlar	21.096,37	5425	1362	4063
62.05.055	Yarımkaya	31.538,33	8110	1644	6466
62.05.056	Yaylagünü	240,71	62	1199	-1137
62.05.058	Yenikonak	96.270,98	24755	16	24739
62.05.059	Yenisögüt	2.372,60	610	71	539
62.05.060	Yeşilyazı	12.130,40	3119	394	2725
62.05.063	Ziyaret	9.707,34	2496,173143	241	2255

PERTEK

Köy Kodu	Köy İsmi	Toplam Alan	Ot kap	mevcut	fark
62.06.001	Akdemir	7.030,77	1808	12716	-10908
62.06.002	Ardıç	918,96	236	2754	-2518
62.06.003	Arpalı	3.701,36	952	1046	-94
62.06.004	Aşağıgülbahçe	13.975,55	3594	6083	-2489
62.06.005	Ayazpınar	22.610,91	5814	18537	-12723
62.06.006	Bakırlı	2.484,97	639	429	210
62.06.007	Ballıdut	1.558,50	401	285	116
62.06.008	Beydamı	2.962,66	762	1127	-365
62.06.009	Biçmekaya	269,14	69	1247	-1178
62.06.010	Bulgurtepe	10.133,11	2606	7950	-5344
62.06.011	Çakırbahçe	4.424,93	1138	5006	-3868
62.06.012	Çalıözü	228,77	59	1608	-1549
62.06.013	Çataksu	3.762,30	967	1894	-927
62.06.014	Çukurca	7.847,45	2018	17594	-15576
62.06.015	Demirsaban	5.620,17	1445	2742	-1297
62.06.016	Dere	11.391,32	2929	642	2287
62.06.017	Dereli	35.716,41	9184	4764	4420
62.06.018	Dorutay	1.211,57	312	5340	-5028
62.06.019	Elmakaşı	749,60	193	1068	-875
62.06.020	Geçityaka	6.332,51	1628	7777	-6149
62.06.021	Gövdeli	3.452,76	888	2367	-1479
62.06.022	Günboğazı	5.293,91	1361	67	1294
62.06.023	Kaçarlar	1.988,01	511	639	-128
62.06.024	Karagüney	1.534,88	395	942	-547
62.06.025	Kayabağ	4.607,77	1185	820	365
62.06.026	Kazılı	9.221,69	2371	2049	322
62.06.027	Koçpınar	3.694,40	950	704	246
62.06.028	Kolankaya	6.755,30	1737	395	1342
62.06.029	Konaklar	3.667,84	943	6346	-5403
62.06.031	Korluca	1.053,21	271	354	-83
62.06.032	Mercimek	18.043,91	4640	3817	823
62.06.034	Pınarlar	7.493,21	1927	2337	-410
62.06.035	Pirinçci	4.071,77	1047	701	346
62.06.036	Sağman	13.725,95	3530	534	2996
62.06.037	Söğüttepe	3.425,01	881	542	339
62.06.038	Sumak	880,85	227	1109	-882
62.06.039	Sürgüç	7.036,50	1809	1637	172
62.06.040	Tozkoparan	1.142,25	294	570	-276
62.06.043	Yalınkaya	4.667,56	1200	1393	-193
62.06.044	Yamaçoba	2.995,46	770	910	-140
62.06.045	Yeniköy	9.545,71	2455	1953	502
62.06.046	Yukarıgülbahçe	2.281,46	587	5199	-4612
62.06.047	Yukarıyakabaşı	2.993,08	770	2542	-1772

MAZGİRT

Köy Kodu	Köy İsmi	Toplam Alan	Ot kap	mevcut	fark
62.03.001	Ağaçardı	244,78	63	75	-12
62.03.003	Akkavak	1.221,93	314	2411	-2097
62.03.004	Akpazar	2.199,51	566	2874	-2308
62.03.005	Aktarla	1.823,69	469	460	9
62.03.012	Aşağıtarlacık	192,88	50	1180	-1130
62.03.013	Ataçınar	2.290,24	589	2428	-1839
62.03.015	Aydınlık	1.939,12	499	216	283
62.03.020	Bulgurcular	3,92	1	20	-19
62.03.022	Dallıbel	314,67	81	349	-268
62.03.023	Danaburan	390,02	100	1210	-1110
62.03.024	Darıkent	291,11	75	317	-242
62.03.025	Dayılar	384,72	99	215	-116
62.03.026	Dazkaya	208,87	54	1684	-1630
62.03.027	Demirci	11.690,08	3006	120	2886
62.03.028	Demirkazık	156,64	40	984	-944
62.03.029	Doğanlı	813,11	209	329	-120
62.03.030	Doğucak	1.308,01	336	572	-236
62.03.032	Geçitveren	1.711,71	440	1315	-875
62.03.033	Gelincik	210,46	54	115	-61
62.03.034	Gelinpınar	4,30	1,105714286	888	-887
62.03.037	Gümüşgün	357,40	91,90285714	1751	-1659
62.03.043	Kale	1.359,57	349,6037143	29	321
62.03.046	Karsan	2.173,12	558,8022857	1087	-528
62.03.047	Karşıkonak	5.062,99	1301,911714	2210	-908
62.03.054	Koçkuyusu	1.751,03	450,2653714	742	-292
62.03.060	Merkez Eltihatun	197,16	50,69828571	929	-878
62.03.061	Merkez Yeni M.	13,64	3,507428571	2074	-2070
62.03.062	Obrukkaşı	1.147,21	294,9968571	1770	-1475
62.03.064	Ortadurak	441,19	113,4488571	115	-2
62.03.066	Otlukaya	2.195,32	564,5108571	225	340
62.03.069	Örs	150,81	39	183	-144
62.03.077	Yazeli	867,02	223	292	-69
62.03.078	Yeldeğen	2.522,33	649	8	641
62.03.079	Yenibudak	3.459,56	890	2342	-1452

Kaynakça

Abedi, R. (2022). Application of multi-criteria decision making models to forest fire management. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(1), 84-96.

Akbulak, C. (2010). Analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile yukarı kara menderes Havzası'nın arazi kullanımı uygunluk analizi. *Uluslararası insan bilimleri dergisi*, 7(2), 557-576.

Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. Ahp yöntemi ile tarıma uygun alanların belirlenmesi, IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19 Ekim 2012, Zonguldak.

Bakır, Ö. (1969). Ekolojik faktörlerin önemli yem bitkilerinin büyüme ve gelişmesine tesirler üzerinde araştırmalar. Ankara üniversitesi ziraat fakültesi yay, 327.

Budak, M. Türkiye'de yarı kurak bir iklim bölgesinde arazi bozunumu bakımından amenajman kalite indeksinin belirlenmesi. *Ahtamara*, 84.

Dağlı, D., & Çağlayan, A. (2016). Analitik hiyerarşi süreci ile optimal arazi kullanımının belirlenmesi: Melendiz çayı havzası örneği. *Türk coğrafya dergisi*, 66: 83-92.

Dedeoğlu, M., & Dengiz, O. (2018). Coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilen çok kriterli karar destek analiz yaklaşımı kullanılarak arazi uygunluk sınıflarının belirlenmesi. *Ziraat fakültesi dergisi*, 13(2), 60-72.

Demir, R. (2019). Karar verme teknikleri kullanılarak büyükbaş hayvan yetiştiriciliği yapan işletmelerde hayvan ırkları arasından en uygun olanının seçilmesi (master's thesis, Balıkesir üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü).

Derse, O., & Göçmen, E. (2021). Transportation mode choice using fault tree analysis and mathematical modeling approach. *Journal of transportation safety & security*, 13(6), 642-660.

Erdoğan, Ö., Çabuk, A., Memlük, Y., & Perçin, H. (2015). Ekolojik alan kullanım kararlarına uygun tarım alanlarının ahp yöntemi kullanılarak Kütahya kenti örneğinde irdelenmesi. *Harita teknolojileri elektronik dergisi*, 7(2), 1-16.

Göçmen, E. (2021). Smart airport: evaluation of performance standards and technologies for a smart logistics zone. *Transportation Research Record*, 2675(7), 480-490.

Gökhan, Ş & Güngör, E. (2018). Endüstriyel ağaçlandırmalar için en uygun tür seçiminde analitik hiyerarşi süreci yönteminin kullanılması: Kastamonu ili örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 63-75.

Mera Mevzuatı (2011). T.C. Tarım ve köy işleri bakanlığı, Ankara.

Urmak, E. D., Çatal, Y., & Karaatlı, M. (2017). İllerin ormancılık faaliyetlerinin ahp temelli maut ve saw yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Süleyman demirel üniversitesi iktisadi ve idari bilimler fakültesi dergisi*, 22(2), 301-325.

Polat, E. G. Distribution centre location selection for disaster logistics with integrated goal programming-ahp based topsis method at the city level. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(1), 282-296.

Sari, F. (2021). Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Muğla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644.

Seydosoglu, S., Cacan, E., & Sevilmiş, U. (2019). Determination of botanical composition, yield, and pasture quality ratings of infertile pastures in Kozluk district of Batman province of Turkey. *Fresenius environmental bulletin*, 28(4A), 3388-3394.

Taşova, M., & Ergüneş, G. (2018)., Determination of biomass potential and energy values of walnut (*Juglans regia* L.) wastes: Case of Tokat province. *International Scientific and Vocational Journal (ISVOS JOURNAL)*, 2(2), 67-72.

Yel, S. G. (2020). Göksu deltası özel çevre koruma Bölgesi'nde eko turizme açılacak alanların analitik hiyerarşi yöntemi ile belirlenmesi (Master's thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Focusing on the Structural, Electronic, Optic and Elastic Behaviours of RhBiSe Compound by Ab-initio Calculations

Nihat Aydin ^a, Emel Kilit Dogan ^{b,1}

^a Van Yuzuncu Yil University, Department of Physics, 65080 Van, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5580-6982

^b Van Yuzuncu Yil University, Department of Physics, 65080 Van, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-7609-7206

Abstract

Some physical features such as structural, electronic, optic and elastic of RhBiSe compound were investigated theoretically by Density Functional Theory within Generalized Gradient Approximation. The lattice parameter, total ground state energy, bond types and bond lengths were calculated in the structural features frame. The calculated lattice parameter is in good agreement with the literature. In order to investigate the electronic features of RhBiSe compound, the electronic band structure, density of states (DOS) and partial density of states (PDOS) graphs were plotted. Focusing on the electronic properties has shown that RhBiSe is a semiconductor with an indirect band gap. The density of states and partial density of states were also compatible with each other and electronic band structure of RhBiSe compound. In the optic features examination, the complex dielectric function, and the fundamental optic features obtained and it is noticed that RhBiSe is very convenient for the optical application areas such as optoelectronic devices. For the investigation of elastic features the elastic stiffness constants were computed, and afterwards the Bulk, Shear, Young Module, Poisson's ratio, flexibility coefficient, Debye temperature and Zener anisotropy factor were calculated. It was also exhibited that RhBiSe is a fragile material. The calculations on elastic features also revealed that RhBiSe is a mechanically stable, elastically anisotropic material with a high thermoelectric conductivity property.

Keywords: "RhBiSe, pyrite-marcasite family, electronic properties, elastic properties, optic properties."

1. Introduction

The global warming is the main problem of the earth. One of the most important causes of the global warming is the use of fossil fuels. The burning of fossil fuels releases carbon into the atmosphere, which threatens the global climate. In order to save the earth, it is very important to use alternative clean and renewable energy sources. The most important renewable energy source is solar energy, which is free, harmless and unlimited. For these kind of alternative methods photoactivity performance of the materials such as metal oxides, metal chalcogenides, carbides and transition metal dichalcogenides (TMDCs) are very important. Among these, the TMDCs have excellent catalytic activities, sizable bandgaps, distinct crystal structures, notable physical and chemical properties [1, 2]. The transition metal dichalcogenides have become useful materials for the development of photocatalyst because of their optical, electrical, thermal and mechanical properties [3]. The TMDCs have received significant consideration because they are low-cost and earth-abundant materials [1]. They have wide application areas such as energy storage, gas sensing and valley physics [4]. Additionally, transition metal dichalcogenides found in two crystal structures such as cubic pyrite-type and orthorhombic marcasite-type structures. Actually the chemical formula of pyrite and marcasite are the same, that is FeS₂. However, the cubic structure of FeS₂ is known as pyrite and the orthorhombic structure is known as marcasite.

Hulliger and Mooser [5] have studied on pyrites and marcasites and they showed that there are many binary and ternary compounds which have the same properties with pyrite and marcasite families. They revealed that this is a broad family of compounds with AX₂, AY₂ and AXY chemical formulas, where A is a transition element, X and Y are elements those belong to VI B and VB groups, respectively. Additionally, they crystallize in pyrite and marcasite type of structures that is why it is called pyrite-marcasite family [6]. In all of the family members, the cations have six anion neighbors occupying the corners of a octahedron whereas the anions have a tetrahedral neighborhood (generally chalcogen atoms) [5]. Furthermore, X and Y form covalently bonded pairs [7] in other words X₂, Y₂ or XY form anion molecules [8]. In the present study we focused on a material which belongs to pyrite-marcasite family, namely, RhBiSe.

¹ Corresponding Author

E-mail Address: ekilit@yyu.edu.tr, +90 545 640 4246

The compounds of the pyrite-marcasite family have high carrier mobility, high Young's modulus, functional electrical, mechanical, and thermal properties with a stable structure [9], high optical absorption coefficient in the visible region [1], they are semiconductors with a narrow band gap [10] and they have tunable electronic configurations [3, 11]. These compounds can be used in photocatalysts, photovoltaics [12, 13], optoelectronic devices, solar cells, electrolysis and energy storage devices [14].

Most of the pyrite-marcasite family members were synthesized in the laboratory, such as; RhXY, IrXY, NiXY, PdXY etc. where X: P, As, Sb, Bi and Y: S, Se, Te [5]. Among that synthesized group we investigated RhBiSe compound theoretically in the present study by using the Density Functional Theory (DFT). The DFT is very useful since it provides opportunity to make calculations in a very large scale, in a shorter time with high accuracy. There are many studies performed with DFT [15, 16]. By using the ABINIT programme, which depends on the DFT, we saw that, RhBiSe exhibits all features of pyrite-marcasite family which belongs to TMDCs, such as good electronic properties with a narrow band gap, convenient optic properties, and elastic properties. We could not compare our results with the literature except for the lattice parameters since there are not such studies on RhBiSe compound in the literature. However, we have shown that all the features of RhBiSe are consistent within this study and the features of TMDCs and pyrite-marcasite family. That is why we believe that this study will help to the future studies on RhBiSe compound. Also we have seen that this material is very convenient to the application areas such as solar cells, optoelectronic devices and energy storage devices.

2. Computational Method

All calculations of structural, electronic, optic and elastic features were done by Density Functional Theory within Generalized Gradient Approximation using ABINIT [17] computer programme. The self-consistent Fritz Haber Institute-type [18] norm-conserving pseudopotentials with the Troullier-Martins scheme [19] have been used. In order to figure out the Kohn-Sham equations [20] the conjugate gradient minimization method [21] was utilized. The exchange-correlation effects were taken into account by using the Perdew-Burke-Ernzerhof [22] functions. The plane waves were used as the basis set. The valance electrons for the RhBiSe are chosen as $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^3$ for Bi, $4p^6 5s^2 4d^7$ for Rh and $4s^2 3d^{10} 4p^4$ for Se. A kinetic cut off energy was chosen as 1088.45 eV was used. The number of k-points were 84 within the $12 \times 12 \times 12$ Monkhorst-Pack mesh grid [23].

3. Results and Discussion

The investigation on features of RhBiSe compound started with the examination of the structural features. The RhBiSe is in cubic crystal structure with $P2_13$ space group (No:198). There are four molecules of RhBiSe in the unit cell, so the number of atoms in a unit cell of RhBiSe is 12. (The atomic positions of the atoms of RhBiSe crystal in its unit cell are given in Appendix A.) So far only lattice parameter of this compound is calculated in literature as 6.3823 Å [24]. First, the geometry optimization was performed in order to obtain the atomic coordinates. Afterwards volume optimization was performed to obtain the calculated lattice parameter. The calculated lattice parameter is 6.3421 Å which is very close to the literature. The minimum energy for the decisive crystal structure of RhBiSe is calculated as -6736.18 eV. The volume of RhBiSe is calculated as 255.09 (Å)^3 for its decisive state.

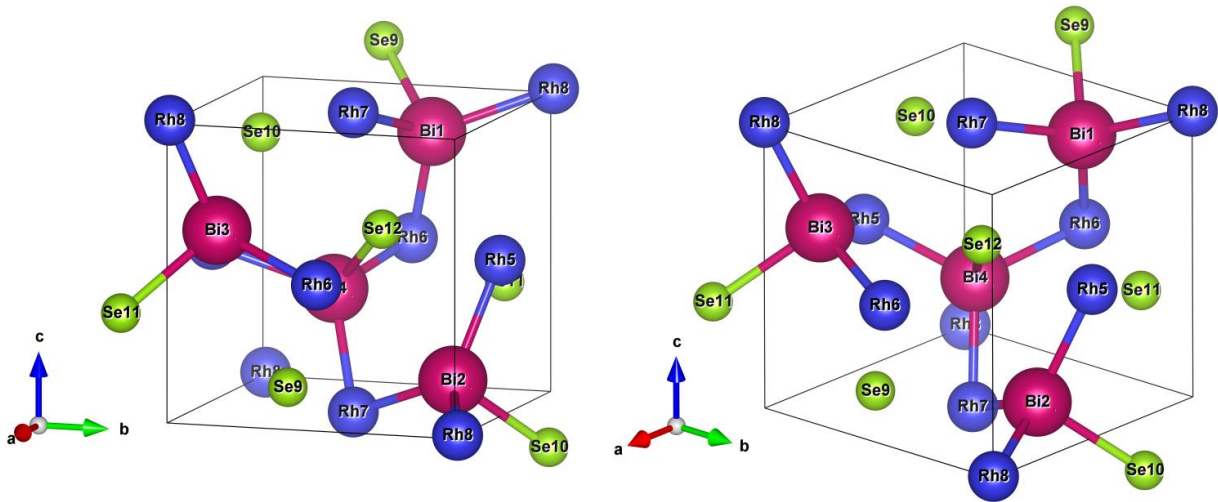


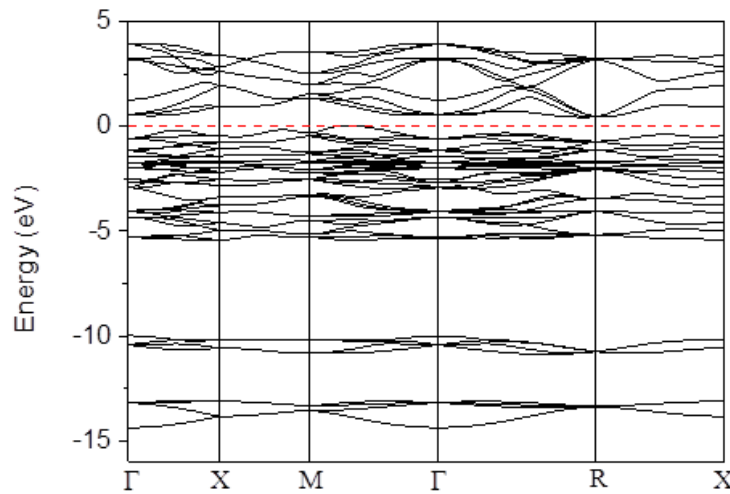
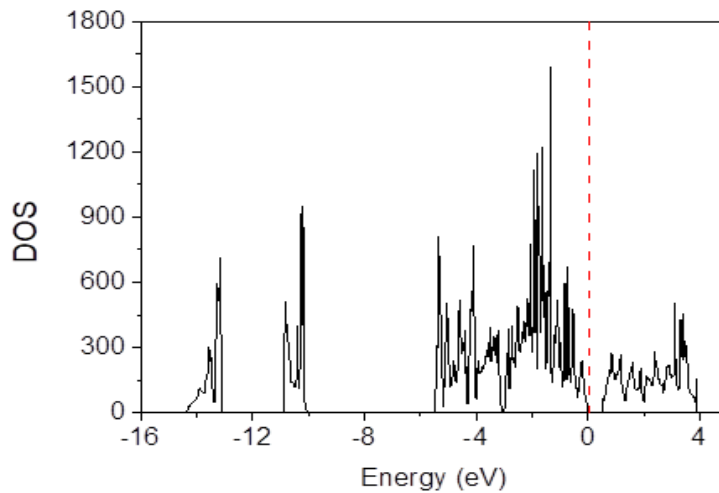
Figure 1. The crystal structure of RhBiSe in its unit cell.

Table 1. Bonds and bond lengths of RhBiSe crystal.

Bonds	Bond Lengths (Å)
Bi-Rh	2.7228
Bi-Se	2.7679
Rh-Se	2.5748

The unit cell of RhBiSe was drawn by using Vesta [25] programme with two different point of views (Fig.1). It is noticed that there are bonds between Bi-Rh, Bi-Se and Rh-Se atoms, those bond lengths are also computed by using the Vesta programme and are given in Table 1. In the RhBiSe compound, Bi (VB group) atoms and Se (VIB group) atoms have a covalent bond and they formed an anion molecule. In Fig. 1, the bonds which are not beyond the boundary of the unit cell are also shown.

As the next step of the present study, the electronic features of RhBiSe compound were examined. The electronic band structure (EBS), density of states (DOS) and partial density of states (PDOS) are calculated and their graphs are drawn. In Fig. 2, the EBS graph is given. The electronic band structure is obtained throughout the $\Gamma - X - M - \Gamma - R - X$ high symmetry points in the first Brillouin zone. The Fermi level is represented with red dashed line. Below this level the valance bands and above conducting bands of RhBiSe compound are found. When Fig. 2 examined in detail, it is noticed that, there are core electron energy levels at around -15 eV and -10 eV energy values. There are forty valance bands with the core electron levels. We investigated ten energy levels from the conducting bands. It is clear from Fig.2 that, RhBiSe is a semiconductor in structure with a indirect band gap. The value band gap is 0.475 eV.

**Figure 2. Electronic band structure of RhBiSe compound.****Figure 3. Density of states (DOS) graph of RhBiSe compound.**

The DOS values are given in arbitrary units (Fig.3). The DOS and the EBS graphs of RhBiSe compound are compatible with each other. The energy values of core electrons, the boundary energy values of valance and conducting bands and the band gap are the same with the values obtained from the EBS graph. It is known that, the partial density of states (PDOS) are the contributions of the atoms to the density of states of a compound. The PDOS graphs are given in Fig. 4. In the PDOS graphs /

values are the quantum numbers which specifies the orbital angular momentum. The s, p, d and f states are designated by $l = 0, 1, 2$ and 3 values, respectively. Again the Fermi level is represented with dashed line in each graph. There are four Bi atoms in the unit cell and the contributions of Bi atoms are in the same character which is valid also for the Rh and Se atoms. It is seen from Fig. 4 that, the contribution of core electrons with -10 eV comes from the Bi atoms with s states. There is also slight contributions of Bi atoms to valance and conduction bands with f states. If one examines Rh atoms, it is seen that the main contribution comes from the valance bands and the slight contribution comes from the conduction bands, all contributions with d states. The contribution of Se atoms mainly comes from the core electrons which have -15 eV, with s states. There are also contributions of Se atoms from valance bands and slightly from conduction bands both with p states.

The optic features obtained by using the complex dielectric function of RhBiSe compound. Actually, complex dielectric functions are represented by rank one tensors, with three components along the 100, 010 and 001 crystal axes directions. Since cubic structures are optically isotropic, so just one component of complex dielectric function is adequate. The complex dielectric function has real (ϵ_1) and imaginary (ϵ_2) parts. In Fig. 5, these parts of dielectric constant are plotted as a function of phonon energy. The real and imaginary parts are related to each other by Kramers-Kronig equations. Imaginary part of the complex dielectric constant is related with the electronic band structure and interband transitions, especially absorptive behaviour of the material. The real part related with the physical properties, especially the dispersion behaviour.

As seen from Fig. 5, real part has negative values between the 2.89 and 11.96 eV photon energies interval. In this interval RhBiSe crystal reflects all coming light. At 2.89 and 11.96 eV the value of real part equals to zero. The zero value of the real part conforms to plasmon excitations. The static dielectric constant is the value of the real part at 0 eV energy, that is 25.78 for RhBiSe compound. The peaks in the imaginary part shows the interband transitions from valance to conduction bands. There is a major peak at 1.50 eV energy level for RhBiSe compound. This peak points out the transition from Rh-4d to Se-4p states, as shown in PDOS graphs (Fig.4).

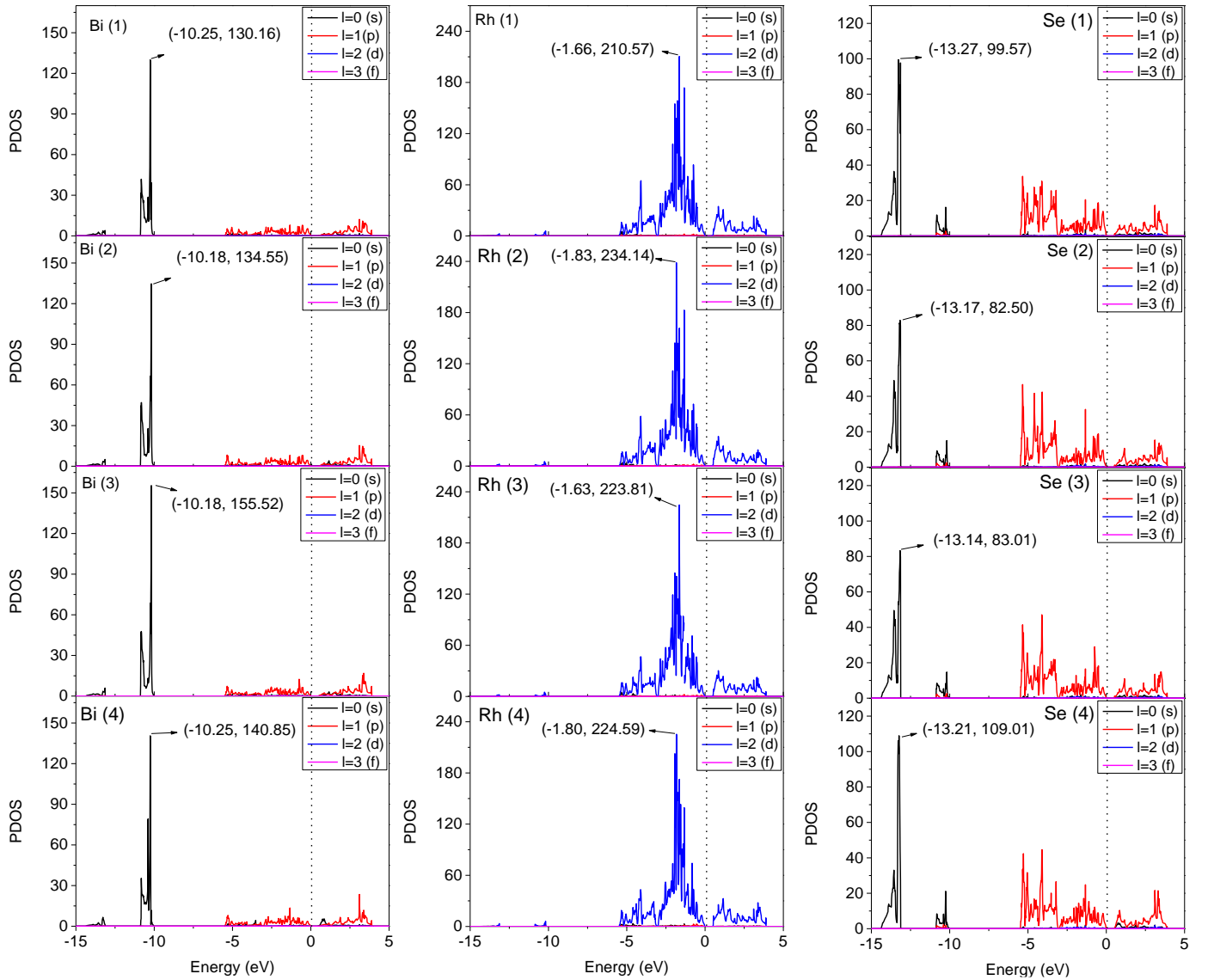


Figure 4. Partial density of states graphs of the atoms in RhBiSe compound.

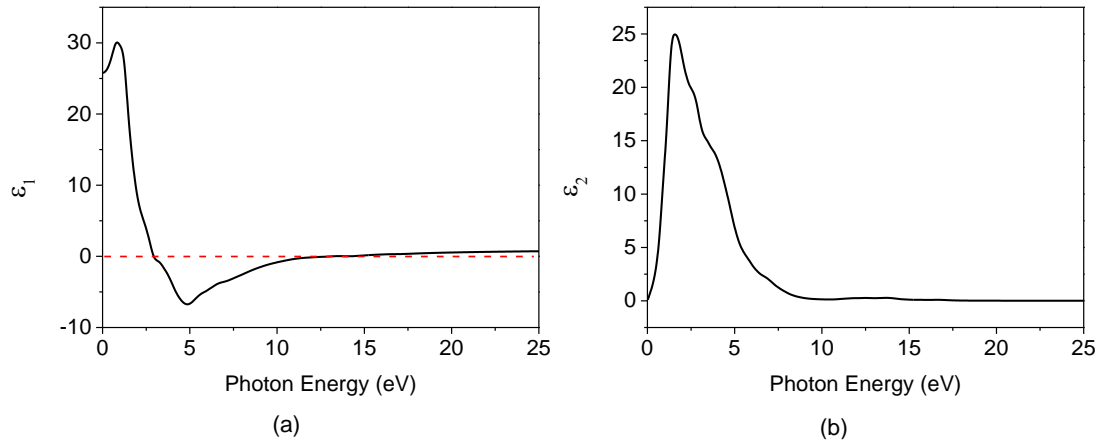


Figure 5. The (a) real and the (b) imaginary parts of the complex dielectric function of RhBiSe compound.

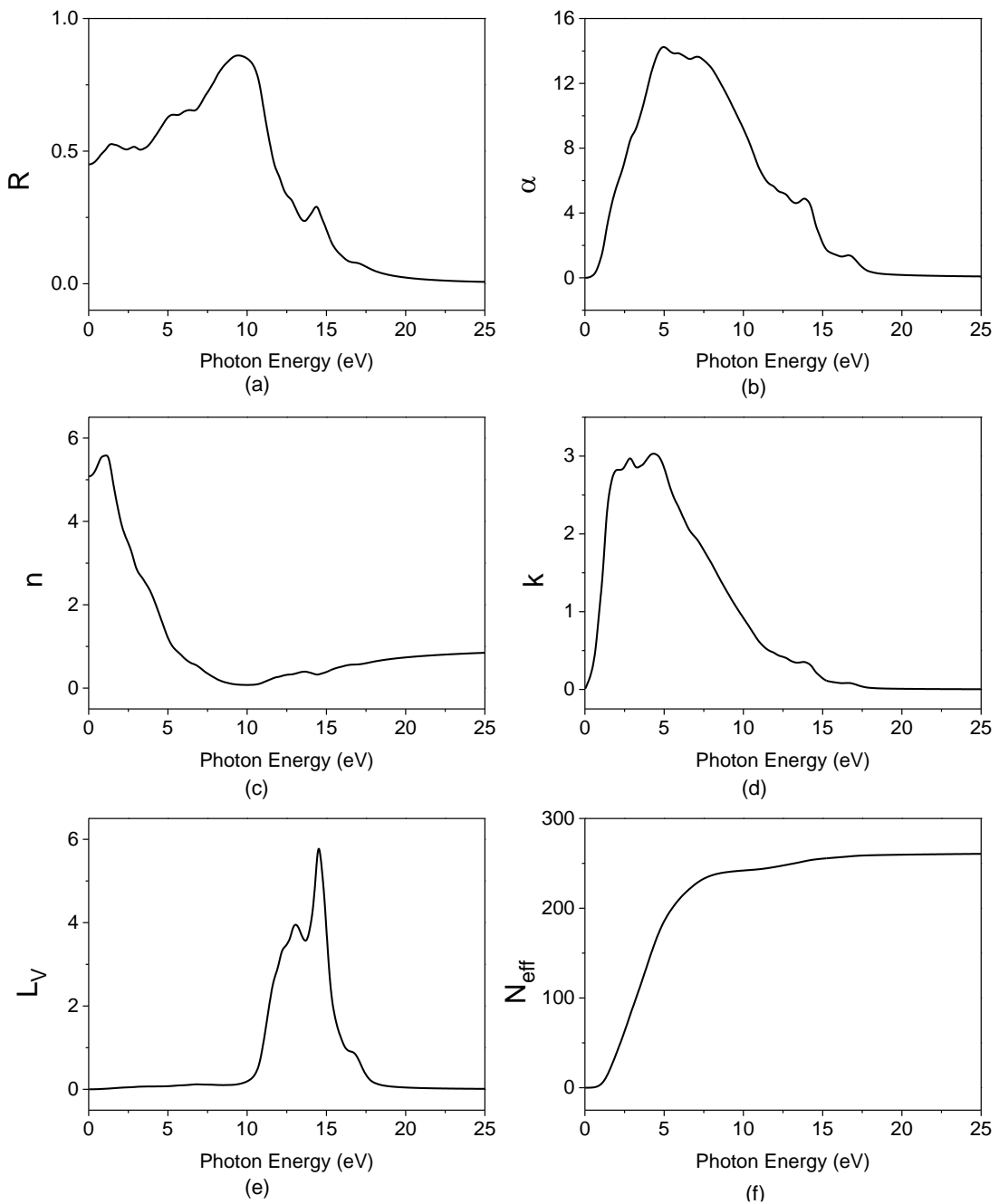


Figure 6. (a) Reflectivity, (b) absorption, (c) refractive index, (d) extinction coefficient, (e) energy loss function of volume and (f) effective number of valence electrons in the unit cell.

In extension, the main optic features such as reflectivity, absorption, refractive index, extinction coefficient, energy loss function and effective number of valence electrons were calculated and graphs of those were given in Fig.6. All these features including real and imaginary parts of complex dielectric function have been calculated in the 0-20 eV and plotted 0-25 eV energy range, since it is clear from the EBS graph, difference between the minimum energy value of the valence bands and the maximum energy value of the conduction bands occupy around 20 eV. The first slight peak of reflectivity graph (Fig.6(a)) is at around 2 eV and the highest peak is at around 10 eV energy values which are consistent with the negative parts of the real dielectric function. Between these energy values, reflection occurs dominantly. It is seen from absorption graph (Fig. 6(b)) that, absorption starts at 0.45eV (which is consistent with the band gap value) and finishes at around 17.80 eV. Between these energy values absorption occurs, in other words, the value of the absorption is different than zero. The static refractive index value of RhBiSe is 5.07 (Fig. 6(c)). The profile of extinction coefficient looks like the absorption feature of RhBiSe compound as seen from Fig. 6(d). Energy loss function (L_V) determines the energy loss of an electron which passes through a material. N_{eff} represents the contribution throughout the transition between the electronic bands. When N_{eff} reaches its saturated value, it means that there will not be any transitions between the electronic bands.

In the last part of the study, we focused on the elastic features on RhBiSe crystal. First, we calculated the elastic stiffness constants. When a force applied on a continuous material, the neighboring particles inside this material continue to transfer this force between each other which is called stress. Stress is actually a second rank tensor (σ_{ij}). The stress sometimes causes a deformation on a material which is called strain. The strain is also second rank tensor (ε_{ij}). Some materials may gain its original shape again, when the stress is removed. Those materials called as elastic materials. However, some of them may have permanent deformation. In order to understand the elastic features of a material, first thing to do is to calculate the elastic stiffness constants. According to Hooke's law with small amounts of stress and strain, the ratio of them gives elastic stiffness constants ($\sigma_{ij} = C_{ijkl}\varepsilon_{kl}$). These are four rank tensors. They have 81 components but by using a matrix notation they can be shown with just two indices, and 36 components that is 21 of them are independent components. This form of elastic stiffness constants are not tensors anymore [26].

Table 2. The elastic stiffness constants of RhBiSe compound.

	$(C_{11} \text{ (GPa)} = C_{22} = C_{33})$	$(C_{12} \text{ (GPa)} = C_{13} = C_{21} = C_{23} = C_{31} = C_{32})$	$(C_{44} \text{ (GPa)} = C_{55} = C_{66})$
RhBiSe	200.13	54.27	52.60

Table 3. The calculated values of Bulk, Shear, Young modulus, Poisson's ratio, Flexibility coefficient, Debye temperature and Zener anisotropy factor of RhBiSe compound

Elastic Property of RhBiSe	Symbol (unit)	Calculated Values
Bulk Modulus	B_V (GPa)	102.89
Shear Modulus	G_V (GPa)	60.73
Young Modulus	E (GPa)	150.64
Poisson's Ratio	ν (-)	0.256
Flexibility Coefficient	$K=B_{VRH}/G_{VRH}$ (-)	1.716
Debye Temperature (K)	Θ_D	134.35
Zener Anisotropy Factor	A	0.7

Additionally, the number of components changes according to the crystal structures because of the symmetry features. Cubic crystals have 12 elastic stiffness components and 3 of them are independent, which are C_{11} ($= C_{22} = C_{33}$), C_{12} ($= C_{13} = C_{21} = C_{23} = C_{31} = C_{32}$) and C_{44} ($= C_{55} = C_{66}$). The calculated values of those coefficients are given in Table 2. By using these C_{ij} values and Born stability criterias, one can examine the mechanical stability of a material. The Born stability conditions [27] can be summarized as follows;

$$C_{11} + 2C_{12} > 0, C_{44} > 0, C_{11} - C_{12} > 0, C_{11} > 0, \text{ and } C_{12} < B < C_{11} \quad (1)$$

Here in the last criteria B is the bulk modulus. As seen from Table 2, RhBiSe compound satisfies all these criterias, so this material is mechanically stable.

After the elastic stiffness constants, we calculated some fundamental elastic features such as Bulk, Shear and Young modulus. Additionally, we calculated the Poisson's ratio, flexibility coefficient, Zener anisotropy factor and Debye temperature values as given in Table 3. There are some tests to decide the elastic structure of a material. The critical value of Poisson's ratio is 0.26 and of flexibility coefficient is 1.75. If the calculated values of these elastic features are smaller than their critical values, than it shows that the material is fragile, otherwise elastic material. As seen from Table 3, the calculated value of both Poisson's ratio and the flexibility coefficient are smaller than the critical values. It is noticed that RhBiSe is a fragile material. If the calculated value of the Zener anisotropy equals to 1, that material is elastically isotropic. Since the calculated value of RhBiSe (Table 3) equals to 0.7 this material is elastically anisotropic. In this section of the study, the Debye temperature is calculated.

The Debye temperature gives information about the energies of the high frequency modes and the thermal conductivity of a material. Our calculated Debye temperature value is 134.35 K. For the temperatures above Debye temperature, the high-frequency modes have the $k_B T$ energy value, under Debye temperature they are frozen. Additionally, from our previous studies and experiences, the materials with Debye temperature values higher than approximately 70 or 80 K have thermal conductivity property [28]. The calculated Debye temperature of RhBiSe compound is very high than that value, so the thermal conductivity of this compound is very high. Therefore, RhBiSe is a very good candidate for many application areas with thermal conductivity.

4. Conclusions

The calculations on physical properties of RhBiSe compound done by Density Functional Theory within the Generalized Gradient Approximation using the ABINIT computer programme. During the investigation of structural features of RhBiSe, the lattice parameter, bonds and bond lengths, unit cell view, volume and total energy values are obtained. The calculated lattice parameter value is consistent with the literature. Focusing on the electronic properties, it is found that the RhBiSe compound is a semiconductor with an indirect transition. The DOS and all PDOS graphs are obtained. Main optic features are calculated and the graphs of them are plotted. It is seen that, optical properties of RhBiSe are very convenient for the optoelectronic applications. In the last part of the study, the elastic features are investigated. In the light of that investigation on elastic features, it was exhibited that, RhBiSe is an mechanically stable, elastically anisotropic and fragile material with high thermal conductivity property. We believe that this study will be very useful to the researchers on the future studies on RhBiSe compound since all the results throughout the study are very consistent with each other.

Appendix A. –Atomic Positions of RhBiSe Crystal.

Table 4. The atomic positions of the atoms in the unit cell of RhBiSe crystal.

	Wyckoff	x	y	z
Bi (1)	1a	0.130137	0.630137	0.869863
Bi (2)	1a	0.630137	0.869863	0.130137
Bi (3)	1a	0.869863	0.130137	0.630137
Bi (4)	1a	0.369863	0.369863	0.369863
Rh (1)	1a	0.485515	0.985515	0.514485
Rh (2)	1a	0.985515	0.514485	0.485515
Rh (3)	1a	0.514485	0.485515	0.985515
Rh (4)	1a	0.014485	0.014485	0.014485
Se (1)	1a	0.879743	0.379743	0.120257
Se (2)	1a	0.379743	0.120257	0.879743
Se (3)	1a	0.120257	0.879743	0.379743
Se (4)	1a	0.620257	0.620257	0.620257

References

- [1] N. N. Rosman, R. M. Yunus, L. J. Minggu, K. Arifin, M. N. I. Salehmin, M. A. Mohamed, and M. B. Kassim, "Photocatalytic properties of two-dimensional graphene and layered transition-metal dichalcogenides based photocatalyst for photoelectrochemical hydrogen generation: An Overview," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, pp. 18925-18945, 2018.
- [2] U. Caliskan, S. Kahraman and T. Koçyiğit, "Multi-Scale Modeling of Graphene/Polymer Nanocomposites-Molecular Interfacial Interactions", *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 124-134, 2021.
- [3] D. Monga, S. Sharma, N. P. Shetti, S. Basu, K. R.Reddy, and T. M. Aminabhavi, "Advances in transition metal dichalcogenide-based two-dimensional nanomaterials," *Materials Today Chemistry*, vol.19, pp. 100399, 2021.
- [4] L. Feng, R. A. B. Villaos, Z. Huang, C. HsiuHsu, and F. Chuang, "Layer-dependent band engineering of Pd dichalcogenides: a first-principles study," *New Journal of Physics*, vol. 22, pp. 053010, 2020.
- [5] F. Hulliger, and E. Mooser, "Semiconductivity in Pyrite, Marcasite and Arsenopyrite Phases," *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 26, pp. 429-433, 1965.
- [6] T. B. E. Grønbech, K. Tolborg, H. Svendsen, J. Overgaard, Yu-Sheng Chen, and B. B. Iversen, "Chemical Bonding in Colossal Thermopower FeSb₂," *Chemistry—A European Journal*, vol. 26, pp. 8651 – 8662, 2020.

- [7] I. Dodony, M. Posfai, and P. R. Buseck, "Structural relationship between pyrite and marcasite," *American Mineralogist*, vol. 81, pp. 119-125, 1996.
- [8] F. Hulliger, and E. Mooser, "The Bond Description of Semiconductors: Polycompounds," *Progress in Solid State Chemistry*, vol. 2, pp. 330-377, 1965.
- [9] L. Liu, D. Wang, S. Lakamsani, W. Huang, C. Price, and H. L. Zhuang¹ "Dimension engineering of single-layer PtN₂ with the Cairo tessellation," *Journal of Applied Physics*, vol.125, pp.204302, 2019.
- [10] R. Sun, M. K. Y. Chan, and G. Ceder, "First-principles electronic structure and relative stability of pyrite and marcasite: Implications for photovoltaic performance," *Physical Review B* vol. 83, pp.235311, 2011.
- [11] M. Pathak, D. Tamang, M. Kandasamy, B. Chakraborty, and C. S. Rout, "A comparative experimental and theoretical investigation on energy storage performance of CoSe₂, NiSe₂ and MnSe₂ nanostructures," *Applied Materials Today* vol.19, pp.100568, 2020.
- [12] M. A. S. Adamson, P. Yox, T. Hernandez, F. Wang, and J. Vela, "Phase Evolution, Polymorphism, and Catalytic Activity of Nickel Dichalcogenide Nanocrystals," *Chemistry of Materials*, vol. 34, pp.746–755, 2022.
- [13] P. C. Sreeparvathy, and V. Kanchana "Giant thermopower in 'p' type OsX₂ (X: S, Se, Te) for a wide temperature range: A first principles study," *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 30, no. 29, pp. 295501, 2018.
- [14] C. Arrouvel, "Surfaces, Interfaces and Crystal Growth of Marcasite FeS₂," *Materials Research*, vol. 24 no. 1 pp. e20200383, 2021.
- [15] I. Mahmudov, Y. Demir, Y. Sert, Y. Abdullayev, A. Sujayev, S. H. Alwasel, and I. Gulcin "Synthesis and inhibition profiles of N-benzyl- and N-allyl aniline derivatives against carbonic anhydrase and acetylcholinesterase – A molecular docking study," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 15, pp. 103645, 2022.
- [16] İ. Çapan, S. Servi, İ. Yıldırım, and Y. Sert, "Synthesis, DFT Study, Molecular Docking and Drug-Likeness Analysis of the New Hydrazine-1-Carbothioamide, Triazole and Thiadiazole Derivatives: Potential Inhibitors of HSP90," *ChemistrySelect*, vol. 6, pp. 5838 –5846, 2021.
- [17] X. Gonze, J. M. Beuken, R. Caracas, F. Detraux, M. Fuchs, G. M. Rignanese, L. Sindie, M. Verstrate, G. Zerah, F. Jollet, M. Torrent, A. Roy, M. Mikami, P. Ghosez, J. Y. Raty, and D. C. Allan, "First-principles computation of material properties: the ABINIT software Project", *Computational Materials Science*, vol.25, pp.478-492, 2002.
- [18] Fuchs, M. and Scheffler, M. "Ab initio pseudopotentials for electronic structure calculations of poly-atomic systems using density-functional theory", *Computer Physics Communications*, 119: 67-98, (1999).
- [19] N. Troullier, and J. L. Martins, "Efficient pseudopotentials for plane-wave calculations," *Physical Review B*, vol. 43, pp. 1993-2006, 1991.
- [20] W. Khon, and L. J. Sham, "Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects", *Physical Review*, vol. 140, pp. A1133-A1138, 1965.
- [21] M. C. Payne, M. P. Teter, D. C. Allan, T. A. Arias, and J. D. Joannopoulos, "Iterative minimization techniques for ab initio total-energy calculations: molecular dynamics and conjugate gradients", *Reviews of Modern Physics*, vol. 64, pp.1045-1098, 1992.
- [22] J. P. Perdew, K. Burke, and M. Ernzerhof, "Generalized Gradient Approximation Made Simple," *Physical Review Letters*, vol. 77, pp. 3865-3868, 1996.
- [23] J. H. Monkhorst, and J. D. Pack, "Special points for Brillouin-zone integrations", *Physical Review B*, vol. 13, pp. 5188-5192, 1976.
- [24] A. Jain*, S.P. Ong*, G. Hautier, W. Chen, W.D. Richards, S. Dacek, S. Cholia, D. Gunter, D. Skinner, G. Ceder, K.A. Persson (*=equal contributions), "The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation," *APL Materials*, vol. 1, no.1, pp. 011002, 2013.
- [25] K. Momma, and F. Izumi, "VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data" *Journal of Applied Crystallography*, vol.44, pp.1272-1276, 2011.

- [26] J. F. Nye, "Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices," Oxford University Press, United States, Chapter 8, 1985.
- [27] F. Mouhat, F.X. Coudert, "Necessary and sufficient elastic stability conditions in various crystal systems," *Physical Review B*, vol. 90, pp. 224104, 2014.
- [28] E. Kilit Dogan, and S. Erden Gulebaglan, "A computational estimation on structural, electronic, elastic, optic and dynamic properties of Li_2TlA (A=Sb and Bi): First-principles calculations," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol.138, pp.106302, 2022.

PID Control Medium Size Wind Turbine Control with Integrated Blade Pitch Angle

Murat Lüy^a, Nuri Alper Metin^{b,1}

^a Kırıkkale Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Kırıkkale, 71100, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2378-0009

^b Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Meslek Yüksekokulu, Osmaniye, 80750, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9962-917X

Abstract

Due to the increase in electricity consumption in the world, the tendency to increase resource diversity in the electricity generation section has increased. With the decrease in the reserves of petroleum and derivative products used in traditional energy production systems, energy production has turned to renewable energy sources. Examples of renewable energy sources are the sun, wind turbines, and fuel cells. In order to provide sustainable energy production in wind turbines, the blades and body must be protected. In this study, the blade pitch angle control of the wind turbine is realized with the PID controller and the wind turbine is protected from high speeds. The coefficient control of the PID controller is determined by the PSO (Particle Swarm Optimization) and Ziegler Nichols method. Simulation was carried out in MATLAB/Simulink environment. It has been observed that the PID coefficient parameters optimized with PSO in the pitch angle control process reach the reference power value in a shorter time compared to the PID parameter values calculated with Ziegler Nichols. In addition, it was observed that the oscillation value was less at the reference power reached and the pitch angle increased.

Keywords: “Wind turbines, renewable energy, PID control, pitch angle control.”

1. Giriş

Günümüzde petrol ve türevi ürünlerin kullanımının artmasıyla küresel iklim değişikliği yaşanmaktadır. Dünyada karbon salınımının azaltılması amacıyla rüzgâr, güneş, yakıt pilleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimine ilgi gittikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ilk kurulum maliyetinin yüksekliği ve dayanıklılık açısından sınırlı kullanım alanlarına sahip olmalarına rağmen enerji üretimi açısından uygun maliyetlidir. Rüzgâr gücü, tarımsal faaliyetler, su taşımacılığı ve elektrik üretimi gibi alanlarda gittikçe artan oranlarda kullanılmaktadır. Güç üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliği geleneksel güç üretim kaynaklarına göre düşüktür. Rüzgâr türbinlerinin verimliliğinin artırılması ile daha fazla güç üretilebilecek ve yüksek üretim maliyeti olan güç jeneratörlerine olan ihtiyaç azalacaktır. Böylece tüketilen gücün üretim maliyetlerinin azalmasıyla son kullanıcı maliyetleri de azalacaktır [1-3].

Rüzgâr türbinleri düzenli rüzgârın bulunduğu yerlerde serbestçe kullanılabilir ve herhangi bir ilave maliyete sebep olmazlar. Çok az veya hiç çevre kirliliği içermeyen bir rüzgâr türbini tarafından üretilen güç aynı zamanda depolanabilmektedir. Standart rüzgâr türbininin verimliliği artırılırsa ve yaygınlaştırılırsa, üretilen güç maliyetleri de büyük ölçüde azaltılabilecektir. Üretilen ilk rüzgâr türbinleri çok güvenilir olmamakla birlikte enerji üretiminde de verimli değildiler [1-3].

Enerji üretiminde rüzgâr gücünün sadece yarısı kullanılabilir. Genellikle yavaşlar ve düşük uç hız oranına sahiptirler ancak tork için faydalıdır. Rüzgâr türbinlerinin kullanımı çok eski yıllara dayanmaktadır ve sürekli bir gelişim içerisinde. Bu durumun sonucu olarak yıllar geçtikçe rüzgâr türbinlerindeki kanatların sayısı da azalmıştır. Modern rüzgâr türbinlerinin çoğunda 3-6 kanat bulunurken ilk rüzgâr türbinlerinde ise 4-8 kanat bulunmaktadır. Geçmiş yıllarda rüzgâr türbinleri el ile rüzgâra yönlendirilirken, modern rüzgâr türbinleri otomatik olarak rüzgâr yönünü tespit edip rüzgâr yönüne dönebilmektedir. Rüzgâr türbinlerinin tasarımı ve üretimi için kullanılan malzemeler de yıllar içinde değişiklik göstermiştir [4-6].

Rüzgâr türbinlerinden üretilen elektrik enerjisi temelde rüzgârın hızına bağlıdır. Rüzgâr hızı nominal rüzgâr hızından düşük olduğunda maksimum güç transferi yöntemleri tercih edilirken, rüzgâr hızı nominal değerler arasındaysa hatve açısı kontrolü

¹ Corresponding Author
E-mail Address: alper-metin@hotmail.com

yapılarak rüzgâr türbini çıkışından nominal güç değerine yakın değerler elde edilebilmektedir. Hatve açısı kontrolü, rüzgâr türbinin uzun yıllar boyunca dayanımını ve sürdürülebilir elektrik enerjisi üretimini sağlamak amacıyla yapılır [3-6].

Literatürde yapılan çalışmalar yeni nesil kontrolör içeren yapay zekâ, bulanık mantık, kayma kipli kontrol gibi yöntemler kullanılmaktadır. Önerilen yöntemler çok fazla işlem yükü ve konuyla ilgili uzmanlık gerektirmektedir. Buna ek olarak sistemlerde maliyet artışı oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlar ise geleneksel sistemlerden çok daha iyi olmadığı ancak bir miktar üstünlük sağladığı görülmektedir. Önerdiğimiz yöntem de ise düşük maliyetli, basit yapıda ve geleneksel olarak iyi derecede bilinen bir kontrolcünün optimizasyon yöntemi ile geliştirilmesidir.

Bu çalışmada geleneksel bir yöntem olarak PID kullanılmıştır. PID denetleyiciler sağlam yapısı, basitliği, maliyetinin düşüklüğü ve kullanım kolaylığından dolayı çok tercih edilmektedir. Ancak sistemlerin değişen şartlarından dolayı ilk ayarlanan parametreler yetersiz kalmakta ve sistemlerin çıkış parametrelerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Önerilen çalışmada ilk olarak PID parametreleri geleneksel bir yöntem olan Ziegler Nichols yöntemi ile ayarlanmıştır. Daha sonra çalışma şartlarında oluşacak parametre değişikliklerine uyum sağlaması açısından Parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması ile PID katsayı parametreleri ayarlanmakta ve düşük maliyetli, kararlı, sistem parametrelerinin değişiminden etkilenmeyen bir kontrolör geliştirilerek literatüre katkı sağlanmıştır. Uyarlanabilir PID kontrolör ile güç kontrolü gerçekleştirmek için rüzgâr güç santrallerinin kollektif hatve açısının kontrolü MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ile yapılmıştır. Karşılaştırmalar sistem parametrelerinin ayarlandığı iki yöntem ile gerçekleştirilmiş ve rüzgâr türbininin güç kararlılığının sağlanması için hatve açısı kontrolü gerçekleştirilmiştir.

1.1. Literatür Taraması

Bansal ve arkadaşları, sürekli güç üretimi elde etmek için kanat hatve açısına ve Rüzgâr Türbini (RT) çalışmasındaki diğer uç hızı oranına dayalı mekanik kontrol şemaları sistemi önermişlerdir. Bu nedenle sabit olması gereken torku elde etmek için etkili kontrolörler kullanmak gerekir. Uygun ve etkili kontrol metodolojileri olan Orantılı-İntegral (PI), Yapay Sinir Ağı (YSA) tabanlı kanat hatve açısı, uç hızı oranı kontrolörleri, tork stabilitesi ve tepki süresi ile ilgili performans araştırması için tasarlanmış ve dikkate alınmıştır [7].

El-Okda ve arkadaşları, çalışmalarında Kanat Elemanı Momentum Teorisini (BEMT), küçük yatay eksenli rüzgâr türbinleri (HAWT) tasarlamak ve HAWT'lerin performansını incelemek için kullanmışlardır. Optimum rotor tasarımında BEMT, üç kanatlı ve beş kanatlı HAWT'ler için Schmitz formülleriyle birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada SG6043 kanat profili kullanılmış olup, 6 m/sn'lik düşük rüzgâr hızı kullanılmıştır. Kanat elemanları üzerindeki kıvrım dağılımlarının uzunluğunu ve açısını yinelemeli olarak hesaplamak için bir MATLAB kodu geliştirilmiştir. Kanat elemanı momentum teorisi, bir dizi tasarım dışı rüzgâr hızı için kanat eğimi etkisini incelemek için de kullanılır. Küçük HAWT'ler için kanat eğiminin, tasarım rüzgâr hızından uzak rüzgâr hızları için maksimum sergilenen güç katsayısını iyileştirdiği ve tasarım rüzgâr hızı etrafındaki C_p üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur [8].

Ayadi ve arkadaşları, rüzgâr türbini sisteminin dinamik performanslarını artırmak için bir saha kontrol sistemi tasarlamayı amaçlamışlardır. Rüzgâr türbinleri doğrusal olmayan güçlü kavrama sistemleri olduğundan, kayma kipli kontrolünün iyi bir yaklaşım olduğunu ifade etmişlerdir. İlk başta, türbin üzerinde basit bir kayma kipli denetleyicisi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Daha sonra, titreşim etkisini azaltmak için iyileştirici bir kayma kipli denetleyicisi uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen kontrol yönteminin iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir [9].

Kumar ve arkadaşları rüzgâr türbinindeki kanat hatve açısı kontrolünün, rüzgâr türbininin kararlılığını sağlamak ve sabit bir çıkış torku elde etmek için önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle, doğru ve etkili kontrol teknikleri yardımıyla sabit çıkış torku elde etmek için tasarımlar yapılmıştır. Tork kararlılığı ve tepki süresi açısından kontrol teknikleri uygulanmıştır. Bu kapsamda Oransal-İntegral (PI) ve Bulanık Mantık (FL) tabanlı kanat hatve açısı kontrolü olmak üzere iki kontrol tekniği uygulanarak performansları analiz edilmiştir. Önerilen sistem MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. Kontrol teknikleri küçük ve büyük süreli değişimler, rüzgâr hızının artması ve azalması gibi değişken rüzgâr hızı koşullarında test edilmiştir. Bununla birlikte, her iki kontrol sisteminin performans sonucu yaklaşık olarak aynıdır. Karşılaştırma sonucunda bulanık mantık denetleyicisi kullanılan sistemde, yerleşme süresi açısından PI tabanlı sisteme kıyasla daha iyi performans elde edildiği gözlemlenmiştir [10].

Sreenivas ve arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sektöründe önemli bir rol oynadığını, geleneksel fosil yakıtlı enerji santrallerinin çevreye zarar vermekle birlikte fosil yakıtı dayalı enerji santralleri için kaynak kullanılabilirliğinin hızla azaldığını ifade etmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, gelgit ve biokütledir. Bunlar arasında, rüzgâr potansiyeline sahip dünya yüzeyinin elverişli olması nedeniyle rüzgâr enerjisi santrallerinden elektrik enerjisi üretim oranı hızla artmaktadır. Bununla birlikte, rüzgâr enerjisi santralleri şehirlerden uzakta kurulan karmaşık mekanik yapılara sahiptir. Bu nedenle, rüzgâr santrallerinin enerji verim potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için sürdürülebilir bir izleme tekniği gereklidir. Rüzgâr türbini santrallerinin çıkış gücü, rüzgâr kanadının süpürdüğü alana bağlıdır. Rüzgâr yönü iklim durumuna bağlı olarak sürekli değişmektedir. Bu nedenle, rüzgâr kanatlarının konumunu değiştirmek için rüzgâr yönünü sezme gerekir. Bu araştırma çalışması, rüzgâr türbinlerinin torkunu düşük ve yüksek rüzgâr senaryoları altında kontrol etmek için bir eğim açısı kontrol

tekniki önermektedir. Düşük rüzgâr hızlarında güç kaybının meydana geldiği ve yüksek rüzgâr hızlarında rüzgâr türbini ve jeneratörün zarar gördüğü bilinen bir gerçektir. Birincil olarak, iki ana sürücü dizisi birleştirilmiş kanat hatve açısı modellenmiş ardından kalıcı mıknatıslı senkron jeneratörlü bir rüzgâr türbini modeli geliştirilmiştir. Model, MATLAB kullanılarak benzetim işlemi gerçekleştirilmiştir. Hatve açısı kontrolünün rüzgâr santralının enerji verim potansiyelini artırdığı gözlemlenmiştir [11].

Wang ve arkadaşları, çift beslemeli büyük indüksiyon jeneratörlerinin rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemini tasarlamıştır. Sistem bir rüzgâr türbini, bir dişli kutusu, bir çift beslemeli endüksiyon jeneratörü, bir arka arkaya dönüştürücü ve bir transformatörden oluşmaktadır. TurbSim, NREL firması tarafından doğal rüzgâr hızını dizayn etmek için geliştirilmiş, rüzgâr hızı, rüzgâr kesmesi ve kule gölge efekti vb. türbülansını iyi bir şekilde somutlaştırabilen açık kaynaklı bir pakettir ve rüzgâr hızını modellemek için kullanılmıştır. Rüzgâr türbinini yapısal dinamik karakteristiklerini modellemek için FAST kullanılmıştır. Çift beslemeli rüzgâr türbinlerinde çift beslemeli jeneratörleri, elektrik sistemlerini ve diğer elektrik sistemleri olan dönüştürücü kontrolünü, hatve tahrik sistemlerini ve hatve açısı kontrolünü modellemek için MATLAB / Simulink kullanılmıştır. 1P, 2P ve 4P kanat köklerindeki eğilme momentini azaltmak için PR IPC kontrol stratejisi uygulanmıştır. Benzetim çalışmaları sonuçları, bağımsız kanat açılarının kontrolünün bağımsız olmayan kanat açısı kontrolüne göre daha iyi olduğu ve rüzgâr türbini ünitelerinin hizmet ömrünü uzatmak için etkili bir kontrol yöntemi olduğunu göstermektedir [12].

Sarkar ve arkadaşları, geleneksel olarak yalnızca güç üretimini optimize etmek için kullanılan kanat hatve açısı kontrolörünü, güç üretimini 1P (devir başına bir kez) düzenlemenin yanında aerodinamik yükleri azaltmak için doğrusal-ikinci dereceden (LQ) denetleyiciye entegre bir durumda kullanılmışlardır. Önerilen kontrolör, yüksek kaliteli bir aeroelastik açık deniz rüzgâr türbini modelinde kullanılarak rüzgâr türbini simülatörü FAST tarafından kullanılan temel kontrol cihazı (BC) ile karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçlar, önerilen kontrol cihazının güç üretimini optimize etme ve rüzgâr türbinindeki yükleri azaltmada iyi bir performans elde ettiğini göstermektedir [13].

Elbeji ve arkadaşları, rüzgâr hızı nominal değeri aştığında rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinde sorunlar ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Yaptıkları makale çalışmasının amacı, rüzgâr türbininin mekanik olarak korunması ve kanat hatve açısının yüksek rüzgâr hızında kontrol edilmesidir. PI denetleyici, hatve açısını düzenlemek için geleneksel bir yöntem olarak kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarında, hatve açısı kontrolü sisteminin yüksek rüzgâr hızlarında rüzgâr türbinlerinin korunması için kullanılabilceği gözlemlenmiştir [14].

Rüzgâr türbini hatve açısı kontrolünde yapılan çalışmalar ve kullanılan yöntemlerin özeti Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Literatür taraması özeti.

Yapılan Çalışma	Kullanılan Yöntem
Baransal vd. (2016) [7]	PI kontrol ve yapay sinir ağları
El Okda vd. (2020) [8]	Kanat elemanları teorisi (BEMT)
Ayadi vd. (2015) [9]	Kayan Kipli Denetleyici
Kumar vd. (2015) [10]	Bulanık Mantık ve PI denetleyici
Sreenivas vd. (2021) [11]	Rüzgâr türbini tasarımı ve hatve açısı tasarımı ve kontrol kart tasarımı
Wang vd. (2020) [12]	PR ve IPC kontrolcüsü
Sarkar vd. (2021) [13]	İkinci dereceden LQ denetleyici
Elbeji vd. (2020) [14]	PI kontrolcü

2. Rüzgâr Türbini

Rüzgâr türbinlerinden elde edilen güç oranı, rüzgâr türbinleri kanatları ile rüzgâr arasındaki etkileşime bağlıdır. Bu nedenle, rüzgâr türbinlerinden elde edilen güç rüzgâr hızının değişimine değil, sabit rüzgâr hızına bağlıdır. Eşitlik (1)'de gücün hava yoğunluğuna, rüzgâr hızına ve kanatlarının süpürdüğü alana bağlı olduğu görülmektedir. Literatürde çalışmalar maksimum güç katsayısının %59,26 civarında olduğunu göstermektedir. Güç katsayısı (C_p) olarak ifade edilmiştir. Kanat ucu doğrusal hızları ile rüzgâr hızı arasındaki ilişki uç hızı olarak tanımlanır [11].

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \times C_p(\lambda, \beta) \times \rho \times A \times v_m^3 \quad (1)$$

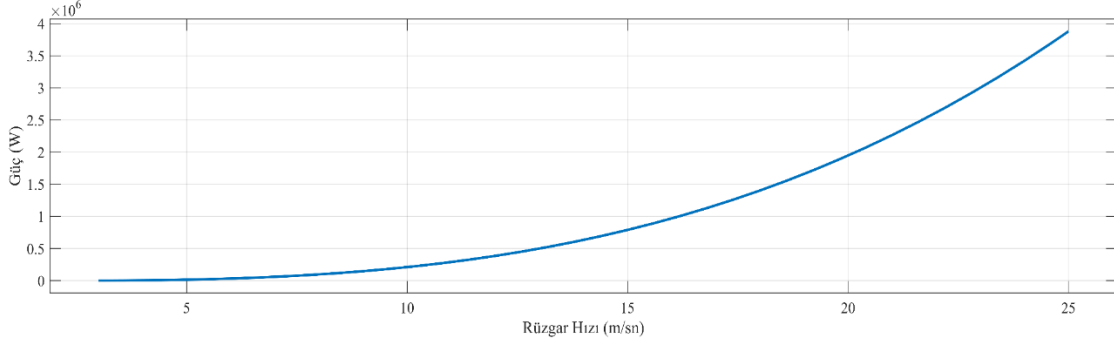
Güç katsayısı Eşitlik (2)'de verilmiştir.

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \times \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \times \beta - C_4 \times \beta^2 - C_5 \right) \times \exp\left(\frac{C_6}{\lambda_i} \right) \quad (2)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \left(\frac{1}{\lambda + 0.08 \times \beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \right) \quad (3)$$

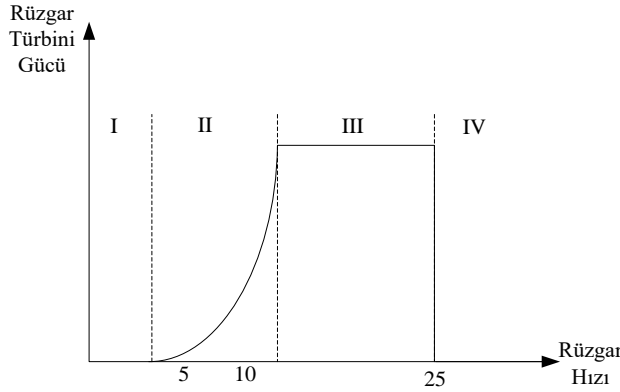
$$\lambda_i = \frac{\omega_R}{V_w} \quad (4)$$

Eşitlik (1-4)'de verilen değişkenler P_{max} , rüzgâr gücü, C_p , rüzgâr türbininin güç katsayısı, ρ , hava yoğunluğu (kg/m³), v_m , rüzgâr hızı (m/s), λ , uç hızı oranı, β , kanat eğim açısı (deg), $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ sabitler, A , türbin kanatlarının süpürdüğü alan ve R , Radius olarak isimlendirilir. Şekil-1'de hatve kontrolü olmadan, rüzgâr türbinin rüzgâr hızına göre güç değişimi verilmiştir [11].



Şekil 1. Kontrolsüz güç-rüzgâr hızı eğrisi.

Rüzgâr hızının değişken olduğu rüzgâr türbinlerinde çıkış gücünde değişiklik gösterir. Değişken rüzgâr hızına göre rüzgâr türbininin dört farklı çalışma bölgesi Şekil-2'de gösterilmiştir. I. çalışma bölgesinde, rüzgâr hızı kesim değerinden daha küçük olduğu için, rüzgâr türbinin çıkış gücü sıfırdır. II. çalışma bölgesinde rüzgâr hızı nominal hız ile kesme hızı arasındadır. III. çalışma bölgesinde rüzgâr hızı nominal çalışma hızındadır. IV. bölgede, rüzgâr hızı nominal rüzgâr hızından yüksektir. Bu bölgede rüzgâr türbini güvenlik ve sürdürülebilir enerji üretimi için durdurulur. III. bölgede, rüzgâr hızı nominal değerdeyken rüzgâr türbininin güç değeri nominal güç değerine ulaşır. Rüzgâr hızı değiştikçe, rüzgâr türbinin çıkış gücü de değişiklik gösterecektir. Bu sebeple, sistemin istenen güç değerine ulaşması ve o değerde tutulması gerekmektedir. Bu durumu sağlayabilmek için kontrol sistemi kanat hatve açısının kontrol edilmesi gereklidir [15-17].



Şekil 2. Rüzgâr türbini çalışma bölgeleri.

2.1. Hareketlendirme Sistemi

Kanat hatve açısı kontrolü, bir rüzgâr türbini rotorunun kanatlarının açısını, gücün üretimini kontrol etmek için rüzgâra veya rüzgâr dışına yönelme olarak tanımlanır. Kanat hatve kontrolü, neredeyse tüm büyük modern yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin bir özelliğidir. Kanat hatve kontrol sisteminin temel işlevi, rüzgâr hızına göre değişen eğim açısını kontrol ederek rotor hızını çalışma sınırları içinde tutmaktır. Bu kontrol işlemini gerçekleştirmek için hareketlendirici sistemler kullanılır. Bu hareketlendirici sistemleri genelde elektriksel olarak doğru akım servo motor tercih edilir. Doğru akım servo motorunun kullanım amacı her kanat için ayrı ayrı tasarlanıp kolay bir şekilde kontrol edilmesidir. Doğru akım servo motorun transfer fonksiyonu Eşitlik (5)'de verilmiştir [18,19].

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \left[\frac{K_m}{s \times (s^2 \times J_{eff} \times L + (L \times f_{eff} + R \times J_{eff}) \times s + R \times J_{eff} + K_m \times K_b)} \right] \quad (5)$$

Verilen denklemde R, armatür direnci, L, armatür indüksiyonu, K_m , DC motor sabiti, K_b , geri gerilim sabiti, V_a , uygulanan armatür voltajı, $\theta(s)$,geri bildirim voltajı, J_{eff} , motorun atalet momenti, f_{eff} , yük ve motorun viskoz sabiti olarak tanımlanır [19].

3. PID Kontrol

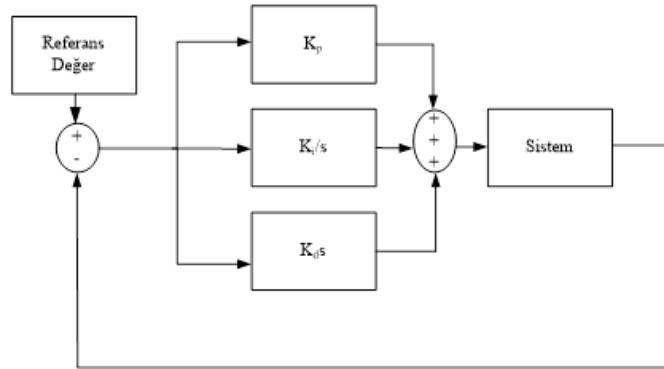
Oransal İntegral Türev (PID) kontrolörleri, ayarlanacak parametre sayısının az olması nedeniyle endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Referans sinyali ile gerçek çıktı arasındaki hatanın oranına (orantılı eylem), hatanın integraline (integral eylem) ve hatanın türevine (türev eylem) göre orantılı kontrol sinyalleri sağlarlar. PID'nin matematiksel denklemi Eşitlik (6)'da verilmiştir [20, 21].

$$U(t) = K_p \times \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (6)$$

Burada $u(t)$ ve $e(t)$ sırasıyla denetim ve hata sinyallerini gösterir, K_p , T_i ve T_d ayarlanacak parametrelerdir. Eşitlik (6)'da belirtilen denklemin transfer fonksiyonu Eşitlik (7)'de verilmiştir [20, 21].

$$K(s) = K_p \times \left[1 + \frac{1}{T_i(s)} + T_d(s) \right] \quad (7)$$

PID kontrol yapısı basit olduğundan, şimdiye kadar endüstride kullanılan en kapsamlı kontrol yöntemlerinden biri olmuştur. PID kontrolcüsünde optimum çalışma noktasını yakalamak ve daha iyi kontrol performansını elde etmek için oransal kazancı (K_p), integral kazancını (K_i) ve diferansiyel kazancı (K_d) ayarlamak gerekmektedir. PID kontrolcüsü sistemi blok diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir [20, 21].



Şekil 3. PID kontrolcü devre şeması.

3.1. Ziegler-Nichols PID Katsayı Ayarlama Yöntemi

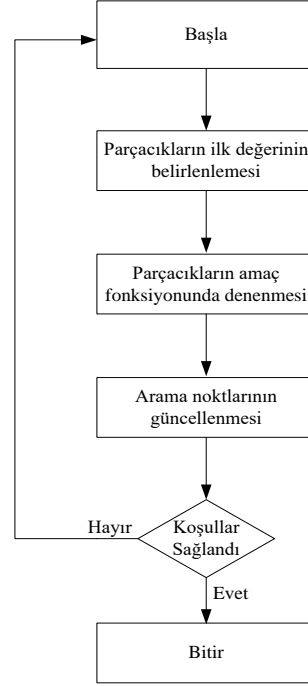
Ziegler ve Nichols tarafından sunulan bu yöntem, bir çarpma testinden elde edilen açık döngü adımı yanıtı şeklindeki işlem bilgilerine dayanmaktadır. Bu yöntem modelleme ve denetime dayalı geleneksel bir yöntem olarak görülür. Ziegler Nichols kontrolcü ayarlama kuralları, kapalı döngü sistemlerinde yük bozukluklarının ve sistemin referans değere göre değişimini optimum bir şekilde ayarlamak için geliştirilmiştir. Sistem modeli fiziksel olarak türetilmezse, yaklaşık modelin parametrelerini ayarlamak için denemeler yapılabilir. Bir sistemin birim basamak yanıtı deneyle ölçülebiliyorsa, gösterilen basit bir yaklaşımla kontrolcü parametreleri k , L ve T parametreleri bulunur. Ziegler-Nichols formülü kontrolcü parametrelerin belirlenmesi Tablo 2'de verilmiştir [20, 21].

Tablo 2. Ziegler Nichols kontrolcü parametresi ayarlama.

Kontrolcü Tipi	K_p	T_i	T_d
P	T/L	-	-
PI	$0.9T/L$	$L/0.3$	-
PID	$1.2T/L$	$2L$	$0.5L$

3.2. PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) ile PID Katsayı Denetimi

PSO algoritması bir problemi yinelemeli olarak optimize etmeye çalışan sezgisel algoritmalarındandır. Bu algoritma, hayvanların birbiriyle olan davranışlarından evrilerek tasarlanan optimizasyon tekniğidir. PSO algoritmasında, arama uzayına dağıtılan parçacıkların boyutunu optimize edecek parametre değeri ve arama uzayında dolaşan parçacıklar tanımlanır. Bu parçacıklar, arama uzayındaki yönelimlerini, aynı kuş sürülerinde olduğu gibi hem kendi uçuş doğrultusunda hem de sürünün uçuş doğrultusunda belirlemektedir. PSO algoritmasının akış şeması Şekil-4'te gösterilmiştir [22, 23].



Şekil 4. PSO akış şeması.

Tekil olarak parçacıkların arama uzayında ulaştığı en iyi konum, o parçacığın lokal en iyi konumu olarak tanımlanır. Bu konum, o parçacığın bir önceki deneyimi olarak ifade edilir. Tüm parçacıkların arama uzayından elde ettikleri en iyi konum, global olarak elde ettiği en iyi konumdur. Bu konum ise oluşturulan sürünün bir önceki deneyimi olarak ifade edilir. Optimizasyon kavramı tekil ve sürü parçacıklarının lokal ve global olarak en iyi konumuna ulaşması temeline dayanmaktadır [24, 25].

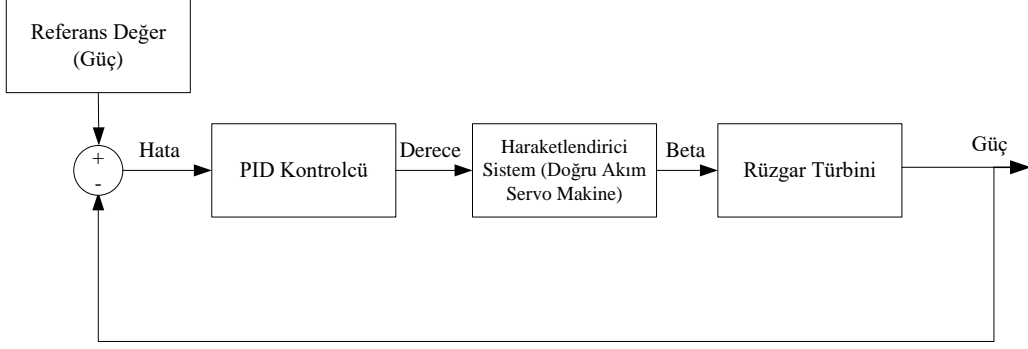
$$V_i^k = w_i \cdot V_i^{k-1} + c_1 \cdot \text{rand}() \cdot (P_{\text{best}_i}^k - X_i^k) + c_2 \cdot \text{rand}() \cdot (G_{\text{best}_i}^k - X_i^k) \quad (8)$$

$$X_i^k = X_i^{k-1} + V_i^k \quad (9)$$

PID kontrolcü tasarımında önemli kriterlerden biri sistemin matematiksel olarak tanımının yapılması gerekliliğidir. Sistemde kararlı hal hatalarını engellemek amacıyla PID denetleyicinin K_p , K_i ve K_d değerlerinin optimize şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

4. Sistem Tasarımı

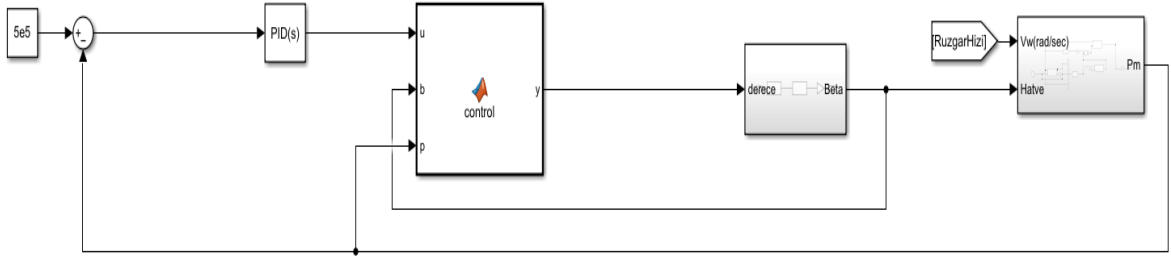
Sistem, rüzgâr türbini, PID kontrolcü ve hareketlendirme sistemi olarak 3 bölümden oluşmaktadır. Sistemde rüzgâr türbininden elde edilen çıkış gücü ile referans değer karşılaştırılarak hata değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu hata değeri PID kontrolcüye verilmiştir. PID kontrolcü çıkışından elde edilen değer, hareketlendirici sisteme iletilerek hatve açısı kontrolcü sağlanmıştır. Sistem tasarım şeması Şekil-5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Sistem tasarım şeması.

4.1. Benzetim Sonuçları

Bu çalışmada sürekli olarak değişen rüzgâr hızına karşı sistemde hatve açısının kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. Sistemde rüzgâr türbini çıkış gücünü istenen referans güç değerine yaklaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Referans güç değerine yaklaştırma işlemi gerçekleştirilirken rüzgâr türbinin hatve açısı kontrolü işlemi gerçekleştirilmiştir. Kontrol işlemi, katsayıları Ziegler Nichols ile hesaplanan ve Pso ile optimize edilen PID ile gerçekleştirilmiştir. MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen sistemin devre şeması Şekil-6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Sistemin MATLAB/Simulink ortamında tasarımı.

MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan rüzgâr türbinine giriş olarak rüzgâr hızı ve hatve açısı verilmiş, çıkış olarak rüzgâr türbininin güç değeri alınmıştır. Tasarlanan rüzgâr türbini özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Tasarlanan rüzgâr türbini özellikleri.

Tasarlanan Rüzgâr Türbini Özellikleri	
Nominal Çıkış Gücü	500 kW
Çalışma Durumu	Şebekeye entegreli
Rüzgâr türbinin çalışması için gerekli minimum rüzgâr hız	3 m/sn
Nominal rüzgâr hızı	12 m/sn
Rüzgâr türbinin çalışması için gerekli maksimum rüzgâr hız	25 m/sn
Rotor yarıçapı	24 m
Süpürme alanı	1810 m ²
Kanat adedi	3
Nominal rotor hızı	30 rpm
Rotor hız bölgesi	10-30 rpm
Dişli kutusu oranı	1:50
Jeneratör sayısı	2
Jeneratör Tipi	Asenkron sincap kafes makine
Jeneratör nominal çıkış gücü	250 kW
Jeneratör nominal devri	1500 rpm
Jeneratör gerilimi	690 V

Ziegler Nichols teoremine göre hesaplanan PID katsayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. PID (Ziegler Nichols) katsayı değerleri.

Kontrolcü Tipi	K_p	K_i	K_d
PID	-1	-0.000001	-0.000001

PSO (Parçacık sürü optimizasyonu) PID katsayı optimizasyonu için tasarım kriterleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5 PSO parametreleri ve değerleri.

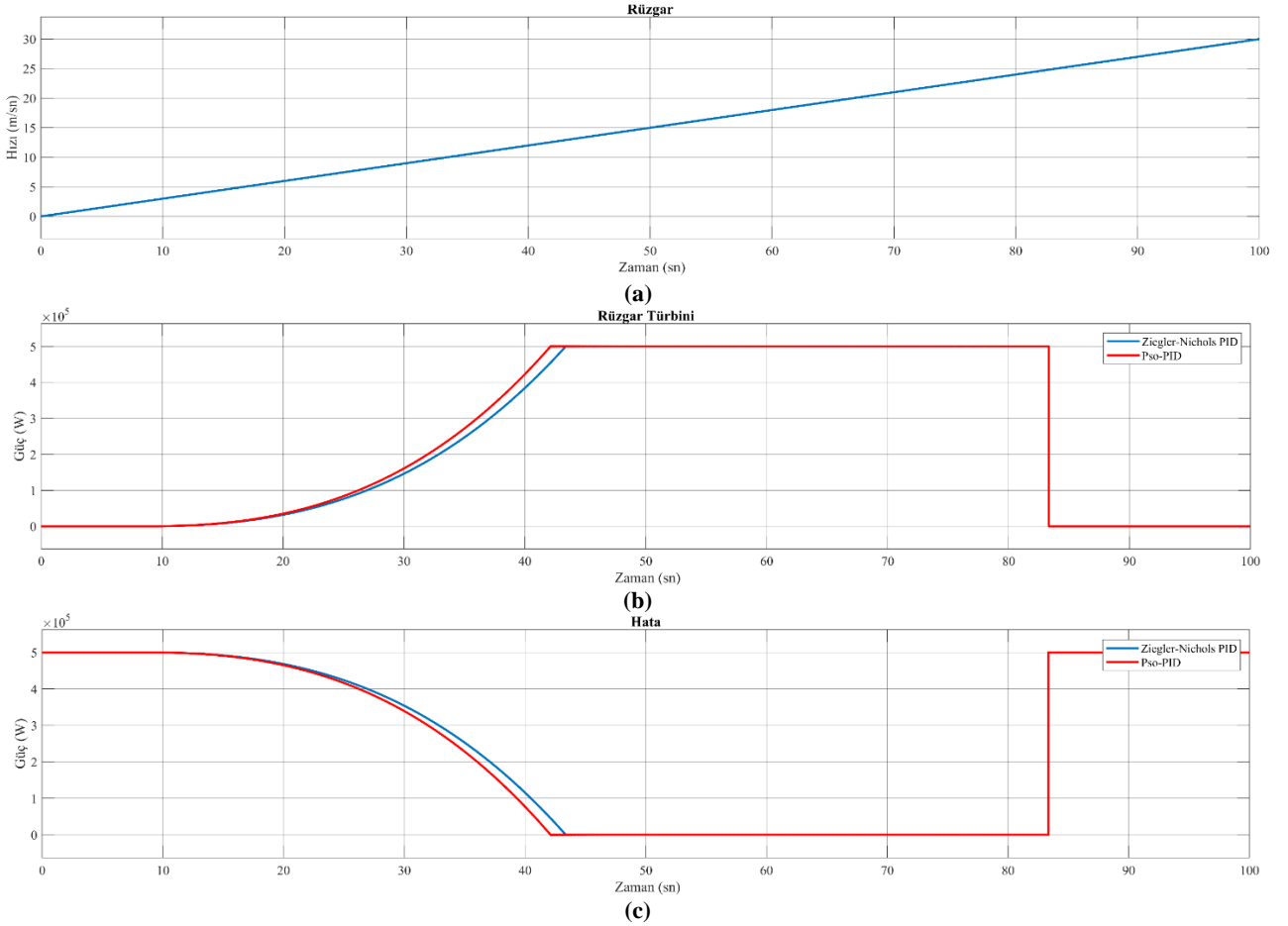
PSO parametreleri	Değerleri
Sürü Sayısı	20
İterasyon Sayısı	100
Maksimum Ağırlık	0.3
Minimum Ağırlık	0.2
c1	1.2
c2	2

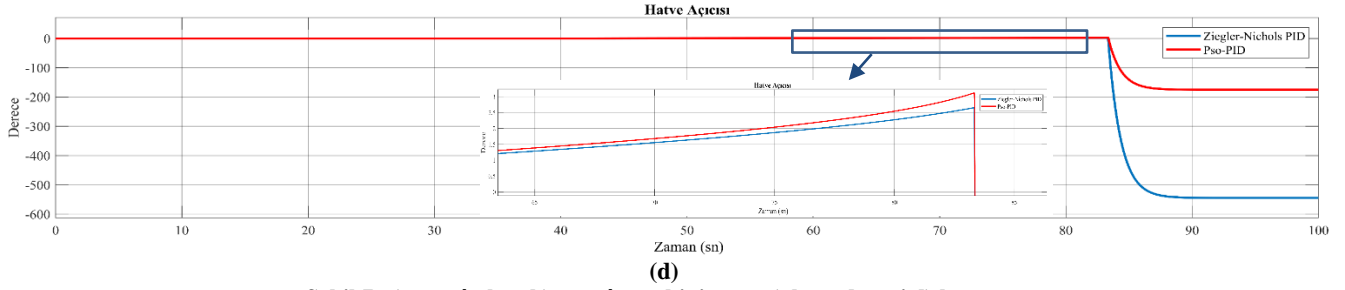
Tasarım kriterlerine göre optimize edilen PID katsayı değerleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6 PID (PSO) katsayı değerleri.

Kontrolcü Tipi	K_p	K_i	K_d
PID	-1.0464	$-1.2897 \cdot 10^{-5}$	$-1.5224 \cdot 10^{-6}$

Benzetim sonuçlarında rüzgâr türbinin çıkışından alınan güç değeri ile referans değeri karşılaştırılmış ve hata değeri üretilmiştir. Üretilen hata değeri PID kontrolcüye iletilerek çıkışından kanadın olması gereken derecesi elde edilmektedir. Elde edilen bu derece hareketlendirici sisteme iletilerek, hareketlendirici sistem çıkışından kanat hatve açısı oluşturulmaktadır. Hatve açısı değişimi ile kanatların rüzgâr alma yüzeyi ayarlanmakta ve rüzgâr türbininin çıkış gücü kontrolü gerçekleştirilmektedir. Rüzgâr hızı, rüzgâr türbini çıkış gücü, hata değeri ve hatve açısı Şekil 7’de gösterilmiştir.





Şekil 7. a) rüzgâr hızı b) rüzgâr türbini gücü c) hata değeri d) hatve açısı.

5. Sonuç

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji alanlarındaki çıkış gücü kontrolünde sıklıkla kullanılan geleneksel PID kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiştir. PID kontrolcünde katsayı değerlerinin ayarlanması, sistem çıkışının referans değere yaklaşmasında önemli bir yere sahiptir. PID katsayılarının belirlenmesinde ilk olarak Ziegler Nichols kullanılarak katsayı parametreleri belirlenmiştir. İkincil olarak PSO ile PID kontrolcünün katsayıları optimize edilmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda rüzgâr türbinin hatve açısı kontrolü yapılmış ve rüzgâr türbininden istenen güç seviyesi elde edilmiştir. Rüzgâr türbini, rüzgâr hızı 3 m/sn düşük olduğu durumda 500 kW altında güç üretmekte ve bu durumda maksimum güç takibi yapılmaktadır. Rüzgâr 3 m/sn ile 25m/sn arasında iken 500 kW seviyesinde güç üretirken, 25 m/sn üzerinde olduğu durumda ise PID denetleyici rüzgâr türbininin zarar görmesini engellemek için türbinin çalışmasını engellemekte ve rüzgâr türbini güç üretmemektedir. Rüzgâr hızı 25 m/sn altında olduğu durumlarda sürdürülebilir güç üretimi sağlanmaktadır. Hatve açısı kontrolü işleminde PSO ile optimize edilen PID katsayı parametreleri, Ziegler Nichols ile hesaplanan PID parametre değerlerine göre referans güç değerine daha kısa sürede eriştiği gözlemlenmiştir. Buna ilaveten ulaşılan referans güçte salınım değerinin daha az olduğu ve hatve açısının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumda PSO ile ayarlanan PID parametreleri Ziegler Nichols ile hesaplanan PID parametrelerine göre düşük maliyetli, kararlı, referans güç değerine hızlı ulaştığı benzetim sonuçlarından elde edilmiştir.

Kaynakça

- [1] J. Taghinezhad, E. Mahmoodi, M. Masdari and R. Alimardani, "Spectral Analyses of an Optimized Ducted Wind Turbine using Hot-Wire Anemometry," 7th Iran Wind Energy Conference (IWEC2021), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/IWEC52400.2021.9467033.
- [2] M. S. Davis, A. Jafarian, F. Ferdowsi and M. R. Madani, "Wind Energy Harvesting Capability of a Novel Cascaded Dual-Rotor Horizontal-Axis Wind Turbine," 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), 2021, pp. 01-05, doi: 10.1109/ICECCME52200.2021.9590963.
- [3] A. Hesami and A. H. Nikseresht, "Performance Enhancements of Savonius Wind Turbine using a Hybrid Augmentation System," 7th Iran Wind Energy Conference (IWEC2021), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IWEC52400.2021.9466964.
- [4] IQBAL, Atif, et al. Efficacious pitch angle control of variable-speed wind turbine using fuzzy based predictive controller. Energy Reports, 2020, 6: 423-427.
- [5] EROL, Halil. Stability analysis of pitch angle control of large wind turbines with fractional order PID controller. Sustainable Energy, Grids and Networks, 2021, 26: 100430.
- [6] HOSSEINI, Ehsan; AGHADAVOODI, Ehsan; RAMÍREZ, Luis M. Fernández. Improving response of wind turbines by pitch angle controller based on gain-scheduled recurrent ANFIS type 2 with passive reinforcement learning. Renewable Energy, 2020, 157: 897-910.
- [7] D. Bansal and K. Pandey, "Blade pitch angle and tip speed ratio control schemes for constant power generation of WECS," 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853498.
- [8] Y. El-Okda, M. S. Emeara, N. Abdelkarim, K. Adref and H. A. Hajjar, "Performance of a Small Horizontal Axis Wind Turbine with Blade Pitching," 2020 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ASET48392.2020.9118196.
- [9] M. Ayadi, F. Ben Salem and N. Derbel, "Sliding mode approach for blade pitch angle control wind turbine using PMSG under DTC," 2015 16th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), 2015, pp. 758-762, doi: 10.1109/STA.2015.7505131.

- [10] H. Kumar, A. Gupta, R. K. Pachauri and Y. K. Chauhan, "PI/FL based blade pitch angle control for wind turbine used in wind energy conversion system," 2015 International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE), 2015, pp. 15-20, doi: 10.1109/RDCAPE.2015.7281362.
- [11] Sreenivas, P., et al. Design and analysis of new pitch angle controller for enhancing the performance of wind turbine coupled with PMSG. *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [12] X. Wang, Z. Jiang, H. Lu, X. Wang, Y. Meng and S. Li, "Independent Pitch Control Strategy and Simulation for Reducing Unbalanced Load of Wind Turbine," 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), 2020, pp. 5535-5539, doi: 10.1109/CCDC49329.2020.9164293.
- [13] S. Sarkar, B. Fitzgerald and B. Basu, "Individual Blade Pitch Control of Floating Offshore Wind Turbines for Load Mitigation and Power Regulation," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 29, no. 1, pp. 305-315, Jan. 2021, doi: 10.1109/TCST.2020.2975148.
- [14] O. Elbeji, M. Hannachi, M. Benhamed and L. Sbita, "Pitch Angle Control of a Wind Turbine Conversion System at High Wind Speed," 2020 17th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 2020, pp. 819-823, doi: 10.1109/SSD49366.2020.9364174.
- [15] Zafer Civelek., Murat Lüy, Ertuğrul Çam., Necaattin Barışçı. "PI Kontrolör ile Rüzgâr Türbininin Hatve Açısının Kontrolü" ISEM2014, 2014, Akademik Platform.
- [16] Zafer Civelek, et al. "A new fuzzy logic proportional controller approach applied to individual pitch angle for wind turbine load mitigation". *Renewable Energy*, 2017, 111: 708-717.
- [17] Murat Lüy, Zafer Civelek; Ertuğrul Çam. "Kalıcı mıknatıslı senkron jeneratörlü rüzgâr türbinlerinde bireysel hatve açısı kontrolü ile çıkış gücü kararlılığı ve mekanik yüklerin azaltılması. " *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, 23.5: 504-511.
- [18] I. Khanam and G. Parmar, "Application of SFS algorithm in control of DC motor and comparative analysis," 2017 4th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics (UPCON), 2017, pp. 256-261, doi: 10.1109/UPCON.2017.8251057.
- [19] Widhiada, W., N. S. Kumara, and T. G. T. Nindhia. "Analysis of control force grasping for a multifunctional five fingered robot to pick-up various of components." *MATEC Web of Conferences*. Vol. 59. EDP Sciences, 2016.
- [20] Yucelen, T., O. Kaymakci, and S. Kurtulan. "Self-tuning PID controller using Ziegler-Nichols method for programmable logic controllers." *IFAC Proceedings volumes* 39.14 (2006): 11-16.
- [21] P. M. Meshram and R. G. Kanojiya, "Tuning of PID controller using Ziegler-Nichols method for speed control of DC motor," *IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM -2012)*, 2012, pp. 117-122.
- [22] Pain, S., & Acharjee, P. 2016. Solution to security constrained LFC system using chaos based exponential PSO algorithm.
- [23] Kılıç, E., & Özdemir, M. T. 2019. Güç sistemlerindeki optimum otomatik gerilim regülasyonu için çoklu amaç fonksiyonunun belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 1-12.
- [24] Furat, M., & Gidemem, G. 2016. PSO ile PID Parametrelerinin Optimizasyonunda Uygunluk Fonksiyonu Seçiminin Tekrarlama Sayısına Etkisi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK*, 29, 298-302.
- [25] Hajisalm, A., & İsmail, H. A. 2014. Hibrit Rüzgâr/FV Enerji Sistemleri İçin PID Denetleyici Parametrelerinin PSO ve GA ile Optimizasyonu Optimization of PID Controller Parameters in Wind. *PV Energy Systems Using PSO and GA Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik-Elektronik*, 27-29.

Transforming of Conventional Type Squirrel Cage Induction Motor to Permanent Magnet Synchronous Motor for Improving Efficiency on Industrial Applications

M. Murat Tezcan ^{a,1}, Aleyna Simge Akyurt ^b

^a Kütahya Dumlupınar University, Electrical and Electronics Engineering Dept. Kütahya, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-5390-4527

^b Kütahya Dumlupınar University, Electrical and Electronics Engineering Dept. Kütahya, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-3647-7786

Abstract

The increasing of world population, forced human beings to produce clean energy, more creative solutions have been developed to use the energy with most efficient way. Researches on this topic still working today. Nowadays, new electrical machines are invented and the currently used ones are being continue to be improved. In industry, if a survey is made according to use of electric motors, it will be seen that, induction motors used in industry average eighty percent. When viewed from the efficiency and energy quality of the interconnected system, increasing efficiency of induction motors will provide advantages for the production, transmission, distribution systems and the network. On the other hand, Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSMs) have not windings on rotor core and much more efficient than induction motors. In this way PMSMs will save the company from spending unnecessary energy. For this reason, in this study, an industrial conventional type squirrel cage induction motor (SCIM) has been converted into a permanent magnet synchronous motor (PMSM) for improve the overall efficiency. For improving the efficiency in design and production, induction motor's stator core will not change. Only squirrel cage rotor core of induction motor will change with PMSM in rotor design production stage. As a result of this conversion, various electromechanical parameters have changed and improved. Electromechanical modification process has been provide better energy density and power density for this motor. As a result of the research, the cost of modification process will be amortized in usage. In this way, conventional type induction motor (IM) that dominates the vast majority of the industry is converted into PMSM, it is seen that energy efficiency and energy quality will increase.

Keywords: "Squirrel cage induction motor, permanent magnet synchronous motor, energy efficiency, energy quality, industrial design."

1. Introduction

Compared to SCIMs and PMSMs in terms of efficiency, energy and power density, PMSMs have higher energy and power density than SCIMs. *Considering the energy efficiency in the industry, in order to increase energy quality and efficiency, SCIMs use in industry need to be modified or to produce more efficient motors without changing the production line.* In addition, it is predicted be an important advantage not to change the production line too much and to decrease costs. According to these predictions, a modification process can be made to increase the efficiency of SCIMs used in the industry.

Actually, the most important question should be this. *How to make a physical modification for the production of SCIM?* Regarding the physical modification, the first problem that comes to mind for the motor manufacturer is the process of renewing or reprocessing sheet cutting molds, in which the stator and rotor cores of the motor are produced. Siliceous sheets can be pressed and shaped by the press molds according to the desired slot-pole combination. Depending on the desired motor power and speed, the physical parameters such as the diameter of the stator and rotor, the number of stator slots, the number of rotor slots etc. also change. Every physical change means the change of motor core press production molds and this change is one of the most costly processes for the motor manufacturer.

If the two motor types used in the industry, PMSM works with higher efficiency than SCIM. Owing to this feature, SCIM can be converted to PMSM and the stator core and/or winding set can remain the same. In order not to change the production bands already used for SCIM production, the topology of the motor stator core sheets and stator windings produced must remain the

¹ Corresponding Author
E-mail Address: murat.tezcan@dpu.edu.tr

same. In fact, at this stage, the slot-pole combination of the motor does not change. For example, if the motor is 2-pole or 4-pole, the distributed windings are placed in the slots in the same way and according to the number of poles on the motor, the position of the magnet poles to be placed on the rotor core is determined. Furthermore, it is not necessary to produce the short circuit bars in the rotor core of conventional type SCIM and thus, the cost of aluminum casting to the rotor core is eliminated. The only process that needs to be done at this stage is the circular cutting of the rotor sheets and the placement of magnet poles after the rotor core is packaged. Main fact for this implementation that, applying the best practical and simple way to increase the motor torque, output power and efficiency.

Looking at the literature, there are various studies for SCIMs to improve efficiency.

W.Fei,P.C.K.Luk, J.Ma, J.X.Shen and G.Yang wrote an article named “A High-Performance Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motor Amended From a Small Industrial Three-Phase Induction Motor”. In this article, induction motor named IMY90S-4 has small dimensions and this IM has been amended to line start permanent magnet synchronous motor (LSPMSM). LSPMSM has been developed to have high efficiency in steady state and synchronous speed. It is designed with a FEM program that performs 2D analysis. The prototype has been made and the design results were compared with the experimental results. As a result, LSPMSM has proven to have higher efficiency and power factor than IMY90S-4 IM. [1]

E.Mese, M.Ayaz, M.Tezcan, K.Yilmaz and E.Ozdemir wrote an article named “A Permanent Magnet Synchronous Machine with Motor and Generator Functionalities in Single Stator Core”. In this article, the design and analysis of a PMSM with a single stator core, double winding, operating in motor and generator modes were made. This machine was made with FEM and experimental method. Furthermore, comparison was made between the distributed winding and the concentrated winding. The concentrated winding was preferred. Thus, magnetic and electrical isolation was provided. [2]

T.Sebastian wrote an article named “Temperature Effects on Torque Production and Efficiency of PM Motors Using NdFeB Magnets”. In this article, NdFeB magnets motors have been studied on the change of torque and efficiency according to temperature. As a result, high efficiency motor has a positive slope but the low efficiency motor has a negative slope in the torque-temperature curve. [3]

Won-Ho Kim, Ki-Chan Kim, Seung-Joo Kim, Dong-Woo Kang, Sung-Chul Go, Hyung-Woo Lee, Yon-Do Chun and Ju Lee wrote an article named “A Study on the Optimal Rotor Design of LSPM Considering the Starting Torque and Efficiency”. In this article, an optimal rotor design has been made to adjust the starting torque and efficiency of line start permanent magnet motor. In design, equivalent circuit and permanent magnets are designed with FEM program. Taguchi method and weight function were used to evaluate the production tolerance. The characteristics of the optimal model were compared to a conventional IM with the same nominal power. [4]

N.F.Ershad, M.Mirsalim and A.D.Aliabad wrote an article named “Line-start permanent magnet motors: proper design for pole-changing starting method”. In this article, proper design has been made for pole-changing starting method of LSPMSM. In the steady state, to make the power factor and starting torque as perfect as possible, the stator windings were adjusted and optimum rotor resistance was calculated. In design, a 2D analysis FEM program was used and a prototype was created. The results of the tests performed on the prototype were the same as the simulation results. As a result, pole-changing starting method proved to increase the starting torque. [5]

Andrew M.Knight and Catherine I.McClay wrote an article named “The Design of High-Efficiency Line-Start Motors”. In this article, it has been studied on the design of highly efficient and line start motors. In the design, FEM program that used Eddy current analysis was used. As a result of the simulation, PMSM has proven to be up to 50% reduction in losses compared to IM in steady state and full load. [6]

A.D.Aliabad, M.Mirsalim and N.F.Ershad wrote an article named “Line-Start Permanent-Magnet Motors: Significant Improvements in Starting Torque, Synchronization, and Steady-State Performance”. In this article, important improvements in starting torque, synchronization and steady-state performance of LSPMSM were explained. Motors design, a FEM program that used 2D analysis was used. Based on the simulation results, stronger permanent magnets were used in the newly designed motor. In the new design, it has been observed that efficiency and output power capacity of motor has increased significantly compared to the before motor. [7]

M.A. Rahman and A.M.Osheiba wrote an article named “Performance of Large Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors”. In this article, the performance of 25 HP line start PMSM has been examined. SmCoS and NdBF_e were compared as permanent magnets and the motor using NdBF_e, high power factor and over 94% efficiency has been achieved. [8]

M.A. Rahman and A.M.Osheiba wrote an article named “Performance of Large Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors”. In this article, the performance of 25 HP line start PMSM has been examined. SmCoS and NdBF_e were compared as permanent magnets and the motor using NdBF_e, high power factor and over 94% efficiency has been achieved. [9]

Qinfen Lu, Xiaoyan Huang, Yunyue Ye and Youtong Fang wrote an article named “Experiment and analysis of high power line-start PM motor”. This article focused on the design and prototyping of a high power line-start permanent magnet motor (LSPM) for industrial “fans, pumps and compressors. Compared with design, LSPM had higher efficiency, power factor and high overload ability. However, it can not start take into account current limitation, 1000A. As a result, the method of placing PMs in the rotor was found to be unsuitable for low voltage start high power LSPM. [10]

Kazumi Kurihara and M. Azizur Rahman wrote an article named “High-Efficiency Line-Start Interior Permanent-Magnet Synchronous Motors”. In this article, design of a high-efficiency, small, new interior permanent-magnet (IPM) motor using NdFe magnets was made. A prototype was made and time-stepped FEM was used to estimate dynamic and transient performance of prototype. As a result of the study, successful design simulation and experimental results were obtained. The maximum load inertia suitable to the rotor-bar depth explained on simulation results. [11]

Dan Stoia, Mihai Cernat, Adisa A. Jimoh and Dan V. Nicolae wrote an article named “Analytical Design and Analysis of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motors”. In this article, an analytical design method for LSPMSM, according to synchronous steady state and asynchronous starting parameters was given. In this way, it is possible to calculate all synchronous and asynchronous starting parameters. [12]

Amin Mahmoudi, Solmaz Kahourzade, Nasrudin Abd Rahim, Wooi Ping Hew and Mohammad Nasir Uddin wrote an article named “Design, Analysis, and Prototyping of a Novel-Structured Solid-Rotor-Ringed Line-Start Axial-Flux Permanent-Magnet Motor”. In this article, design, analysis and prototyping of a new structured line-start solid-rotor based axial-flux permanent-magnet (AFPM) motor capable of auto starting with solid-rotor rings was given. The design of motor was tested in simulation using FEA software Vector Field Opera 14.0. In prototype, 1 HP LSAFPM synchronous motor was fabricated and has been used to test performance in real time. [13]

Gang Cui, Lifei Liu, Shan Li, Pingxi Yang, Fan Yang, Lin Chen and Jiwei Dong wrote an article named “Optimization Design of High Efficiency Variable Frequency Induction Motor Based on Finite Element Analysis”. In this article, an example of a 55 kW variable frequency induction motor was analyzed. The effect of stator slot type, rotor slot type, winding type on motor loss was given. The prototype was made and the test results shown design was right. [14]

2. Electromagnetic Modelling of Squirrel Cage Induction Motor

SCIM, that planned for modify, physical dimensions were measured in laboratory. Analytical method and finite element analysis (FEM) were used to determine the performance of the SCIM using measured dimensions, nameplate and catalog information. In this study, physical dimensions of the SCIM what shown in Figure 1. stator and rotor core dimensions, stator and rotor diameters, stator and rotor slot dimensions were measured and also electrical parameters (nameplate information shown in Table 1.) were saved for use in the analytical method and design of the SCIM.

Table 1. Nameplate data of modified SCIM.

Number of Phases	3
Frequency	50 Hz
Connection Type	Star
Line to line RMS Voltage	380 V
Output Power	1100 W
Power Factor (PF)	0.77
Speed	1415 rpm
Pole (p)	4
Efficiency (η)	81.4%

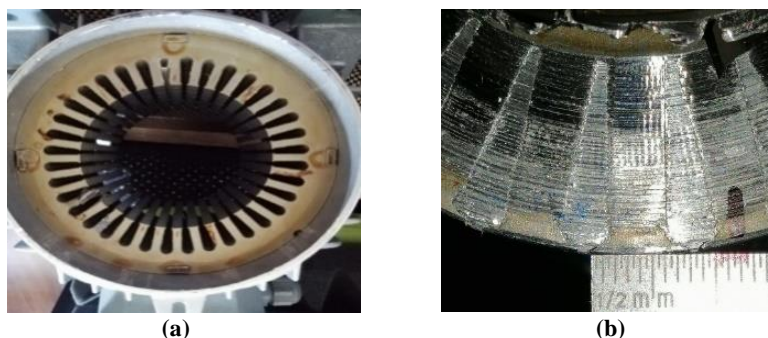


Figure 1. Stator (a) and rotor (b) slot overviews.

2.1. Modeling of Conventional Induction Motor by Basic Analytical Method

To increase efficiency, SCIM has to be modeled analytically with general design formulas. In the apparent power formula of SCIM, K_w , winding factor, \bar{B} , average flux density in air gap, ac, ampere-conductor per m periphery, D, stator inner diameter, L, length of core, n, revolutions per second. Thus, average apparent power value can be calculated [15].

$$S = 1.11 K_w \Pi^2 \bar{B} ac D^2 L n 10^{-3} \text{ kVA} \quad (1)$$

To calculate the flux per pole (2), \bar{B} , average flux density in air gap, Y, pole pitch, L, length of core are used.

$$\phi_m = \bar{B} Y L \quad (2)$$

To find the number of turns per phase (3), E_{ph} , phase voltage, K_w , winding factor, f, frequency, ϕ_m , flux per pole are used.

$$N_{ph} = \frac{E_{ph}}{4.44 K_w f \phi_m} \quad (3)$$

As a result of measurement of physical dimensions and calculations with analytical method, electrical and physical parameters of 1.1 kW SCIM have been obtained. (Table 2.)

Table 2. Electrical and physical parameters of modified SCIM.

Input Power (S)	1.755 kVA
Reference Speed (n)	1500 rpm
Winding Factor (K_w)	0.95
Revolutions per Second (n)	25 rps
Average Flux Density in Air-Gap (\bar{B})	0.45 Wb/m ²
Ampere-Conductor per m Periphery (ac)	25000 At/m
Length of Core (L)	95 mm
Stator Inner Diameter (D)	79.6 mm
Flux per Pole (ϕ_m)	2.675 mWb
Number of Turns per Pole (N_{ph})	410
Conductors per Slot	69

2.2. Dynamic Analysis and Modeling of Induction Motor with Finite Element Analysis

Measurements of SCIM in the laboratory and calculations were made using analytical method. For SCIM design a program that works with finite element analysis which is a numerical method was used.

If the operation of the program is explained simply; All electrical or mechanical parts are modeled in 3D into small pyramids and obtained by meshing. The number of meshes determines the resolution.

For the design of the stator of SCIM, outer diameter is 130 mm, inner diameter is 79.6 mm and length is 95 mm. The stator has 36 slots and conventional steel lamination was chosen for the material of the stator. For the stator core, 250 pieces of laminations were used and the stacking factor was determined as 0.95.

For stator slot structure design, the measured stator slot size parameters were transferred to FEM program.

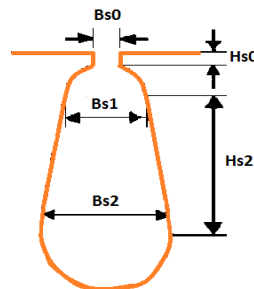
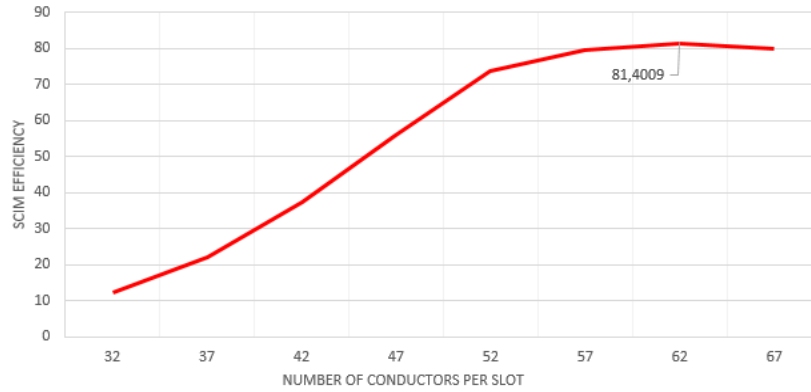


Figure 2. Slot structure of stator core.

Table 3. Stator slot parameters of SCIM.

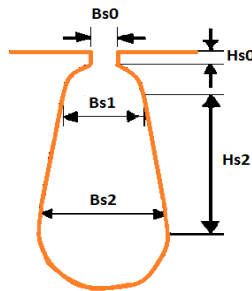
<i>Stator Slot Dimensions</i>	<i>Value</i>
Hs0	0.5 mm
Hs2	7 mm
Bs0	1.5 mm
Bs1	3 mm
Bs2	5 mm

For stator winding design, single layer, single core cable with 62 conductors per slot was used. To find the most efficient value of the number of conductors per slot, the optimetric part of FEM program that makes the step solution is used (the optimetric analysis shown in Figure 3.) and according to this analysis, 62 windings were used instead of 69 windings.

**Figure 3. Variation of the efficiency SCIM by the number of conductors per slot.**

For rotor core design of SCIM, outer diameter is 78.6 mm, inner diameter is 30 mm and length is 95 mm. The rotor has 28 slots and steel_1008 was chosen as material as in the same stator.

For rotor slot structure design, the measured stator slot size parameters were transferred to FEM program.

**Figure 4. Slot structure of rotor.****Table 4. Rotor slot parameters of SCIM.**

<i>Rotor Slot Dimensions</i>	<i>Value</i>
Hs0	0.5 mm
Hs2	7 mm
Bs0	1.5 mm
Bs1	5 mm
Bs2	3 mm

The rotor of SCIM does not have a winding unlike wound rotor induction motor. Instead of the windings, solid squirrel cage usually made of aluminum which is obtained by pouring into molds, is used.

In this study, aluminum was preferred for squirrel cage material. The parameters of the short circuit rings are like this; length is 9 mm, width is 13 mm and distance to the rotor core is 0 mm.

According to analytical and dynamic analysis, results were obtained as a result of the analysis of SCIM. (Shown in Table 5.)

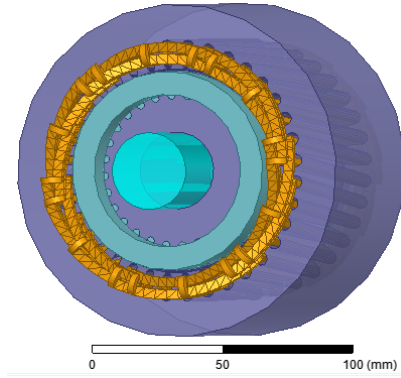


Figure 5. 3D view of SCIM.

Table 5. Performance parameters of SCIM.

<i>SCIM Basic Performance Parameter</i>	<i>Value</i>
Output Power	1100.2 W
Input Power	1351.36 W
Efficiency	81.40 %
Torque	7.35999 Nm

3. Optimetric Analysis and Modeling of Permanent Magnet Synchronous Motor with Finite Element Analysis

Physically measured, analyzed, modeled dynamically with FEM, SCIM was transformed into a permanent magnet synchronous motor. Thus, efficiency was increased.

Furtermore, it is possible to apply this transformation to the industry. Owing to the more efficient operation of the motor, it is foreseen that it will amortize the mechanical modification costs in a short time and is predicted that it will make company profit in time.

The stator of the permanent magnet synchronous motor is designed to be exactly the same dimensions with the previously designed SCIM, except the number of conductors per slot.

For stator design of PMSM, dimensions of SCIM has used. Outer diameter is 130 mm, inner diameter is 79.6 mm and length is 95 mm. The stator has 36 slots and steel_1008 was chosen for the material of the stator core. For the stator core package, 250 pieces of steel 1008 lamination were used and the stacking factor was determined as 0.95. For stator slots, PMSM was modeled exactly the same with the previously designed SCIM. For designing the stator winding , a single layer winding structure with 34 conductors per slot was used. For achieving the most efficient value of the number of conductors per slot, the optimetric analysis part of the program has used. It is a numerical method and according to this, 34 turns per slot were used instead of 62 turns that used for SCIM (Figure 6.). It has used to obtain more efficiency and reduce copper losses as much as possible. Main fact for this implementation that, applying the best practical and simple way to increase the motor torque, output power and efficiency.

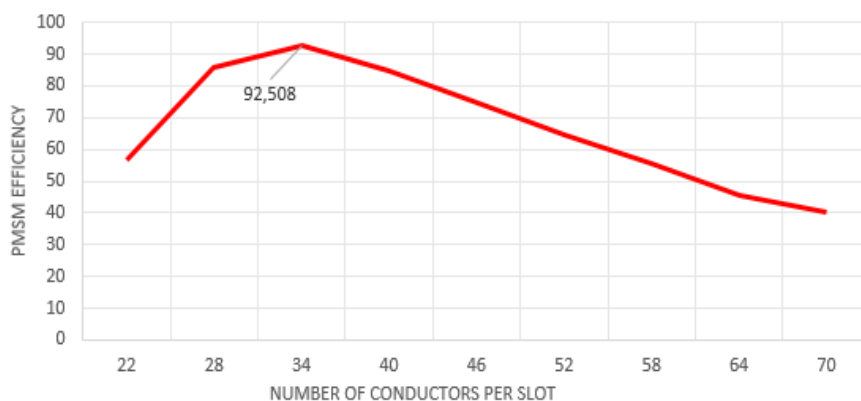


Figure 6. Variation of the efficiency of PMSM by the number of conductors per slot.

For rotor core of PMSM, following dimensions were chosen. Accordingly, outer diameter is 75.85 mm, inner diameter is 30 mm and length is 95 mm. The rotor has designed surface PM structure and steel_1008 has chosen for lamination material. NdFe35 is used as magnet material.

In order to find the most efficient value of magnet thickness, the optimetric part of the program was used and the optimum magnet thickness was determined as 2.75 mm. (Shown in Figure 7.)

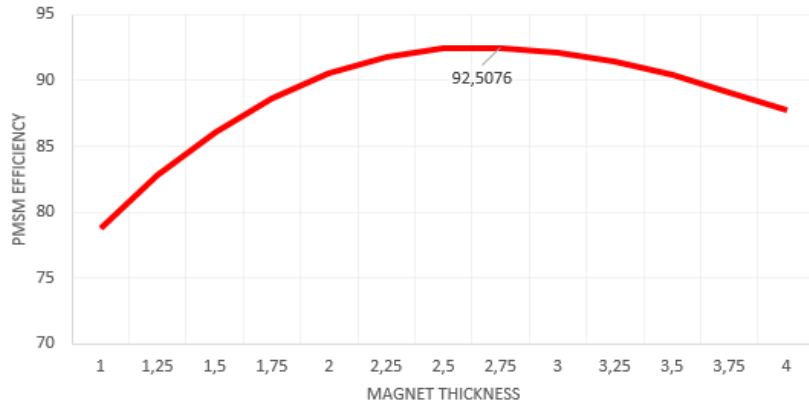


Figure 7. Variation of the efficiency of PMSM by magnet thickness.

According to analytical and dynamic analysis, results were shown in Table 6.

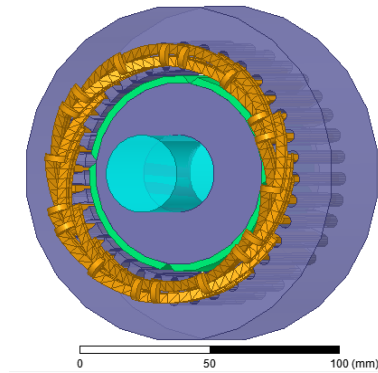


Figure 8. 3D view of PMSM.

Table 6. Performance parameters of PMSM.

<i>PMSM Basic Performance Parameter</i>	<i>Value</i>
Output Power	1101.18 W
Input Power	1190.37 W
Efficiency	92.50 %
Torque	7.43146 Nm

4. Conclusions

In this study, the conversion of 1.1 kW SCIM to PMSM in order to achieve a more efficient motor was examined. SCIM, that planned to modify, physical dimensions were measured in laboratory and analytical modelling of SCIM has been made. For designing, SCIM has been analyzed using 3D and optimetric FEM program. During the analysis, various optimizations like stator turn number analysis has been made to reach nameplate informations. After the modelling of SCIM, providing the stator dimensions remain the same, PMSM design has been made by adding permanent magnets to the rotor surface. Furthermore, various optimizations like magnet thickness and one slot turn number have been made to achieve a more efficient motor performance. According to the optimizations, During this conversion, the structural properties of the stator have not been changed because motor manufacturers do not want to change the producing lines.

In both motor designs, efficiency, torque and power factor, which are the most important parameters for the motor, were examined and as a result of this examination, it has been proved that PMSM has higher values than SCIM. For obtain 1100 W output power in SCIM, 1351.36 W input power must be given but for get the same output power, only 1190.37 W input power is enough in PMSM. A comparison table has been given below (Table 7.) for a practical understanding of these improvements.

Research results show that the energy efficiency and energy quality of SCIM, which was converted to SCIM, have increased. In the long term, the company which has too many motor, if convert to their SCIM to PMSM, it will not waste energy.

Table 7. Comparison between SCIM and PMSM performances and improvement values.

<i>Motor Performance Parameter</i>	<i>SCIM</i>	<i>PMSM</i>	<i>Improvement</i>
Output Power	1100.2 W	1101.18 W	1.16W
Input Power	1351.36 W	1190.37 W	160.99W
Efficiency	81.40 %	92.50 %	11.10 %
Torque	7.35999 Nm	7.43146 Nm	0.08Nm

A futurework will be applied to this study about restorations and improvements on different motor models and control techniques. Similar studies can help the improvements on efficiency, power and torque densities of various motors. However, energy quality of industry increase with usage of these kind of transformations.

References

- [1] W. Fei, P.C.K. Luk, J.Ma , J.X.Shen and G.Yang "A high-performance line-start permanent magnet synchronous motor amended from a small industrial three-phase induction motor." *IEEE Transactions on Magnetics* 45.10 (2009): 4724-4727.
- [2] E. Mese, M. Ayaz, M. Tezcan, K. Yilmaz and E. Ozdemir "A permanent magnet synchronous machine with motor and generator functionalities in single stator core." *Compumag 2013* (2013).
- [3] T. Sebastian "Temperature effects on torque production and efficiency of PM motors using NdFeB magnets." *IEEE Transactions on Industry Applications* 31.2 (1995): 353-357.
- [4] Won-Ho Kim, Ki-Chan Kim, Seung-Joo Kim, Dong-Woo Kang, Sung-Chul Go, Hyung-Woo Lee, Yon-Do Chun and Ju Lee "A study on the optimal rotor design of LSPM considering the starting torque and efficiency." *IEEE transactions on magnetics* 45.3 (2009): 1808-1811.
- [5] Nima Farrokhzad Ershad, Mojtaba Mirsalim and Aliakbar Damaki Aliabad. "Line-start permanent magnet motors: proper design for pole-changing starting method." *IET Electric Power Applications* 7.6 (2013): 470-476.
- [6] Andrew M. Knight and Catherine I. McClay "The design of high-efficiency line-start motors." *IEEE Transactions on Industry Applications* 36.6 (2000): 1555-1562.
- [7] A.D.Aliabad, M.Mirsalim and N.F.Ershad Aliabad, "Line-start permanent-magnet motors: Significant improvements in starting torque, synchronization, and steady-state performance." *IEEE Transactions on Magnetics* 46.12 (2010): 4066-4072.
- [8] M.A. Rahman and A.M.Osheiba "Performance of large line-start permanent magnet synchronous motors." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 5.1 (1990): 211-217.
- [9] M.A. Rahman and A.M.Osheiba "Performance of large line-start permanent magnet synchronous motors." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 5.1 (1990): 211-217.
- [10] Lu, Qinfen, et al. "Experiment and analysis of high power line-start PM motor." *Przeegląd Elektrotechniczny* 2 (2012).
- [11] Kurihara, Kazumi, and M. Azizur Rahman. "High-efficiency line-start interior permanent-magnet synchronous motors." *IEEE Transactions on Industry Applications* 40.3 (2004): 789-796.
- [12] Stoia, Dan, et al. "Analytical design and analysis of line-start permanent magnet synchronous motors." *AFRICON 2009*. IEEE, 2009.
- [13] Mahmoudi, Amin, et al. "Design, analysis, and prototyping of a novel-structured solid-rotor-ringed line-start axial-flux permanent-magnet motor." *IEEE Transactions on industrial electronics* 61.4 (2013): 1722-1734.

- [14] Cui, Gang, et al. "Optimization design of high efficiency variable frequency induction motor based on finite element analysis." 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). IEEE, 2014.
- [15] Deshpande, Murlidhar Vinayak. "Design and Testing of Electrical Machines", PHI Learning Pvt. Ltd., 2010.

Anomaly Diagnosis Using Autoencoder in Edge Computing Systems

Mert Kışlakçı ^{a,1}, Mahmut Durgun ^b

^a Tokat Gaziosmanpaşa University, Graduate Education Institute, Mechatronics Engineering Department, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-8506-7498

^b Tokat Gaziosmanpaşa University, Graduate Education Institute, Mechatronics Engineering Department, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-5010-687X

Abstract

IoT systems operate in a traditional cloud-connected architecture. The data generated on IoT devices is transferred to the cloud, stored there, and then processed, trying to extract meaningful information. However, in this preferred structure, the disadvantages of being constantly dependent on the cloud are quite high. While transferring each piece of information raw to the cloud increases network traffic, it requires high hardware power to process data only at the cloud layer. UBISOKKAT (Anomaly Diagnosis Using Automatic Encoder in Edge Computing Systems) system has emerged as a solution to the problems mentioned above. The UBISOKKAT system acts as an intermediate layer between IoT systems and cloud systems. Every data generated at IoT points is first sent to the UBISOKKAT system in the middle layer, where it is transmitted to the cloud layer. The machine learning model is then placed in the cloud tier and begins to train itself using the data it receives from the middleware. The outputs of the model whose training process is completed are sent to the UBISOKKAT system and the automatic encoder is run in the middleware software, not in the cloud. The biggest advantage of this is that in real-time systems, data is not sent to the cloud but analyzed at local points, reducing network traffic and reducing latency. At the same time, since not every data is analyzed in the cloud, it is analyzed at local points, reducing the need for the cloud, reducing high costs and increasing the viability of the system. In this study, an automatic encoder model was operated in the last layer and it was seen that the UBISOKKAT system could diagnose anomalies at the extreme points based on the data obtained from the single-phase electric motor.

Keywords: “Edge computing, machine learning, anomaly diagnosis, cloud systems, IoT.”

1. Giriş

Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren Nesnelerin İnterneti (IoT), elektronik cihazların çeşitli sensor ve donanımlarla çevresel durumları algılayabildiği ve aralarında haberleşerek veri üretebilen aygıtlar topluluğudur [1]. Bulut bilişim, sistemin geçmiş verilerinin izlenmesine ve depolanmasına ve uç cihazlara kıyasla daha yüksek bilgi işlem gücü gerektiren karmaşık işlemlerin gerçekleştirilmesine yardımcı olur [2]. Bununla birlikte, merkezi bir IoT veri analizi yaklaşımı, özellikle bu mevcut bulut bilişim çağında en iyi ve en uygun çözüm olmayabilir [3]. Uç sistemler, Endüstri 4.0'ın gelişimini büyük ölçüde destekleyen IIoT uygulamaları için gerçek zamanlı, esnek ve hızlı karar vermeyi sağlayan güçlü hesaplama kaynakları sağlamaktadır [4]. Geleneksel bulut tabanlı Nesnelerin İnterneti (IoT) mimarisi tasarımında, tüm veriler buluta gönderilerek öngörülemez gecikmeler, gizlilik endişeleri ve gerçek zamanlı olmayan özellikleri ortaya çıkarmaktadır. IoT sistemlerinde, ağ uç cihazlarının (ağ geçitleri, düğümler, vb.), anormallik tespiti gibi bazı amaçlar için verileri yeterince işleyecek kadar akıllı hale getirilmesi durumunda, bilgi işleminin daha gerçek zamanlı ve verimli olabileceği sıklıkla bulunur [5]. IoT alanında tahmin, sınıflandırma ve anormallik tespiti için derin öğrenme algoritmalarının uygulanması, teknolojinin durumunu iyileştirmektedir [3]. Arızalardan önce gelebilecek erken anormallikler tespit edilebilir ve aralıklarla önleyici bakım, ani arızaları önleyebilir ve bu IoT cihazlarının bazılarının kullanım ömrünün uzamasına yardımcı olarak operasyonel maliyetlerden tasarruf sağlanmasına yardımcı olmaktadır [6]. Son zamanlarda, elektrikli makinelerin arıza teşhisi konusundaki araştırmaları hararetli bir şekilde hız kazandı. Motorda kullanılan arıza tespit metodları hız, tork, gürültü, titreşim vb. gibi diğer sinyallerin frekans içerikleri ile yapılmaktadır [7].

Baghbanpourasl ve ark. yaptıkları modele dayalı bir makine öğrenimi yöntemi kullanarak tamamen veriye dayalı anormallik algılama çalışmasının erken aşamalarında arıza tespitini amaçlamışlardır. Hatta bağlanan 4 farklı sıcaklık sensöründen elde edilen veriler kullanılarak makine öğrenme modeli eğitilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre veri setindeki tüm arızalı cihazları tespit edebilir ve ölçüm süresini en az %43 oranında azalttığı bulgusuna rastlanmıştır [8].

¹ Corresponding Author
E-mail Address: mertkislakci@gmail.com

mekanik güce toplu güç dönüşümü için uygulanır. Küçük güç dönüşümü için çoğunlukla tek fazlı AC motorlar kullanılır. Tek fazlı AC motorun boyutu neredeyse küçüktür ve ev, ofis, iş kaygıları, fabrikalar vb. alanlarda çeşitli hizmetler sunar [13].



Şekil 2. AC motor.

2.3. Raspberry Pi

Raspberry Pi işletim sistemi Linux olan üzerinde mikroişlemci(ler), bellek, giriş/çıkış (G/Ç) ve işlevsel bir bilgisayar için gereken diğer özelliklere sahip tek bir devre kartı üzerine kurulmuş bilgisayardır [14]. Raspberry Pi 3 B+ kart üzerinde 1.4GHz'de çalışan, 4 çekirdekli 64-bit bir işlemci bulunur. Bu modelde 4.1 olan bluetooth desteği 4.2'ye çıkarılmıştır. Çift-Band 2.4GHz ve 5GHz kablosuz yerel ağ bağlantısına sahiptir. Ağ bağlantılarına önem veren bu model daha hızlı bir internete sahiptir. WI-FI ve PoE gibi konuların üzerinde duran model, PoE desteği ile artık adaptör olmadan Ethernet hattından hem data hem güç bağlantısı yapmaktadır[15].

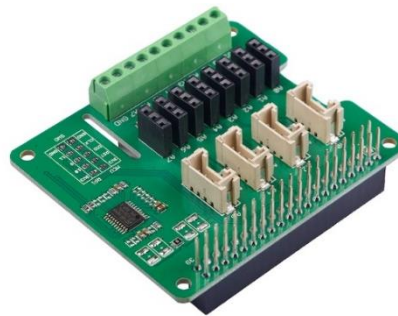


Şekil 3. Raspberry Pi.

2.4. STM32F030

Raspberry Pi bir donanım analogdan dijitale dönüştürücü içermez, bu nedenle harici ADC STM32F030 sürekli değişen analog sinyalleri ayrık zamanlı dijital sinyallere dönüştürmede kullanılır [16].

- Çalışma Besleme Gerilimi 3.3V
- ADC Çözünürlüğü 12 bit
- Maksimum Saat Frekansı 48 MHz



Şekil 4. STM32F030

2.5. Analog Piezoelektrik Seramik Titreşim Sensörü

Titreşim sensörü, piezoelektrik seramik çip analog titreşimine dayanmaktadır. Piezoelektrik seramik, titreşiminin elektrik sinyallerini üreteceği anti-dönüşüm sürecini kullanır. Piezoelektrik seramik çip titreştiğinde, sensörün sinyal terminali elektrik sinyalleri üretir [17].



Şekil 5. Titreşim sensörü.

2.6. Bulut Bilişim

Bulut bilişim, daha hızlı yenilik, esnek kaynaklar ve ölçek ekonomileri sunmak için sunucular, depolama, veritabanları, ağ iletişimi, yazılım, analitik ve zeka dahil olmak üzere bilgi işlem hizmetlerinin İnternet üzerinden sunulmasıdır. Bulut kaynakları İnternet üzerinden, gelen veya giden istek üzerine kullandıkça ödeme fiyatlandırmasıyla sunulmaktadır [18].



Şekil 6. Bulut bilişim.

2.7. Uç Bilişim

Uç (sınır) bilişim mimarisi, verilerin buluttan uzak noktalarında işlendiği veya kullanıldığı her yerde uç bilgi işleme etkin olan tüm bileşenleri (tüm cihazlar, sensörler, sunucular, bulutlar vb.) kapsayan dağıtılmış bir bilgi işlem mimarisidir. Bir sistemin verilerine veya son kullanıcıya en yakın konumda, yani bilginin geldiği veya gittiği yerde yapılan hesaplamayı ifade eder. Kenar mimarisi, gecikmeyi ve gecikmeyi azaltarak işleminin daha hızlı gerçekleşmesini sağlar. Uçta çalışan uygulamalar ve programlar daha hızlı ve verimli çalışarak daha iyi bir kullanıcı deneyimi ve daha iyi genel performans sağlar [19].



Şekil 7. Uç bilişim.

2.8. Makine Öğrenimi Modeli – Otomatik Kodlayıcı Sinir Ağı

Bir otomatik kodlayıcı, birkaç düğüm katmanından oluşur. İlk birkaç katman düğüm boyutunda küçülür (kodlayıcı) ve ikinci katman kümesi düğüm boyutunda artar (kod çözücü). Bir otomatik kodlayıcının arkasındaki temel fikir, giriş katmanında kendisine verileni yeniden oluşturmaya çalışmasıdır. Otomatik kodlayıcının ne kadar iyi performans gösterdiğini, girdi değerleri ile tahmin edilen (çıkış) değerler arasındaki ortalama karesel hatayı (MSE) hesaplayarak ölçülür [20].

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Şekil 8. Otomatik kodlayıcı sinir ağı.

2.9. Colab

Colab, yapay zekâ ve derin öğrenme projeleri üzerinde çalışanlar için etkileşimli, tamamen bulut tabanlı, kullanımı kolay ve ortak çalışmaya dayalı bir programlama ortamıdır [21].



Şekil 9. Colab.

2.10. Keras

Keras, Python ile yazılmış, makine öğrenimi platformu TensorFlow üzerinde çalışan bir derin öğrenme uygulamasıdır. Hızlı denemeyi mümkün kılmaya odaklanılarak geliştirilmiştir. Fikirden sonuca mümkün olduğunca hızlı gidebilmek, iyi araştırma yapmanın anahtarıdır [22].



Şekil 10. Keras.

2.11. Tensorflow

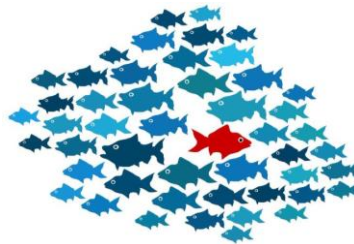
TensorFlow, makine öğrenimini ve sinir ağlarını geliştirmeyi daha hızlı ve daha kolay hale getiren sayısal hesaplama için Python dostu bir açık kaynak kitaplığıdır. Araştırmacıların makine öğrenimi alanındaki en son teknolojiyi kullanmalarına ve geliştiricilerin makine öğrenimi destekli uygulamaları kolayca oluşturup dağıtmalarına olanak tanıyan kapsamlı, esnek bir araç, kitaplık ve topluluk kaynakları ekosistemine sahiptir [23].



Şekil 11. Tensorflow.

2.12. Anomali Teşhisi

Anomali Teşhisi, belirli bir veri kümesindeki aykırı değerleri bulma işlemidir. Aykırı değerler, veri kümesindeki diğer nesnelere arasında öne çıkan ve bir veri kümesindeki normal davranışa uymayan veri nesnelere dir. Anomali algılama, sınıflandırma, regresyon ve kümeleme gibi birden çok veri bilimi görevini birleştiren bir veri bilimi uygulamasıdır. Tahmin edilecek hedef değişken, bir işlemin aykırı değer olup olmadığıdır. Kümeleme görevleri aykırı değerleri bir küme olarak tanımladığından, anomali algılama görevlerinde mesafe tabanlı ve yoğunluk tabanlı kümeleme teknikleri kullanılabilir [24].



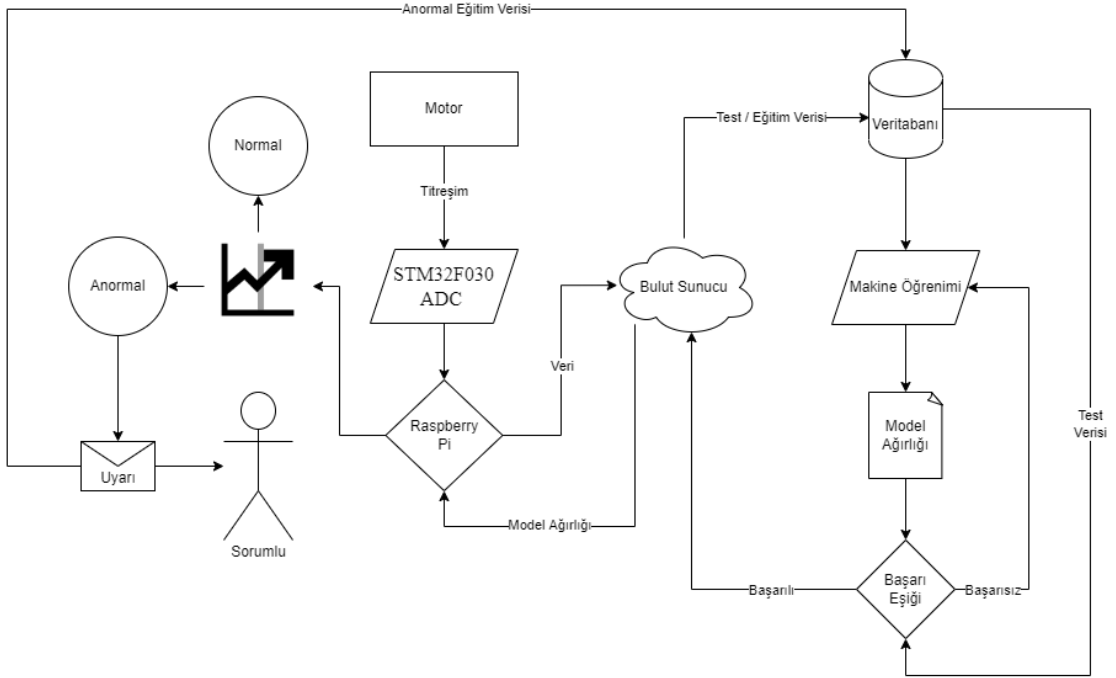
Şekil 12. Anomali teşhisi.

3. Yöntem

Bu kısımda önerilen yaklaşımın çalışma prensibi anlatılacaktır.

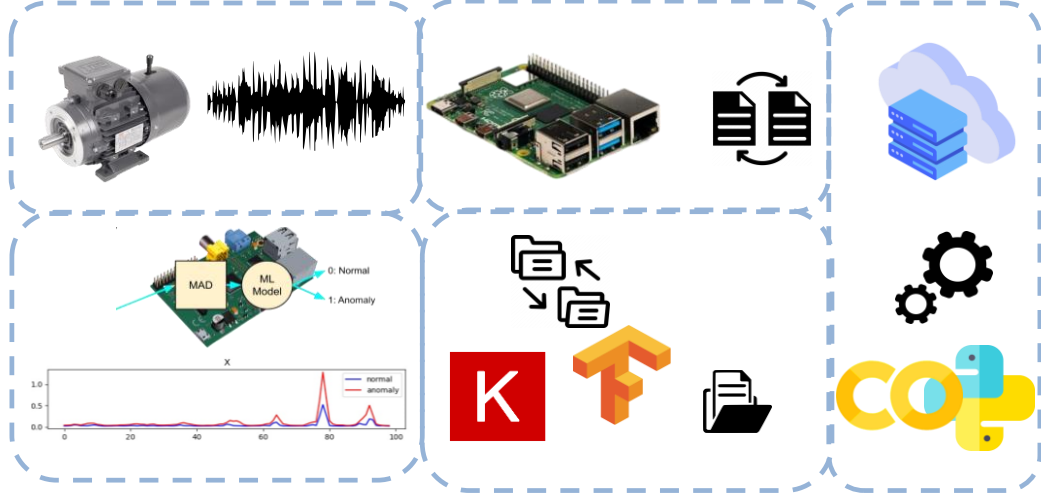
3.1. Sistem Tasarımı

Bu çalışma araştırma sonuçlarına ve mevcut literatürlere atıfta bulunarak, bulut sunucuları kullanılarak gerçekleştirilen anomali teşhis yapılarını değiştirilerek, yenilikçi bir altyapı olan sınır bilişim üniteleri üzerinden gerçek zamanlı meydana gelen anomali teşhisi hedeflenmiştir. Sistemde kullanılan veriseti örnekleri tek fazlı elektrik motoruna sahip bir buzdolabına aittir. Elektrik motorunda arıza tespiti için çok farklı metotlar ve kullanılan yöntemler vardır. İncelenen literatür araştırmalarında motor arızalar için sıklıkla titreşim, akım ve sıcaklık verilerinden faydalanılmıştır. Bundan yola çıkarak bu çalışmada titreşim veri baz alınacaktır. Şekil 13 yer alan iş akış şemasına göre, elektrik motoruna piezo titreşim sensörü bağlanmıştır. Sensörden alınan titreşim sinyalleri STM32F030 ADC entegresi kullanılarak Raspberry pi üzerinden okunması sağlanmıştır. Toplanan veriler zaman serilerine bağlı olup 12 bitlik ADC ile 0-4096 arası örneklendirilmiştir. Uç katman toplanan veriler makine öğrenme modelinin eğitilebilmesi amacıyla Wi-Fi üzerinden bulut katmanına aktarılmıştır. Aktarılan verilerin 20% test kalan %80 ise eğitim verisi olarak veritabanında depolanır istenilen büyüklükte veri kümesi elde edildikten sonra bulut katmanında sağlanan makine öğrenim ortamındaki model çalıştırılmıştır. Geliştirilen otomatik kodlayıcı, birkaç düğüm katmanından oluşmaktadır. İlk birkaç katman düğüm boyutunda küçülür buna kodlayıcı, ikinci katman kümesi düğüm boyutunda artar buna da kod çözücü denir. Bir otomatik kodlayıcının arkasındaki temel fikir, giriş katmanında kendisine verileni yeniden oluşturmaya çalışmasıdır. Otomatik kodlayıcının ne kadar iyi performans gösterdiğini, girdi değerleri ile tahmin edilen çıkış değerleri arasındaki ortalama karesel hata (MSE) ile hesaplanmıştır. Anormallik tespiti için bir otomatik kodlayıcı kullanmak için, otomatik kodlayıcıyı yalnızca normal örnekler üzerinde eğitiriz. Doğru yapılırsa, otomatik kodlayıcının giriş medyan mutlak sapma (MAD) değerleriyle aynı MAD değerlerini yeniden üretmek için gerekli olan ilişkileri ve özellikleri anlayabilmesi gerektiğinden, herhangi bir yeni normal numune için MSE düşük olmalıdır. Ancak, anormal MAD değerleri verilirse, otomatik kodlayıcı aynı değerleri yeniden üretmek için çalıştırılacak ve bu da giriş ve çıkış arasında daha yüksek bir MSE ile sonuç alınacaktır. Otomatik kodlayıcının eğitimi tamamlandıktan sonra modele ait ağırlıklar veritabanında saklanan 20%lik veri seti ile çalıştırılır başarı eşliğini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir.



Şekil 13. İş akış şeması.

Şayet model başarı eşliğini aşamaz ise toplanan yeni veriler ile tekrar model eğitilir. Bu süreç modelin başarı eşliğini aşana kadar kısır bir döngüde devam eder. Model istenilen başarı eşliğini aşarsa modele ait ağırlıklar bulut katmanından uç katmanına iletilir. Aktarılan model uç katmanda bulunan Raspberry Pi üzerinde çalıştırılmaya başlanır bu süreçte modelin bulut katmanına olan ihtiyacı kesilerek sadece uç katmanda çalıştırılması sağlanır. Uç noktalarda çalışan makine öğrenim modeli motordan aldığı titreşim sinyalleri üzerinden sonuç üretir. Sonuç 0 ise motordan gelen titreşim normal olarak kabul edilir fakat motorda meydana gelen herhangi bir arıza sonucunda titreşim sinyali değişir. Bu sinyal uç katmanda algılanır ve sonuç 1 olarak döndürür. Anormal veri algılanırsa sistem bir çıktı üretir ve bunu uyarı olarak kullanıcıyı bildirir. Aynı zamanda oluşan anormal veriler daha sonraki model eğitiminde kullanılmak üzere bulut katmanında bulunan veritabanına aktarılır.

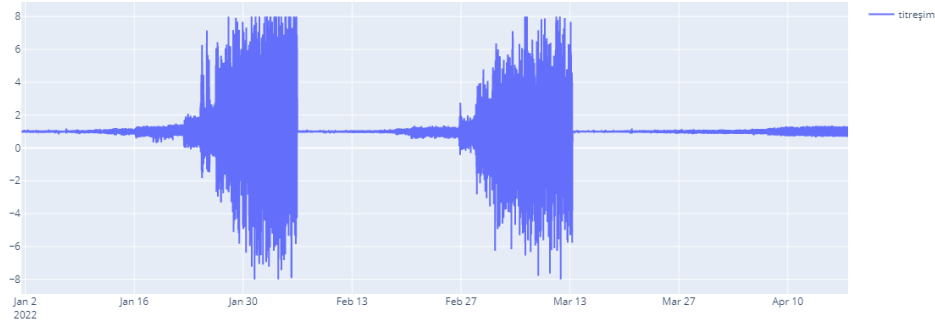


Şekil 14. Sistem tasarımı.

4. Bulgular

Yapılan çalışmada tek fazlı elektrik motorunun titreşim ölçümü tek eksenle yapılmıştır. Zaman serilerine bağlı toplamda 153000 adet örnek toplanmıştır. Toplanan bu örneklerin 20% test (30599 adet), kalan 80% eğitim (122401) verisi olarak ayrılmıştır.

Uç Bilgi İşlem Sistemlerinde Otomatik Kodlayıcı Kullanarak Anomali Teşhisi



Şekil 15. Tek fazlı motora ait titreşim grafiği.

Sensörden elde edilen değerlerin grafikte düzgün görüntülenebilmesi ve modelin iyi yorumlayabilmesi amacıyla 200% sabitiyle oranlama yapılmıştır. Bu oran neticesinde Şekil 15'te yer alan titreşim grafiğe bakıldığında değerler 8 ile -8 arasında olduğu anlaşılmaktadır. İki katmanlı olarak tasarlanan otomatik kodlayıcı totalde 612007 adet parametre ile eğitime başlanmıştır.

```

encoding_dim = 2
model = models.Sequential([
    layers.InputLayer(input_shape=sample_shape),
    layers.Dense(encoding_dim, activation='relu'),
    layers.Dropout(0.2),
    layers.Dense(*sample_shape, activation='relu')
])

model.summary()

Model: "sequential_3"
Layer (type)                Output Shape                Param #
-----
dense_7 (Dense)              (None, 2)                   244804
dropout_4 (Dropout)          (None, 2)                    0
dense_8 (Dense)              (None, 122401)              367203
-----
Total params: 612,007
Trainable params: 612,007
Non-trainable params: 0

```

Şekil 16. Model katmanı.

10 adım şeklinde eğitim başlatılmış olup her bir eğitim dizisinin uzunluğu ise 3825 elemandan oluşmaktadır.

```

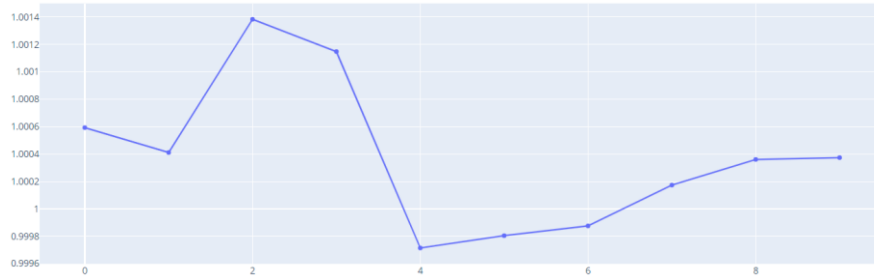
history = model.fit(X_train, y_train, epochs=10, verbose= 1)

Epoch 1/10
3825/3825 [=====] - 286s 74ms/step - loss: 1.0006
Epoch 2/10
3825/3825 [=====] - 281s 73ms/step - loss: 1.0004
Epoch 3/10
3825/3825 [=====] - 281s 74ms/step - loss: 1.0014
Epoch 4/10
3825/3825 [=====] - 288s 75ms/step - loss: 1.0011
Epoch 5/10
3137/3825 [=====>.....] - ETA: 50s - loss: 1.0064

```

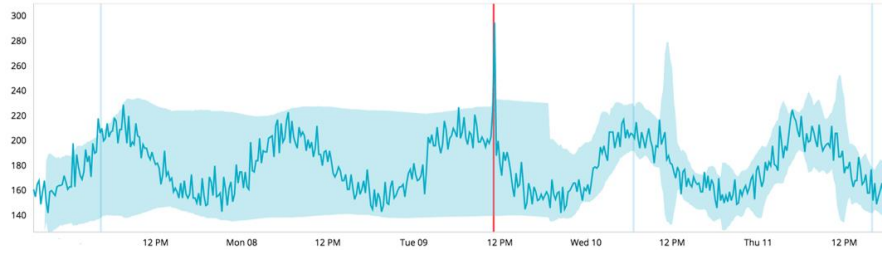
Şekil 17. Model eğitimi.

Modele ait doyunluk grafiği şekil 18’de verilmiştir. Grafik yorumlandığında model doyunluğa ulaşmadığı yani yeterli derecede veriler üzerinden kendini eğitmediği sonucu çıkmaktadır. Modelin istenilen doyunluğa ulaşması için adım sayısı yükseltilmeli ve katman sayısı artırılmalıdır. Katman sayısını arttırmak modelin bir adımda bulundurduğu dizi sayısını kısaltmak anlamına gelmektedir. Böylelikle modelin öğrenme başarısı artış gösterecektir.



Şekil 18. Model doyunluğu.

Model ağırlığı test veri kümesi ile test edilmiştir. Çıkan sonuçlar şekil 19 da yer verilmiştir. Grafik yorumlandığında koyu mavi ile gösterilen çizgiler test verisini içermektedir. Açık mavi ile taratılan alan modelin %15 kadar hata toleransı katmıştır bunun yapılmasındaki neden modelin başarısını yükseltecek bir filtreleme aralığı elde etmektir. Kırmızı çizgi ise titreşim verilerinde algılanan anormallikleri temsil eder. Bakılan aralıkta 12:00’de bir adet anormallik tespit edilmiştir.



Şekil 19. Model sonucu.

5. Tartışma

Elde edilen deneysel veriler ve tasarım sırasında oluşacak muhtemel problemlerin çözümüne ait detaylı raporlama yapılarak akademik ve ticari projelere referans olması amaçlanmaktadır. Uç bilişim yeni bir teknoloji değildir lakin bu konuda Türkiye’deki kaynaklar referans alındığında kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. Bu bağlamda UBISOKKAT çalışması yurtiçinde muadil projelere benzememekte olup yeni araştırmalar yapılmasına öncü olmayı hedeflemektedir. Ayrıca sağlık, eğitim, ulaşım, savunma, endüstri, elektronik gibi alanlarda Ar-Ge bazlı veya ticari asıllı projeler başlatma potansiyeli oldukça fazladır. Nesnelerin İnterneti (IoT) görevlerinin esnasında oluşan donanım ihtiyacı gibi yatırım harcamalarını (CAPEX) ve operasyonel giderleri (OPEX) maliyetini düşürme çabası içindedir.

6. Sonuç

“Uç Bilgi İşlem Sistemlerinde Otomatik Kodlayıcı Kullanarak Anomali Teşhisi” çalışmasının sonuçları gösteriyor ki; Otomatik Kodlayıcılar kullanılarak elektrik motorlarından elde edilen verisetleriyle anormallik tespiti yapmak mümkün hale gelmektedir.

Makine öğrenme modellerinin uç katmanda çalıştırılması bulut sistemleri kullanmanın maliyetini düşürerek, uygun maliyetli arıza tespit sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca sistemin farklı arıza senaryolarında ve motor tiplerinde testleri devam etmektedir. Çalışmaların tamamlanmasından sonra beklenen kazanımlar şunlardır;

- UBISOKKAT (Uç Bilgi İşlem Sistemlerinde Otomatik Kodlayıcı Kullanarak Anomali Teşhisi) sistemi arıza senaryolarına uyarlanabilecek çok yönlü bir proje olma niteliği taşımaktadır.
- Nesnelerin İnterneti (IoT) platformuna dahil edilen sistemler hakkında daha fazla bilgi edinilmesine katkı sunacaktır.
- Nesnelerin İnterneti platformunda çalışan her sistemin verimli çalışabilmesi sağlanırken beklenmeyen arızaların önüne geçilecektir.
- Bulut sistemlerine duyulan ihtiyaçlar azalacak IoT arıza teşhis daha uygun maliyetli tasarlanmasına katkı sağlayacaktır.
- Gerçek zamanlı uygulamalarda arızanın bulut mimarisine oranla daha hızlı tespit edilmesine imkânı sunacaktır.
- Veri kirliliğinin önüne geçilerek sadece işe yarayacak veriler depo edilecektir. Bu sayede büyük veri sorununa da çözüm sunacaktır
- Makine öğrenme modellerinin artık uç sistemlerde çalıştırılabilmesi için teknolojik gelişmelere rehberlik edecektir.

Kaynakça

- [1] Q. Xu, J. Zhang, ve B. Togookhuu, “Support mobile fog computing test in piFogBedII”, *Sensors (Switzerland)*, 2020, doi: 10.3390/s20071900.
- [2] Aydemir, F., “IoT Based Indoor Disinfection Coordinating System Against the New Coronavirus”, *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 4(2),81 - 85. doi: 10.47897/bilmes.751995.
- [3] O. Kayode, D. Gupta, ve A. S. Tosun, “Towards a Distributed Estimator in Smart Home Environment”, *IEEE World Forum Internet Things, WF-IoT 2020 - Symp. Proc.*, Haz. 2020, doi: 10.1109/WF-IOT48130.2020.9221083.
- [4] Y. Liu vd., “Deep Anomaly Detection for Time-Series Data in Industrial IoT: A Communication-Efficient On-Device Federated Learning Approach”, *IEEE Internet Things J.*, c. 8, sayı 8, ss. 6348–6358, Nis. 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3011726.
- [5] D. Utomo ve P. A. Hsiung, “Anomaly Detection at the IoT Edge using Deep Learning”, *2019 IEEE Int. Conf. Consum. Electron. - Taiwan, ICCE-TW 2019, May. 2019*, doi: 10.1109/ICCE-TW46550.2019.8991929.
- [6] O. Kayode ve A. S. Tosun, “LIRUL: A Lightweight LSTM based model for Remaining Useful Life Estimation at the Edge”, *Proc. - Int. Comput. Softw. Appl. Conf.*, c. 2, ss. 177–182, Tem. 2019, doi: 10.1109/COMPSAC.2019.10203.
- [7] S. Nandi, H. A. Toliyat, ve X. Li, “Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors - A review”, *IEEE Trans. Energy Convers.*, c. 20, sayı 4, ss. 719–729, Ara. 2005, doi: 10.1109/TEC.2005.847955.
- [8] A. Baghbanpourasl, D. Kirchberger, ve C. Eitzinger, “Failure prediction through a model-driven machine learning method”, *2021 IEEE Int. Work. Metrol. Ind. 4.0 IoT, MetroInd 4.0 IoT 2021 - Proc.*, ss. 527–531, Haz. 2021, doi: 10.1109/METROIND4.0IOT51437.2021.9488550.
- [9] M. Adkisson, J. C. Kimmell, M. Gupta, ve M. Abdelsalam, “Autoencoder-based Anomaly Detection in Smart Farming Ecosystem”, *Proc. - 2021 IEEE Int. Conf. Big Data, Big Data 2021*, ss. 3390–3399, 2021, doi: 10.1109/BIGDATA52589.2021.9671613.
- [10] Y. H. Park ve M. J. Kim, “Design of Cost-Effective Auto-Encoder for Electric Motor Anomaly Detection in Resource Constrained Edge Device”, *Proc. 3rd IEEE Eurasia Conf. IOT, Commun. Eng. 2021, ECICE 2021*, ss. 241–246, 2021, doi: 10.1109/ECICE52819.2021.9645739.
- [11] L. Njilla, L. Pearlstein, X. W. Wu, A. Lutz, ve S. Ezekiel, “Internet of Things Anomaly Detection using Machine Learning”, *Proc. - Appl. Imag. Pattern Recognit. Work.*, c. 2019-October, Eki. 2019, doi: 10.1109/AIPR47015.2019.9174569.
- [12] “Intelligent Systems with Internet of Things (IoT) Part 1 & 2 & 3 | by Mert Kışlakçı | Medium”. <https://medium.com/@mertkslk/intelligent-systems-with-internet-of-things-iot-part-1-2-3-7353dec3cbf8> (erişim Haz. 12, 2022).
- [13] “What is AC Motor? Definition & Types - Circuit Globe”. <https://circuitglobe.com/ac-motor.html> (erişim Haz. 12, 2022).

- [14] “What is a Raspberry Pi and How Does it Work? | Pi Day”. <https://www.piday.org/whats-a-raspberry-pi-and-how-does-it-work/> (erişim Haz. 11, 2022).
- [15] “Alışverişe Devam Edin”. <https://market.samm.com/raspberry-pi-3-b-plus> (erişim Haz. 11, 2022).
- [16] “8-Channel 12-Bit ADC for Raspberry Pi (STM32F030) - Seeed Studio”. <https://www.seeedstudio.com/8-Channel-12-Bit-ADC-for-Raspberry-Pi-STM32F030.html> (erişim Haz. 12, 2022).
- [17] “Analog Piezoelektrik Seramik Titreşim Sensörü Satın Al | Robotelektronik.com”. <https://www.robotelektronik.com/urun/analog-piezoelektrik-seramik-titresim-sensoru> (erişim Haz. 15, 2022).
- [18] “What is cloud computing? Everything you need to know about the cloud explained | ZDNet”. <https://www.zdnet.com/article/what-is-cloud-computing-everything-you-need-to-know-about-the-cloud/> (erişim Haz. 12, 2022).
- [19] “What is edge architecture?” https://www.redhat.com/en/topics/edge-computing/what-is-edge-architecture?sc_cid=7013a000002pu3zAAA&gclid=CjwKCAjwnZaVBhA6EiwAVVyyv9E3Yr7ZeN8b6zMO9bT_IRpEGCm8UpVe6hmw5oWRnMNvApOyoDOAqUxoCN0YQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds (erişim Haz. 12, 2022).
- [20] “Edge AI Anomali Algılama Bölüm 2 - Özellik Çıkarma ve Model Eğitimi”. <https://www.digikey.com/en/maker/projects/edge-ai-anomaly-detection-part-2-feature-extraction-and-model-training/70927a6e439b49bea7305953a3c9bfff> (erişim Haz. 11, 2022).
- [21] “Google Colab Nedir ve Nasıl Kullanılır? – Global AI Hub”. <https://globalaihub.com/blog/google-colab-nedir-ve-nasil-kullanilir/> (erişim Haz. 12, 2022).
- [22] “About Keras”. <https://keras.io/about/> (erişim Haz. 12, 2022).
- [23] “TensorFlow”. <https://www.tensorflow.org/> (erişim Haz. 12, 2022).
- [24] V. Kotu ve B. Deshpande, “Anomaly Detection”, Data Sci., ss. 447–465, Oca. 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-814761-0.00013-7.

Investigation Of Mechanical Properties Of Nano Boron Nitride Added Aluminum Material Produced By Different Production Method

H. Sercan Çubuk^a, Uğur Çavdar^{b,1}

^a Izmir Demokrasi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering Program, 35580, Izmir, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-6598-351X

^b Izmir Demokrasi University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, 35580, Izmir, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-3434-6670

Abstract

Aluminum is a metal that is frequently used in the industry and stands out with its lightness. The development of Aluminum, which has a good strength/weight ratio as a result of various alloying and production techniques, continues. While this process is being done, different production methods and nanotechnological material contribution draw attention. When the literature was scanned, it was seen that nano Boron Nitride additive made improvements to aluminum in terms of strength, hardness, weight, machinability and cost reduction. In this review, the hardness, yield stress and tensile stress properties of Nano Boron Nitride, which is added to Aluminum with different production methods and different percentages, were investigated.

Keywords: “Aluminum, internal structure, nano boron nitrate, sintering, powder metal.”

1. Giriş

Periyodik cetvelde 3A grubunda yer alan ve 659,8°C’de ergiyen metallere alüminyum (Al) denir. Alüminyum metali için mukavemet, mekanik, iletkenlik, korozyon direnci gibi özellikleri çeşitli alaşımlandırma ve imal teknikleriyle azaltılabilir veya arttırılabilir. Al malzemesi geri dönüşüme açıktır. Hafif ve yeryüzünde en çok kullanılan metallere dendir [1,2].

Ülkemizin %80’inde maden yatakları olan Bor elementinin kullanımıyla ilgili, birçok yerli çalışma mevcuttur. Periyodik tabloda 3A grubu elementlerinin en hafifi olan Bor, temizlik malzemelerinden roket yakıtına, kompozit malzeme katkısından cama kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bor ve bor takviyeli bileşiklerin kullanımını teşvik etmeye dair çalışmalar ülkemizde Bor Araştırma Enstitüsü tarafından yapılmaktadır [3,4].

İçyapısı ‘hegzagonal’ veya ‘kübik’ olarak adlandırılan Bor Nitrür (BN), Bor (B) ve Azot (N) elementlerinin bir araya gelmesinden oluşur. Hegzagonal BN yeryüzündeki grafit ile aynı kristal yapıya sahip olduğu için beyaz grafit olarak adlandırılır. BN, 1300-1450°C arasında reaksiyon verir [5,6]. BN’nin içyapısında zayıf Van der Waals bağları vardır. Yüksek sıcaklıklardaki üretimlerde kullanıma uygundur [7,8]. Nano boyutta takviye elemanı olarak kullanılabilceği ve kompozit malzeme oluşturabileceği bilinmektedir [9].

Çapı 100 µm’den az olan nano malzemelerin; iyi düzeyde optik, elektronik ve mekanik özellikleri bulunmaktadır. Kimyasal bağlayıcı özellikleri, takviye malzemesinde mekanik ve mukavemet artışları sağlayabilmektedir [10,11]. Nano Bor Karbür (NBK); malzeme üzerinde mukavemet artışı sağladığı için, nano BN ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır [6]. Yarı iletken bu malzemenin oksidasyona karşı iyi bir direnci vardır. Biyomedikal alanlarda da bahsi geçen yapı sıklıkla kullanılmaktadır [6,12-16].

Otomotiv endüstrisinden sağlık alanına kadar nano BN kompozitlerin kullanımı artmaktadır. Örnek olarak fren diskleri, hafif gövde tasarımları, metal elektrik çubukları, nano biyokompozit yapı iskeleti verilebilmektedir. Bu malzemeler imal edilirken; homojen içyapı, düşük maliyet, oksidasyon direnci ve mukavemet artışı kavramları dikkate alınır [11,17-24]. Ayrıca eşanjör, kondenser ve radyatör gibi ısı değiştiricilerinin fin ve peteklerinde güçlü ve kararlı ısı iletimi için nano BN’nin kullanıldığı görülmektedir [25-27].

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ugur.cavdar@idu.edu.tr

Geçmiş yıllardaki araştırmalarda NBK takviyeli alüminyumun mukavemet özelliklerinin arttığı görülmektedir [28]. NBK, yüksek sıcaklıklarda zayıf oksidasyon direnci verir [29-31]. Nano BN'ın yapısı NBK'ya göre daha esnek. Yüksek sıcaklıklarda (900°C) üretilebilmesi [32], işlenebilmesi ve oksidasyona olan direnciyle bilinmektedir. Nano BN'ı oluşturan altıgen içyapı; seramik, polimer ve metaller üzerinde bağlayıcı etki oluşturmaktadır. Bu özellikler alüminyum nano BN ile güçlendirmek için önemli bir malzeme yapmaktadır [33]. Ayrıca nano BN takviyeli metal matrisli kompozitler; kıvılcım plazma sinterleme, sıcak haddeleme ve döküm gibi yüksek sıcaklık teknikleri kullanılarak üretilebilmektedir [34-38]. Nano BN incelendiğinde, hegzagonal BN'ın (h-BN) içyapısı [39] görülebilir. İçerisindeki fiziksel özellikleri ve kimyasal kararlılığa sahip olan bir III-V grubu bileşimidir. Yüksek sıcaklıklardaki ısı şok direnci, iletkenliği, işlenebilirlik ve yağlayıcılık özellikleri bulunmaktadır [39]. Bu durum çok geniş alanda yığın ve toz ürün olarak kullanılmasını sağlamaktadır [40,41]. İyi seviyede ısı, mekanik ve elektriksel özelliklerinden dolayı kompozit malzeme yapımı için kuvvetli adaylardan biri haline gelmektedir. Yapay bir malzeme olan nano BN'ın pek çok sektörde kullanımını artmaktadır [42]. Yüksek sıcaklıklarda dayanıklı nano BN üretimi için, Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (Chemical Vapour Deposition: CVD) olarak bilinen kimyasal işlem uygulanmaktadır. Kimyasal ve fiziksel özellikleri sayesinde sanayi, inşaat ve uçak malzemeleri yapılabilmektedir. Daha hafif ve ısıya daha dayanıklı sert malzemelerin yansira, çok ağır makine malzemeleri de üretilen malzemeler arasındadır [43,44].

Bu çalışmada saf Al tozlarına ilave edilen farklı oranlardaki nano BN katkısının malzeme üzerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca Al-nano BN'ın mekanik özellikleri klasik sinterleme, yüksek basınç metodu, soğuk haddeleme-tavlama-sıcak pres ve kıvılcım plazma sinterleme gibi farklı üretim yollarıyla kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada 12 farklı deney düzeneği incelenmiş, yüzdece eklenen nano BN'ın, Saf alüminyum içerikli tozlara etkilerine bakılmıştır. İncelenen makalelerde bulunan özellikler Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. Nano BN takviyeli alüminyumun genel etkileri

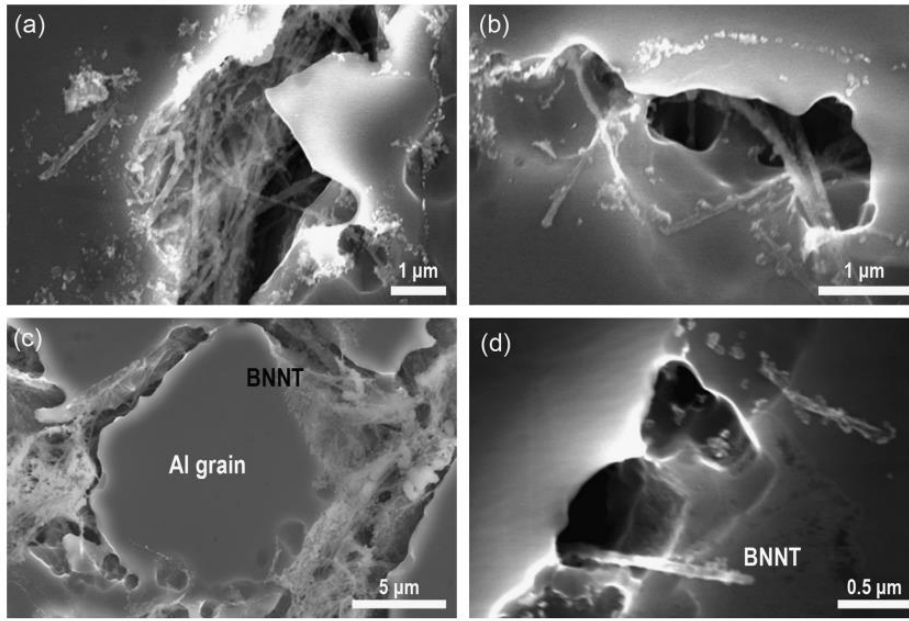
Parametreler Deney Num.	Hazırlık Yöntemi ve Sıcaklık	Nano BN Miktar (Ağırlıkça)	Al Matris Alaşım	Sonuçlar	Ref.
1	Yüksek basınç metodu 550°C	%3 h-BN	Saf Al	%150 gerilme mukavemeti artışı	[32]
2	Kıvılcım plazma sinterleme 550°C	%3 h-BN	Saf Al	Ortalama %20'lik sertlik azalışı	[32]
3	Kıvılcım plazma sinterleme 550°C	%1 h-BN	Saf Al	Saf Al ile kıyaslandığında değişim gözlenmemiştir.	[32]
4	Kıvılcım plazma sinterleme 650°C	%5 h-BN	Saf Al	Analizde, AlN'nin, AlB ₂ 'ye göre 1,55 kat fazla hacim artışı	[50]
5	Sıcak presleme + Haddeleme, tavlama 300°C	%0,045 Bor Nitrüt Nanotüpleri	Saf Al	Elastite modülünde %17'lik artış	[34]
6	Sıcak presleme + Haddeleme, tavlama 300°C	%0,022 Bor Nitrüt Nanotüpleri	Saf Al	Elastite modülünde %9,1'lik artış	[34]
7	Kıvılcım plazma sinterleme + Yüksek enerjili bilyalı frezeleme 500°C	%0,5 h-BN	Saf Al	%124 çekme mukavemeti artışı	[51]
8	Kıvılcım plazma sinterleme + Yüksek enerjili bilyalı frezeleme 500°C	%10 h-BN	Saf Al	Mukavemet artışından sonra yaklaşık %34,5 çekme mukavemeti azalışı	[51]
9	Klasik sinterleme 1750°C	%10 h-BN	Molarite Ağırlığı %90	%100 sertlik artışı	[46]
10	Kıvılcım plazma sinterleme 500°C	%5 h-BN	Haddelenmiş Saf Al	%59 sertlik artışı	[52]
11	Kıvılcım Plazma sinterleme 500°C	%5 h-BN	Saf Al	Saf Al'a göre %54 basınç dayanımı artışı	[52]
12	Kıvılcım plazma sinterleme + Soğuk haddeleme 575°C	%2 h-BN	Saf Al	%400 çekme mukavemeti artışı	[33]

Klasik sinterleme toz parçaların yüksek sıcaklıkta birbiriyle bağlanmasını sağlamaktadır. Ergime, katı hal atom hareketiyle oluşur. Mikro yapıda tozlar arasında 'boyun' adı verilen bağlantılar oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıkta atomlar yayılır ve yüzey enerjisi giderilir [45]. Benko ve ark yaptıkları çalışmada [46], klasik sinterleme metodunu kullanmıştır. 3-5 µm boyutundaki

Al'u, etil alkol içerisinde mekanik olarak karıştırmışlardır. Daha sonra 6 mm çapında kalıplara koyarak preslemişlerdir. 1750°C sıcaklıkta işlem gerçekleştirilmiştir. BN-Al oranı 1:9'dir. İşlem sonrası hem BN'de hem de Al'da yapısal kusurlar görülmüştür. BN yüzeyinde, ince kristal yapılar gözlenmiştir. Al-BN ara yüzünün çekirdeklendiğini ve metal alana doğru bir büyüme yaptığı gözlemlenmiştir. Numunelerin sertliklerinde yapılan ısıl işlem sonrası farklılıklar mevcuttur. Sertlik 10 MPa'dan 20MPa'a yükselmiştir. Bu çalışma BN'nin termal çalışmalarına yatkın olduğu görülmektedir. Oluşan yeni fazlarda mekanik artışlar görülmüştür.

Kıvılcım plazma sinterleme (Spark plazma sintering: SPS), metal ve seramik parçaları üretmek için kullanılan hızlı bir sinterleme tekniğidir. Bu teknikte tek eksenli bir kuvvet ve doğru akım (DC) kullanılır. Yoğunlaştırma için gerekli olan yüksek sıcaklık/soğukluk ve tane büyümesi şartları oluşabilir. Bu işlemde takviye elemanın cinsi, fazı ve yüzdesi önemlidir [47,48].

Yüksek basınç metodu (High-pressure torsion: HPT) işlemi, karşılıklı olan iki kalıbın arasına yerleştirilen disk şeklindeki numuneye, presle beraber dönme hareketi uygulanarak, numunenin basınç altında tane boyutunu küçültmeyi amaçlamaktadır [49]. Yamaguchi, M. ve ark yaptıkları çalışmada [32], SPS ve HPT sinterleme teknikleri kullanılarak malzemeleri işlemişlerdir. SPS metodu 550°C'de ve 20 dk süre ile gerçekleştirilmiştir. İlk durumda saf Al'da kopma gerilmesi 0,24 MPa iken, ağırlıkça %3 BN katkısı sonrası kopma gerilmesi 0,06 MPa'a azalmıştır. Nano HPT kompozit numunelerin artan nano BN içeriği ile çok daha güçlü ancak daha az sünek hale geldiği anlaşılmıştır. Sinterleme sonrası ise herhangi bir faz oluşmamıştır. Şekil 1'de Yamaguchi ve ark. SPS ile üretilmiş %3 katkılı nano BN-Al kompozitinden aldığı SEM görüntüleri verilmektedir (a-d) [32].



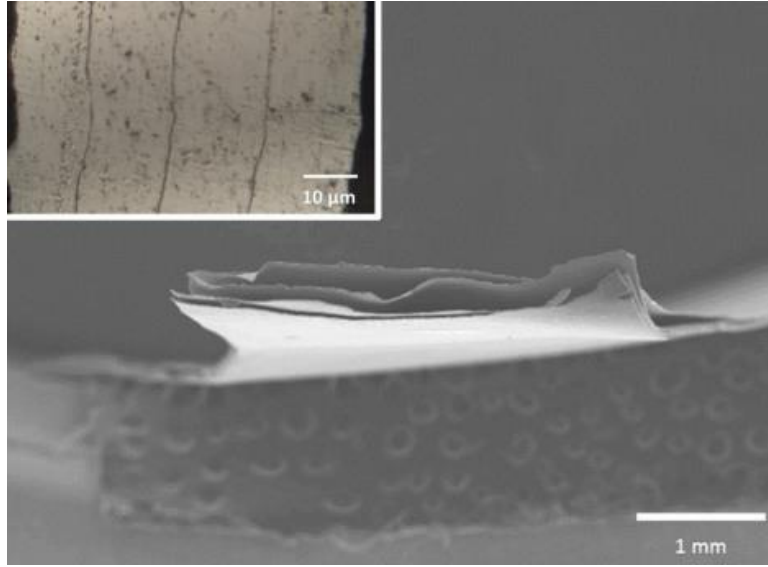
Şekil 1: SPS ile üretilmiş %3 katkılı nano BN-Al kompozitin (a) 1 μm Al-nano BN; (b) 1 μm Al-nano BN ; (c) 5 μm Al- nano BN ; (d) 0,5 μm boyutundaki SEM görüntüleri [32].

Lahiri D. ve ark. yaptıkları çalışmada [50], nano BN parçacıklarının, karışım hacmine oranı %5'dir. SPS yöntemi kullanılmıştır. Ortam, 1 saat asetonla ıslak karıştırılmıştır. Al tozu ise süspansiyon altında 30 dk. ultrasonikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma işlemi fırın içerisinde 60°C'de 2 saat uygulanmıştır. Hacimce %5 (4.23 g) nano BN ilavesi dikkate alınarak yapılan arayüz analizinde; AlN'nin, AlB₂ yapısına göre 1,55 kat daha fazla hacim fazlalığı görülmüştür. Firestein, K. L ve ark. yaptıkları çalışmada [51], ağırlıkça %99 saflığa sahip Al tozları 10 μm 'lik parçacık boyutuyla kullanmışlardır. SPS yöntemi uygulanmış çalışmada, toz karışımlar yüksek enerjiye sahip bilyalı değirmen kullanılarak hazırlanmıştır. Karıştırma 800rpm'de ZrO₂ topları ile yapılmıştır. İşlem oksidasyonunu önlemek için argon atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Karışımlar vakum sinterleme ile 30 mm iç çapa sahip grafit kalıp ile sinterlenmiştir. (600 °C, 60°/dak, 50MPa) Oluşan numuneler 6 mm kalınlığında, 30 mm çapındadır. %10 BN içeriği ile sertlik artmıştır. Numunelerde 135 HV sertlik görülmektedir. Lahiri D. ve ark. yaptıkları çalışmalarda [52], nano BN'ı katalizör ile güçlendirilmiş tavlama ve frezeleme yoluyla imal etmişlerdir. Alüminyumun %90'ı küresel şekilli toz olup 10 μm çapındadır. Saflığı %99,7dir. Hacimce %2 ve %5 içeren nano BN içeren kompozit tozlar hazırlanmış ve kullanılmıştır. Ortam asetonla ıslatılmıştır. Kurutma 60°C sıcaklıkta 2 saatlik fırında yapılmıştır. İşlem 1 saat süresince grafit kalıpta gerçekleştirilmiştir SPS metoduyla, 500°C sıcaklık ve 80MPa basınç uygulanmıştır (Isıtma süresi 50-60°C/dk). İşlem sonunda %98-99 yoğunluklu kompozitler elde edilmiştir. Nautiyal, P. ve ark. yaptıkları çalışmalarda [33], ağırlıkça %99,7 içeren alüminyum tozu ve yoğunluğu %0,5 olan nano BN kullanmışlardır. Yapıda katalizör olmadığı için kirlilik seviyesi düşüktür. Bor ve Azot %99 saftır. Nano BN, matris hacminin %2'sini oluşturmuştur. Katmanlı olarak Al/Nano BN/Al kompoziti Kıvılcım plazma sinterleme ile üretilmiştir. 575°C sıcaklıkta, 80 MPa ile 1 saat sinterleme yapılmıştır. SPS'den sonra soğuk haddeleme yapılmıştır. Güçlü alüminyum - nano BN arayüzü, alüminyum üzerinde BN elde edilmiştir.

Haddeme, malzemenin zıt yönde dönen iki ya da daha fazla silindir arasından sıkıştırılıp daha yoğun hale getirmesidir. Plastik şekil verilerek boyutlandırma yapılıır [53,54].

Sıcak presleme, içerisinde oksijen olmayan yoğun ve homojen malzeme üretimi için kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıkla üretim istendiğinde bu teknik kullanılabilir. Sıcak presleme alüminyum ve nano parçalar arasında bir bağ meydana getirebilmektedir [55].

Tavlama metalin sertliğini azaltmak süneklik kazandırmak ve iç gerinim artışı için yapılır [56]. Antillon, M. ve ark. yaptıkları çalışmalarda [34], %100 saflığa yakın alüminyum tozlarına, %0,022 ve %0,045 oranında nano BN eklemişlerdir. Bu çalışmada sıcak presleme, haddeme ve tavlama metodu birlikte kullanılmıştır. Saf alüminyum eklenen nihai malzemede nanosertlik, elastik modül ve çekme mukavemetinde artış görülür. 10 MPa basınç ve 300°C sıcaklıkta yapılan testlerde çekme mukavemetinde %8-13 artış sağlanmıştır. Yüzdece 0,045 nano BN'de nanosertlik %52, dislokasyon yoğunluğu 3 kat artmıştır. Şekil 2'de Antillon ve ark. çekme gerilmesi testinden sonra bulduğu Al-nano BN kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü verilmiştir [34]. Bu üretim yöntemleri için sertlik değerleri karşılaştırması Tablo 2'de, çekme gerilmesi değerleri karşılaştırması Tablo 3'te, akma gerilmesi değerleri karşılaştırması ise Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 2: Çekme gerilmesi testinden sonra Al-nano BN kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü [34].

Tablo 2. Nano BN takviyeli Al için sertlik değerleri

Parametreler Deney Num.	Hazırlık Yöntemi	Nano BN Miktar (Ağırlıkça)	Al Matris Alaşım	Sonuçlar	Ref.
2	Kıvılcım plazma sinterleme	%3 h-BN	Saf Al	Saf Al ortalama 35 MPa iken, işlemlenmiş numunede sertlik 30 MPa ölçülmüştür.	[32]
5	Sıcak presleme + Haddeme, tavlama	%0,045 Bor Nitrür Nanotüpleri	Saf Al	Saf Al'da sertlik ortalama 480 MPa iken, %0,022 katkılı nano BN-Al ortalama 540 MPa olarak ölçülmüştür.	[34]
6	Sıcak presleme + Haddeme, tavlama	%0,022 Bor Nitrür Nanotüpleri	Saf Al	Saf Al'da sertlik yaklaşık 480 MPa iken, %0,045 katkılı Al- nano BN ortalama 720 MPa ölçülmüştür.	[34]
8	Kıvılcım plazma sinterleme + Yüksek enerjili bilyalı frezeleme	%10 h-BN	Saf Al	Saf numune 28 HV iken, %10 nano BN katkılı Al'da sertlik 135 HV olarak ölçülmüştür.	[51]
9	Klasik sinterleme	%10 h-BN	Molarite ağırlığı %90	Saf numunede sertlik 10 GPa iken, katkılı numunede 20 GPa ölçülmüştür.	[46]
10	Kıvılcım plazma sinterleme	%5 h-BN	Haddelenmiş Saf Al	Saf Al'da sertlik ortalama 499 MPa iken, %5 nano BN katkılı haddelenmiş Al'da sertlik ortalama 506 MPa olarak ölçülmüştür.	[52]

Tablo 3. Nano BN takviyeli Al için çekme mukavemeti değerleri

Parametreler Deney Num.	Hazırlık Yöntemi	Nano BN Miktar (Ağırlıkça)	Al Matris Alaşım	Sonuçlar	Ref.
2	Yüksek basınç metodu	%3 h-BN	Saf Al	Saf Al numunesi ortalama 207 MPa iken, %3 nano BN katkılı numune işlem sonrası ortalama 300 MPa değeri görülmektedir.	[32]
5	Sıcak presleme + Haddeleme, tavlama	%0,045 Bor Nitrür Nanotüpleri	Saf Al	Saf numune ortalama 47.5 MPa iken, %0.045 nano BN katkılı numune ortalama 53.6 MPa olarak ölçülmüştür.	[34]
6	Sıcak presleme + Haddeleme, tavlama	%0,022 Bor Nitrüt Nanotüpleri	Saf Al	Saf numuneye göre artış gözlenmiş ve 47.5 MPa olarak ölçülmüştür.	[34]
8	Kıvılcım plazma sinterleme	%10 h-BN	Saf Al	Saf numunede 92 MPa olarak ölçülen değer, %10 katkılı nano BN'ta 257 MPa olarak ölçülmüştür.	[51]
12	Kıvılcım plazma sinterleme + Soğuk haddeleme	%2 h-BN	Saf Al	Saf Al 40 MPa iken %2 nano BN katkılı numunede ortalama 200 MPa olarak ölçülmüştür.	[33]

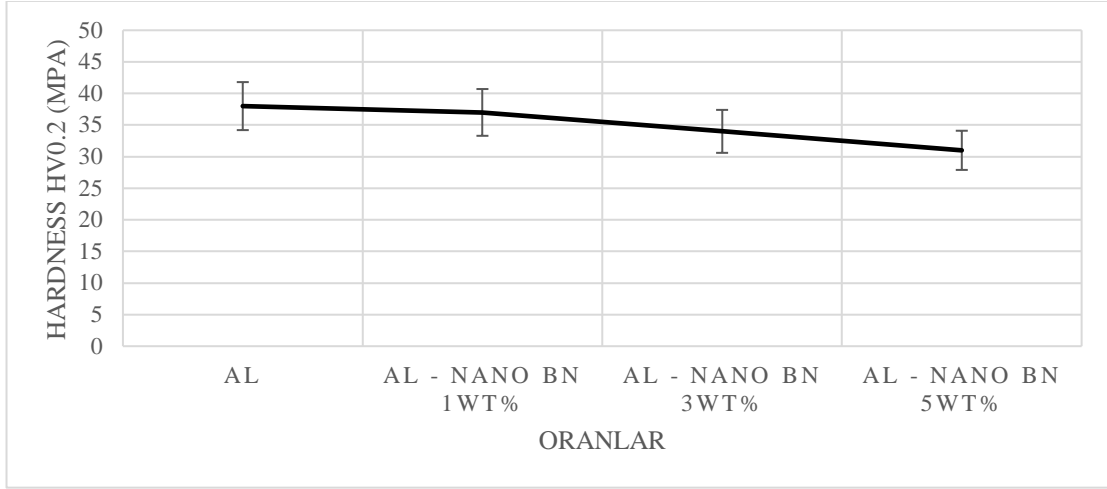
Tablo 4. Nano BN takviyeli Al için akma mukavemeti değerleri

Parametreler Deney Num.	Hazırlık Yöntemi	Nano BN Miktar (Ağırlıkça)	Al Matris Alaşım	Sonuçlar	Ref
5	Sıcak presleme + Haddeleme, tavlama	%0,045 Bor Nitrür Nanotüpleri	Saf Al	Çekme gerilmesi akma dayanımını geçtikten sonra artış görülmüştür.	[34]
6	Sıcak presleme + Haddeleme, tavlama	%0,022 Bor Nitrür Nanotüpleri	Saf Al	Çekme gerilmesi akma dayanımını geçtikten sonra artış görülmüştür.	[34]
7	Kıvılcım plazma sinterleme + Yüksek enerjili bilyalı frezeleme	%0,5 h-BN	Saf Al	Saf Al numunedeki çekme gerilmesi 33 MPa iken, %0,5 katkılı nano BN'de 103 MPa olarak ölçülmüştür.	[51]
10	Kıvılcım plazma sinterleme	%5 h-BN	Haddelenmiş Saf Al	Saf Al'da ortalama akma dayanımı 57 MPa iken, %5 nano BN katkılı Al'da ortalama 88 MPa olarak ölçülmüştür.	[52]

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Sertlik Özellikleri

Sertlik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Alüminyuma eklenen nano BN takviyesinin sertlik değerlerini arttırdığı görülmektedir. Alüminyuma bağlanan BN, içerisindeki zayıf Van der Waals bağları sayesinde Alüminyumun sertliğini ciddi oranda arttırmaktadır. Sadece 2 numaralı [32] çalışmada sertliğin azaldığı görülmektedir. Buna karşın Tablo 2'deki 9 numaralı çalışmada [46], nano BN'ın olduğu klasik sinterleme denemesinde, sertlik 10 MPa'dan 20MPa'a yükselmiştir. Bu durum %100 artışı gösterir. Kıvılcım plazma sinterlemede de sertlik artışı görülmektedir. Tablo 2'deki 8 numaralı çalışmada [51] %10 nano BN'a sahip alüminyumda sertlik 386 MPa olarak ölçülmüştür. Deneyde sertlik %210 artmıştır. Hacimce %5 nano BN içeren haddelenmiş alüminyumda sertlik %59 artmıştır. Nano BN katkısının %3 olduğu denemede ise sertlik %100 artış sağlamıştır. Sıcak pres, hadde ve tavlamanın beraber kullanıldığı deneyde [34], malzemede takviye yokken sertlik 476,7MPa'dır. Yüzdece 0,022 ve 0,045 nano BN takviyesi sertliği sırasıyla 567,6 MPa ve 724,7MPa arttırmaktadır. Şekil 3'te SPS ile sinterlenen %1,%3 ve %5 katkılı Al-nano BN'ın kompozitlerinin sertliği verilmiştir [32].



Şekil 3: SPS ile sinterlenen %1,%3 ve %5 katkılı Al-nano BN'in kompozitlerinin sertliği [32].

3.2. Çekme Dayanımı Özellikleri

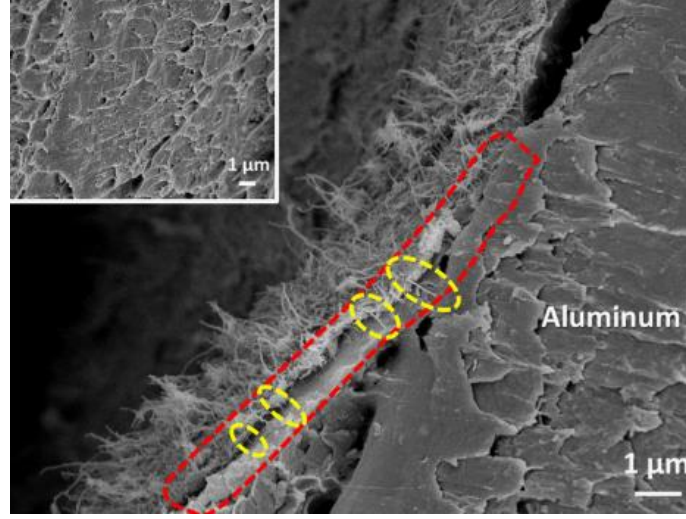
Çekme mukavemeti artışı Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'deki 8 numaralı çalışma [51] dışındaki denemelerde, çekme mukavemeti artışı görülmektedir. Bu çalışmada saf alüminyumun çekme mukavemeti 92 MPa olarak ölçülmüştür. Deney sonrası %7'lik nano BN takviyesi çekme mukavemetini 385MPa'a kadar arttırırken, bu oran %10 çıktığında çekme mukavemeti 257 MPa'a düşmüştür. %7'den %10'a arttırılan nano BN'de %34,5 oranında çekme mukavemeti azalmıştır. Minimum artış, ağırlıkça %3 nano BN içeren ve yüksek basınç metodu kullanılarak işlenmiş Tablo 3'deki 2 numaralı çalışmada [32] görülmektedir. Bu çalışma ile %100'ü geçen çekme mukavemeti artışı oluşmuştur. Literatürdeki sayılı örnekler tarandığında en iyi sonuçlar kıvılcım plazma sinterleme ile ortaya çıkmaktadır. Bu durum yüksek sıcaklıkla işlenen malzemenin çekme mukavemetinde iyi sonuçlar verdiğini düşündürmektedir. Örneğin Tablo 3'deki 12 numaralı çalışmada [33] Saf alüminyumun çekme mukavemeti 40 MPa iken, %2 nano BN takviyesi sonrası 200 MPa'a artış görülür. Nihai malzemedeki %400 çekme mukavemeti artışı oluşmuştur. Tablo 3'deki 6 numaralı çalışmada [33] saf Al 47,5MPa'lık bir çekme mukavemeti verirken, %0,022 nano BN katkısında bu oran 51,3 MPa'a çıkmaktadır. Aynı şekilde Tablo 3'deki 5 numaralı çalışmada [33] nano BN oranı %0,045 olduğunda ise çekme mukavemeti 53,6 MPa olduğu görülmektedir.

3.3. Akma Dayanımı Özellikleri

Akma dayanımının özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. Maksimum artış hacimce %5 BN mikro parçacığı içeren 7 numaralı deney sonucunda [51] verilmiştir. Malzemede %130 akma dayanımı görülür. Tablo 4'teki 5 ve 6 numaralı sıcak pres, hadde ve tavlama yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada [33] çekme gerilmesi akma dayanımını geçtikten sonra artış görülmüştür. Tablo 4'teki 10 numaralı çalışmada [52] ise Saf alüminyum 57,7 MPa'lık bir akma dayanımı görülürken, %5 nano BN katkısında bu oran 88,7 MPa'a çıkmaktadır. Bu durum %54'lük bir artışı ortaya koymaktadır.

3.4. Mikro Yapısal Özellikler

Tablo 1'deki 5 numaralı çalışmada [34] %0,022 nano BN içeren parçada nanosertlik artmıştır. Tablo 1'deki 6 numaralı çalışmada [34] ise %0,045 nano BN içeren parça, saf alüminyuma göre dislokasyon yoğunluğunu 3 kat arttırmıştır. Tablo 1'deki 1 numaralı çalışmada [32] HPT örneklerinin çok daha yoğun makro morfolojilere sahip olduğu incelenmiştir. Bu çalışmadaki HPT numunelerinde ince taneli bir Al matrisi içinde eşit bir şekilde dağılım gözlemlendiği yayımlanmaktadır. %3 nano BN içeren numunelerde alüminyum borür ve alüminyum nitrid dışında faz oluşmadığı görülmektedir. Tablo 1'deki 2 numaralı [32] SPS yönteminin uygulandığı çalışmada, Al-nano BN numunelerinin içyapısında alüminyumun tane sınırlarında daha yoğun olduğu incelenmiştir. Tablo 1'deki 12 numaralı çalışmada [33] elastik modülü, saf Al (70 GPa) için elastik modül değerinin iki katı olan 134 GPa olarak hesaplandığı görülmüştür. Tablo 1'deki 10 numaralı çalışmada [52] nano BN, SPS'de uzun süre yüksek basınç ve sıcaklık uygulamasına dayandığı ve ara yüzde reaksiyon ürünü oluşturmadığı görülmüştür. Al matrisine yüzde %5 nano BN ilavesi ile akma gerilmesinde %450 iyileşme gösterdiği incelenmiştir. Soğuk hadde sonrası çatlama veya parçalanma görülmemektedir. Parça kalınlığının %75 azaldığı anlaşılmaktadır. Şekil 4'te Nautiyal ve ark. bulduğu Al - nano BN'in kompozitinin kırılma yüzeyini gösteren SEM görüntüsü verilmektedir [33].



Şekil 4: Al-nano BN'ın kompozitinin kırılma yüzeyini gösteren SEM görüntüsü [33].

Al-nano BN malzemesinin yaygın kullanımı yoktur. Yapılan çalışmalarda, alüminyumun mukavemetini arttırdığı görülmüştür. Hızlı ısıtma veya hızlı üretim teknikleriyle imal süresi kısalmaktadır. Literatür araştırmalarında bu üretim yöntemiyle nano BN-Alüminyum kompoziti üretimi bulunmamıştır. Gelecek çalışmalarımızda, Al-nano BN malzemelerin ultra yüksek frekanslı indüksiyon sistemi ile üretilmesi planlanmaktadır. İndüksiyondaki bobininin sarım sayısına ek olarak frekans ve uygulanacak güç değiştirilerek farklı çalışmalar da yapılabilir. İndüksiyondan kaynaklanacak malzeme yüzeyinde oluşacak içyapı değişimi ve muhtemel sertlik artışı hakkında bilgi verilebilir. Bu sertlik artışının indüksiyonla sinterleme esnasında yüzey sertleştirme ısıl işleminin gerçekleştirildiğinin bir kanıtı olacağı düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada çeşitli üretim yöntemleriyle birleştirilmiş saf alüminyum tozların ağırlıkça %0,022 ve %10 aralığında nano BN katkısının etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Çekme mukavemetinde en yüksek artış ağırlıkça %2 nano BN olan 13 numaralı çalışmada 5 kat artış ile görülmektedir.
- En yüksek sertlik değeri ağırlıkça %10 nano BN içeren 8 numaralı çalışma ile görülmüştür. Malzemenin haddelenmesi sertlik değerini arttırmaktadır.
- En yüksek akma dayanımı ağırlıkça %0,5 nano BN parçacıkları içeren 7 numaralı çalışmada görülebilmektedir. Akma dayanımını 68 MPa'dan 161 MPa'a çıkarmıştır. Bu durum akma dayanımını yaklaşık 2,5 kat arttırmıştır.
- İncelenen deneylerde Al-nano BN katkısı için en uygun çekme mukavemeti değeri Kıvılcım plazma sinterleme + Yüksek enerjili bilyalı frezeleme yöntemi görülmektedir.
- Sıcak pres, hadde ve tavlamanın kullanıldığı 6 numaralı çalışmada, çekme gerilmesi akma dayanımını geçtikten sonra artış görülmüştür.
- HPT yöntemiyle üretilen %1 nano BN içeren numunede iyileşme görülmemiştir. Ancak %1'den %3'e doğru nano BN miktarı arttıkça %150 oranında gerilme mukavemeti artışı malzemede gözlenmiştir.
- Nano BN takviyesine üretim metotları değişmesine rağmen, sertlik, çekme ve akma mukavemetlerinde iyileşmeler görülmektedir.
- Sıcak pres, hadde ve tavlamanın kullanıldığı 6 numaralı çalışmada, nano BN miktarı az olmasına rağmen sertliği sırasıyla 567,6 MPa ve 724,7MP'a arttırmaktadır.
- Çalışmaların 300°C ila 1750°C arasında yapıldığı görülmektedir.

Referanslar

- [1] Başer, T. A. (2012). Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı, Mühendis ve Makina, 53, 51-58.
- [2] Türkiye Metalurji Mühendisleri Odası (2004), "Alüminyum raporu", Metalurji Dergisi, 137, 2-4
- [3] TMMOB Maden Mühendisleri Odası, (1970, Mayıs). "Bor Nedir", Madencilik Dergisi. Cilt IX, sayı. 2-3, Sf. 9-29.
- [4] Karakılıç, M., (2011). Ulusal bor araştırma enstitüsü (BOREN) ve bor projeleri. BOREN, Endüstriyel ilişkiler grup koordinatörlüğü, Bor Çalıştay Sunumları, Ankara. (Websayfası: <http://www.ssm.gov.tr/anasayfa/hizli/duyurular/etkinlikler/konferanslar/documents/borcalistayi/boren%20osunumu.pdf>) (Erişim tarihi: 12.01.2022)

- [5] Angın, M.H., & Aydın, S. (2003). Bor nitrür ön fizibilite etüdü.,(Websayfası: <http://www.etimaden.gov.tr>) (Erişim tarihi :13.01.2022)
- [6] Özdemir Köklü, M. (2012). Bor içerikli nanomalzeme üretim olanaklarının araştırılması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] Garg, P., Jamwal, A., Kumar, D., Sadasivuni, K. K., Hussain, C. M., & Gupta, P. (2019). Advance research progresses in aluminium matrix composites: manufacturing & applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5), 4924-4939.
- [8] Şenel, M. C., Gürbüz, M., & Koç, E. (2018). Alüminyum-grafen kompozit yapılarda çekme dayanımının, aşınma direncinin ve mikroyapının incelenmesi, SETSCI Conference Indexing System, 144-149
- [9] Loganathan, A., Sharma, A., Rudolf, C., Zhang, C., Nautiyal, P., Suwas, S., & Agarwal, A. (2017). In-situ deformation mechanism and orientation effects in sintered 2D boron nitride nanosheets. *Materials Science and Engineering: A*, 708, 440-450.
- [10] Ramesh, K. T. (2009). Nanomaterials. In *Nanomaterials*. Springer, Boston, MA., A.B.D., 1-20.
- [11] Chopra, N. G., Luyken, R. J., Cherrey, K., Crespi, V. H., Cohen, M. L., Louie, S. G., & Zettl, A. (1995). Boron nitride nanotubes. *science*, 269(5226), 966-967.
- [12] Hwang, H.J., Barakat, N.A.M., Muzafar A. Kanjwal, M.A., Sheikh, F.A., & Hak Yong Kim, H.Y. (2010). Boron nitride nanofibers by the electrospinning technique. *Macromolecular Research*, 18 (6), 551-557.
- [13] Liu, B., Gu, Y., Ji, Y., Zheng, G., Ma, F., Wang, J., Wu, F., Long, F., Zhou, B., Chen, C. (2021). Thin-walled boron nitride micron square tube decorated by nanosheets: Preparation, characterization and adsorption property. *Ceramics International*, 47(10), 14115-14123.
- [14] Pakdel, A., Zhi, C., Bando, Y., & Golberg, D. (2012). Low-dimensional boron nitride nanomaterials. *Materials Today*, 15(6), 256-265.
- [15] Lourie, O. R., Jones, C. R., Bartlett, B. M., Gibbons, P. C., Ruoff, R. S., & Buhro, W. E. (2000). CVD growth of boron nitride nanotubes. *Chemistry of Materials*, 12(7), 1808-1810.
- [16] Qiu, Y., Yu, J., Yin, J., Tan, C., Zhou, X., Bai, X., & Wang, E. (2009). Synthesis of continuous boron nitride nanofibers by solution coating electrospun template fibers. *Nanotechnology*, 20, 3456-3463
- [17] Vardar, Kadir , Aydemir, Fırat , Özdemir, Durmuş , Topuz, Mustafa , Kolay, Burakcan , Yıldırım, Yusuf , Bilici, Zehra , Baydoğrul, Mustafa Uhud , Yağan, Yunus Emre , Kaya, Bünyamin , Tandoğan, Ali , Gürer, Ethem Yiğit . "Design of Electrical Test Device for Automotive Industry". *International Scientific and Vocational Studies Journal* 5 / 2 (Aralık 2021): 154-163
- [18] Ceylan, Ç., Duran, B., Koçyiğit, O., Koçer, C., Doğan, B., Hacıoğlu, T., Şengönül, M.C., Kaftanoğlu, B., (2021). Havacılık endüstrisinde kullanılmak üzere alüminyum malzemelerin korozyon direncinin artırılması amacıyla yüzey kaplaması geliştirilmesi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 19(2), 96-105.
- [19] Poovazhagan, L., Kalaichelvan, K., & Sornakumar, T. (2016). Processing and performance characteristics of aluminum-nano boron carbide metal matrix nanocomposites. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(10), 1275-1285.
- [20] Altuner, S., & Keleşoğlu, E. (2012). Production of Y2O3 coated Al2O3 reinforced aluminium matrix composites and the coating of interface effects over wettability properties. *Journal of Engineering and Natural Sciences, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma*, 30, 252-258.
- [21] Shenglong, Y.S.D., & Shoujie, D.A.I. (2005). A glimpse at the development and application of aluminum alloys in aviation industry, *Materials Review* 2, 022.
- [22] Duan, Z., Li, C., Ding, W., Zhang, Y., Yang, M., Gao, T., Cao, H., Xu, X., Wang, D., Mao, C., Li, N.H., Kumar, M.G., Said, Z., Depnath, S., Jamil, M., Ali, H. M. (2021). milling force model for aviation aluminum alloy: Academic insight and perspective analysis, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 34(1), 1-35.
- [23] Pillari, L. K., Umasankar, V., Elamathi, P., & Chandrasekar, G. (2016). Synthesis and characterization of nano hexagonal boron nitride powder and evaluating the influence on aluminium alloy matrix. *Materials Today: Proceedings*, 3(6), 2018-2026.
- [24] Keidar, M., & Beilis, I. I., *Plasma engineering: Application in aerospace, Nanotechnology and Bionanotechnology* (Elsevier, Oxford, UK, 2013).
- [25] Pakdel, A., Bando, Y., & Golberg, D. (2014). Nano boron nitride flatland. *Chemical Society Reviews*, 43(3), 934-959.
- [26] Guerra, V., Wan, C., & McNally, T. (2019). Thermal conductivity of 2D nanostructured boron nitride (BN) and its composites with polymers. *Progress in Materials Science*, 100, 170-186.
- [27] Loeblein, M., Tsang, S. H., Pawlik, M., Phua, E. J. R., Yong, H., Zhang, X. W., Gan, L.C., Teo, E. H. T. (2017). High-density 3D-boron nitride and 3D-graphene for highperformance nano-thermal interface material. *ACS Nano*, 11(2), 2033-2044.
- [28] Salles, V., Bernard, S., Brioude, A., Cornu, D., & Miele, P. (2010). A new class of boron nitride fibers with tunable properties by combining an electrospinning process and the polymer-derived ceramics route. *Nanoscale*, 2, 215-217
- [29] Karaca, B., & Çavdar, U. (2014). "Saf ve bor karbür takviyeli alüminyum tozlarının ultra yüksek frekanslı indüksiyon jeneratörü ile sinterlenmesi," *Mühendis ve Makina*, 55, 59-64.
- [30] Tajzad, I., & Ghasali, E. (2020). Production methods of CNT-reinforced Al matrix composites: a review. *Journal of Composites and Compounds*, 2(2), 1-9.

- [31] Nayim, S. T. I., Hasan, M. Z., Seth, P. P., Gupta, P., Thakur, S., Kumar, D., & Jamwal, A. (2020). Effect of CNT and TiC hybrid reinforcement on the micro-mechano-tribo behaviour of aluminium matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1421-1424.
- [32] Yamaguchi, M., Meng, F., Firestein, K., Tsuchiya, K., & Golberg, D. (2014). Powder metallurgy routes toward aluminum boron nitride nanotube composites, their morphologies, structures and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, 604, 9-17.
- [33] Nautiyal, P., Rudolf, C., Loganathan, A., Zhang, C., Boesl, B., & Agarwal, A. (2016). Directionally aligned ultra-long boron nitride nanotube induced strengthening of aluminum-based sandwich composite. *Advanced Engineering Materials*, 18(10), 1747-1754.
- [34] Antillon, M., Nautiyal, P., Loganathan, A., Boesl, B., & Agarwal, A. (2018). Strengthening in boron nitride nanotube reinforced aluminum composites prepared by roll bonding. *Advanced Engineering Materials*, 20(8), 1800122.
- [35] Yonetken, A., & Erol, A. (2018). Production and characterization of Al-BN composite materials using by powder metallurgy. *Agronomy Research*, 16(Special Issue I), 1289-1294.
- [36] Meignanamoorthy, M., & Ravichandran, M. (2018). Synthesis of metal matrix composites via powder metallurgy route: a review. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 22(1), 65-76.
- [37] Huo, S. H., Qian, M., Schaffer, G. B., & Crossin, E. (2011). Aluminium powder metallurgy. In *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, Woodhead Publishing. pp. 655-701.
- [38] Gökçe, A., Fındık, F., & Kurt, A. O. (2017). Alüminyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri. *Mühendis ve Makina*, 58(686), 21-47.
- [39] Kemalöğlü, Ş. (2009). Termal ara yüzey malzemesi olarak kullanılabilecek polimer/bor nitrür mikro ve nano kompozitlerinin üretim teknolojilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 259402.
- [40] Akay, A. (2015). Bor nitrürün nano tabakalarına ayrılmasının incelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [41] Özmen, D. (2008). "Production and characterization of boron nitride nanotubes," Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [42] Aydın, H. (2018). Nanoyapılı hegzagonal bor nitrür üretimi ve karakterizasyonu. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2), 269-275.
- [43] Korucu, Y. (2010). "Nanotüp çeşitleri ve uygulamaları," Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [44] Şengönül, M., Durgun, İ., Dökmetaş, N., Kalkan, H., & Kaftanoğlu, B. (2018). Bor nitrür kaplamının, kaynak çapaklarının metal aparat yüzeylerine yapışma davranışlarına etkisi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 14(1), 23-30.
- [45] Çavdar, U., Atik, E., (2011). Geleneksel ve hızlı sinterleme yöntemleri, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1 (15): 1-10.
- [46] Benko, E., Morgiel, J., & Czeppe, T. (1997). BN sintered with Al: Microstructure and hardness. *Ceramics international*, 23(1), 89-91.
- [47] Cavaliere, P., Sadeghi, B., Shamanian, M., & Ashrafizadeh, F. (2019). Al-based nanocomposites produced via spark plasma sintering: effect of processing route and reinforcing phases, *Spark Plasma Sintering of Materials*, Springer, 161-190.
- [48] Karaoğlanlı, A. C., Türk, A., Özdemir, İ. (2014). Seramik esaslı plazma sprey kaplamaların oksidasyon davranışlarının incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 401-405.
- [49] Arpaçay, D. (2009). Magnezyum AZ80 alaşımında yüksek basınç burulma işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [50] Lahiri, D., Singh, V., Li, L. H., Xing, T., Seal, S., Chen, Y., & Agarwal, A. (2012). Insight into reactions and interface between boron nitride nanotube and aluminum. *Journal of Materials Research*, 27(21), 2760-2770.
- [51] Firestein, K. L., Corthay, S., Steinman, A. E., Matveev, A. T., Kovalskii, A. M., Sukhorukova, I. V., Golberg, D., Shtansky, D. V. (2017). High-strength aluminum-based composites reinforced with BN, AlB₂ and AlN particles fabricated via reactive spark plasma sintering of Al-BN powder mixtures. *Materials Science and Engineering: A*, 681, 1-9.
- [52] Lahiri, D., Hadjikhani, A., Zhang, C., Xing, T., Li, L. H., Chen, Y., & Agarwal, A. (2013). Boron nitride nanotubes reinforced aluminum composites prepared by spark plasma sintering: Microstructure, mechanical properties and deformation behavior. *Materials Science and Engineering: A*, 574, 149-156.
- [53] Aydoğan, İ.K. (2007). Haddelme prosesinde malzeme karakteristiğindeki değişimlerin incelenmesi ve modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [54] Bisht, A., Kumar, V., Li, L. H., Chen, Y., Agarwal, A., & Lahiri, D. (2018). Effect of warm rolling and annealing on the mechanical properties of aluminum composite reinforced with boron nitride nanotubes. *Materials Science and Engineering: A*, 710, 366-373.
- [55] Öztürk, C. (2004). B₄C-TiB₂-WC seramiklerinin sıcak pres tekniği ile üretimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [56] Mısırlı, C. (2011). 5083 kalite alüminyum alaşımının homojenize edilerek sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Reorganization Studies on The Organizational Structure of The General Directorate of Forest and Their Effects on Employment in Turkey

Ahmet Tolunay ^{a,1}, Mustafa Malkoç ^b, Mehmet Özmiş ^c

^a Department of Forestry Engineering, Faculty of Forestry, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-9028-9343

^b Department of Forestry Engineering, Institute of Graduate Education, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-0140-8625

^c Kuzukulağı Forest Management Directorate, Eğirdir Forest Management Directorate, Isparta Regional Directorate of Forestry, Isparta, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-6672-2274

Abstract

In this study, the reorganization studies in the organizational structure of the General Directorate of Forestry and their effects on employment are examined. Questionnaire technique was used as data collection method in the study, and 5-point likert scale was used in the survey questions. 500 people participated in the survey study. SPSS 20 statistical package program was used to evaluate the data obtained, and a significance level of 0.05 was taken as a criterion in statistical analysis. Since the data did not have a normal distribution, the data were evaluated with the Kruskal Wallis test, one of the non-parametric tests. The participants replied that "General Directorate of Forestry has made a strategically important reorganization change with the establishment of new forestry unit" as 52% agree and 23.8% strongly agree. Thus, 75.8% of the participants stated that the reorganization studies carried out in the organizational structure of the General Directorate of Forestry are important. Thus, with the reorganization works, a large number of Forest Engineers and Forest Conservation Officers were appointed to the newly established forestry units. As a result of these appointments, there has been a serious decrease in the number of Forest Engineers and Forest Conservation Officers waiting for a job. Seeing that there is no problem in the employment of Forest Engineers and Forest Conservation Officers, university candidates preferred the programs that provide education for these professions in the university exams they entered in 2022 and filled the quotas.

Keywords: "Management and organization, employment, forest resources, forestry, management of forest resources, Turkey."

1. Giriş

Ülkemiz 22,3 milyon ha orman varlığına sahip olup, bu rakam ülke genel alanının % 28,6'sının ormanlarla kaplı olduğunu göstermektedir [1]. Ülkemizdeki ormanların yapısı, gerek insanlar tarafından düzensiz faydalanma neticesinde ve gerekse doğal olayların etkisi sonucu (örneğin yangın gibi) zamana ve mekâna bağlı sürekli değişmektedir. Kendini yenileyebilen doğal kaynaklar içerisinde yer alan ormanlardan toplumun yararlanması, ancak düzenli ve sürekli bir işletmecilikle sağlanabilir [2]. Türkiye'de ormanların tamamına yakını (%99,9) Devlet mülkiyetindedir. Orman varlığının korunması ve toplumun orman ürün ve hizmetlerine olan ihtiyaçlarının karşılanması için orman kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir [3], [4]. Geçmişte 1961 ve halen yürürlükte olan 1982 Anayasalarında "devlet ormanlarının devlet tarafından yönetileceği ve işletileceği" hükmü yer almıştır. Ayrıca 6831 sayılı Orman Kanunu'nda da "devlet ormanlarının devlet tarafından işletileceği ve devlet ormanlarına ait her çeşit işlerin Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından yapılacağı" hükmüne yer verilmiştir [5].

Her ülke toplumun orman ürün ve hizmetlerine olan ihtiyaçlarının karşılanması için, kendisine özgü ormancılık politikaları belirlemiştir. Ormancılık politikaları öncelikle orman kaynaklarının yönetim amaçlarını oluşturmakta, daha sonra bu amaçlara nasıl ulaşılabileceğini değerlendirmektedir. Bu çerçevede yararlanılan en önemli araç, hiç kuşkusuz orman yasalarıdır. Yasalar ise onları uygulayacak bir örgütsel yapı ile anlam kazanmaktadır. Dolayısıyla, ormancılık örgütleri yasalar kadar önemli ormancılık politikası araçları arasında yer almaktadır. Belirlenen ormancılık politikası amaçları ormancılık örgütleri üzerinde etkili olmaktadır. [6]. Ormanların korunması,, ormancılıkla ilgili planlarının hazırlanması, bu planların uygulanması ve denetimin sağlanması gibi başlıca ormancılık etkinliklerinin başarılı olabilmesi için bu konularda eğitim almış insan kaynaklarına ihtiyaç bulunmaktadır [7], [8]. Ülkemizde ormancılığın doğuşunda ormanlardan gelir elde edilmesi ile bağlantılı olarak ormanların korunması ve odun satışını düzenlemek amacı güden ilk orman örgütünden günümüze dek odun talebi

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ahmettolunay@isparta.edu.tr

dolayısıyla odun değeri ormancılık örgütlenmelerinde en önemli yere sahip olmuştur. Bunun dışında gelişen ekolojik endişeler ve siyasal yaklaşımlar günümüzde ormancılık anlayışları üzerinde artan bir oranda etkili olmaya başlamıştır [6]. OGM, 1839 yılında kurulmuş ve ülkemizin kalkınmasına önemli katkılarda bulunmuş, köklü bir teşkilattir. Hizmet özelliği nedeniyle yerinden yönetim esasına göre kurulmuş, kamu tüzel kişiliğine haiz, özel bütçeli bir kuruluştur. Ülkemizin en ücra köşelerine kadar yayılan geniş bir taşra teşkilatına sahiptir. Temel görevi; ülkemiz orman kaynaklarını korumak, geliştirilmek ve topluma çok yönlü faydalar sunmak şeklinde özetlenebilir [9].

Ormancılık, doğa koşullarının etkisi altında gerçekleşen aynı zamanda da sosyal yönü olan bir uğraştır. Bu uğraşı gerçekleştiren orman mühendisleri, ormancılık örgütüne yüklenmiş geniş sorumluluk alanlarında görev yapmaktadır. [10]. Türkiye’de ormancılık eğitimi uzun bir geçmişe sahiptir. Ormancılık eğitim ve öğretimi 1857 yılında İstanbul’da kurulan orman okuluyla başlamıştır. Günümüzde orman mühendisliği eğitimi orman fakülteleri bünyesinde devam etmektedir [11]. Orman mühendisliği sorumluluk alanı geniş bir meslektir. Orman yangınları, seller, çığlar, erozyon ve heyelanlar gibi doğal afetler orman mühendisinin çalışma alanları içinde meydana gelmektedir. Bu afetlerin orman rejimi dışında kalan dağlık alanlarda meydana gelmesi durumunda bile orman mühendisleri bunların incelenmesi ve önlenmesi konusunda en sorumlu meslek grubudur. Japonya’da heyelan kontrolü çalışmalarının 3/4’ü ormancılık eğitimi görmüş uzmanlarca yapılmaktadır. Ülkemizde ağaçlandırma, erozyon ve sel kontrolü konusunda orman mühendislerinin ciddi çalışmaları vardır [12], [13].

Ormancılıkta “ara teknik eleman” veya bir başka söylemle “teknik yardımcı personel” denildiğinde ilk olarak orman muhafaza memurları, orman ağaçlandırma memurları, ölçme, kesim ve depo memurları gibi kadrolarda görev yapan personel akla gelmektedir [14], [15]. Orman muhafaza memuru yetiştirmeye yönelik çalışmalar 1952 yılında Düzce’de orman muhafaza memuru okulunun açılmasıyla başlamıştır. İkinci okul Trabzon’da 1964 yılında hizmete açılmıştır. Bu okullar 1972-1973 yıllarında Orman Muhafaza Memurları Eğitim Merkezlerine dönüştürülmüştür. Yıllarca Elazığ, Eskişehir, Kahramanmaraş ve Trabzon İllerinde hizmet veren eğitim merkezleri, muhafaza memuru ve diğer ara teknik eleman ihtiyacının devlet memurluğu sınavı ile ortaokul, lise ve dengi okullardan karşılanmaya başlamasıyla önemini yitirmeye başlamış ve bir anlamda görevlerini tamamlamıştır [14], [15], [4]. Orman muhafaza memuru istihdamı belli bir süre ortaokul, lise ve dengi okullardan sağlanmış, 2000 yılından itibaren önlisans düzeyinde eğitim veren meslek yüksekokullarının ormancılık programlarından mezun olanlara orman muhafaza memuru olabilmek hakkı verilmiştir [16].

Devlet ormanlarını yöneten OGM’nin çeşitli görev ve sorumlulukları üstlenmiş personelleri vardır. Ormanların yönetilmesinde söz sahibi teknik eleman olan Orman Mühendisi ve yardımcı teknik eleman olan Orman Muhafaza Memuru bu teşkilatın en önemli personeli ve vazgeçilmezidirler. OGM’de yaklaşık olarak tüm personelin %44,4’ü devlet memurudur. Teknik elemanlar (mühendisler) tüm memurların %27’sini ve ormanların korunmasında ve üretim işlerinde yoğun olarak görevlendirilen orman muhafaza memurları ise tüm memurların %39’unu oluşturmaktadır olup, bu iki grup toplam memurların yaklaşık %66’sını oluşturmaktadır [9].

Bugün uzun bir geçmişe sahip olan ormancılık örgütünün, tarihsel süreç içerisinde amaçları ve öncelikleri değişmiştir. Ancak, köklü bir geçmişe ve ülke düzeyinde geniş bir yayılışa sahip ormancılık örgütünün, yanlış personel politikası, kaynakların etkin kullanılmaması, yetki ve sorumluluğun iyi dağıtılamaması, bürokratik ve siyasi baskılar gibi birtakım sorunları vardır. Dolayısıyla OGM örgütsel yapısında yapılan reorganizasyon çalışmaları ve bunların istihdama etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışma bu gerekçe ile ele alınmıştır.

2. Materyal ve Method

2.1. Materyal

Araştırmada öncelikli olarak daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar taranarak, ulusal kurum ve kuruluşlardan konuya ilişkin gerekli bilgi, belge, raporlar vb. gibi dokümanlar toplanarak incelenmiştir. Çalışmanın ilerlemesine katkı sağlaması amacıyla farklı zamanlarda gerçekleştirilen görüşmeler ile konuyla ilgili çeşitli çalışmalar yapan bilim adamlarının konuyla ilgili görüşleri alınmıştır.

Daha sonra OGM’nün örgütsel yapısında yapılan reorganizasyon çalışmaları ve bunların istihdama etkilerini ve mevcut sorunların belirlenmesine ve bu sorunlara yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesini yönelik anket formu oluşturulmuştur. Anket soruları, konusunda uzman kişilerin görüşleri alınarak hazırlanmış ve uygulama öncesi teste tabi tutulup uygulanabilirliği gözden geçirilmiştir.

Anket formu toplam 30 adet sorudan mevcut olup, ilk 10 soruda katılımcıların demografik özelliklerine ait bulgular hakkında bilgi toplanırken, geri kalan 20 soruda 5’li likert ölçeği kullanılmış olup Orman Genel Müdürlüğü’nün örgütsel yapısında yapılan reorganizasyon çalışmaları ve bunların istihdama etkilerini ve mevcut sorunlar irdelenmiştir. 5’li likert ölçeği kullanılan sorularda katılımcıların “Kesinlikle katılmıyorum, Katılmıyorum, Fikrim yok, Katılıyorum, Kesinlikle katılıyorum” seçeneklerinin arasından birini işaretlenmesi istenmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi için SPSS 20.0 istatistik paket programından yararlanılmış ve istatistiksel analizlerde 0.05 anlamlılık düzeyi ölçüt alınmıştır.

Çalışmada ana kütleli N kişiden oluşan grubun görüşlerinin değerlendirilmesi için 384 kişi yeterli olmaktadır. Ancak yapılan çalışmada daha gerçekçi ve sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek adına katılımcı sayısı artırılarak, toplam 500 kişi üzerinde anket uygulaması yapılmıştır.

2.2. Yöntem

Anket çalışmasının evrenini OGM personeli oluşturmaktadır. OGM personel sayısı 2018 yılı itibariyle memur, sözleşmeli personel, geçici personel ve işçi statülerinde toplam 37 098 kamu personeli ile hizmet vermektedir. Personelin büyük çoğunluğunu memur ve sürekli işçiler oluşturmaktadır. Kurumda 17 011 memur ve 10 959 sürekli işçi görev yapmaktadır. Yüzdelik dilimlere bakıldığında OGM personeli arasında %52'si sürekli ya da geçici işçi, %46'sı memur, geri kalan %2'si ise sözleşmeli personel ve geçici personel şeklinde bir dağılım görülmektedir [17].

Anket uygulamasında örnek büyüklüğü (n):

$$n = [N * t^2 * p * q] / [d^2 * (N-1) + t^2 * p * q] \quad (1)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Bu denklemde;

n= Örneklem alınacak sayı

N= Ana kütle büyüklüğü

t= Güven kat sayısı (%95'lik güven için bu katsayı 1,96 alınmaktadır)

p= Ölçmek istediğimiz özelliğin ana kütlede bulunma ihtimali

q= Ölçmek istenilen özelliğin ana kütlede bulunmama ihtimali

d= Kabul edilen örneklem hatası (% 5)

olmaktadır.

Böylece anket yapılacak kişi sayısı $n = N * 1.962 * 0.5 * 0.5 / [0.052 * (N-1) + 1.962 * 0.5 * 0.5] = 384$ kişi olarak bulunmuştur. Anket çalışmasına 500 kişi katılmıştır.

Verilerin güvenilirliğinin hesaplanmasında Cronbach's Alpha katsayısı kullanılmıştır. Cronbach alfa katsayısı, sürekli, aralıklı ya da ardışık 4 ya da 5 seçeneği cevaplar içeren k sayıdaki soruyu barındıran bir ölçeğin, herhangi bir yargıyı sorgulama gücünü, yeterliliğini, güvenilirliğini, genel tutarlılığını ve soru türdeşliğini ölçen bir katsayıdır [18].

Bağımsız değişkenleri açıklayan ifadelere uygulanan güvenilirlik analizi sonucunda, Cronbach's Alpha katsayısı, 0.909 bulunmuştur. Verilerin güvenilirlik analizi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Güvenilirlik katsayısının 0.80 ile 1.00 arasında olması ölçeğin yüksek güvenilir olduğunu göstermektedir [19]. Tablo 1'de güvenilirlik analizi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo1. Güvenilirlik Analizi Sonuçları

Cronbach's Alpha	Soru Sayısı
0.909	20

Anket tekniği ile elde edilen verilerin değerlendirilmesinde (Parametrik veya Parametrik olmayan testler) kullanılacak testlerden hangisinin uygun olduğunu belirlemek amacıyla Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri ile normallik testi yapılmıştır. Bu sebeple H_0 ve H_1 hipotezleri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

H_0 : %95 güven aralığında veriler normal dağılımlıdır.

H_1 : %95 güven aralığında veriler normal dağılımlı değildir.

Veri sayısının az olduğu durumlarda kullanılması tercih edilen Kolmogorov-Smirnov testi ve çok tercih edilen ve kullanılan Shapiro-Wilk Testlerinin her ikisinden de faydalanılmıştır. Tablo 1'de görüldüğü üzere gerek Shapiro-Wilk gerekse Kolmogorov-Smirnov testi sonuçlarında değerlerin 0.05' den küçük olduğu için H_1 hipotezi kabul edilerek verilerin, %95 güven aralığında veriler normal dağılım göstermediği tespit edilmiştir. Verilerin normal dağılıma sahip olmaması sebebiyle parametrik

olmayan testlerden Kruskal Wallis testi ile veriler analiz edilmiş ve çapraz tablolarla görüş farklılıklarının hangi gruptan kaynaklandığı araştırılmıştır. Ayrıca, görüşlere ilişkin bulgular frekans ve yüzde analizi ile sunulmuştur.

3. Bulgular

3.1. Araştırmaya Katılanların Genel Özelliklerinin Frekans ve Yüzde Değerleri

Araştırmaya katılanların yaşadıkları illere ait bulgular Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de görüldüğü üzere, araştırmamıza 60 ilden katılım sağlanmıştır. En çok katılım %5 ile Isparta ilinden olmuştur. En az katılım ise %0,4 ile Amasya ve Tokat illerinden olmuştur.

Tablo 2. Katılımcıların yaşadıkları illere ait bulgular

İller	Frekans	Yüzde %	İller	Frekans	Yüzde %
Adana	28	5,6	Gaziantep	13	2,6
Adıyaman	4	0,8	Giresun	3	0,6
Afyonkarahisar	16	3,2	Gümüşhane	4	0,8
Ağrı	7	1,4	Hatay	8	1,6
Amasya	2	0,4	Isparta	25	5,0
Ankara	17	3,4	İstanbul	20	4,0
Antalya	16	3,2	İzmir	16	3,2
Ardahan	3	0,6	Kahramanmaraş	15	3,0
Artvin	10	2,0	Karaman	5	1,0
Aydın	10	2,0	Kastamonu	9	1,8
Balıkesir	10	2,0	Kayseri	11	2,2
Bartın	6	1,2	Konya	20	4,0
Batman	6	1,2	Kütahya	11	2,2
Bayburt	3	0,6	Manisa	8	1,6
Bilecik	10	2,0	Mardin	5	1,0
Bitlis	3	0,6	Mersin	12	2,4
Bolu	9	1,8	Muğla	12	2,4
Burdur	6	1,2	Niğde	6	1,2
Bursa	13	2,6	Ordu	3	0,6
Çanakkale	7	1,4	Osmaniye	5	1,0
Çankırı	3	0,6	Rize	6	1,2
Çorum	9	1,8	Samsun	3	0,6
Denizli	11	2,2	Sinop	7	1,4
Diyarbakır	4	0,8	Sivas	8	1,6
Düzce	3	0,6	Şanlıurfa	6	1,2
Edirne	6	1,2	Tokat	2	0,4
Elazığ	4	0,8	Uşak	3	0,6
Erzincan	5	1,0	Yalova	3	0,6
Erzurum	5	1,0	Yozgat	5	1,0
Eskişehir	4	0,8	Zonguldak	6	1,2

Katılımcıların sosyo ekonomik ve demografik özelliklerine ait bulgular Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3’te görüldüğü üzere, katılımcıların %39.8’i lisans mezunu, %27’si ön lisans mezunu, %20.8’i lise mezunu ve %12.4’ü yüksek lisans veya doktora mezunudur. %37.6’sı 19-30 yaş aralığında, %32.6’sı 31-40 yaş aralığında, %22.8’i 41-50 yaş aralığında ve %7’si 50 ve üstü yaş aralığında yer almaktadır. Katılımcıların %59.4’ü evli, %40.6’sı ise bekdir. OGM’de ki görevleri %48.8’si orman mühendisi, %26.2’si orman muhafaza memuru, %14.6’sı orman işçisi, %10.4’ü büro personeli olarak çalışmaktadır. Katılımcıların ortalama gelirleri %48.4’ü 10001₺ ve üstü, %29.4’ü %8001-10000₺, %21.2’si 6001-8000₺ gelire sahiplerdir. Anket çalışmasına katılan personeller 2020 yılında 500 personel atamasında mı atadınız sorusuna %45.2’si evet, %54.8’i hayır demişlerdir. Katılımcıların OGM’ye atanmadan önce 6-9 ay arası danışman mühendislik yapıp yapmadıkları sorulduğunda %31.4’ü evet, %68.6’sı hayır demişlerdir. Katılımcıların OGM’de çalışma süreleri sorulduğunda %47.8’i 5 yıldan az, %25.2’si 6-10 yıl arası, %11.2’si 11-15 yıl arası, %7.8’i 16-20 yıl arası, %8’i 20 yıl ve üzeri çalışma sürelerine sahiptirler. Katılımcıların meslek örgütüne üyelikleri sorulduğunda %58.8’i evet, %41.2’si hayır demişlerdir.

Tablo 3. Katılımcıların sosyo ekonomik ve demografik özelliklerine ait bulgular

Özellikler	Frekans	Yüzde %	
Katılımcıların eğitim durumlarına ait bulgular	Lise Mezunu	104	20,8
	Ön Lisans	135	27,0
	Lisans	199	39,8
	Yüksek Lisans/Doktora	62	12,4
Katılımcıların yaş dağılımlarına ait bulgular	0 – 18	0	0
	19 – 30	188	37,6
	31 – 40	163	32,6
	41 – 50	114	22,8
	50 ve üstü	35	7,0
Katılımcıların medeni durumlarına ait bulgular	Evli	297	59,4
	Bekar	203	40,6
Katılımcıların Orman Genel Müdürlüğü bünyesindeki görevlerine ait bulgular	Orman Mühendisi	244	48,8
	Orman Muhafaza Memuru	131	26,2
	Büro Personeli	52	10,4
	Orman İşçisi	73	14,6
Katılımcıların ortalama aylık gelirlerine ait bulgular	0-4250 ₺	0	0
	4250-6000 ₺	5	1,0
	6001-8000 ₺	106	21,2
	8001-10000 ₺	147	29,4
	10001 ₺ ve üstü	242	48,4
Katılımcıların 2020 yılı Orman Genel Müdürlüğü 5000 personel atamasına ait bulgular	Evet	226	45,2
	Hayır	274	54,8
Katılımcıların OGM'ye atanmadan önce 6-9 ay arası danışman mühendislik yapıp yapmadıklarına ait bulgular	Evet	157	31,4
	Hayır	343	68,6
Katılımcıların OGM'de çalışma sürelerine ait bulgular	5 yıldan az	239	47,8
	6-10 yıl arası	126	25,2
	11-15 yıl arası	56	11,2
	16-20 yıl arası	39	7,8
	20 yıl ve üzeri	40	8,0
Katılımcıların meslek örgütüne üyeliklerine ait bulgular	Evet	294	58,8
	Hayır	206	41,2

3.2. Araştırmaya Katılanların Orman Genel Müdürlüğü Örgütsel Yapısında Yapılan Reorganizasyon Çalışmaları ve Bunların İstihdama Etkilerinin Frekans ve Yüzdeleri

Araştırmaya katılanların Orman Genel Müdürlüğü örgütsel yapısında yapılan reorganizasyon çalışmaları ve bunların istihdama etkilerinin frekans ve yüzde değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4'te görüldüğü üzere “Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır” önermesine %52’si katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir” önermesine %49’u katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon teknik ormancılık uygulama kapasitesini artırmıştır” önermesine %49,4’ü katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır” önermesine %38,6’sı kesinlikle katılmıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır” önermesine %29,1’i kesinlikle katılmıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile ülkemizin odun ham maddesi ihtiyacını karşılamayı hedeflemiştir” önermesine %50,8’i katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyon ile odun ham maddesi üretimi artmaya başlamıştır” önermesine %47,8’i katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon ve artan istihdam orman koruma faaliyetlerinin etkinliğini artırmıştır” önermesine %39’u katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atandıktan sonra psikolojik olarak kendimi daha güvende hissetmekteyim” önermesine %38,4’ü katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü çalışma ortamı görev yapma istek ve heyecanını artırıyor” önermesine %36,6’sı katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır” önermesine %41,6’sı katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum” önermesine %36,8’i katılmıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde sözleşmeli personel olarak çalışmak özlük haklarını etkilememektedir” önermesine %35’i fikrim yok, “Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmaları sonucunda çalışan personelin moral ve motivasyonunu artırmıştır” önermesine %42,8’i katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından

yapılan reorganizasyon çalışmaları ve istihdam artışı Orman Fakültelerine ve Ormanlık Programlarına yapılan tercihleri arttıracaktır” önermesine %36,2’si katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır” önermesine %44,4’ü fikrim yok, “Yapılan yönetimsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır” önermesine %34,2’si kesinlikle katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır” önermesine %43,2’si katılıyorum, “Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmalarını devam etmeli ve yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şeflikleri kurmalıdır” önermesine %39,6’sı kesinlikle katılıyorum demişlerdir.

Tablo 4. Araştırmaya katılanların Orman Genel Müdürlüğü örgütsel yapısında yapılan reorganizasyon çalışmaları ve bunların istihdama etkilerinin frekans ve yüzde değerleri

Önermeler	Kesinlikle katılmıyorum (%)	Katılmıyorum (%)	Fikrim yok (%)	Katılıyorum (%)	Kesinlikle katılıyorum (%)
Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır	6,4	14,2	3,6	52,0	23,8
Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir	11,6	13,8	4,0	49,0	21,6
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon teknik ormancılık uygulama kapasitesini artırmıştır.	7,4	13,2	8,2	49,4	21,8
Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır	38,6	27,0	4,4	20,8	9,2
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır	29,1	25,2	2,2	28,9	14,6
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile ülkemizin odun ham maddesi ihtiyacını karşılamayı hedeflemiştir.	4,0	9,8	15,2	50,8	20,2
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyon ile odun ham maddesi üretimi artmaya başlamıştır	4,8	16,8	9,4	47,8	21,2
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon ve artan istihdam orman koruma faaliyetlerinin etkinliğini artırmıştır	8,0	12,2	8,4	39,0	32,4
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atandıktan sonra psikolojik olarak kendimi daha güvende hissetmekteyim	7,6	15,2	7,0	38,4	31,8
Orman Genel Müdürlüğü çalışma ortamı görev yapma istek ve heyecanımı artırıyor.	8,8	15,8	8,4	36,6	30,4
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır.	4,0	7,0	16,6	41,6	30,8
Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur.	21,0	19,4	33,6	17,4	8,6
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır.	4,0	7,0	16,6	41,6	30,8
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum	7,0	36,8	3,8	28,6	23,8
Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde sözleşmeli personel olarak çalışmak özlük haklarını etkilememektedir	20,6	20,6	35,0	18,2	5,6
Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmaları sonucunda çalışan personelin moral ve motivasyonunu artmıştır	8,0	14,8	8,4	42,8	26,0
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan reorganizasyon çalışmaları ve istihdam artışı Orman Fakültelerine ve Ormanlık Programlarına yapılan tercihleri arttıracaktır	6,4	14,0	14,8	36,2	28,6
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır	10,4	19,4	44,4	20,8	5,0
Yapılan yönetimsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır	21,2	14,6	3,0	27,0	34,2
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır	4,2	17,0	8,0	43,2	27,6
Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmalarını devam etmeli ve yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şeflikleri kurmalıdır	7,6	11,6	6,0	35,2	39,6

3.3. Araştırmaya Katılanların Meslek Gruplarına Göre Yapılan Kruskal Wallis Testi Bulguları

Araştırmaya katılanların meslek gruplarına göre yapılan Kruskal Wallis Testi bulguları Tablo 5’te verilmiştir. Tablo 5’te görüldüğü üzere, “Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir”, “Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda

yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır”, Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır”, Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur”, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır”, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum”, Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır”, Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır”, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır” önermelerine verilen cevaplardan istatistiksel olarak anlamlı görüş farklılıklarının olduğu ortaya konulmuştur.

Tablo 5. Katılımcıların meslek gruplarına göre Orman Genel Müdürlüğü örgütsel yapısında yapılan reorganizasyon çalışmaları ve bunların istihdama etkileri yönelik oluşturulan ölçeğe uygulanan Kruskal Wallis Testi bulgularına ait bulgular

Sorular	Chi-Square	df	Asymp. Sig.
Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır.	,774	3	,856
Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir.	10,404	3	,015*
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon teknik ormancılık uygulama kapasitesini artırmıştır.	2,173	3	,537
Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır.	40,216	3	,000*
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır.	28,816	3	,000*
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile ülkemizin odun ham maddesi ihtiyacını karşılamayı hedeflemiştir.	1,789	3	,617
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyon ile odun ham maddesi üretimi artmaya başlamıştır.	4,610	3	,203
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon ve artan istihdam orman koruma faaliyetlerinin etkinliğini artırmıştır.	6,071	3	,108
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atandıktan sonra psikolojik olarak kendimi daha güvende hissetmekteyim.	5,678	3	,128
Orman Genel Müdürlüğü çalışma ortamı görev yapma istek ve heyecanını artırıyor.	1,219	3	,748
Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur.	22,223	3	,000*
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır.	11,560	3	,009*
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum.	8,535	3	,036*
Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde sözleşmeli personel olarak çalışmak özlük haklarını etkilememektedir.	4,740	3	,192
Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmaları sonucunda çalışan personelin moral ve motivasyonunu artmıştır.	,762	3	,858
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan reorganizasyon çalışmaları ve istihdam artışı Orman Fakültelerine ve Ormancılık Programlarına yapılan tercihleri arttıracaktır.	2,589	3	,459
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır.	10,251	3	,017*
Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır.	37,190	3	,000*
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır.	9,025	3	,029*
Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmalarını devam etmeli ve yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şeflikleri kurmalıdır.	7,643	3	,054

3.4. Araştırmaya Katılanların Meslek Gruplarına Göre Görüş Farklarının Hangi Gruptan Kaynaklandığını Tespit Etmek Üzere Yapılan Crosstab Çapraz Tablolara İlişkin Bulgular

Araştırmaya Katılanların meslek gruplarına göre yapılan Kruskal Wallis testi sonuçlarına göre meslek grupları arasında farklılıklar meydana gelmiştir. Bu meydana gelen farklılıkların hangi meslek gruplarından kaynaklandığını tespit etmek için crosstab çapraz tablolardan yararlanılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir” önermesine orman mühendisleri %20.6 oranla katılmıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır” önermesine orman mühendisleri %23.2 oranla kesinlikle katılmıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır” önermesine orman mühendisleri %17.8 oranla kesinlikle katılmıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur” önermesine orman mühendisleri %13.6 oranla kesinlikle katılmıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır” önermesine orman mühendisleri %18.8 oranla kesinlikle katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum” önermesine orman mühendisleri %18.8 oranla katılmıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır” önermesine orman mühendisleri %18.2 oranla fikrim yok diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır” önermesine orman mühendisleri %19.8 oranla kesinlikle katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır” önermesine orman mühendisleri %19.6 oranla katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

3.5. Araştırmaya Katılanların Yaş Dağılımlarına Göre Yapılan Kruskal Wallis Testi Bulguları

Araştırmaya katılanların yaş dağılımlarına göre yapılan Kruskal Wallis Testi bulguları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6 da görüldüğü üzere, “Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır”, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atandıktan sonra psikolojik olarak kendimi daha güvende hissetmekteyim”, “Orman Genel Müdürlüğü çalışma ortamı görev yapma istek ve heyecanını artırıyor”, “Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur”, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır”, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan reorganizasyon çalışmaları ve istihdam artışı Orman Fakültelerine ve Ormancılık Programlarına yapılan tercihleri arttıracaktır”, “Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır” önermelerine verilen cevaplardan istatistiksel olarak anlamlı görüş farklılıklarının olduğu ortaya konulmuştur.

Tablo 6. Katılımcıların yaş dağılımlarına göre Orman Genel Müdürlüğü örgütsel yapısında yapılan reorganizasyon çalışmaları ve bunların istihdama etkileri yönelik oluşturulan ölçeğe uygulanan Kruskal Wallis Testi sonuçlarına ait bulgular

Sorular	Chi-Square	df	Asymp. Sig.
Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır.	8,213	3	,042*
Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir.	,824	3	,844
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon teknik ormancılık uygulama kapasitesini artırmıştır.	2,760	3	,430
Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır.	5,036	3	,169
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır.	7,142	3	,067
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile ülkemizin odun ham maddesi ihtiyacını karşılamayı hedeflemiştir.	0,157	3	,0984
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyon ile odun ham maddesi üretimi artmaya başlamıştır.	1,175	3	,759
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon ve artan istihdam orman koruma faaliyetlerinin etkinliğini artırmıştır.	1,161	3	,762
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atandıktan sonra psikolojik olarak kendimi daha güvende hissetmekteyim.	8,858	3	,031*
Orman Genel Müdürlüğü çalışma ortamı görev yapma istek ve heyecanını artırıyor.	9,698	3	,021*
Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur.	17,168	3	,001*
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır.	17,006	3	,001*
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum.	,018	3	,999
Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde sözleşmeli personel olarak çalışmak özlük haklarını etkilememektedir.	4,281	3	,233
Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmaları sonucunda çalışan personelin moral ve motivasyonunu artmıştır.	3,650	3	,302
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan reorganizasyon çalışmaları ve istihdam artışı Orman Fakültelerine ve Ormancılık Programlarına yapılan tercihleri arttıracaktır.	16,069	3	,001*
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır.	1,005	3	,800
Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır.	8,670	3	,034*
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır.	,138	3	,987
Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmalarını devam etmeli ve yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şeflikleri kurmalıdır.	6,540	3	,088

3.6. Araştırmaya Katılanların Yaş Dağılımlarına Göre Görüş Farklarının Hangi Gruptan Kaynaklandığını Tespit Etmek Üzere Yapılan Crosstab Çapraz Tablolara İlişkin Bulgular

Araştırmaya katılanların yaş dağılımlarına göre yapılan Kruskal Wallis testi sonuçlarına göre meslek grupları arasında farklılıklar meydana gelmiştir. Bu meydana gelen farklılıkların hangi meslek gruplarından kaynaklandığını tespit etmek için crosstab çapraz tablolardan yararlanılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır” önermesine 21-30 yaş aralığındaki katılımcılar %20.8 oranla katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atandıktan sonra psikolojik olarak kendimi daha güvende hissetmekteyim” önermesine 21-30 yaş aralığındaki katılımcılar %14.4 oranla kesinlikle katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü çalışma ortamı görev yapma istek ve heyecanını artırıyor” önermesine 21-30 yaş aralığındaki katılımcılar %13.8 oranla kesinlikle katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur” önermesine 21-30 yaş aralığındaki katılımcılar %12.6 oranla fikrim yok diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır” önermesine 21-30 yaş aralığındaki katılımcılar %15.2 oranla katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan reorganizasyon çalışmaları ve istihdam artışı Orman Fakültelerine ve Ormancılık Programlarına yapılan tercihleri arttıracaktır” önermesine 21-30 yaş aralığındaki katılımcılar %15 oranla katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

“Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır” önermesine 21-30 yaş aralığındaki katılımcılar %14 oranla kesinlikle katılıyorum diyerek diğer meslek gruplarından ayrılmışlardır.

3.7. Araştırmaya Katılanların 2020 Yılı Atamalarına Göre Yapılan Mann Whitney U Testi Bulguları

Araştırmaya katılanların 2020 yılı atamalarına göre yapılan Mann Whitney U Testi bulguları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Katılımcıların 2020 yılı atamalarına göre Orman Genel Müdürlüğü örgütsel yapısında yapılan reorganizasyon çalışmaları ve bunların istihdama etkileri yönelik oluşturulan ölçüğe uygulanan Mann-Whitney U Testi sonuçlarına ait bulgular

Sorular	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig.
Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır.	25833,000	51484,000	-3,475	.001*
Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir.	24853,500	50504,500	-4,078	.000*
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon teknik ormancılık uygulama kapasitesini artırmıştır.	24940,500	50591,500	-4,025	.000*
Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır.	23653,500	49304,500	-4,757	.000*
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır.	25226,000	50877,000	-3,695	.000*
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile ülkemizin odun ham maddesi ihtiyacını karşılamayı hedeflemiştir.	24608,500	50259,500	-4,271	.000*
Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyon ile odun ham maddesi üretimi artmaya başlamıştır.	25223,500	50874,500	-3,814	.000*
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon ve artan istihdam orman koruma faaliyetlerinin etkinliğini artırmıştır.	25173,500	50824,500	-3,787	.000*
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atandıktan sonra psikolojik olarak kendimi daha güvende hissetmekteyim.	28694,000	54345,000	-1,481	.139
Orman Genel Müdürlüğü çalışma ortamı görev yapma istek ve heyecanını artırıyor.	29147,000	54798,000	-1,178	.239
Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur.	27051,500	52702,500	-2,509	.012*
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce danışman mühendis veya serbest ormancılık bürolarında çalışmak mesleki tecrübe ve deneyim sağlamaktadır.	30212,000	55863,000	-,493	.622
Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum.	23768,500	49419,500	-4,682	.000*
Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde sözleşmeli personel olarak çalışmak özlük haklarını etkilememektedir.	26550,000	52201,000	-2,840	.005*
Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmaları sonucunda çalışan personelin moral ve motivasyonunu artırmıştır.	27342,000	52993,000	-2,374	.018*
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan reorganizasyon çalışmaları ve istihdam artışı Orman Fakültelerine ve Ormancılık Programlarına yapılan tercihleri arttıracaktır.	28653,500	54304,500	-1,494	.135
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır.	21743,500	25467,000	-3,613	.000*
Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır.	24419,000	62094,000	-4,225	.000*
Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır.	24667,000	50318,000	-4,143	.000*
Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmalarını devam ettirmeli ve yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şeflikleri kurmalıdır.	25976,000	51627,000	-3,283	.001*

Tablo 7 de görüldüğü üzere, “Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır”, “Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir”, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon teknik ormancılık uygulama kapasitesini artırmıştır”, “Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır”, Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır”, “Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile ülkemizin odun ham maddesi ihtiyacını karşılamayı hedeflemiştir”, “Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyon ile odun ham maddesi üretimi artmaya başlamıştır”, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon ve artan istihdam orman koruma faaliyetlerinin etkinliğini artırmıştır”, “Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur”, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum”, “Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde sözleşmeli personel olarak çalışmak özlük haklarını etkilememektedir”, “Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmaları sonucunda çalışan personelin moral ve motivasyonunu artmıştır”, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır”, ”Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır”, “Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır”, “Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmalarını devam ettirmeli ve yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şeflikleri kurmalıdır” önermelerine verilen cevaplardan istatistiksel olarak anlamlı görüş farklılıklarının olduğu ortaya konulmuştur.

3.8. Araştırmaya Katılanların 2020 Yılı Atamalarına Göre Görüş Farklarının Hangi Gruptan Kaynaklandığını Tespit Etmek Üzere Yapılan Crosstab Çapraz Tablolara İlişkin Bulgular

Araştırmaya katılanların 2020 yılı atamalarına göre yapılan Mann-Whitney U Testi sonuçlarına göre meslek grupları arasında farklılıklar meydana gelmiştir. Bu meydana gelen farklılıkların hangi meslek gruplarından kaynaklandığını tespit etmek için crosstab çapraz tablolardan yararlanılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şefliklerini kurması ile stratejik olarak önemli bir reorganizasyon değişikliği yapmıştır” önermesine hayır diyen katılımcıların %30.8’i katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü Orman İşletme Şeflerinde mühendis ve memurların iş yükünü azaltmak amacıyla kurumsal reorganizasyona gitmiştir” önermesine hayır diyen katılımcıların %30’u katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon teknik ormancılık uygulama kapasitesini artırmıştır” önermesine hayır diyen katılımcıların %28.2’si katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü son reorganizasyon düzenlemeleri ve bu düzenleme sonucunda yaptığı istihdam ile birlikte yeterli personel sayısına ulaşmıştır” önermesine hayır diyen katılımcıların %15’i katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile 5000 personel alması, halen çalışmakta olan personelin iş yükünü azaltmıştır” önermesine hayır diyen katılımcılar %17’si katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyonu ile ülkemizin odun ham maddesi ihtiyacını karşılamayı hedeflemiştir” önermesine hayır diyen katılımcılar %29.6’sı katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü yaptığı kurumsal reorganizasyon ile odun ham maddesi üretimi artmaya başlamıştır” önermesine hayır diyen katılımcılar %28.4’u katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon ve artan istihdam orman koruma faaliyetlerinin etkinliğini artırmıştır” önermesine hayır diyen katılımcılar %21’i kesinlikle katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Danışman mühendis ya da özel ormancılık bürolarının çalışma şartları daha zordur” önermesine hayır diyen katılımcıların %33.6’sı fikrim yok diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü bünyesine atanmadan önce çalışma şartlarını biliyordum” önermesine hayır diyen katılımcıların %17.6’sı kesinlikle katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde sözleşmeli personel olarak çalışmak özlük haklarını etkilememektedir” önermesine hayır diyen katılımcıların %24’ü fikrim yok diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmaları sonucunda çalışan personelin moral ve motivasyonunu artmıştır” önermesine hayır diyen katılımcıların %27’si katılıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan orman mühendisi istihdamı sonucunda özel sektörde çalışan orman mühendisi sayısı azalmıştır” önermesine hayır diyen katılımcıların %24.4’ü fikrim yok diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Yapılan yönetsel reorganizasyona rağmen Orman işletme şeflerinin veya orman muhafaza memurlarının iş yükü azalmamıştır” önermesine hayır diyen katılımcıların %16’sı kesinlikle katılmıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan kurumsal reorganizasyon çalışması sonucunda arazi çalışmalarına daha fazla zaman ayrılmaktadır” önermesine hayır diyen katılımcıların %24.4’ü katılmıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

“Orman Genel Müdürlüğü kurumsal reorganizasyon çalışmalarını devam ettirmeli ve yeni Orman İşletme Müdürlükleri ve İşletme Şeflikleri kurulmalıdır” önermesine hayır diyen katılımcıların %24’ü kesinlikle katılmıyorum diyerek evet diyen gruptan ayrılmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Türkiye’de çok çeşitli ormancılık etkinliklerinin yürütülebilmesi için, bunların hizmetlere göre, fonksiyonel bakımdan ve coğrafi bölgelere dayalı olarak gruplandırılması sözkonusudur. Hizmetlere göre gruplandırma farklı nitelikte olan iş ya da işlemlerin benzerlik ya da birbirini tamamladıklarına göre uygun bölümlere ayrılması olarak belirtilebilir [20]. Bu gruplandırmaya ülkemizde farklı ormancılık görevlerini üstlenmiş olan ormancılık örgütleri örnek olarak gösterilebilir. Örneğin Orman Genel Müdürlüğü orman ve orman kaynaklarını korumak, doğaya yakın bir anlayışla geliştirmek, ekosistem bütünlüğü içinde sürdürülebilir ve topluma çok yönlü faydalar sağlayacak şekilde yönetmek gibi bir görev üstlenmiş olup hizmetlerini bu kapsamda yapmaktadır. Öte yandan Doğa koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü milli parklar, tabiat parakları, tabiatı koruma alanları, tabiat anıtları, sulak alanlar ve yaban hayatı habitatlarını koruma ve yönetme görevini üstlenmiştir [21]. Fonksiyonel bakımdan gruplandırma Genel Müdürlük olarak örgütlenmiş olan bir teşkilatın merkez veya taşra kuruluşlarında çeşitli ormancılık etkinliklerinin fonksiyonlarına uygun bir biçimde gruplandırılmasıdır. Örneğin OGM’ye bağlı Orman Bölge Müdürlüklerinde üretim, personeli muhasebe vb gibi fonksiyonlara uygun bölümler ayrılmıştır. Ormancılık ve orman işletmeciliğinin doğaya ve dolasıyla araziye çok sıkı şekilde bağlı oluşu nedeniyle ormancılık örgütünün coğrafi bir yayılma göstermesi kaçınılmazdır. Ormancılık hizmetlerinin bir bölgede toplanması mümkün değildir. Bu nedenle bütün ülkelerde ormancılık kuruluşları ülke alanına yayılmış bir biçimde bulunurlar. [20]. Bugün OGM 30 Orman Bölge Müdürlüğü ile ülkede hizmet vermektedir [22]. Ayrıca bu birimlere bağlı Orman İşletme Müdürlükleri ve Orman İşletme Şeflikleri bulunmaktadır. Son 5 yıl içinde OGM taşra teşkilatında bulunan Orman Bölge Müdürlükleri, Orman İşletme Müdürlükleri ve Orman İşletme Şeflikleri sayılarını artıran önemli reorganizasyon çalışmaları yapmıştır. Böylece yeni kurulan birimlere çok sayıda açıktan Orman Mühendisi ve Orman Muhafaza Memuru atamaları yapılmıştır. Bu atamalar sonucunda iş bekleyen Orman Mühendisi ve Orman Muhafaza Memuru sayısında ciddi azalmalar olmuştur. Orman Mühendisi ve Orman Muhafaza Memuru istihdamında sorun olmadığını gören üniversite adayları 2022 yılında girdikleri üniversite sınavlarında, bu mesleklerin eğitimini veren programları tercih etmişler ve kontenjanları doldurmuşlardır.

Teşekkür

Bu araştırma, Isparta uygulamalı Bilimler Üniversitesi (ISUBÜ), Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda tamamlanan “Orman Genel Müdürlüğü Örgütsel Yapısında Yapılan Reorganizasyon Çalışmaları ve Bunların İstihdama Etkileri” adlı Yüksek Lisans tez çalışmasının bir bölümüdür. Bu çalışmayı yapmamızı sağlayan Isparta uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’ne ve Orman Genel Müdürlüğü personeline anket çalışmasına katıldıkları için teşekkürlerimizi sunarız.

Yazar Katkıları

Ahmet Tolunay çalışmayı planlamış ve tasarlamıştır. Mustafa Malkoç verileri toplamıştır. Mehmet Özmiş verilerin analizini yapmıştır. Yazarlar makalenin yazımına ortak katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Referanslar

- [1] OGM, “Türkiye Orman Varlığı”, 2015, [online], Erişim: <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1-2016-2017.Pdf>, [Erişim Tarihi: 22.11.2021].
- [2] E. Ünal, “Orman Genel Müdürlüğü Geoportal Bilgi Sisteminin Ormanlık Örgütüne Sağladığı Katkıları”, 2016., Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Isparta.
- [3] D. Toksoy, M. Bayramoğlu, H. Ayaz, “Ormanlık Örgütündeki Orman Mühendislerinin Yönetimsel ve Örgütsel Sorunları Üzerine Bir Araştırma”, 2012, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bil. Dergisi, Kahramanmaraş.
- [4] T. Uğur, “Örgütsel Stres Ve Yönetimi: Orman İşletmeleri Örneği”, 2015, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Isparta.
- [5] İ. Daşdemir, “Devlet Orman İşletmelerinin Yönetimsel ve Örgütsel Boyutlarının Belirlenmesi”, 1998., Orman Bakanlığı, Doğu Anadolu Ormanlık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Rapor Yayın No:3, ISSN 1300-9486, 70 s., Erzurum.
- [6] C. Gümüş, “Osmanlıdan Günümüze Ormanlık Politikalarının Ormanlık Örgütlenmesi Üzerine Etkileri ve Güncel Sorunlar”, 2014, II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, s:477-489, 22-24 Ekim 2014 – Isparta.
- [7] F. Schmithüsen, M. Bert, “Current Trends in Forest Policies”. 1991, World Forestry Congress, Paris.
- [8] S. Seçkiner, “Bütünsel Tur-Rotasyon Çizelgeleme Yaklaşımı İle İş yükü Minimasyonu”, 2005, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara.
- [9] OGM, “Orman Genel Müdürlüğü Stratejik Plan (2010-2014)”, 2009, T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Ankara.
- [10] S. Alkan, “Orman Mühendislerinin Hizmet İçi Eğitim Programlarını Değerlendirmeleri”, 2008, 3. Ulusal Ormanlık Kongresi, 150. Yılında Türkiye’de Ormanlık Eğitimi, Ankara.
- [11] İ. Şafak, “Ege Bölgesi Orman Mühendislerinin Profili”, 2008, Orman Mühendisleri Odası Dergisi, Yıl:45, Sayı:10-11-12, Ankara, s:22-26.
- [12] H. Çelik, “Heyelanların Kontrolünde ve önlenmesinde Ormanların Orman Mühendislerinin Rolü”, 1990, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Ser.:B,Cilt:401(1990), s.86, İstanbul.
- [13] H. Uzun, “Orman Mühendislerinin Kendini Gerçekleştirme ve Doyum Düzeyleri”, 2002, Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 193s, Kocaeli.
- [14] A. Tolunay, “Ormanlıkta Uygulayıcı Teknik Personel Eğitimi”, 2001, I. Ulusal Ormanlık Kongresi, Türkiye Ormanlıklar Derneği, Ankara.
- [15] M. Genç, M. Avcı, “Ormanlıkta Teknik Yardımcı Eleman İhtiyacı ve Eğitimi: Süleyman Demirel Üniversitesi Meslek Yüksekokulları Programları, 2005, Türk Ormanlığında Uluslararası Süreçte Acil Eyleme Dönüştürülmesi Gereken Konular, Mevzuat ve Yapılanmaya Yansımaları”, Orman Mühendisleri Odası Sempozyumu, 22-24 Aralık 2005, Antalya.
- [16] TOİ, “Orman Muhafaza Memurluğu Yönetmeliği Hakkında Duyuru”, Tarım Orman İş Sendikası, 26.12.2012.
- [17] OGM, “Orman Genel Müdürlüğü Personel Daire Başkanlığı”, 2018, Şubat Personel Sayısı, Ankara.
- [18] K. Özdamar, “Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi”, 2013, Cilt 1. Nisan Kitabevi.
- [19] A. Akgül, O. Çevik, “İstatistiksel Analiz Teknikleri”, 2005, SPSS’te İşletme Yönetimi Uygulamaları. Emek Ofset, Ankara.
- [20] İ. Gülen, M. Özdoğan, “Ormanlık Yönetim Bilgisi”, 1987, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, i.ü. Yan No: 3442, O.F. Yayın No: 385, ISBN: 975-404-009-5.
- [21] A.Y. Eryılmaz, A. Tolunay, “Ormanlık Politikası”, 2015, Fakülte Kitabevi Yayınları, ISBN: 978-605-4324-65-1.
- [22] OGM, “Kuruluşumuz Orman Bölge Müdürlükleri”, Erişim: <https://www.ogm.gov.tr/tr/kurulusumuz/orman-bolge-mudurlukleri>, Erişim Tarihi: 20 Haziran 2022.

The Effect of Fear of COVID-19 on Demonstrating Personal Health Behavior and Prosocial Behavior

Tekin Sancar ^a, Fuat Yalman ^{b,1}

^a Iğdır University, Iğdır, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-5277-3449

^b Düzce University, Düzce, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-1041-1837

Abstract

The main purpose of this study is to determine the effect of fear of COVID-19 on showing personal health behavior and pro-social behavior during the period when new variations of the COVID-19 virus are seen in Turkey. A population-based cross-sectional research design was used in the study. The population of the study consisted of patients over the age of 18 who applied to a family medicine unit operating in Düzce city center and their relatives. Data were collected from 485 people using face-to-face survey technique. SPSS 23 and AMOS 26 package programs were used in the analysis of the data. The findings of the study revealed that the majority of the participants had a relatively high level of fear of COVID-19, their personal health behavior and their pro-social behavior. In addition, the empirical result of the study showed that the level of fear of COVID-19 significantly affects the level of personal health behavior and pro-social behavior. Thus, the increased level of COVID-19 fear leads to high personal health behavior and pro-social behavior. It was found that female participants had higher COVID-19 fear levels and exhibited more pro-social behavior than male participants; young individuals show more personal health behaviors and pro-social behavior; It has been determined that public employees have higher COVID-19 fear levels, show more personal health behaviors, and engage in pro-social behavior. In addition, it has been found that the majority of people who are afraid of the COVID-19 virus think that the virus is man-made.

Keywords: “COVID-19, fear, personal health behavior, prosocial behavior.”

1. Introduction

Due to the fact that the COVID-19 disease is contagious, it is seen that it has turned into a global epidemic that threatens the health of societies. Governments around the world have played an important role in both mitigating the economic impact of the crisis and in preventing and controlling the disease to tackle the growing public health crisis caused by the COVID-19 pandemic. Many countries have implemented some sensible measures and regulations (e.g. social distancing, masks, hand washing, personal hygiene, and social isolation, mandatory quarantine) to prevent disease transmission and stabilize the economy. (World Health Organization, 2020). In addition, it has been stated that COVID-19, which was fatal in the elderly patient groups at the beginning of the pandemic, has recently led to deaths in younger age groups, and the disease has started to pose a serious risk factor for younger age groups (Çağatay et al., 2022). At the same time, when Turkey's health statistics are examined in general, when COVID-19 data (death rates, bed occupancy rates, etc.) are compared with other countries, it is stated that Turkey is successful in the fight against COVID-19 (Çağatay et al., 2021).

When the source of the danger is clear, the emotion experienced is called fear. The most important reason why pandemics create great fear on society; the infection is listed as (i) being contagious, (ii) posing an imminent threat, (iii) being invisible, (iv) increasing its area of influence (Pappas et al., 2009). Psychological reactions that occur during the pandemic can range from extreme fear to indifference to fatalism (Taylor, 2019). Fear emerges as a strong emotion that affects individuals' physical reactions, cognitive skills and moods. Increasing fear in individuals causes an increase in intolerance to uncertainty and negatively affects positivity levels. (Harper et al., 2020; Taylor et al., 2020).

Fear; It is one of the important psychological aspects of the COVID-19 pandemic (Lu et al., 2020). The uncertainty caused by the COVID-19 disease causes fear in people (Lum and Tambyah, 2020); It has been observed that this fear triggers feelings of helplessness, illness and death in individuals, leading to negative emotional states such as intolerance to uncertainty, depression, anxiety and stress (Bakioğlu et al., 2020). In addition, the uncertainty of the COVID-19 epidemic, health anxiety, constant

¹ Corresponding Author
E-mail Address: fuatyalman@duzce.edu.tr

exposure to true or false information on social media, and the fact that their loved ones are at risk have been identified as the sources of fear experienced by individuals (Mertens et al., 2020).

Fear and anxiety symptoms; It has been reported that people tend to respond positively to support and reassurance, accurate and timely information about the quarantine and isolation situation (Huremović, 2019). At the same time, the fear caused by the nature of the epidemic can also affect people's relationships in their daily lives. For example, more than half of quarantined individuals who were suspected of having come into contact with someone infected with the SARS virus stated that they tried to stay away from people who sneezed or coughed even weeks after the quarantine, 26% stated that they stayed away from crowded and closed areas, and 21% stated that they avoided all public areas. (Cava et al., 2005; Reynolds et al., 2008). The reactions of individuals coming out of quarantine or isolation by their environment, that is, the exposure of these individuals to stigmatization, are also considered as risk factors for psychological disorders (Bai et al., 2004).

At the same time, perceived and possessed social support is also considered as a protective factor during the epidemic disease process. In a longitudinal study of hospitalized individuals affected by the SARS epidemic, it was observed that psychological adjustment after recovery occurs as a result of increased social support, both perceived and possessed (Bonanno et al., 2008). In a study on the psychological effects of COVID-19, having good relationships with people living together emerged as a protective factor (Odrizola-González et al., 2020). Based on the above-mentioned scientific theoretical evidence and hypotheses, this study aimed to determine the effect of fear of COVID-19 on personal health behavior and pro-social behavior. It is predicted that fear of COVID-19 may have a statistically significant effect on displaying personal health behaviors and prosocial behavior. Therefore, the hypotheses we tested are:

“H1: Fear of COVID-19 has a statistically significant effect on personal health behavior.”

“H2: Fear of COVID-19 has a statistically significant effect on prosocial behavior.”

2. Material and Methods

2.1. Study Design, Procedures and Participants

In this study, a population-based cross-sectional research design was used. This cross-sectional study was conducted on patients over the age of 18 and their relatives who applied to a family medicine unit operating in the city center of Düzce between January and February 2022, using the face-to-face survey technique. The purpose of the study was explained to all participants beforehand. Basic instructions were given for completing the questionnaire and participants were informed that all their data would be recorded anonymously. It was stated that participation in the survey was voluntary. Data collected from 485 people in total were analyzed. 46% of the participants were male and 54% were female.

2.2. Instruments

The questionnaire consisted of five parts in total. The first part included information about the main purpose of the study, that the participation was voluntary and that personal information would be kept confidential. In the second part, statements revealing the socio-demographic characteristics of the participants are included. The third, fourth and fifth sections consisted of the following two measurement tools used in the research.

2.3. Fear of COVID-19

The COVID-19 fear level of the participants was determined using the “COVID-19 Fear Scale” (Ahorsu et al., 2020). The questionnaire consisted of 7 items measuring a general COVID-19 fear level. The questionnaire, which was prepared in Turkish, was evaluated using a five-point Likert scale. High scores indicated a high COVID-19 fear level (Cronbach's alpha = 0.944).

2.4. Personal Health Behavior

The personal health behavior of the participants was determined using the "personal health behavior scale" (Han et al., 2021). The questionnaire consisted of 3 items measuring the level of displaying a general personal health behavior. The questionnaire, which was prepared in Turkish, was evaluated using a five-point Likert scale. High scores indicated the level of showing positive personal health behavior (Cronbach's alpha = 0.877).

2.5. Prosocial Behavior

The prosocial behavior of the participants was determined using the “pro-social behavior scale” (Han et al., 2021). The questionnaire consisted of 4 items measuring the level of engaging in a general pro-social behavior. The questionnaire, which was prepared in Turkish, was evaluated using a five-point Likert scale. High scores indicated the level of positive prosocial behavior (Cronbach's alpha = 0.943).

2.6. Statistical Analysis

All statistical analyzes were performed using IBM SPSS 23 and AMOS package programs. First of all, descriptive statistics were made to reveal the demographic characteristics of the participants and the scores of the tested constructs (COVID-19 fear level, personal health behavior and pro-social behavior). Finally, structural equation modeling (SEM) was conducted using the maximum likelihood estimation method to examine the model that included the level of fear of COVID-19 in displaying personal health behaviors and engaging in pro-social behavior. That is, it was assumed that the level of fear of COVID-19 had a statistically significant effect on displaying personal health behaviors and engaging in pro-social behavior (see Figure 1 for the proposed model).

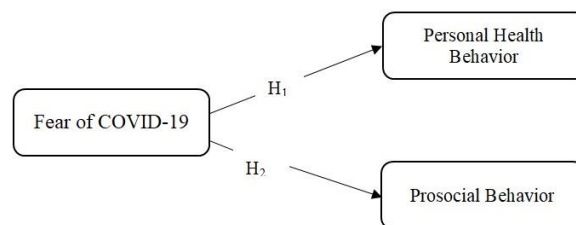


Figure 1. Theoretical model

3. Results

3.1. Demographic Findings and Descriptive Statistics

Table 1 shows the demographic characteristics of the participants and t test and ANOVA test regarding fear of COVID-19, personal health behavior and prosocial behavior.

Table 1. Sociodemographic characteristics of participants

				Fear of COVID-19		Personal Health Behavior		Prosocial Behavior	
Variables	n	%	Mean	t Test/ Anova (t/F)	p-value (2tailed)	T Test/ Anova (t/F)	p-value (2tailed)	t Test/ Anova (t/F)	p-value (2tailed)
Gender				-2,923 ^a	0,004	1,541 ^a	0,124	2,084 ^a	0,038
male	223	46,0	1,682						
female	262	54,0							
Age				2,262 ^b	0,062	4,234 ^b	0,002	5,342 ^b	<0,001
18–25 years	154	31,8	2,285						
26-35 years	151	31,1							
36-45 years	65	13,4							
46-55 years	52	10,7							
>55	63	13,0							
Educational attainment				1,783 ^b	0,150	,668 ^b	0,572	1,633 ^b	0,181
primary/second ary school	68	14,0	3,568						
high school	123	25,4							
university	249	51,3							
graduate	45	9,3							

Table 1. Sociodemographic characteristics of participants (Continuation)

				Fear of COVID-19		Personal Health Behavior		Prosocial Behavior	
Variables	n	%	Mean	t Test/Anova (t/F)	p-value (2tailed)	T Test/Anova (t/F)	p-value (2tailed)	t Test/Anova (t/F)	p-value (2tailed)
Jobs				2,601 ^b	0,012	3,249 ^b	0,002	4,244 ^b	<0,001
employee	32	6,6	1,581						
officer	126	26,0							
retired	32	6,6							
housewife	68	14,0							
self-employment	27	5,6							
student	117	24,1							
unemployed	36	7,4							
private sector employee	47	9,7							
Origin of COVID-19				20,829 ^a	<0,001	-4,866 ^a	<0,001	-5,159 ^a	<0,001
man-made	328	67,6	1,112						
natural	157	32,4							

^aIndependent sample t-test ^bANOVA test

3.2. The Model Fit Measures

Model fit was tested with different model fit indicators given in Table 2.

Table 2. Model fit measures

Measure	Estimate	Threshold	Interpretation
CMIN/DF	2.833	Between 1 and 5	good fit
CFI	0.978	≥ 0.90	acceptable value
GFI	0.940	≥ 0.85	acceptable value
NFI	0.967	≥ 0.90	acceptable value
IFI	0.979	≥ 0.90	acceptable value
TLI	0.973	≥ 0.90	acceptable value
RMR	0.045	< 0,08	acceptable value
RMSEA	0.062	< 0.08	acceptable value

3.3. The Results of The Measurement Model

Figure 1 shows the path analysis results and model fit for the variables of fear of COVID-19, personal health behavior and prosocial behavior.

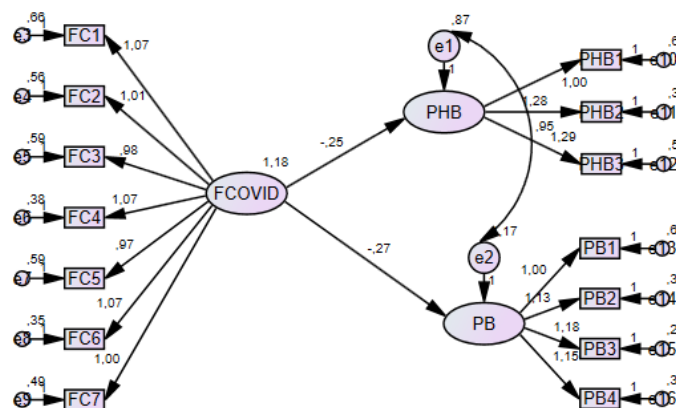


Figure 2. The results of the full model

The results for measuring the reliability and validity of the measurement model provide various measures of the measurement model, as shown in Table 3.

Table 3. The items' estimate and the constructs' Cronbach's α , AVEs and C.R.s.

Constructs	Items	Estimate	Cronbach's α	Mean (\pm SD)	AVE	CR
Fear of COVID-19 (FCOVID)	FCOVID7	,840	0.944	3,2094 (\pm 1,14802)	0,706	0,943
	FCOVID6	,892				
	FCOVID5	,808				
	FCOVID4	,884				
	FCOVID3	,810				
	FCOVID2	,826				
	FCOVID1	,819				
Personal Health Behavior (PHB)	PHB1	,764	0.877	3,0351 (\pm 1,23442)	0,707	0,878
	PHB2	,896				
	PHB3	,858				
Prosocial Behavior (PB)	PB1	,813	0.943	3,0727 (\pm 1,28535)	0,808	0,944
	PB2	,919				
	PB3	,940				
	PB4	,920				

The fit values examined show that the data fit the model well. Table 4 shows the results of the structural model.

Table 4. The result of the structural model

Hypothesis	Paths	Estimate	S.E.	C.R.	P	Result
Effect of Fear of COVID-19 on Personal Health Behavior						
H ₁	PHB <--- FCOVID	,248	,044	5,608	***	H ₁ supported
Effect of Fear of COVID-19 on Prosocial Behavior						
H ₂	PB <---FCOVID	,265	,049	5,412	***	H ₂ supported

As a result, it was determined that fear of COVID-19 significantly and positively affected personal health behavior and prosocial behavior. Thus, H₁ and H₂ hypotheses are statistically supported.

4. Discussion

The emergence of COVID-19 has caused many changes in everyone's life, children have become obligated to distance education and adults to run their business from their homes. On the one hand, the unknown about the disease, on the other hand, the anxiety and fears have caused people to need more information about the epidemic and to show more personal protective health behaviors and pro-social behavior in order to be protected from the epidemic.

The findings of the study revealed that the majority of the participants had a relatively high level of fear of COVID-19, their personal health behavior and their pro-social behavior. In addition, the empirical result of the study showed that the level of fear of COVID-19 significantly affects the level of personal health behavior and pro-social behavior. Thus, the increased level of COVID-19 fear leads to high personal health behavior and pro-social behavior. In addition, female participants have higher COVID-19 fear levels and exhibit more pro-social behavior than male participants; young individuals show more personal health behaviors and pro-social behavior; It has been determined that public employees have higher COVID-19 fear levels, show more personal health behaviors, and engage in pro-social behavior. In addition, it has been found that the majority of people who are afraid of the COVID-19 virus think that the virus is man-made.

In similar studies in the literature; It was found that the level of fear of coronavirus of female participants was higher than the level of fear of coronavirus of male participants (Gencer, 2020). It has been stated that COVID-19 is a conspiracy theory, with male participants more than female participants (Aydın et al., 2021). In a similar study, it was determined that there was a statistically significantly higher fear of COVID-19 in women, those with fear of losing their loved ones, those with a change in their confidence in the health system after the COVID-19 epidemic, and those with chronic diseases (Yılmaz and Baskıcı, 2022). In the study on the evaluation of COVID-19 perceptions and attitudes of healthcare professionals; stated that they were concerned about the transmission of the virus and its transmission to the people around them, and that they did not need psychological support, although they were worried (Eriş & Ayhan, 2020).

During the COVID-19 period, significant increases were observed in the habits of smoking and alcohol consumption, which are among the negative personal health behaviors of individuals (BourionBédès et al., 2020; Chodkiewicz et al., 2020). It has been reported that a group with age ranges ranging from 14.6 to 42.1 showed a significant increase in alcohol and cigarette consumption compared to the pre-epidemic period (Vanderbruggen et al., 2020). In a study conducted on French students, it was revealed that there was a significant increase in cigarette consumption during the COVID-19 period (Bourion-Bédès et al., 2020). In addition, students with a higher fear of COVID-19 were also found to have a higher risk of smoking and consuming alcohol (Nguyen et al., 2020). The COVID-19 pandemic has also led to significant changes in the regular diet and food purchase habits of university students. During this period, staying at home significantly increased the level of food consumption (Yılmaz et al., 2020). High stress caused by the epidemic limited physical activity and negatively affected the quality and duration of sleep, which is one of the personal health behaviors (Al-Musharaf, 2020). Approximately one third of the students reported that spending time in front of the screen during the epidemic had negative effects on their mental health (Akulwar-Tajane et al., 2020).

When we look at the symptoms of those who are directly or indirectly affected by the epidemic, fear, feeling helpless due to social isolation, feeling stressed, feeling lonely and depression are prominent (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies Guide, 2020). The World Health Organization also stated that people may have fear, anxiety, stress and agitated mood due to social distance and isolation, and individuals may show avoidance behaviors (World Health Organization, 2020). In a systematic review study, it was shown that social isolation and quarantine practices resulting from physical restrictions negatively affect both mental and physical health (Leigh-Hunt et al., 2017). Polizzi et al. (2020) compiled how to respond to major crises and disasters experienced in previous years and stated that previously used coping strategies can be used in situations such as mandatory isolation, social distance, fear of contracting a deadly disease, and hopelessness experienced during the COVID-19 pandemic process. In another study, various protective factors such as social support, self-efficacy, and internal locus of control were determined in order to prevent situations such as fear and stress that health workers may encounter during the pandemic process (Conversano et al., 2020).

According to the results of the study, increased risk perception increases the protective behaviors of people. This information is compatible with the literature (Ibuka et al., 2010; Xu & Peng, 2015). It is known that risk perception is determined by evaluating the positive and negative possible outcomes in the outside world, and if the risk perception is high, people engage in health-protective behaviors that will increase positive outcomes and reduce negative outcomes (van der Plight, 1996). Therefore, it can be said that the high risk perception increases the need for self-protection and motivates the application of protective behaviors (Buçakcı et al., 2021).

5. Conclusion

Understanding and managing human behavior in the epidemic environment has a decisive role in achieving the goal of medical measures. In this context, understanding the factors that affect people's behavior to reduce infection, transmission and disease severity is important in terms of managing the pandemic. This study suggests that an understanding of the barriers is essential in order to develop pro-social behavior and behavioral interventions that anticipate people's possible response to the epidemic and attempt to contain the devastating impact of the pandemic. In addition, despite all the warnings and notifications made by health authorities all over the world in a global epidemic, it is remarkable that the numbers reach these dimensions and the failure of people to manage their preventive health behaviors and show pro-social behaviors.

Since the COVID-19 process is a disease process that spreads rapidly globally and requires urgency, it has revealed the necessity of states to work seriously on preventive health behaviors and pro-social behaviors in the future. Therefore, it is thought that future studies in the field should be reconsidered by health authorities. In this context, conceptual frameworks should be drawn that will facilitate the psychological causes of individual behavior in epidemics and their inclusion in policies and practices. In addition, it is predicted that the COVID-19 pandemic and possible future outbreaks can only be managed if their risks are handled holistically with the right time and methods. Furthermore, it is recommended that the spread of the disease, its prevention and increasing the effectiveness of treatment and rehabilitation processes can only be possible if they are handled with a holistic approach. For this reason, systematic and continuous new studies are needed to evaluate and prevent all possible risks related to the disease.

References

- Ahorsu, D. K., Lin, C. Y., Imani, V., Saffari, M., Griffiths, M. D., & Pakpour, A. H. (2020). The Fear of COVID-19 of COVID-19 Scale: development and initial validation. *International Journal of Mental Health and Addiction*. <https://doi.org/10.1007/s11469-020-00270-8>.
- Akulwar-Tajane, I., Parmar, K. K., Naik, P. H., & Shah, A. V. (2020). Rethinking screen time during COVID-19: impact on psychological well-being in physiotherapy students. *Int J Clin Exp Med Res*, 4, 201-16. DOI: 10.26855/ijcemr.2020.10.014.

- Al-Musharaf, S. (2020). Prevalence and predictors of emotional eating among healthy young Saudi women during the COVID-19 pandemic. *Nutrients*, 12(10), 2923. DOI: 10.3390/nu12102923.
- Aydın, O.A., Orhan, S., Gümüş, M., Kaya, N. & Mahanoğlu, E. (2021). COVID-19'un Nedenleri Algısı ile Covid-19 Korkusu Arasındaki İlişki Üzerine Bir İnceleme. *International Journal on Social Sciences*, 6(3), 8-25.
- Bakioğlu F., Korkmaz O. & Ercan H. (2020) Fear of COVID-19 and Positivity: Mediating Role of Intolerance of Uncertainty, Depression, Anxiety, and Stress. *Int J Ment Health Addict*. 2020;1-14.
- Bonanno, G. A., Ho, S. M. Y., Chan, J. C. K., Kwong, R. S. Y., Cheung, C. K. Y., Wong, C. P. Y., & Wong, V. C. W. (2008). Psychological resilience and dysfunction among hospitalized survivors of the SARS epidemic in Hong Kong: A latent class approach. *Health Psychology*, 27(5), 659–667.
- Bourion Bédès, S., Tarquinio, C., Batt, M., Tarquinio, P., Lebreuilly, R., Sorsana, C., ..., Baumann, C. (2020). Psychological impact of the COVID-19 outbreak on students in a French region severely affected by the disease: Results of the PIMS-CoV 19 study. *Psychiatry Research*, 113559, <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113559>.
- Buçakcı, M.G., Günhan, İ.S., & Kahraman Erkuş, Ö. (2021). Koronavirüse karşı koruyucu önlemleri uygulamada psikolojik faktörlerin etkisinin incelenmesi. *Klinik Psikiyatri Dergisi*, 24:359-367, DOI: 10.5505/kpd.2021.47855
- Çağatay, A., Arslan, Ü. & Yılmaz, S. (2021). The Effect Of The Covid-19 Pandemic On Health Services (Evaluation of Health Statistics of OECD Countries). *International Scientific And Vocational Journal (ISVOS JOURNAL)*, 5(2), 218-229.
- Çağatay, A., Arslan, Ü., Koyuncu, S., & Savaş, A.S. (2022). Acil Servise Başvuran Covid-19 Tanısı Almış Hastalarda Vaka Ölüm Oranlarının İncelenmesi (Türkiye'deki Bir Devlet Hastanesi Örneği). *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(1), 1-10.
- Cava M. A., Fay K. E., Beanlands H. J., McCay E. A. & Wignall R. (2005). The experience of quarantine for individuals affected by SARS in Toronto. *Public Health Nurs*, 22(5), 398–406.
- Chodkiewicz, J., Talarowska, M., Miniszewska, J., Nawrocka, N., & Bilinski, P. (2020). Alcohol consumption reported during the COVID-19 pandemic: The initial stage. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4677, <https://doi.org/10.3390/ijerph17134677>.
- Conversano, C., Marchi, L. & Miniati, M. (2020). Psychological distress among healthcare professionals involved in the Covid-19 emergency: Vulnerability and resilience factors. *Clinical Neuropsychiatry*, 17(2), 94-96. <https://doi.org/10.36131/CN20200212>
- Eriş, H. & Ayhan, Z. (2020). COVID-19 Perceptions And Attitudes of Health Workers in Turkey. *Journal of Critical Reviews*, 7(12), 1142-1150.
- Gencer, N. (2020). Pandemi Sürecinde Bireylerin Koronavirüs (KOVİD-19) Korkusu: Çorum Örneği. *USBAD Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi*, 4(4), 1153-1172.
- Han, Q., Zheng, B., Cristea, M., Agostini, M., Bélanger, J.J., Gützkow, B., Kreienkamp, Leander, N. P & Collaboration, P. J. (2021). Trust in government regarding COVID-19 and its associations with preventive health behaviour and prosocial behaviour during the pandemic: a cross-sectional and longitudinal study. *Psychological Medicine* 1–11. <https://doi.org/10.1017/S0033291721001306>
- Harper C. A., Satchell L. P., Fido D. & Latzman R. D. (2020) Functional fear predicts public health compliance in the COVID-19 pandemic. *Int J Ment Health Addict*. 2020;1-14.
- Huremović, D. (2019) Mental Health of Quarantine and Isolation, in D. Huremović (Ed.), *Psychiatry of Pandemics, A Mental Health Response to Infection Outbreak*. Switzerland: Springer.
- Ibuka, Y., Chapman, G.B., Meyers, L.A., Li, M., & Galvani, A.P. (2010). The dynamics of risk perceptions and precautionary behavior in response to 2009 (H1N1) pandemic influenza. *BMC Infect Dis.*, 10:1-11.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC) (2020). Mental health and psychosocial support for staff, volunteers and communities in an outbreak of novel coronavirus. IFRC: Hong Kong, 2020.

- Leigh-Hunt, N., Bagguley, D., Bash, K., Turner, V., Turnbull, S., Valtorta, N. & Caan, W. (2017) An overview of systematic reviews on the public health consequences of social isolation and loneliness. *Public Health* 152, 157-171.
- Lu W., Wang H., Lin Y. & Li L. (2020) Psychological status of medical workforce during the COVID-19 pandemic: A cross-sectional study. *Psychiatry Res.* 2020;288:112936. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.112936>.
- Lum L. & Tambyah P. (2020) Outbreak of COVID-19 - an urgent need for good science to silence our fears? *Singapore Med J.* 2020;61(2):55-57.
- Mertens, G., Gerritsen, L., Saleminck, E. & Engelhard, I. (2020). Fear of the coronavirus (COVID-19): Predictors in an online study conducted in March 2020.
- Nguyen, H. T., Do, B. N., Pham, K. M., Kim, G. B., Dam, H. T., Nguyen, T. T., ..., Duong, T. V. (2020). Fear of COVID-19 scale—associations of its scores with health literacy and health-related behaviors among medical students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4164. DOI: 10.3390/ijerph17114161.
- Odrozola-González, P., Planchuelo-Gómez, Á., Iruñia-Muñiz, M. J. & de Luis-García, R. (2020). Psychological symptoms of the outbreak of the COVID-19 crisis and confinement in the population of Spain.
- Pappas, G., Kiriakou, I. J., Giannakis, P. & Falagas, M.E. (2009) Psychosocial consequences of infectious diseases. *Clin Microbiol Infect* 15(8), 743-747.
- Polizzi, C., Lynn, S. J. & Perry, A. (2020). Stress and coping in the time of COVID-19: Pathways to resilience and recovery. *Clinical Neuropsychiatry*, 17(2), 59-62. <https://doi.org/10.36131/CN20200204>
- Reynolds D. L., Garay J. R., Deamond S. L., Moran M. K., Gold W. & Styra R. (2008). Understanding, compliance and psychological impact of the SARS quarantine experience. *Epidemiol Infect*, 136(7), 997–1007.
- Taylor S., Landry C., Paluszek M., Fergus T.A., McKay D. & Asmundson G. J. G. (2020) Development and initial validation of the COVID stress scales. *J Anxiety Disord* 2020;102232.
- Taylor, S. (2019) *The Psychology of Pandemics: Preparing for the Next Global Outbreak of Infectious Disease*. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing.
- van der Pligt J. (1996). Risk perception and self protective behavior. *Eur Psychol*, 1(1):34-43.
- Vanderbruggen, N., Matthys, F., Van Laere, S., Zeeuws, D., Santermans, L., Van den Aemele, S., & Crunelle, C. L. (2020). Self-reported alcohol, tobacco, and cannabis use during COVID-19 lockdown measures: Results from a web-based survey. *European Addiction Research*, 26(6), 309-315, <https://doi.org/10.1159/000510822>.
- World Health Organization (2020). Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public. Retrieved from <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>.
- Xu, J., & Peng, Z. (2015). People at risk of influenza pandemics: The evolution of perception and behavior. *PloS One*, 10:1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144868>
- Yılmaz, F. & Baskıcı, Ç. (2022). COVID-19 Korkusunu Etkileyen Faktörler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 13(35), 699-713.
- Yılmaz, H. Ö., Aslan, R., & Unal, C. (2020). Effect of the COVID-19 Pandemic on eating habits and food purchasing behaviors of university students. *Kesmas: Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional (National Public Health Journal)*, 15(3), 154-159. DOI: 10.21109/kesmas.v15i3.3897.

Coping Methods Used by Students of a Health School for Dysmenorrhea Management

Özgür Alparslan ^{a,1}, Dilek Öcalan ^b, Funda Demirtürk ^c

^{a, b, c} Tokat Gaziosmanpaşa University, The Faculty of Health Sciences, Tokat, Turkey

^a ORCID ID: 0000-0002-2264-2886

^b ORCID ID: 0000-0001-8986-6449

^c ORCID ID: 0000-0002-8674-3061

Abstract

In the study, it was aimed to determine the coping methods used by health school students for dysmenorrhea management. The population of the cross-sectional and descriptive study consisted of midwifery students (N=280) studying at a public university. Volunteer (n=240) participants who met the sampling study criteria were recruited. Data were collected with the Descriptive Information Form, the VAS scale, and the Menstrual Symptom Severity Scale (MSSS). The mean age of the students was 19.92±1.51 and the mean menstrual period was 5.68±1.48 days. The prevalence of dysmenorrhea was 42.1%, the mean pain severity in the VAS for dysmenorrhea was 5.04±3.01, and the mean MSSS score was 21.16±11.25. It was stated that 90.8% of the students did not receive any medical treatment for dysmenorrhea, 76.2% of them used non-pharmacological different coping methods for dysmenorrhea, the most used methods were 65.4% hot application, 60.4% lying down, 49.5% pressure by tying a belt on the abdomen and 47.9% was found to be taking a bath. 91.9% of the students stated that coping methods were used at the beginning of menstruation, and the severity of pain (95.2%), frequency (69%) and duration (76.5%) decreased after the application of the method. It was determined that applying heat did not significantly affect the severity ($\chi^2=0.137, p=1.000$), duration ($\chi^2=2.020, p=0.199$) and frequency ($\chi^2=0.854, p=0.653$) of the pain. Bath type had a significant effect on post-application pain severity ($\chi^2=12.072, p=0.002$) in those who preferred to cope with the bathing method. Preferring coping methods such as massage, lying down, feeding, pressing on the abdomen did not have a significant effect on the severity, duration, and frequency of pain after the application ($p>0.05$). There was a significant difference between the times of applying any method and the severity of their pain ($\chi^2=20.495, p=0.000$). To cope with dysmenorrhea, applying heat, lying down, pressing on the abdomen, bathing, while using herbal tea, massage, exercise, walking, nutrition and listening to music, it seems beneficial to take a standing bath at the beginning of menstruation. More research is needed on the methods used to cope with dysmenorrhea and their effectiveness.

Keywords: “Midwifery students, dysmenorrhea, dysmenorrhea management, coping with dysmenorrhea.”

1. Giriş

Dismenore, latince “zor adet akışı” anlamına gelen, kadınlarda en sık görülen jinekolojik problemlerden biridir. Dismenore menstruasyondan hemen önce ya da menstruasyonla birlikte görülen, tekrarlayan kramp tarzında suprapubik ağrı ile karakterize olan bir durumdur (Karacan ve ark., 2022). Fizyolojik bir olay olmasına rağmen menstruasyon sürecinde yaşanan olumsuzluklar, rahatsızlıklar ve bilgi eksikliği, bireyin sağlığının bozulmasına ve yaşam kalitesini, günlük aktivitesini ve performansını olumsuz etkileyerek, çalışan veya okuyan kadınlarda işgünü kaybı ve devamsızlığa neden olmaktadır (Çepni, 2005; Dawood, 2006; Coşkuner ve Kömürçü, 2013; Güner ve ark., 2015). Literatüre göre bu olumsuzluklar içerisinde en önemli ve yaygın olan (%40-90) sorun dismenoredir (Çepni, 2005; Dawood, 2006; Coşkuner ve Kömürçü, 2013). Periyodik olarak ağrılı adet görmeye neden olan dismenore, genç kızlar arasında (%28) görülmekte ve ayda ortalama 2 gün okula devamsızlık yapmalarına (%72) yol açabilmektedir (Coşkuner ve Kömürçü, 2013; Güner ve ark., 2015). Dismenore de ağrı hafif olabileceği gibi, bireyin günlük yaşantısını bozacak kadar şiddetli olabilir. Bu dönemde ağrı ile birlikte bulantı, kusma, diyare, baş ağrısı, senkop ve bacak ağrısı gibi ekstra belirtiler de görülmektedir. Bulantı, kusma ve konstipasyon gibi gastrointestinal semptomların görülme nedeni, over hormonlarının gastrointestinal sistem düz kaslarını etkilemesinden kaynaklanmaktadır (Oskay ve Şahin, 2004; Erenel ve Şentürk, 2007).

Dismenore tedavisinde ilaç tedavisinin yanı sıra medikal tedaviyi tercih etmeyen bazı kadınlar farmakolojik olmayan uygulamaları tercih edebilmektedirler. Bu uygulamalar arasında lokal sıcak uygulama ya da sıcak bir banyo, düzenli egzersiz, relaksasyon yöntemleri, diyet düzenlemeleri, karına yumuşak masaj yapılması bulunmaktadır (Oskay ve Şahin, 2004; Gün ve

¹ Corresponding Author

E-mail Address: ozgralp60@gmail.com

ark., 2014). Erken menarşın, menstruasyon akış süresinin uzaması, sigara tüketimi, yaşam değişiklikleri, sosyal destek azlığı ve stresli ilişkilerin ağrı prevelansını artırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Burnett ve ark., 2005; Lefebvre ve Pinsonneault, 2005; Çakır ve ark., 2007). Ağrı genelde adet kanaması ile başlar ve 48-72 saat içinde sonlanır (Çepni, 2005). Çalışma hayatında stresi azaltma, dengeli beslenme, bazı bitkisel çaylar, B vitaminleri ve protein alımının artırılması ağrının azaltılmasında etkili diğer olarak kullanılan diğer yöntemlerdir (Gün ve ark., 2014). diğer olarak kullanılan diğer yöntemlerdir (Gün ve ark., 2014). Sağlık bakım profesyoneli olarak okul, halk ve kadın sağlığı alanlarında çalışan hemşireler, fizyoterapistler kadınlara dismenorenin yönetiminde medikal yöntemlere alternatif olarak tamamlayıcı tedavileri önerebilir. Dismenore ile baş etmek için kullanılan yöntemlerin belirlenmesi etkili baş etme yöntemlerinin oluşturulmasında ve yanlış uygulamaların önlenmesinde yol gösterici olabilir.

Bu çalışmanın amacı dismenore yaşayan sağlık okulu öğrencilerinin dismenore ile baş etmek için kullandığı yöntemlerin belirlenmesidir.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1. Araştırmanın Türü, Evren ve Örneklem

Dismenore ile baş etmek için kullanılan başetme yöntemleri ve menstruasyona yönelik uygulamaları belirlemeyi amaçlayan, tanımlayıcı çalışmanın verileri 01 Ekim-08 Kasım 2016 tarihleri arasında toplanmıştır. Araştırmanın evrenini bir kamu üniversitesinde eğitim gören ebelik öğrencileri (N=280) oluşturmuştur. Çalışmanın başında yapılan G-Power analizinde etki genişliği (d= 0.20) ve çift kuyruklu hipotez yöntemine göre testin gücü Power (1-β err prob)=0.85 olarak hesaplanmıştır. Güven aralığı %95 ve hata payı %5 olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda örneklem büyüklüğü en az 218 olarak belirlenmiştir ancak primer dismenore belirtileri gösteren, dismenore şikayeti olan, 18 yaş ve üzeri olan, düzenli menstrual siklus yaşayan, sekonder dismenore belirtileri göstermeyen, jinekolojik herhangi bir tanı almamış, jinekolojik bir operasyon geçirmemiş, araştırmaya katılmayı kabul eden 240 katılımcı ile çalışma tamamlanmıştır. Analiz sonucunda örneklem büyüklüğü en az 218 olarak belirlenmiş ancak olası veri kayıpları düşünülerek 240 öğrenci çalışmaya dahil edilmiştir.

Primer dismenore belirtileri gösteren, dismenore şikayeti olan, 18 yaş ve üzeri olan, düzenli menstrual siklus yaşayan, sekonder dismenore belirtileri göstermeyen, jinekolojik herhangi bir tanı almamış, jinekolojik bir operasyon geçirmemiş, araştırmaya katılmayı kabul eden 240 katılımcı çalışmaya alınmıştır.

2.2. Veri Toplama Araçları

Çalışmada veri toplama aracı olarak; Tanımlayıcı Bilgi Formu, Vizüel Analog Skalası (VAS) ve Menstruasyon Semptom Şiddeti Skalası kullanılmıştır. Ölçeklerin kullanımı için gerekli yazar izinleri alınmıştır.

Tanımlayıcı Bilgi Formu: Araştırmacılar tarafından ilgili literatür (Ünsal ve ark., 2010; Potur ve ark., 2013; Derya ve ark.,2019; Yılmaz ve ark., 2020) taranarak oluşturulan bilgi formu katılımcıların sosyo-demografik özelliklerini, menstruasyon durumlarını ve dismenorede başetme yöntemlerini içeren 35 açık ve kapalı uçlu sorulardan oluşmuştur. Veri toplama araçları katılımcıların öz bildirimine dayalı olarak doldurulmuştur.

Vizüel Analog Skalası (VAS): Dismenoreli kadınların menstrüasyon boyunca hissettikleri en şiddetli ağrı, işe/derslere olan konsantrasyonun olumsuz etkilenmesi, sportif faaliyetlere, sosyal aktivitelere katılımın olumsuz etkilenmesi Vizüel Analog Skalası (VAS) ile değerlendirilmiştir. VAS'ın primer dismenorenin şiddetini değerlendirmek için yapılan çalışmalarda kullanılmış, güvenilir ve geçerli olduğu bulunmuştur Katılımcıların 10 cm'lik dikey göstergede ağrı yok (0) ile en şiddetli ağrı (10) arasında kendilerine uygun olanı işaretlemeleri istenmiştir. Çizgi üzerinde işaretlenen nokta cetvel ile ölçülerek kişilerin menstrüasyon sırasında hissettikleri ağrı şiddeti cm cinsinden kaydedilmiştir. Çizelgede, 0 cm katılımda hiç zorluk çekmiyorum/ağrım hiç yok, 10 cm ise büyük zorluk/şiddetli ağrı çekme olarak değerlendirilir (Price ve ark., 1983; Ünsal ve ark., 2010; Yılmaz ve ark., 2020).

Menstruasyon Semptom Şiddeti Skalası: Menstruasyon sırasında görülen semptomlar (kramplar, bulantı, kusma, iştahsızlık, baş ağrısı, sırt ağrısı, bacak ağrısı, baş dönmesi, halsizlik, ishal, ateş basması, duygudurum değişikliği, sinirlilik, genel ağrı, karın ağrısı) Menstruasyon Semptom Şiddeti Skalası üzerinde değerlendirilmiştir. Beşli Likert tipte olan skalada (0, yok; 1, hafif; 2, orta; 3, şiddetli; 4, çok şiddetli) semptomlar puanlanmaktadır. Yüksek puanlar semptomların da yüksekliğini göstermektedir. Kolay anlaşılır bir ölçektir (Chesney ve Tasto, 1975; Güvenç ve ark., 2014). Ayrıca ağrılı adet görenlerin hangi ilacı ne kadar, ne miktarda kullandıkları ve diğer yakınmalarını (kabızlık, yorgunluk, uyku problemleri, ödem, göğüslerde hassasiyet, menstrual akıntı, pıhtı oluşumu, konsantrasyon güçlüğü, normal aktivitelere güçlük, bayılma, sakarlık, terleme, üşüme) kaydetmelerini istenmiştir.

2.3. Verilerin Toplanması ve Etik Yönü

Araştırma verileri 01 Ekim-08 Kasım 2016 tarihleri arasında, bir kamu üniversitesinde eğitim gören ebelik öğrencileri ile yüzü yüze görüşülerek toplanmıştır. Araştırmaya katılmak için gönüllü olan ebelik öğrencilerinden hazırlanan formları doldurmaları istenmiştir. Anket formlarını doldurma işlemi yaklaşık 15 dakika sürmüştür. Çalışma öncesinde kurumlardan gerekli izinler ile katılımcıların yazılı ve sözlü onamları alınmıştır. Tıbbi araştırmalar için etik ilkelerin bir beyanı olarak geliştirilen Dünya Tabipler Birliği (WMA)- [Helsinki Bildirgesi](#)'nde açıklanan etik prensiplere uygun olarak çalışma yürütülmüştür.

2.4. Verilerin Analizi

Elde edilen verilerin analizinde Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, ABD) kullanılmıştır. İstatistiksel analizinde sayı, ortalama, yüzdelik dağılımları, Ki-kare ve tanımlayıcı testler kullanılmıştır. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile analiz edilmiştir. Normal dağılım gösteren üç ve üzeri grup karşılaştırmalarda Tek Yönlü Varyans Analizi (One Way ANOVA) kullanılmıştır. İstatistiksel olarak verilerin anlamlılık değeri $p < 0.05$ düzeyinde değerlendirilmiştir.

2.5. Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırmada incelenen evrenin sadece bir kamu üniversitesinde eğitim gören ebelik öğrencilerinden oluşması, sonuçların tüm ebelik öğrencilerine genelleştirilmesini kısıtlamaktadır.

3. Bulgular

Tablo 1'de araştırmaya katılan öğrencilerin bazı sosyo-demografik özelliklerinin dağılımı yer almaktadır. Çalışmaya katılan öğrencilerin %77.1'nin şehirde yaşadıkları, %65'nin ailelerinin gelir düzeyinin gidere denk olduğu, annelerinin (%61.3) ve babalarının (%42.9) ilkokul mezunu olduğu, öğrencilerin %94.2'nin ise sigara kullanmadığı belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Katılımcıların Öğrencilerin Bazı Sosyo-demografik Özelliklerinin Dağılımı (n=240)

Tanıtıcı bilgiler	n	%
Sınıf		
1.sınıf	64	26.7
2.sınıf	57	23.8
3.sınıf	64	26.7
4.sınıf	55	22.9
Yaşanılan yer		
Köy	39	16.3
Kasaba	16	6.7
Şehir	185	77.1
Ailenin gelir durumu		
Gelir gidere denk	156	65.0
Gelir giderden fazla	28	11.7
Gelir giderden az	56	23.3
Anne eğitimi		
Okuryazar değil	18	7.5
İlkokul	147	61.3
Ortaokul	40	16.7
Lise	30	12.5
Üniversite	5	2.1
Baba eğitimi		
Okuryazar değil	4	1.7
İlkokul	103	42.9
Ortaokul	54	22.5
Lise	60	25.0
Üniversite	19	7.9
Sigara kullanan		
Evet sigara kullanıyor	14	5.8
Hayır sigara kullanmıyor	226	94.2

Tablo 2 incelendiğinde, öğrencilerin ortalama yaşının 19.92 ± 1.51 , ortalama boyunun 163.19 ± 5.26 cm, kilosunun ortalama 57.82 ± 8.50 olduğu, ilk menarş yaşının ortalama 13.37 ± 1.17 yaş, ortalama menstruasyon süresinin 5.68 ± 1.48 olduğu ve ortalama 26.98 ± 3.16 günde bir menstruasyon gördükleri belirlenmiştir. Öğrencilerin dismenorede yaşadıkları ağrı şiddeti ortalamasının 5.04 ± 3.01 olduğu, ağrının öğrencinin iş/derse konsantrasyonunu olumsuz etkileme derecesinin 4.57 ± 3.43 , sportif faaliyete katılımını olumsuz etkileme derecesinin 3.89 ± 3.48 ve sosyal aktivite katılımını olumsuz etkileme derecesi ortalamalarının ise 4.43 ± 3.49 , 21.16 ± 11.25 puan olduğu belirlenmiştir. Dismenore prevalansı %42.1'dir.

Öğrencilerin dismenore ile baş etme yöntemlerini kullanma durumları Tablo 4'te verilmiştir. Çalışmaya katılan öğrencilerin dismenore ile baş etmek için %76.25'nin bazı yöntemler uyguladıkları ve bu yöntemleri uygulamayı annelerinden öğrendikleri (%58.6) belirlenmiştir. Dismenore ile baş etme yöntemi olarak ise %65.4 oranında sıcak uygulama yaptıkları ve bu uygulamayı da %30.8 ayaklara, %21.7 oranında da karına uyguladıkları belirlenmiştir. Yine aynı grubun %60.4'ünün yatarak dinlenme, %47.9'nun banyo yapma, %39.6'nın Karına baskı yöntemleri, %23.3'ünün masaj yaptırma, %19.6'nın bitkisel çay içme, %18.3'nün ise yürüyüş yapma gibi farklı baş etme yöntemi kullandıkları saptanmıştır.

Tablo 2. Katılımcıların Bazı Bireysel Özelliklerinin Ortalamaları (n=240)

Tanıttıcı özellikler	$\bar{X} \pm SD^*$	Minimum	Maksimum
Yaş (Yıl)	19.92 ± 1.51	17	27
Boy (cm)	163.19 ± 5.26	150	175
Kilo (kg)	57.82 ± 8.50	41	86
Menarş yaşı (yıl)	13.37 ± 1.17	10	17
Menstrual döngü (gün)	26.98 ± 3.16	17	40
Menstruasyon süresi	5.68 ± 1.48	1	10
Dismenorede ağrı şiddeti	5.04 ± 3.01	0	10
İş/Derse konsantrasyon derecesi (VAS)	4.57 ± 3.43	0	10
Sportif faaliyete katılma derecesi (VAS)	3.89 ± 3.48	0	10
Sosyal aktivite katılma derecesi (VAS)	4.43 ± 3.49	0	10
Menstruasyon Semptom Şiddet Skala Puanı	21.16 ± 11.25	0	56
Diğer Menstruasyon Semptom Şiddeti Puanı	14.86 ± 8.67	0	44

*Ortalama= $\bar{X} \pm SD$

Banyo tercih edenlerin %40.8'i ayakta banyo yapmayı tercih etmiştir. Karına baskı yöntemi uygulayanların (n=95), %49.5 oranında karına kuşak bağladığı ve %24.2'sinin yastık bağladığını, %17.9'unun ise karnına bastırmayı tercih ettikleri belirlenmiştir. Bitkisel çay kullananların (n=47), %23.4 ile en fazla papatya çayı, %18.2 ihlamur, %14.9 yeşil çay, %12.8 kekik çayı ve %10.6 oranı ile adaçayı tükettikleri belirlenmiştir. Bu çayların haricinde kuşburnu, narçiçeği, çörekotu-kiraz sapı ve anason çayı (%8.5, %6.4, %2.1, %2.1) gibi çayları da ağrı gidermek için tükettikleri gözlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 3. Öğrencilerin Dismenoreyle İlgili Bazı Özelliklerinin Dağılımı (n=240)

Dismenoreyle İlgili Bazı Özellikler*	n	%
Dismenore tıbbi tedavi alan		
Tıbbi tedavi alıyor	22	9.2
Tıbbi tedavi almıyor	218	90.8
Alınan tıbbi tedavi türü		
Ağrı kesici	12	54.6
Magnezyum tedavisi	5	22.7
Masaj tedavisi	5	22.7
Tıbbi tedavi memnuniyet		
Ağrı şiddeti azaldı	17	77.3
Ağrı şiddeti değişmedi	5	22.7
Tıbbi tedavi sonrası ağrı sıklığı		
Ağrı sıklığı azaldı	13	59.1
Ağrı sıklığı değişmedi	9	40.9
Tıbbi tedavi sonrası ağrı süresi		
Ağrı süresi azaldı	14	63.6
Ağrı süresi değişmedi	8	36.4
Anne / kardeşte dismenore öyküsü		
Var	130	54.2
Yok	110	45.8

*Dismenore prevalansı % 42.1'dir.

**Kullanılan ilaçlar sadece ağrı kesici ilaçlardır (n=79).

Tablo 3. Öğrencilerin Dismenoreyle İlgili Bazı Özelliklerinin Dağılımı (n=240) (Devamı)

Dismenoreyle İlgili Bazı Özellikler*	n	%
Menstrual ağrı zamanı		
Ağrı yok	19	7.9
Ağrı menstruasyon öncesi var	78	32.5
Ağrı 1. ve 2. gün var	143	59.6
Menstrual şikayetin sıklığı		
Her zaman var	136	56.7
Son bir kaç yıldır var	58	24.2
Ara sıra oluyor	46	19.2
Ağrı şiddetinin zamanı		
Menstruasyondan 2 gün önce	14	5.8
Menstruasyondan 1 gün önce	35	14.6
Menstruasyon 1. günü	175	72.9
Zamanı belli olmuyor-Bazen	16	6.7
Dismenore için kendi kendine ilaç kullanan		
Evet ilaç kullanıyor**	79	32.9
Hayır ilaç kullanmıyor	161	67.1

*Dismenore prevalansı % 42.1'dir.

**Kullanılan ilaçlar sadece ağrı kesici ilaçlardır (n=79).

Tablo 4. Dismenoreyle İlgili Kullanılan Baş etme Yöntemlerinin Dağılımı (n=240)

Dismenoreyle İlgili Kullanılan Baş etme Yöntemleri	n	%
Baş etme Yöntemi Seçimi		
Evet baş etme yöntemi kullanıyorum	187	76.2
Hayır baş etme yöntemi kullanmıyorum	53	23.7
Sıcak uygulama yapıyor	157	65.4
Yatarak dinleniyor	145	60.4
Müzik dinliyor	34	12.0
Yürüyüş yapıyor	44	18.3
Egzersiz yapıyor	19	7.9
Masaj yapıyor	56	23.3
Beslenme	14	5.8
Bitkisel çay kullanıyor	47	19.6
Banyo yapıyor	115	47.9
Banyonun türü:		
Oturarak banyo yapıyorum	11	4.6
Ayakta banyo yapıyorum	98	40.8
Küvette banyo yapıyorum	6	2.5
Sıcak uygulamayı nereye yaptığı (n=157)		
Karnına uyguluyorum	52	21.7
Ayaklara uyguluyorum	74	30.8
Bele uyguluyorum	21	8.8
Kasıklara uyguluyorum	10	4.2
Karın baskı(n=95)		
Karnına kuşak bağlama	47	49.5
Karnına yastık bağlama	23	24.2
Karnına bastırma	17	17.9
Yüzü koyun yatma	8	8.4
Bitkisel çay çeşitleri		
Yeşilçay	7	14.9
Ihlamur	9	18.2
Adaçayı	5	10.6
Kekik	6	12.8
Papatya	11	23.4
Kuşburnu	4	8.5
Narçiçeği	3	6.4
Çörekotu-kiraz sapı	1	2.1
Anason	1	2.1

Tablo 5. Öğrencilerin Dismenoreyle İlgili Baş etme Yöntemlerini Kullanma Özelliklerinin Dağılımı (n=240)

Dismenoreyle İlgili Baş etme Yöntemlerini Kullanma Özellikleri	n	%
Baş etme yöntemini kullanma zamanı		
Adet öncesi	9	4.8
Adet başlangıcı	172	91.9
Adet sonrası	7	3.3
Baş etme yöntemini kullanma sıklığı		
Günde 1-2kez	86	46.0
Günde 3-4 kez	4	2.1
Günde 5 kez ve üzeri	5	2.7
Her zaman	42	22.5
Ağrı başlayınca	23	12.3
Ağrı geçene kadar	27	14.4
Yöntemi uygulama sonrası ağrı şiddeti		
Uygulama sonu ağrı şiddeti azaldı	178	95.2
Uygulama sonu ağrı şiddeti değişmedi	9	4.8
Yöntemi uygulama sonrası ağrı süresi		
Uygulama sonu ağrı azaldı	143	76.5
Uygulama sonu ağrı değişmedi	44	23.5
Yöntemi uygulama sonrası ağrı sıklığı		
Uygulama sonu ağrı azaldı	129	69.0
Uygulama sonu ağrı arttı	3	1.6
Uygulama sonu ağrı değişmedi	55	29.4
Bu yöntemleri kimden öğrendiği		
Annesinden	109	58.6
Ablasından	7	3.8
Arkadaşından	13	7.0
Doktordan	4	2.2
Ebe-Hemşireden	12	6.5
Kitaptan	2	1.1
Öğretmenden	1	0.5
Annesi ve arkadaşından	35	18.8
Ablası ve arkadaşından	4	2.2
Son menstruasyondaki ağrı süresi		
1-2 gün	196	81.7
3-4 gün	22	9.2
5 gün ve üzeri	22	9.2

Tablo 6'da menstruasyon semptom şiddet skala göstergeleri ile birlikte diğer semptomların dağılımı verilmiştir.

Kullanılan baş etme yöntemlerinin uygulanması sonrası ağrının şiddeti, süresi, ve sıklığı üzerine etkisi değerlendirildiğinde; sıcak uygulama yapmanın ağrının şiddeti ($\chi^2=0.137$, $p=1.000$), süresi ($\chi^2= 2.020$, $p= 0.199$) ve sıklığını ($\chi^2=0.854$, $p= 0.653$) anlamlı derecede etkilemediği belirlenmiştir. Sıcak uygulama bölgesi ile ağrı şiddetinin durumu karşılaştırıldığında, ayaklara yapılan sıcak uygulamanın diğer bölgelere oranla daha etkili olduğu gözlenirse de aralarındaki fark önemli bulunmamıştır ($\chi^2=7.330$, $p= 0.062$) ($p>0.005$). Yine sıcak uygulama bölgesi ile ağrının süresi ($\chi^2=9.932$, $p=0.128$) karşılaştırıldığında her ne kadar karına ve ayaklara yapılan sıcak uygulamada ağrı sıklığı biraz azalmış ancak, aralarındaki fark önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Banyonun, uygulama, sonrası ağrı şiddeti ($\chi^2=0.056$, $p= 1.000$), süresi ($\chi^2=2.507$, $p=0.284$), ve sıklığı ($\chi^2=3.632$, $p= 0.217$) ile karşılaştırılması yapıldığında aralarındaki farkın anlamlı olmadığı saptanmıştır.

Dismenorede banyo yöntemi ile baş etmeyi tercih edenlerde banyo türünün uygulama sonrası ağrı şiddeti ($\chi^2=12.072$, $p= 0.002$) üzerine etkisi değerlendirildiğinde ayakta banyo yapma ile diğer (Oturarak ve küvette banyo yapma) arasındaki farkın anlamlı olduğu, ayakta banyonun yaralı olduğu belirlenmiştir. Banyo türünün uygulama sonrası ağrı sıklığı ($\chi^2=1.992$, $p=0.737$), süresi ($\chi^2=3.00$, $p= 0.223$) üzerine etkisinin olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Yine çalışmaya katılan gurubun masaj,yatarak dinlenme, beslenme, karına bası yapma gibi baş etme yöntemlerini tercih etmelerinin uygulama sonrası ağrı şiddeti, süresi ve sıklığı üzerine anlamlı derecede etkili olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir.

Ayrıca çalışmaya katılan ve baş etme yöntemi kullanan öğrencilerin herhangi bir yöntemi uygulama zamanları ile ağrılarının şiddeti ($\chi^2=20.495$, $p= 0.000$) karşılaştırıldığında anlamlı derecede fark yarattığı, adet başlangıcında uygulamanın önemli olduğu,

ancak yöntemi uygulama zamanının ağrının sıklığı ($\chi^2=2.973$, $p= 0.812$), süresi ($\chi^2=1.178$, $p= 0.758$) üzerinde etkili olmadığını saptanmıştır ($p>0.05$). Yine yöntemin uygulanma sıklığının öğrencilerin ağrı şiddeti üzerine ($\chi^2=17.322$, $p= 0.004$) anlamlı derecede etkisi olurken, ağrının süresi ve sıklığı üzerinde etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Ayrıca öğrencilerin son yaşanan menstruasyondaki ağrı süresinin, VAS ile değerlendirilen ağrısının şiddetine ($F=5.505$, $p= 0.005$), iş/derse konsantrasyonuna ($F=9.284$, $p=0.000$), spor faaliyetlerine katılım ortalamalarına ($F=9.284$, $p=0.000$) etkisi karşılaştırıldığında anlamlı derecede günlük yaşantısını etkilediği ($p=0.005$ ve $p=0.000$) saptanmıştır.

Soy geçmişinde dismenore öyküsü olan öğrencilerin VAS ağrı değerlendirme ortalamasında, ağrının şiddeti anlamlı derecede ($F=4.531$, $p=0.034$) ($p<0.05$) etkilenirken, diğer parametreler üzerine etkilemenin anlamlı olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Tablo 6. Menstruasyon Semptom Şiddet Skala* Göstergeleri İle Birlikte Diğer Semptomların Dağılımı (n=240)

Semptomlar	Yok		Hafif		Orta		Şiddetli		Çok şiddetli	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Menstrual kramp	41	17.2	57	23.8	48	20.1	69	28.9	24	10.0
Genel vücut ağrısı	34	14.2	56	23.3	86	35.8	50	20.8	14	5.8
Baş ağrısı	84	35.0	71	29.6	53	22.1	22	9.2	10	4.2
Bacak ağrısı	64	26.7	51	21.3	57	23.8	50	20.8	18	7.5
Bel ağrısı	24	10.0	41	17.1	64	26.7	66	27.5	45	18.8
Sürekli karın ağrısı	45	18.8	54	22.5	52	21.7	54	22.5	35	14.6
Mide bulantısı	116	48.3	50	20.8	38	15.8	23	9.6	13	5.4
Diyare	160	66.7	47	19.6	17	7.1	10	4.2	6	2.5
Baş dönmesi	157	65.4	45	18.8	26	10.8	9	3.8	3	1.3
Halsizlik	28	11.7	59	24.6	63	26.3	69	28.8	21	8.8
Sinirlilik	35	14.6	56	23.3	55	22.9	44	18.3	50	20.8
Alınganlık	49	20.4	47	19.6	60	25.0	40	16.7	44	18.3
İştah değişikliği	81	33.8	66	27.5	53	22.1	19	7.9	21	8.8
Kusma	189	78.8	22	9.2	16	6.7	6	2.5	7	2.9
Ateş	157	65.4	39	16.3	33	13.8	7	2.9	4	1.7
Kabızlık	193	80.4	23	9.6	15	6.3	7	2.9	2	0.8
Yorgunluk	33	13.8	65	27.1	66	27.5	60	25.0	16	6.7
Uyku problemleri	105	43.8	47	19.6	49	20.4	28	11.7	11	4.6
Ödem	178	74.2	25	10.4	21	8.8	12	5.0	4	1.7
Göğüslerde hassasiyet	58	24.2	54	22.5	55	22.9	37	15.4	36	15.5
Menstrual akıntı	23	9.6	56	23.3	92	38.3	45	18.8	24	10.0
Pıhtı oluşumu	23	9.6	56	23.3	92	38.3	20	8.3	14	5.8
Konsantrasyon güçlüğü	68	28.3	55	22.9	63	26.3	32	13.3	22	9.2
Normal aktivitelerde güçlük	59	24.6	58	24.2	58	24.2	44	18.3	21	8.8
Bayılma	229	95.4	6	2.5	4	1.7	0	0.0	1	0.4
Sakarlık	184	76.7	30	12.5	14	5.8	6	2.5	6	2.5
Terleme	109	45.4	44	18.3	56	20.8	21	8.8	16	6.7
Üşüme	109	45.4	44	18.3	45	18.8	31	12.9	11	4.6

*İlk 15 madde Menstruasyon Semptom Şiddet Skalasının maddeleridir.

4. Tartışma

Çalışmamızın sonucunda öğrencilerin menarş yaş ortalamasının 19.92 ± 1.51 yıl olduğu, menstruasyon süresinin 5.68 ± 1.48 gün olduğu ve menstrual siklus ortalamasının 26.98 ± 3.16 gün olduğu ve normal sınırlar içerisinde bulunduğu belirlenmiştir. Ülkemizde ve diğer ülkelerdeki çalışmalarda yaş ortalaması; Oskay ve Şahin (2004) 20.3 yıl; Gün ve ark. (2014) 20.4 yıl; Çakır ve ark. (2007) ile Potur ve Kömürçü (2013) 20.7 yıl; Sönmezer ve Yosmaoğlu (2014) 24.7 yıl; Erdoğan ve Özsoy (2012) 20.8 yıl; Chia ve ark. (2013) 20.1 yıl; Kural ve ark. (2015) 20.4 yıl; Aref ve ark. (2015) 21.7 yıl; Yasir ark. (2014) 21.0 yıl olarak bulunmuşlardır. Araştırmamızdaki yaş ortalamasına yakın olmasına rağmen, bizim çalışmamızın sonuçları biraz daha genç gruptan oluşmaktadır.

Yine ülkemizde ve yurtdışında yapılan benzer çalışmalarda menarş yaşının 12.9 ile 13.8 arasında değiştiği gözlenmektedir (Al-Asadi ve Abdul-Qadir'i, 2013; Khodakarami ve ark., 2015; Aref ve ark., 2015; Kural ve ark., 2015; Shewte ve Sirpurkar, 2016; Karabulutlu 2020). Bu çalışmada menarş yaşı (13.8 yıl) ülkemizde yapılan çalışma sonuçları ile benzerlik göstermekle birlikte, sıcak iklimde yaşama, beslenme ve genel sağlık durumları ile ilgili olarak gelişmiş ülkelerde daha erken menarşın başladığı belirtilmektedir (Al-Asadi ve Abdul-Qadir, 2013). Üniversite öğrencileri ile yapılan bazı çalışmalarda menstruasyon

süresinin 3.9-5.8 gün olduğu saptanmıştır (Yasir ark., 2014; Asadi ve *Abdul-Qadir*, 2013; Shewte ve Sirpurkar, 2016; Kumbhar ve ark., 2011). Bizim bulgularımızda ise menstruasyon süresinin yaklaşık olarak 5.7 gün olduğu ve literatürle paralellik gösterdiği gözlenmektedir. Çalışmaya katılan öğrencilerin kilo ortalaması 57.8 kg ve boy ortalaması da 163.2 cm olarak saptanmıştır. Grubun BMI ortalaması 21.8 kg/m² olarak değerlendirilmiştir. Beden kitle indeksi 18.0-24.9 kg/m² oranı ile normal ağırlık olarak değerlendirildiğinde çalışma grubumuzun ağırlık olarak normal indekse sahip olduğu ve diğer yapılan çalışmalar benzer özellik gösterdiği söylenebilir (Gün ve ark., 2014; Ünsal ve ark., 2010). Pakistan (BMI= 24.1± 1.6 kg/m²), Hindistan (BMI= 20.5± 3.6 kg/m²), İran (BMI= 21.16± 3.36 kg/m²) gibi ülkelerin farklı değerlerde olmasına rağmen öğrencilerin normal beden kitle indekslerine sahip olduğu görülmektedir (Kural ve ark., 2015; Khodakarami ve ark., 2015; Shewte ve Sirpurkar, 2016).

Birinci basamak sağlık hizmeti için başvuran kadınların %90'ının menstrüel ağrılardan şikâyet ettiği belirtilmektedir. Araştırmamızda öğrencilerdeki dismenore prevalansının %42.1 olduğu, %9.2'sinin dismenore nedeni ile doktora başvurduğu ve tedavi aldığı belirlenmiştir. Dismenore, sıklığının coğrafi konuma göre önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Dünya genelinde dismenore sıklığı izlendiğinde, Chia ve diğerleri (2013) araştırmalarında %63; Yasir ve diğerleri (2014) %56.1, Al-Asadi ve ve *Abdul-Qadir* (2013) %89.4, Khodakarami ve diğerleri (2015) %85.31, Kural ve diğerleri (2015) %84.2; Shewte ve diğerleri (2016) %72.02 olarak farklı değerlerde dismenore oranı saptadıkları görülmektedir. Belirlenmiş olan bu farklı değerlerin bir kısmı bizim çalışmamızdan daha yüksek oranlara sahiptir. Ülkemizde Ünsal ve arkadaşlarının yaptığı çalışma da dismenore prevalansı (%72.7), Oskay ve Şahin (2004) çalışmasında ise %81,8 olarak bizim çalışmamızdan biraz daha yüksek bulunmuştur (Oskay ve Şahin, 2004; Ünsal ve ark., 2010). Çalışmamızdaki oranlar diğer çalışmalara göre düşük bulursa da dismenorenin hala adölesan ve genç kadınlarda daha yaygın olmak üzere önemli bir kadın sağlığı sorunu olduğu açıktır (Kilci ve ark. 2019; Yılmaz ve ark. 2020). Bu sonuçlar üzerine sosyal çevre ve psikososyal durum etki etmiş olabilir. Çakır ve diğerleri (2007) üniversite öğrencileri ile yaptığı çalışmada bulunduğu dismenore prevalansı oranı ve bizim yaptığımız çalışmada bulduğumuz orandan daha düşüktür (Çakır ve ark., 2007). Bu farklılık Çakır'ın yaptığı çalışma grubunun yaş ortalamasının düşük olmasından (12.8 ± 1.3 yıl) kaynaklanmış olabilir.

Tıbbi tedavi alan grubun, tedavi sonrası (%77.3) ağrı şiddetinin, ağrı sıklığının (%59.1) ve süresinin (%63.6) azaldığı belirlenmiştir. Dismenorenin tıbbi tedavisi ve tedavide non-steroidal tedavi kanıt düzeyi (A) ispatlanmış tedavilerdir (Güner ve ark., 2015) ve çalışmanın sonuçları da bunu destekler nitelikte ağrı şiddeti, sıklığı ve süresini kısaltmıştır. Literatürde dismenorede genetik geçiş etkisinin olmadığı, fizyolojik bir olay olduğu belirtilmiştir (Dawood, 2006; Güner ve ark., 2015). Çalışmaya katılan öğrencilerin anne ya da kız kardeşlerinde dismenore öyküsü olduğu (%54.2), Erenel ve Şentürk'ün (2007) çalışmasına (%52,9) benzer olduğu belirlenmiştir. Al-Asadi ve *Abdul-Qadir*'in (2013) çalışmasında ailede dismenore öyküsünün oldukça yüksek (%94.3) olduğu görülmektedir. Ayrıca çalışmamızda soy geçmişinde dismenore öyküsü olan öğrencilerin VAS ağrı değerlendirme ortalamasında, ağrının şiddeti anlamlı derecede (F=4.531, p=0.034) (p<0.05) etkilenirken, diğer parametreler üzerine etkilenmenin anlamlı olmadığı belirlenmiştir (p>0.05).

Çalışmaya katılan grubun %59.6'nın menstrual ağrı zamanının menstruasyonun 1. ve 2. gününde olduğu ve bu şikayetlerinin her zaman olduğunu (%56.7) belirttikleri, Gün ve diğerleri (2014) çalışmasında (%52.6), Kural ve diğerleri (2015) (%61.5) ve literatürle de uyumlu olarak birinci gün ve primer dismenore ile uyumlu olduğu görülmektedir. Yine literatürle uyumlu olarak ağrı şiddetinin de birinci gün yüksek olduğu görülmektedir (Dawood, 2006).

Çoğu kadın dismenoreyi, kendi başlarına çözümlenebilecekleri bir durum olarak düşünmekte, çözüm için sağlık kuruluşlarına başvurmamakta ve reçetesiz ya da doktor önerisi olmadan ilaç kullanmaktadır (Coşkuner ve Kömürcü, 2013). Araştırmamız ve diğer araştırma bulguları analjezik türevlerinin kullanımı bakımından çok farklılık göstermekle beraber doktor önerisi olmadan kendi kendine analjezik kullanma yüzdesinin yüksek (%32.9) olduğunu, Al-Asadi ve *Abdul-Qadir*'in (2013) çalışmasına göre (%56.3) ve Yılmaz ve ark. (2020) çalışmasına göre (%48) ise düşük olduğunu göstermiştir. Çalışmamızda dismenore sorunu yaşayan grubun tıbbi tedaviye başvurma oranının düşük olması (%9.2) ve grubun büyük çoğunluğunun yardım almaması dikkat çekicidir. Sağlık personeline danışmadan gelişigüzel, aşırı dozda ilaç ve non-farmakolojik yöntemlerin kullanımı olmakta ve kadın sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir. İlaçlar başlanmadan önce ağrıların organik olup olmadığından emin olunması olası sağlık risklerini önler. Grubun büyük çoğunluğunun kendi kendine ağrı kesici ile baş etmeye çalışması, %76.2'sinin dismenore ile ilgili olarak non-farmakolojik bir çok baş etme yöntemi denedikleri (sıcak uygulama, bitkisel çay, masaj, egzersiz, yürüyüş, beslenme, müzik dinleme, yatarak dinlenme) görülmektedir. Sağlık bölümünde okuyan öğrencilerin hem kadın sağlığı ile ilgili bir alanda okuyor olmaları ve hem de sağlık bilgisinin olmasına rağmen geleneksel davranması, tıbbi yardım almaması bir halk sağlığı sorunudur. Bu durum çalışma grubunun menstruasyondaki sorunlarla baş etme yöntemleri ile ilgili edindiği tüm bilgileri sağlık elemanında çok annelerinden öğrenmiş olmalarından ve öğrencilerin menstruasyon algılarından kaynaklanmış olabilir.

Bu çalışmada öğrencilerin dismenorede yaşadıkları ağrı şiddeti ortalama 5.04 ± 3.01'dir ve bu VAS skorlarına göre orta şiddette (4-7 puan) bir ağrıdır. Ağrının orta şiddette yaşanması algıyı dolayısı ile ayarlamayı etkilemiş olabilir. Erenel ve Şentürk (2007) çalışmasında dismenore ile baş etme ile ilgili bilgilerinin daha çok aile bireylerinden alındığı ve doktora başvurmanın az olduğu yönündedir ve çalışmamıza benzerdir.

Araştırmamızda öğrencilerin dismenore ile baş etmek için %76.2'sinin bazı yöntemler uyguladıkları ve bu yöntemleri uygulamayı annelerinden öğrendikleri (%58.6) belirlenmiştir. Benzer şekilde Chia ve diğerleri (2013) dismenore yaşayanlarda

tamamlayıcı tedavilerin kullanımını %75-91, Yılmaz ve ark. (2020) %80, Al-Asadi ve *Abdul-Qadir* (2013) %57 arasında bulmuşlardır. Potur ve diğerleri (2013), Oskay ve Şahin (2004), Çakır ve diğerleri (2007) çalışmalarında en fazla kullanılan yöntemin ısı uygulaması olduğunu bildirmişlerdir. Dismenore tedavisinde lokal ısı geleneksel bir yöntem gibi görülmesine rağmen, yapılmış bilimsel yayınlarla da (ibuprofen kadar) etkinliği kanıtlanmıştır (Güner ve ark., 2015) ancak sınırlıdır. Sıcak uygulamanın %21.7 oranında karına yapılması olası komplikasyonlar açısından risk oluşturabilir. Sıcak uygulama bölgesi ile ağrının süresi ($\chi^2=9.932$, $p=.128$) karşılaştırıldığında her ne kadar karına ve ayaklara yapılan sıcak uygulamada ağrı sıklığı biraz azalmışsa da, aralarındaki fark önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Yine aynı grubun banyo yaparak da sıcak su etkisinden yararlandığı (%47.9), literatürle (Erdoğan ve Özsoy, 2012) uyumlu olarak dinlenmeyi (%60.4) seçtiği belirlenmiştir.

Diğer çalışmalardan farklı olarak geleneksel biçimde karına baskı uygulandığı ve baskıyı da %49.5 oranında karına kuşak bağlayarak yaptıkları belirlenmiştir. Çalışmaya katılan gurubun masaj, yatarak dinlenme, beslenme, karına bası yapma gibi baş etme yöntemlerini tercih etmelerinin uygulama sonrası ağrı şiddeti, süresi ve sıklığı üzerine anlamlı derecede etkili olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir. Kuşak bağlama yöntemini öğrenciler annelerinden öğrenmişlerdir. Araştırmamızda bitkisel yöntem kullanan katılımcılarda en fazla kullanılan bitkisel çayların Papatya (%23.4), ıhlamur, (%18.2), yeşil çay (%14.9), kekik çayı (%12.8) ve adaçayı (%10.6) tükettikleri belirlenmiştir. Gün ve diğerleri (2015) benzer biçimde en çok papatya çayı (%15), adaçayı (%11.8) tüketildiğini belirlemiştir (Gün ve ark., 2015). Literatürde tamamlayıcı terapi olarak tercih edilen ve kanıtli etkisi kabul edilen rezene çayı, gül çayı ve karayılan otundan (*black kohosh*) söz edilmekte ve bu bitkisel preperatların özellikle menstrüel ağrıyı azalttığı ileri sürülmektedir (Güner ve ark., 2015; Güvenç ve ark., 2014). Şահrahmani ve ark. (2021) metaanaliz çalışmasında ve Mahboubi (2019) çalışmasında *Foeniculum vulgare* rezenenin primer dismenoreyi azalttığı bitkisel ilaçlara eğilimi yüksek olan dismenore şikayeti olan kadınlara şiddetle tavsiye edilebileceğini belirtmişlerdir. Ancak bizim çalışma grubumuzun bu bitkileri kullanmadığı daha geleneksel davrandığı söylenebilir. Etkisi bilimsel olarak kanıtlanmamış bitkisel çaylar yanlış tüketildiklerinde sağlığı tehdit edebilirler. Ancak grubun bu bitkileri günde 1-2 kez ve ağrı başlangıcında kullanmaları (%46.6) tehlikeleri azaltması açısından önemlidir. Uygulamaları ağrı geçene kadar (%14.4) kullanmaları kullanılan yöntemlerin zararlı olmasına neden olabilir. Özellikle bu baş etme yöntemlerinin uygulanması sonrasında ağrı şiddetini azaltmada etkili oldukları gözlenmektedir. Yöntemlerin daha geniş örneklerde değerlendirilmesine gereksinim vardır. Yine yöntemler ağrının sıklığı ve süresini de azaltmıştır. Yöntemi adet başlangıcında uygulamanın önemli olduğu, ancak yöntemi uygulama zamanının ağrının sıklığı ($\chi^2=2.973$, $p= 0.812$), süresi ($\chi^2=1.178$, $p= 0.758$) üzerinde etkili olmadığı saptanmıştır ($p>0.05$). Ancak yöntemin uygulanma sıklığı arttıkça ağrı şiddeti azalırken, ağrının süresi ve sıklığını etkilememiştir. Konu ile ilgili daha detaylı araştırmalara ihtiyaç vardır. Literatürde primer dismenoreyi önlemede yoga, ağrı süresini ve şiddetini azaltmada mükemmel bir araç olarak kabul edilmiştir. İzometrik egzersiz ve germe, koşma, Kegel egzersizleri ve gevşeme duruşları gibi diğer fiziksel aktivite biçimlerinin de düzenli olarak yapıldığında dismenorede ağrı ve rahatsızlığı gidermek için önerildiği belirlenmiştir (Tsonis et. al. 2021). Yapılan bir meta-analiz çalışması, uçucu yağlarla yapılan aromaterapi masajının primer dismenoreli kadınlarda ağrı algısını ve rahatsızlığı azaltmada plasebo yağlarından daha üstün olduğunu ifade etmiştir (Sut ve Kahyaoglu Sut, 2017).

Yine çalışmamızda ebelik öğrencilerinin derse konsantrasyonun olumsuz etkilenme derecesinin 4.57 ± 3.43 , sportif faaliyete katılımın olumsuz etkilenme derecesinin 3.89 ± 3.48 ve sosyal aktivitelere katılımın olumsuz etkilenme derecesinin 4.43 ± 3.49 olduğu gözlenmektedir. Öğrencilerin olumsuz etkilenme dereceleri orta veya ortanın hafif altı düzeydedir. Öğrencilerin son yaşanan menstruasyondaki ağrı süresinin, VAS ile değerlendirilen ağrısının şiddetine ($F=5.505$, $p= 0.005$), iş/derse konsantrasyonuna ($F=9.284$, $p=0.000$), spor faaliyetlerine katılım ortalamalarına ($F=9.284$, $p=0.000$) etkisi karşılaştırıldığında anlamlı derecede günlük yaşantısını etkilediği ($p=0.005$ ve $p=0.000$) saptanmıştır. Chia ve diğerleri (2013) 'nin yaptığı çalışmada ise dismenorede hastaneye gitme oranı %3, okuldan geri kalma %19, uyku sorunları yaşama oranı %36, normal fiziksel aktivitelere değişim %60 (bizim çalışmamızdan yüksektir) oranında saptanmıştır (Chia ve ark.,2013). Al-Asadi ve *Abdul-Qadir* (2013)'in araştırmasında bu çalışmaya benzer biçimde derslere konsantrasyon (%45) ve iş/ görevlerden uzaklaşma (%32.5) oranını orta düzeyde, okuldan geri kalma (%10) oranını da düşük bulunmuştur (Al-Asadi ve *Abdul-Qadir*, 2013).

5. Sonuç ve Öneriler

Araştırmada gençlerin yaklaşık yarısının orta düzeyde dismenore yaşadığı belirlenmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun dismenoreye yönelik tıbbi bir tedavi almadığı, dismenore için non-farmakolojik farklı baş etme yöntemi kullandığı, kullanılan yöntemler arasında sıcak uygulama, yatarak dinlenme, karına baskı, banyo yapma, bitkisel çay olduğu bulunmuştur. Öğrencilerin çoğunluğu herhangi bir yöntem uygulama sonrasında ağrılarının şiddet, sıklık ve süre bakımından azaldığını ifade etmesine rağmen, sıcak uygulama yapmanın ağrının şiddeti süresi ve sıklığını anlamlı etkilemediği belirlenmiştir. Ancak banyo yöntemi ile baş etmeyi tercih edenlerde banyo türünün uygulama sonrası ağrı şiddeti üzerine anlamlı etkisi olduğu ve ayakta banyonun yaralı olduğu bulunmuştur. Masaj, yatarak dinlenme, beslenme, karına bası yapma gibi baş etme yöntemlerini tercih etmelerinin uygulama sonrası ağrı şiddeti, süresi ve sıklığı üzerine anlamlı etkisi bulunmazken, uygulamaların adet başlangıcında yapılmasının önemli olduğu belirlenmiştir. Genç yetişkinler yaşadıkları dismenore ile baş edebilmek için birçok farklı yöntem başvurmaktadır. Ancak uygulanan yöntemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi için konunun daha geniş örneklerde çalışılması önerilir.

Teşekkür

Bu çalışmaya katılan herkese en içten teşekkürlerimizi sunarız.

Kurumsal ve Finansal Destek Beyanı

Bu araştırma herhangi bir kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makale ile ilgili olarak herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Referanslar

- Al-Asadi, J.N., *Abdul-Qadir, R.A.* (2013). Dysmenorrhoea and its impact on daily routine activities among secondary school students in Basra, Iraq. *J Fac Med Baghdad*, 55,339–344.
- Aref, N., Rizwan, F., Abbas, M.M. (2015). Frequency of different menstrual disorders among female medical students at Taif medical college. *World Journal of Medical Sciences*, 12 (2), 109-114.
- Burnett, M., Lefebvre, G., Pinsonneault, O., Antao, V., Black, A., Feldman, K, et al. (2005) Prevalence of Primary dysmenorrhea in Canada. *J Obstet Gynaecol Canada*, 27(8),765–770.
- Chesney, M.A., Tasto, D.L. (1975). The effectiveness of behavior modification with spasmodic and congestive dysmenorrhea. *Behav Res Ther.*,13,245–253.
- Chia, C.F., Lai, J.H.Y., Cheung, P.K., Kwong, L.T., Lau, F.P.M., Leung, K.H., Ngu, S.F. (2013). Dysmenorrhea among Hong Kong university student: prevalence, impact and management. *Hong Kong Medical Journal*, 19(3), 222-228.
- Coşkuner, P.D., Kömürcü, N. (2013). Dismenore yönetiminde tamamlayıcı tedaviler. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 10 (1), 8-13
- Çakır, M., Mungan, İ., Karakas, T., Girişken, İ., Ökten, A. (2007). Menstrual pattern and common menstrual disorders among university students in Turkey. *Pediatrics International*, 49, 938–942.
- Çepni, İ. (2005). Dismenore. *İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri Adolesan Sağlığı Sempozyum Dizisi*, 43,151-157
- Dawood, M. (2006). Primary dysmenorrhea advances in pathogenesis and management. *Obstetrics & Gynecology*, 108 (2), 428-441.
- Derya, Y.A., Erdemoğlu, Ç., Özşahin, Z. (2019). Üniversite öğrencilerinde menstrual semptom yaşama durumu ve yaşam kalitesine etkisi. *ACU Sağlık Bil Derg*, 10(2), 176-181
- Erdoğan, M., Özsoy, S. (2012). Genç kızların dismenore için kullandığı non-farmakolojik yöntemler. *Maltepe Tıp Dergisi*, 4(4),13-14.
- Erenel, A.Ş., Şentürk, İ. (2007). Sağlık meslek lisesi öğrencilerinin dismenoreyaşama durumları ve dismenore ile başetmeye yönelik uygulamaları. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Dergisi*, 14(2),48-60.
- Gün, Ç., Demirci, N., Otrar, M. (2014). Dismenore yönetiminde tamamlayıcı alternatif tedavileri kullanma durumu. *Spatula DD*, 4(4), 191-197.
- Güner, Ö., Öztürk, R., Kavlak, O. (2015). Primer dismenorenin yönetiminde kanıta dayalı uygulamalar. *Türkiye Klinikleri J Gynecol Obst*, 25(3), 195-204.
- Güvenç, G., Seven, M., Akyüz, A. (2014). Menstrüasyon Semptom Ölçeği'nin Türkçe'ye Uyarlanması. *TAF Prev Med Bull.*,13, 67-374.
- Helsinki. (2020). <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/> E.T: 30.09.2022

- Karabulutlu Ö. (2020). Hemşirelik Öğrencilerinin Dismenore Yaşama Durumları ve Dismenore ile Baş Etmeye Yönelik Uygulamaları. *Caucasian Journal of Science*, 7(1):28-41.
- Karacan, E., Akköz Çevik, S., Kılıçlı A. (2022). Primer Dismenore ile Başetmede Kullanılan Tanımlayıcı ve Destekleyici Yöntemlere İlişkin Kanıt Temelli Uygulamalar: Sistematik Derleme. *Jinekoloji- Obstetrik Dergisi ve Neonataloji Tıp Dergisi*, 19(1):1193-1221.
- Khodakarami, B., Masoumi, S.Z., Faradmal, J., Nazari, M., Saadati, M., Sharifi, F., et al. (2015). The severity of dysmenorrhea and its relationship with body mass index among female adolescents in Hamadan, Iran. *J Midwifery Reproductive Health*, 3,444-450.
- Kilci Ş., Daşkan Z., Muslu A.(2019). Primer Dismenore Ağrı Yönetiminde Kullanılan Tamamlayıcı Ve Bütünleştirici Terapi Uygulamaları. *Atatürk Üniversitesi Kadın Araştırmaları Dergisi*, 1(2): 70-80.
- Kumbhar, S.K., Reddy, M., Sujana, B., Reddy, R., Bhargavi, D., Balkrishna, C. (2011). Prevalence of dysmenorrhoea among adolescent girls (14-19 yrs) of kadapa district and its impact on quality of life: A cross sectional study. *Natl J Community Med.*, 2(2), 265-268.
- Kural, M., Noor, N.N., Pandit, D., Joshi, T., Patil, A. (2015). Menstrual characteristics and prevalence of dysmenorrhea in college going girls. *J Family Med Prim Care*, 4(3), 426-431.
- Lefebvre, G., Pinsonneault, O.(2005). Primary Dysmenorrhea Consensus Guideline. *JOGC*, 169,1117-1130.
- Mahboubi M. (2019). *Foeniculum Vulgare* as Valuable Plant in management of Women's Health. *J Menopausal Med*, 25(1):1-14.<https://doi.org/10.6118/jmm.2019.25.1.1>.
- Oskay, Y.U., Şahin, N.H. (2004). Genç kızların premenstruel sorunları. *Sağlık ve Toplum*, 4, 55-59.
- Potur, D.C., Kömürçü, N. (2013). Dismenore yönetiminde tamamlayıcı tedaviler. *HEAD*, 10(1), 8-13.
- Price,D., McGrath, P., Rafii, A. et al. (1983).The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*. 17,45-56.
- Shewte, M.K., Sirpurkar, M.S. (2016). Dysmenorrhoea and quality of life among medical and nursing students: a cross-sectional study. *Natl J Community Med.*,7(6),474-479
- Sönmezer, E., Yosmaoğlu, H.B. (2014). Dismenoresi olan kadınlarda menstruasyona yönelik tutum ve stres algısı değişiklikleri changes of menstrual attitude and stress perception in women with dysmenorrhea. *Türk Fizyoterapi Ve Rehabilitasyon Dergisi*, 25(2), 56-62.
- Sut N, Kahyaoğlu-Sut H. (2017). Effect of aromatherapy massage on pain in primary dysmenorrhea: A meta-analysis. *Complement Ther Clin Pract*, 27:5-10. doi: 10.1016/j.ctcp.2017.01.001.
- Şahrahmani H., Ghazanfarpour M., Shahrahmani N., Abdi F., Sewell R., Rafieian-Kopaei M. (2021). Effect of fennel on primary dysmenorrhea: a systematic review and meta-analysis. *J Complement Integr Med*, 11:18(2):261-269.
- Tsonis O., Gkrozou F., Barmpalia Z., Makopoulou A., Siafaka V. (2021). Integrating Lifestyle Focused Approaches into the Management of Primary Dysmenorrhea: Impact on Quality of Life. , 13: 327–336.
- Ünsal, A., Ayrancı, U., Tozun, N., Arslan, G., Calik, E. (2010). Prevalence of dysmenorrhea and its effect on quality of life among a group of female university students. *Ups J Med Sci*, 115(2), 138-145.
- Yasir, S., Kant, B., Dar, M.F. (2014). Frequency of dysmenorrhoea, its impact and management strategies adopted by medical students. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. 26(3), 349-352.
- Yılmaz T., Nuraliyeva Z., Dinç H. (2020). Genç Kadınların Dismenore ile Baş Etme Yöntemleri. *JAREN*, 6(2):294-299.

Investigation of Global Warming Case of Antalya

Onur Arslan ^{a,1}

^a Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Civil Engineering, Bolu, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-2456-1788

Abstract

Antalya is one of the most important cities of Turkey in terms of agriculture, tourism and population. In this study, the global warming case of Antalya was investigated by using the monthly mean maximum, monthly mean minimum and monthly mean temperature data of Elmalı, Korkuteli, Antalya, Manavgat and Gazipaşa meteorology stations between 1970 and 2017. For this aim, trend analyses were performed by Mann Kendall Rank Correlation method and beginnings of trends were determined. Run, interquartile range and autocorrelation tests were applied before trend analysis test. 99.99% confidence interval was used for all tests. Run test results indicated that the data is homogenous. According autocorrelation test results, there is not autocorrelation in the data except monthly mean minimum temperature data of Antalya station for August. Therefore, prewhitening was used for monthly mean minimum temperature data of Antalya station for August. The 12-month average value of the increasing trend was calculated as 98.33% for the mean temperature, 88.33% for the mean maximum temperature and 80% for the mean minimum temperature. The 12-month average value of the statistically significant increasing trend was calculated as 10% for the mean temperature, 5% for the mean minimum temperature and 0% for the mean maximum temperature. If 95% confidence level was used for Mann-Kendall test, the 12-month average value of the statistically significant increasing trend was calculated as 61.9% for the mean temperature, 34.5% for the mean maximum temperature and 51.2% for the mean minimum temperature. These results show that there is global warming in Antalya. The beginnings of statistically significant trends vary between 1992 and 2009. While water consumption is increasing due to increase in agriculture, tourism and population in Antalya, the global warming detected in this study shows that both water consumption and losses in water resources will increase further. Precautions are suggested in the results section.

Keywords: "Global warming, trend analysis, Mann Kendall rank correlation test, Antalya."

1. Giriş

Küresel ısınma uzun zamanlı sıcaklık verileri incelendiğinde meydana gelen artış olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde yaşanan küresel ısınmanın etkisi ile buzullar erimeye devam etmektedir. Buzulların erimesi deniz seviyelerini yükseltmeye başlamıştır. Yaşanan bu olaylar iklim değişikliği ile birlikte kuraklık, çölleşme, hortum, fırtına ve sel vb., doğal afetlerin artmasına neden olmaktadır.

Küresel ısınma su kaynaklarını ve yönetimini de olumsuz etkilemektedir. Küresel ısınma nedeniyle sıcaklıklar arttıkça buharlaşma da artacaktır. Bu da su kaynaklarındaki kayıpların artacağı anlamına gelmektedir. Yine küresel ısınma nedeniyle sıcaklıklar arttıkça evapotranspirasyon (buharlaşma+terleme) miktarı da artacaktır. Bu da bitki su ihtiyacının artacağı dolayısıyla sulama suyu ihtiyacının artacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca turizmin önemli olduğu turistik yerlerde de su tüketiminin artacağı göstermektedir..

Küresel ısınmanın en önemli nedenlerinden bir tanesi sera gazlarıdır. Ancak günümüzde atmosferdeki sera gazlarının artmasına neden olacak birçok faaliyetler artarak devam etmektedir. Bu durum küresel ısınmanın ve etkilerinin ilerleyen yıllarda daha da artacağını bir göstergesidir..

Irak, Brezilya, Çin, Almanya, İran, Pakistan, İtalya ve Mısır gibi birçok ülkede veya Avrupa ve Batı Asya gibi kıtalarda sıcaklık verileri için yapılan trend analizi çalışmalarında önemli trendler tespit edilmiştir [1-8]. Küresel ısınma bazı bölgelerde çok şiddetli gerçekleşmektedir. Örneğin Irak'taki sıcaklık artışının küresel sıcaklık artışından 2 ila 7 kat daha hızlı olduğu ve minimum sıcaklıkların maksimum sıcaklıklardan daha çok arttığı ifade edilmiştir [9].

Ülkemizde de havza ve bölge bazında çeşitli trend analizi çalışmaları yapılmıştır. Karabulut Doğu Akdeniz'in ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıklarında [10], Kızılelma vd., İç Anadolu Bölgesi'nin maksimum ve minimum sıcaklıklarında [11],

¹ Corresponding Author
E-mail Address: onarslansdu@hotmail.com

Macana ve Yeşilirmak Büyük Menderes Havzası'nın ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık değerlerinde [12] ve Tokgöz ve Partal Karadeniz Bölgesi'nin yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde önemli artışlar tespit etmiştir [13].

Ülkemizde il bazında da çalışmalar yapılmıştır. Cosun ve Karabulut Kahramanmaraş'ın [14] Demir ve Demir ise Bingöl'ün ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık değerlerinde [15], Saplıoğlu ve Kilit Afyon'un ortalama sıcaklık değerlerinde [16],

Polat ve Sonkar Rize ve Trabzon'un [17], Ülke ve Özkoca ise Sinop, Ordu ve Samsun'un ortalama sıcaklık değerlerinde [18] istatistiksel açıdan önemli artış trendi belirlemişlerdir.

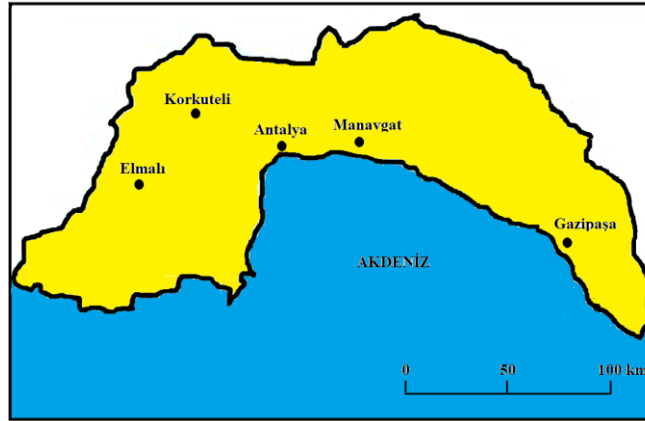
Dünyada ve Türkiye'de yapılan çalışmalarda çeşitli sıcaklık değerleri için istatistiksel olarak anlamlı artış trendlerinin tespit edilmesi küresel ısınmayı işaret etmektedir. Bu çalışmanın amacı ise Antalya'da yer alan beş istasyonun uzun dönem aylık ortalama maksimum, aylık ortalama minimum ve aylık ortalama sıcaklık değerlerini kullanarak Antalya'nın küresel ısınma durumunu incelemek ve trendin başlangıçlarını belirlemektir. Trend testi uygulanmadan önce Run, çeyrekler aralığı ve otokorelasyon testleri yapılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Çalışma Alanı ve Veriler

$32^{\circ} 35'$ ile $29^{\circ} 20'$ doğu boylamlarında ve $37^{\circ} 29'$ ile $36^{\circ} 07'$ kuzey enlemlerinde yer alan Antalya'da genellikle Akdeniz iklimi hâkimdir. Antalya hem yurt içi ihtiyaçların karşılanması hem de ihracat açısından önemli bir tarım merkezidir. Ayrıca Antalya her yıl milyonlarca turist ağırlayan önemli bir turizm merkezidir. Ayrıca Türkiye'nin en kalabalık şehirlerindedir. Türkiye'nin su potansiyelinin yaklaşık % 8'i Antalya'da bulunmaktadır.

Bu çalışmada Antalya'da yer alan 17952 nolu Elmalı, 17926 nolu Korkuteli, 17300 nolu Antalya, 17917 nolu Manavgat ve 17974 nolu Gazipaşa meteoroloji istasyonlarının 1970-2017 arasındaki aylık ortalama maksimum, aylık ortalama minimum ve aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Bu istasyonların yerleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada alanındaki meteoroloji istasyonlarının yerleri.

2.2. Yöntem

2.2.1. Homojenlik Testi

Verilerin homojenliğini kontrol etmek için run testi uygulanmıştır. Bu amaçla iki hipotez oluşturulur. H_0 hipotezine göre veriler aynı toplulardan gelmekte ve birbirinden bağımsızdır yani homojendir. Zıt hipotez olan (H_1) hipotezine göre veriler aynı toplulardan gelmemektedir yani homojen değildir.

Bu testte küçükten büyüğe doğru sıralanan verilerin medyan yani ortanca değerinin altında mı yoksa üstünde mi olduğu belirlenir. Veri sayısı tek ise tam ortadaki değer, çift ise ortadaki iki değer ortalama medyan değeri olarak kullanılır [12]. Verilerin medyan değerine göre alttan üste ya da üstten alta geçiş sayılarının toplamı run sayısını verir. Elde edilen z değeri ile güven seviyesine göre belirlenen z test değeri karşılaştırıldığında elde edilen z değeri güven seviyesine göre belirlenen z test değerinin mutlak değeri arasında ise H_0 hipotezi kabul edilir yani veriler homojendir. Aksi takdirde veriler homojen değildir. Bu çalışmada run testi için güven aralığı %99,99 alınmış olup z değeri $\pm 3,89$ arasındadır.

$$z = \frac{r - \frac{2N_k N_b}{N_k + N_b} + 1}{\sqrt{\frac{2N_k N_b (2N_k N_b - n)}{n^2 (n-1)}}} \quad (1)$$

Burada, z elde edilen test değerini, n toplam veri sayısını, N_k medyandan küçük olan veri sayısını, N_b medyandan büyük olan veri sayısını ve r ise run sayısını göstermektedir [19].

2.2.2. Çeyrekler Aralığı Testi

Birinci ve üçüncü çeyrek değerleri arasındaki farka çeyrekler aralığı adı verilir. Yani değerlerin ortada yer alan %50'si çeyrekler aralığıdır. Alt ve üst sınırlar Denklem 2 ve 3 ile hesaplanır.

$$\text{Alt sınır} = Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1) = Q_1 - 1,5(\text{ÇA}) \quad (2)$$

$$\text{Üst sınır} = Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1) = Q_3 + 1,5(\text{ÇA}) \quad (3)$$

Burada, Q_1 birinci çeyreklik değerini, Q_3 üçüncü çeyreklik değerini ve ÇA ise çeyrekler aralığını göstermektedir [19].

2.2.3. Otokorelasyon (İç Bağımlılık) Sayısının Önemlilik Testi

İç bağımlılık barındıran veri setlerinde parametrik olmayan eğilim analizleri uygulamak için otokorelasyon (iç bağımlılık) sayısının önemlilik testinin yapılması ve iç bağımlılık tespit edilirse bu durumun giderilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada iç bağımlılık tespit edilen veri serilerine iç bağımlılığı gidermek için ön beyazlatma (prewhitening) işlemi uygulanmıştır.

Veri serisinde iç bağımlılığı tespit etmek için ardışık gözlemler arasındaki bağımlılığın ölçüsünü veren bir gecikmeli otokorelasyon katsayısı kullanılmıştır.

$$R = \frac{\left(\frac{1}{n-1}\right) \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_i) \cdot (x_{i+1} - \bar{x}_i)}{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (4)$$

Burada, \bar{x}_i serinin ortalama değerini, x_i ve x_{i+1} sırasıyla i. ve i+1. değerlerini, n toplam veri sayısını göstermektedir. Bu teste H_0 için $r_1=0$ iken H_1 için $r_1 \neq 0$ 'dır. Güven aralığı %99,99 alınmış olup z değeri $\pm 3,89$ arasındadır. Alt ve üst güven sınırları Denklem 3 ile hesaplanmıştır. Bir gecikmeli otokorelasyon katsayısı bu aralıkta ise iç bağımlılık önemsizdir.

$$\frac{-1 - 3,89\sqrt{n-2} \cdot 0,5}{n-1} < R < \frac{1 + 3,89\sqrt{n-2} \cdot 0,5}{n-1} \quad (5)$$

Burada n toplam veri sayısını göstermektedir. Bu çalışmada n=48 olup R değeri -0,583 ile 0,583 arasında ise iç bağımlılık önemsizdir. Aksi takdirde ön beyazlatma işlemi yapılmıştır.

2.2.4. Ön Beyazlatma İşlemi

Von Storch ve Navarra [28] tarafından önerilen ön beyazlatma işlemi veri serisinin bağımsız hale getirilmesinde kullanılmıştır. Bu amaçla Denklem 6 kullanılmıştır.

$$x_i - R \cdot x_{i-1} \quad (6)$$

2.2.5. MKMK Trend Analizi

MKMK testi [20] ile hem trend analizi hem de trendin başladığı yılın tespiti yapılabilmektedir. Yöntemde veriler sıralandıktan sonra test istatistiği olan t değeri, t'lerin ortalaması E (t), varyansı Var (t) ve MKMK test istatistiği u(t) sırasıyla Denklem 7, 8, 9 ve 10 kullanılarak hesaplanır. u(t) ve geriye doğru hesaplanan u'(t) değerlerinin birbirini kestiği nokta trendin başladığı yeri gösterir. u(t) pozitif ise artış, negatif ise azalış eğilimini ifade eder. Anlamlı trend kontrolü güven seviyesine bağlı z değeri ile yapılmaktadır. Bu test için güven aralığı %99,99 olup z değeri $\pm 3,89$ arasındadır.

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (7)$$

$$E(t) = i(i-1)/4 \quad (8)$$

$$Var(t) = i(i-1)(2i+5)/72 \quad (9)$$

$$u(t) = \frac{(t - E(t))}{\sqrt{Var(t)}} \quad (10)$$

3. Bulgular

Antalya'da bulunan beş meteoroloji istasyonunun 1970-2017 yılları arasındaki aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri için run testi sonuçları Tablo 1-5 arasında verilmiş olup tüm veriler homojen çıkmıştır.

Tablo 1: Antalya'nın aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri için run testi sonuçları

Aylar	Aylık ortalama sıcaklık			Aylık maksimum sıcaklık			Aylık minimum sıcaklık		
	r	z	H0	r	z	H0	r	z	H0
Ocak	28	1,47	+	23	0,11	+	30	2,04	+
Şubat	22	-0,29	+	26	0,88	+	22	-0,29	+
Mart	21	-0,58	+	24	0,34	+	21	-0,58	+
Nisan	19	-1,16	+	25	0,58	+	19	-1,17	+
Mayıs	24	0,30	+	27	1,17	+	12	-3,21	+
Haziran	19	-1,16	+	16	-2,04	+	19	-1,15	+
Temmuz	14	-2,62	+	22	-0,29	+	19	-1,13	+
Ağustos	11	-3,50	+	18	-1,45	+	12	-3,21	+
Eylül	17	-1,74	+	27	1,18	+	20	-0,83	+
Ekim	16	-2,03	+	23	0,00	+	23	0,01	+
Kasım	24	0,30	+	22	-0,28	+	21	-0,58	+
Aralık	26	0,89	+	24	0,29	+	25	0,58	+

Tablo 2: Elmalı'nın aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri için run testi sonuçları

Aylar	Aylık ortalama sıcaklık			Aylık maksimum sıcaklık			Aylık minimum sıcaklık		
	r	Z	H0	r	z	H0	r	z	H0
Ocak	22	-0,25	+	30	2,04	+	27	1,33	+
Şubat	25	0,60	+	24	0,29	+	22	-0,12	+
Mart	23	0,11	+	22	-0,29	+	21	-0,37	+
Nisan	26	0,89	+	27	1,17	+	25	0,77	+
Mayıs	22	-0,29	+	20	-0,87	+	24	0,45	+
Haziran	27	1,17	+	26	0,93	+	20	-0,71	+
Temmuz	24	0,34	+	22	0,29	+	23	0,18	+
Ağustos	22	-0,28	+	21	-0,54	+	22	-0,12	+
Eylül	24	0,29	+	26	0,89	+	29	1,92	+
Ekim	25	0,58	+	27	1,17	+	25	0,74	+
Kasım	24	0,41	+	26	0,88	+	27	1,33	+
Aralık	28	1,52	+	18	-1,46	+	29	1,95	+

Antalya'da bulunan beş meteoroloji istasyonunun 1970-2017 yılları arasındaki aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri için korelasyon testi uygulanmış olup sonuçlar Tablo 6, 7 ve 8'de verilmiştir. Sadece Antalya istasyonunun Ağustos ayı minimum sıcaklık verileri için iç bağımlılık tespit edilmiştir. Diğer tüm istasyonlar ve tüm aylar için iç bağımlılık tespit edilmemiştir.

Tablo 3: Gazipaşa'nın aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri için run testi sonuçları

Aylar	Aylık ortalama sıcaklık			Aylık maksimum sıcaklık			Aylık minimum sıcaklık		
	r	Z	H0	r	z	H0	r	z	H0
Ocak	26	0,89	+	26	0,89	+	24	0,29	+
Şubat	21	-0,57	+	21	-0,40	+	24	0,29	+
Mart	21	-0,58	+	29	1,75	+	27	1,17	+
Nisan	27	1,18	+	25	0,58	+	25	0,58	+
Mayıs	29	0,29	+	25	0,58	+	20	-0,87	+
Haziran	15	-2,32	+	18	-1,46	+	20	-0,60	+
Temmuz	13	-2,91	+	24	0,30	+	19	-1,13	+
Ağustos	11	-3,50	+	22	-0,28	+	17	-1,75	+
Eylül	22	-0,28	+	25	0,58	+	18	-1,46	+
Ekim	24	0,29	+	23	0,00	+	21	-0,58	+
Kasım	27	1,17	+	26	0,88	+	26	0,89	+
Aralık	26	0,89	+	24	0,30	+	25	0,58	+

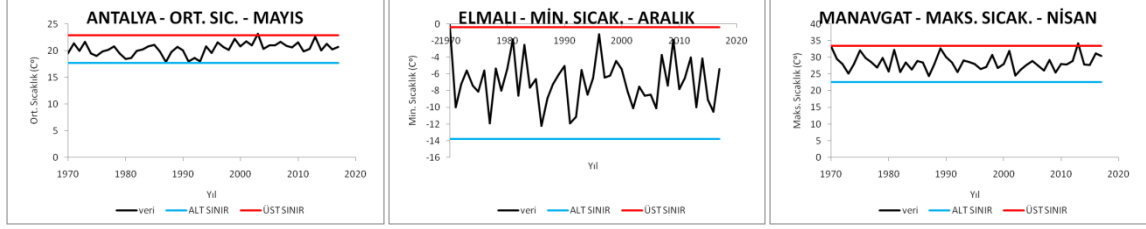
Tablo 4: Korkuteli'nin aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri için run testi sonuçları

Aylar	Aylık ortalama sıcaklık			Aylık maksimum sıcaklık			Aylık minimum sıcaklık		
	r	Z	H0	r	z	H0	r	z	H0
Ocak	22	-0,29	+	29	1,75	+	28	1,46	+
Şubat	21	-0,58	+	22	-0,29	+	20	-0,88	+
Mart	25	0,58	+	24	0,29	+	21	-0,57	+
Nisan	25	0,58	+	27	1,17	+	26	0,88	+
Mayıs	24	0,30	+	24	0,29	+	24	0,41	+
Haziran	19	-1,17	+	28	1,52	+	18	-1,46	+
Temmuz	24	0,47	+	20	-0,73	+	24	0,30	+
Ağustos	15	-2,30	+	19	-1,17	+	20	-0,87	+
Eylül	20	-0,83	+	26	1,46	+	26	0,88	+
Ekim	21	-0,58	+	23	0,00	+	22	-0,29	+
Kasım	20	-0,88	+	26	0,88	+	19	-1,17	+
Aralık	28	1,52	+	22	-0,29	+	29	1,92	+

Tablo 5: Manavgat'nın aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri için run testi sonuçları

Aylar	Aylık ortalama sıcaklık			Aylık maksimum sıcaklık			Aylık minimum sıcaklık		
	r	Z	H0	r	z	H0	r	z	H0
Ocak	26	0,89	+	30	2,06	+	20	-0,86	+
Şubat	23	0,00	+	26	0,88	+	25	0,58	+
Mart	21	-0,54	+	21	-0,53	+	25	0,58	+
Nisan	23	0,00	+	29	1,75	+	16	-2,03	+
Mayıs	26	0,88	+	24	0,29	+	20	-0,87	+
Haziran	18	-1,45	+	28	1,47	+	26	0,88	+
Temmuz	22	-0,29	+	24	0,29	+	18	-1,37	+
Ağustos	12	-3,21	+	19	-1,16	+	18	-1,45	+
Eylül	20	-0,88	+	25	0,58	+	28	1,46	+
Ekim	18	-1,46	+	23	0,00	+	24	0,29	+
Kasım	23	0,00	+	26	0,88	+	25	0,58	+
Aralık	28	1,46	+	16	-2,03	+	22	-0,28	+

Antalya'da bulunan beş meteoroloji istasyonunun 1970-2017 yılları arasındaki aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri için ÇA testi uygulanmıştır. Verilerin büyük çoğunluğu çeyrekler aralığında çıkmış olup bu aralıkta çıkmayan bazı örnekler Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2: ÇA testine göre bu aralıkta çıkmayan bazı örnekler

Tablo 6: Ortalama sıcaklık için korelasyon testi sonuçları

Aylar	İstasyonlara göre r değerleri				
	Antalya	Elmalı	Gazipaşa	Korkuteli	Manavgat
Ocak	0,089	0,032	0,032	0,063	0,110
Şubat	0,187	0,118	0,122	0,100	0,095
Mart	0,219	0,055	0,122	0,045	0,141
Nisan	0,032	0,055	0,071	0,055	0,000
Mayıs	0,281	0,138	0,202	0,045	0,190
Haziran	0,495	0,243	0,501	0,345	0,395
Temmuz	0,475	0,297	0,459	0,000	0,424
Ağustos	0,531	0,184	0,555	0,374	0,555
Eylül	0,329	0,007	0,297	0,179	0,261
Ekim	0,259	0,145	0,187	0,164	0,292
Kasım	0,179	0,055	0,000	0,032	0,164
Aralık	0,004	0,000	0,179	0,000	0,000

Tablo 7: Maksimum sıcaklık için korelasyon testi sonuçları

Aylar	İstasyonlara göre r değerleri				
	Antalya	Elmalı	Gazipaşa	Korkuteli	Manavgat
Ocak	0,105	0,126	0,055	0,045	0,055
Şubat	0,045	0,071	0,071	0,032	0,100
Mart	0,077	0,000	0,134	0,095	0,084
Nisan	0,118	0,100	0,000	0,000	0,084
Mayıs	0,000	0,134	0,161	0,032	0,032
Haziran	0,205	0,173	0,110	0,190	0,161
Temmuz	0,00	0,281	0,000	0,032	0,000
Ağustos	0,032	0,228	0,219	0,308	0,134
Eylül	0,17	0,13	0,202	0,170	0,032
Ekim	0,00	0,145	0,195	0,063	0,217
Kasım	0,032	0,045	0,002	0,184	0,000
Aralık	0,232	0,391	0,105	0,279	0,221

Tablo 8: Minimum sıcaklık için korelasyon testi sonuçları

Aylar	İstasyonlara göre r değerleri				
	Antalya	Elmalı	Gazipaşa	Korkuteli	Manavgat
Ocak	0,032	0,055	0,000	0,077	0,063
Şubat	0,00	0,155	0,032	0,000	0,084
Mart	0,182	0,303	0,071	0,032	0,071
Nisan	0,217	0,179	0,114	0,032	0,184
Mayıs	0,582	0,141	0,318	0,302	0,428
Haziran	0,407	0,348	0,158	0,307	0,29
Temmuz	0,497	0,518	0,547	0,032	0,486
Ağustos	0,604	0,531	0,265	0,195	0,055
Eylül	0,253	0,100	0,315	0,118	0,006
Ekim	0,063	0,110	0,145	0,045	0,055
Kasım	0,235	0,224	0,032	0,148	0,122
Aralık	0,11	0,045	0,063	0,152	0,000

Ortalama sıcaklıklar için trend analizi sonuçları Tablo 9’da verilmiştir. Antalya istasyonunun Ocak ayı hariç tüm istasyonlarda bütün aylar için artma trendi söz konusudur. En yüksek trend değeri Manavgat istasyonunda görülmüştür. Manavgat ve Gazipaşa istasyonlarının 2, Antalya ve Korkuteli istasyonlarının 1 ayında anlamlı artış trendleri belirlenmiştir. Elmalı istasyonu hariç tüm istasyonlarda yaz ayları için anlamlı artış trendleri mevcut olup en yüksek trend değerleri Ağustos ayında elde edilmiştir.

Tablo 9: Ortalama sıcaklık için trend analizi sonuçları

Aylar	İstasyonlara göre u(t) değerleri				
	Antalya	Elmalı	Gazipaşa	Korkuteli	Manavgat
Ocak	-0,39	0,76	0,12	0,60	0,94
Şubat	0,75	1,39	0,64	1,28	1,35
Mart	0,82	0,69	1,72	1,14	1,97
Nisan	1,44	1,39	1,90	1,28	2,04
Mayıs	2,42	1,30	2,54	1,81	3,00
Haziran	2,40	2,26	3,22	2,63	3,63
Temmuz	3,73	3,38	4,46	3,88	3,95
Ağustos	4,48	3,57	5,10	4,82	5,81
Eylül	2,54	1,67	3,73	3,16	3,45
Ekim	1,78	0,84	2,20	1,64	2,13
Kasım	0,68	0,96	1,32	1,58	2,20
Aralık	0,44	2,17	1,00	1,58	2,04

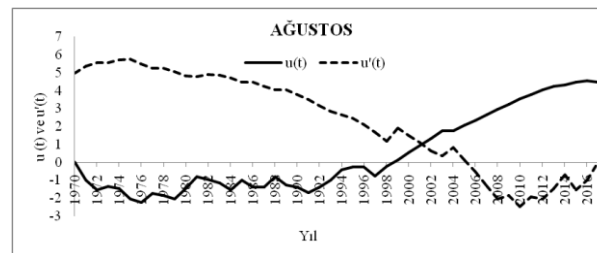
Ortalama maksimum sıcaklıklar için trend analizi sonuçları Tablo 10’de verilmiştir. Elmalı istasyonunun Ekim ayı, Gazipaşa istasyonunun mayıs ayı ve Manavgat istasyonunun mart, nisan, mayıs ve eylül ayları hariç tüm istasyonlarda bütün aylar için artma trendi söz konusudur. Anlamlı artış trendleri bulunamamıştır.

Tablo 10: Maksimum sıcaklık için trend analizi sonuçları

Aylar	İstasyonlara göre u(t) değerleri				
	Antalya	Elmalı	Gazipaşa	Korkuteli	Manavgat
Ocak	0,54	0,62	1,76	1,17	0,50
Şubat	2,99	2,17	1,92	2,22	2,92
Mart	0,05	0,62	1,16	1,16	-0,21
Nisan	0,34	1,07	0,60	0,53	-0,55
Mayıs	0,25	0,89	-0,53	1,14	-0,05
Haziran	1,78	2,12	2,26	1,85	2,31
Temmuz	1,48	3,25	1,28	3,27	0,25
Ağustos	2,52	3,18	2,61	3,18	2,76
Eylül	1,30	3,86	0,78	3,68	-0,16
Ekim	0,30	-0,78	0,52	0,18	0,48
Kasım	0,68	1,46	0,60	2,08	0,64
Aralık	1,69	3,59	1,33	3,47	0,85

Ortalama minimum sıcaklıklar için trend analizi sonuçları Tablo 11’de verilmiştir. Antalya istasyonunun ocak, şubat ve aralık, Elmalı istasyonunun ocak ve eylül, Gazipaşa istasyonunun ocak, şubat, kasım ve aralık, Korkuteli ve Manavgat istasyonlarının ocak ayı hariç tüm istasyonlarda bütün aylar için artma trendi söz konusudur. Manavgat istasyonunun 2 ve Gazipaşa istasyonunun 1 ayında anlamlı artış trendleri belirlenmiştir. En yüksek trend değeri Ağustos ayında elde edilmiştir.

Şekil 3’teki grafikler incelendiğinde Antalya istasyonunda ortalama sıcaklıklar için trend başlangıcı ağustos ayı için 2001’dir.

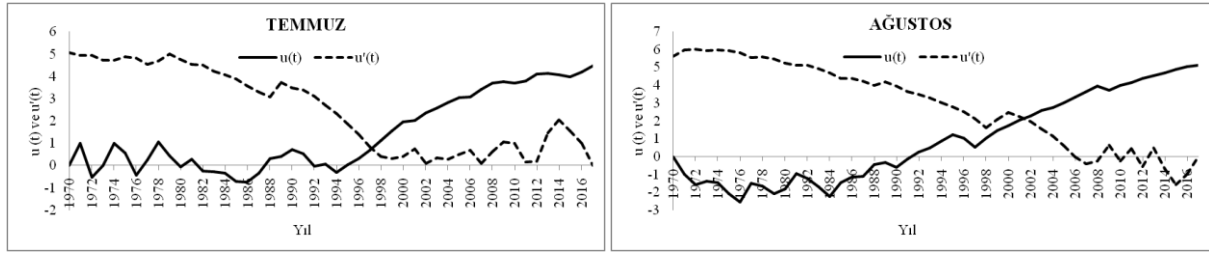


Şekil 3: Antalya istasyonunda ortalama sıcaklıklar için MKMK grafiği

Tablo 11: Minimum sıcaklık için trend analizi sonuçları

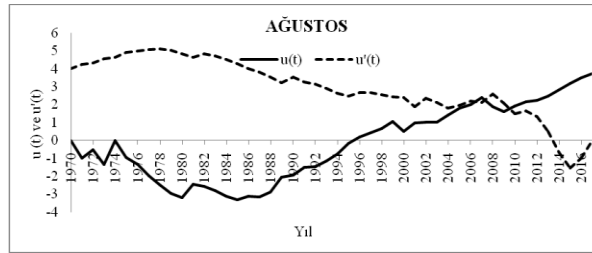
Aylar	İstasyonlara göre $u(t)$ değerleri				
	Antalya	Elmalı	Gazipaşa	Korkuteli	Manavgat
Ocak	-1,32	-0,28	-2,36	-0,46	-1,51
Şubat	-1,83	0,25	-0,53	0,87	0,02
Mart	1,60	1,83	0,80	2,08	1,85
Nisan	0,11	0,89	1,16	0,30	1,14
Mayıs	3,27	0,80	2,49	1,71	3,02
Haziran	3,00	2,04	2,79	3,63	2,51
Temmuz	3,73	3,61	4,36	2,99	4,62
Ağustos	1,87	3,80	3,72	2,67	5,03
Eylül	2,70	-0,07	3,43	1,69	0,82
Ekim	1,30	0,04	0,60	0,55	1,60
Kasım	0,36	0,84	-1,08	2,28	0,52
Aralık	-0,02	0,14	-0,07	0,39	0,64

Şekil 4'teki grafikler incelendiğinde Gazipaşa istasyonunda ortalama sıcaklar için trend başlangıçları temmuz ayı için 1997 ve ağustos ayı için 2007'dir.



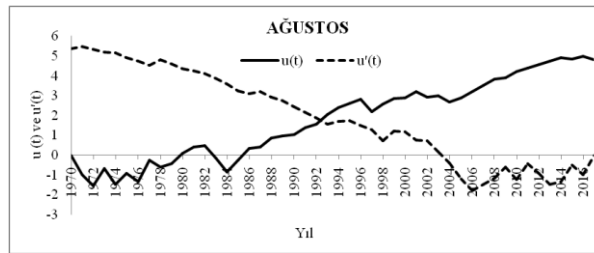
Şekil 4: Gazipaşa istasyonunda ortalama sıcaklar için MKMK grafikleri

Şekil 5'deki grafikler incelendiğinde Gazipaşa istasyonunda ortalama minimum sıcaklar için trend başlangıcı ağustos 2009'dur.



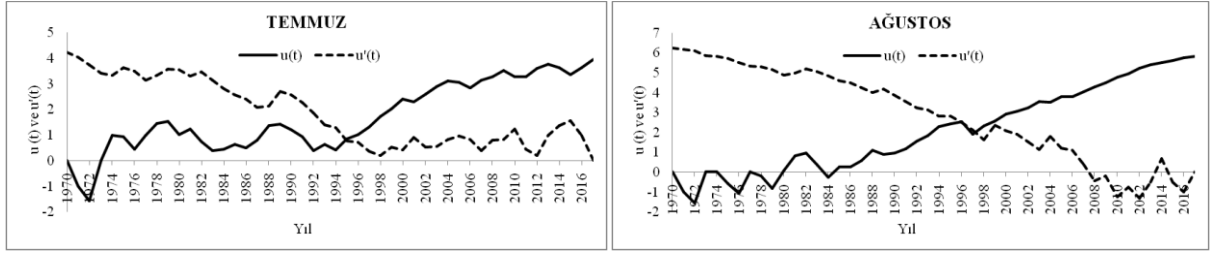
Şekil 5: Gazipaşa istasyonunda ortalama minimum sıcaklar için MKMK grafiği

Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde Korkuteli istasyonunda ortalama sıcaklar için trend başlangıcı ağustos ayı için 1992'dir.



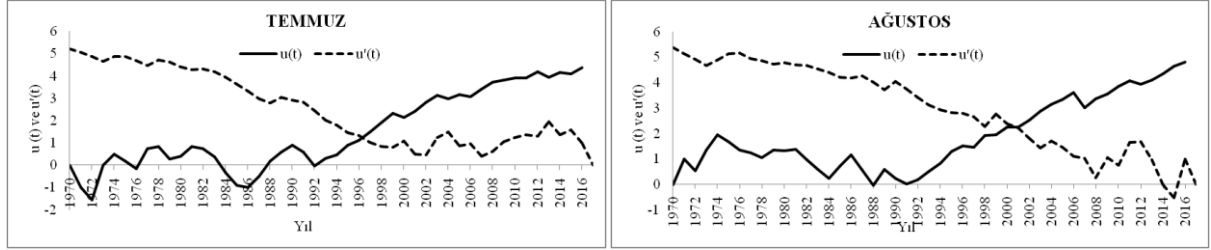
Şekil 6: Korkuteli istasyonunda ortalama sıcaklar için MKMK grafiği

Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde Manavgat istasyonunda ortalama sıcaklar için trend başlangıçları temmuz ayı için 1994, ağustos ayı için 1997'dir.



Şekil 7: Manavgat istasyonunda ortalama sıcaklar için MKMK grafikleri

Şekil 8'deki grafikler incelendiğinde Manavgat istasyonunda ortalama minimum sıcaklar için trend başlangıçları temmuz ayı için 1996 ve ağustos ayı için 2001'dir.



Şekil 8: Manavgat istasyonunda ortalama minimum sıcaklar için MKMK grafikleri

4. Sonuç

Antalya'nın küresel ısınma durumu hakkında genel bir değerlendirme yapmak amacıyla beş istasyonun bu çalışmada elde edilen trend analizi sonuçları kullanılarak aylara göre artma, azalma, değişim olmama ve istatistiksel olarak artma ve azalma yüzdeleri ile bu yüzdelerin 12 aylık ortalama değeri aylık ortalama, aylık ortalama maksimum ve aylık ortalama minimum sıcaklıklar için hesaplanmış ve sırasıyla Tablo 12, 13 ve 14'te verilmiştir. Bu tablolara göre elde edilen sonuçlar şöyledir:

1. Ortalama sıcaklıklar için Antalya istasyonunun artma trendinin 12 aylık ortalama değeri % 98,33 çıkmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı artma trendinin 12 aylık ortalama değeri ise % 10 olup yaz ayları ortalama değeri ise % 40 olarak hesaplanmıştır. Azalma yüzdesi % 1,67'dir.
2. Ortalama minimum sıcaklıklar için artma trendinin 12 aylık ortalama değeri % 80 çıkmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı artma trendinin 12 aylık ortalama değeri % 10 olup yaz ayları ortalama değeri ise % 20 olarak hesaplanmıştır. Azalma yüzdesi % 11,67 ve değişimsiz yüzdesi ise % 8,33'tür.
3. Ortalama maksimum sıcaklıklar için artma trendinin 12 aylık ortalama değeri % 88,33 çıkmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı artma trendi bulunamamıştır. Azalma yüzdesi % 8,33 ve değişimsiz yüzdesi ise % 3,33'tür.

Mann-Kendall testi için güven aralığı % 95 olarak alınırsa, istatistiksel olarak anlamlı artma trendinin 12 aylık ortalama değeri ortalama sıcaklık değerleri için % 61,9, minimum sıcaklıklar için %51,2 ve maksimum sıcaklık için 534,5 çıkmıştır. Tüm bu sonuçlar Antalya'da küresel ısınmayı işaret etmekte olup istatistiksel olarak anlamlı trendlerin başlangıçları 1992 ve 2009 yılları arasında değişmektedir. Antalya'da tarım, turizm ve nüfustaki artış nedeniyle su tüketimi artmakta iken bu çalışmada tespit edilen küresel ısınma hem su tüketiminin hem de su kaynaklarındaki kayıpların daha da artacağını göstermektedir. Örneğin küresel ısınma nedeniyle su kaynaklarından buharlaşmanın artması sonucu kayıplar, evapotranspirasyonun (buharlaşma+terlemenin) artması sonucu bitki su ihtiyacı dolayısıyla sulama suyu miktarı ve canlıların (insan ve hayvan) su ihtiyacı da artacaktır. Tüm nedenlerle Antalya'daki su kaynaklarının yönetiminde aşağıdaki tedbirlerin alınması büyük önem taşımaktadır:

1. Sulama sistemlerinde açık kanallardan vazgeçilerek kapalı (borulu) sisteme geçilmelidir.
2. Salma sulama ya da yağmurlama sulama sistemlerinden vazgeçilerek damla sulama sistemi kullanılmalıdır.
3. Tarımla uğraşanlar küresel ısınma, etkileri ve alması gereken tedbirler konusunda bilgilendirilmelidir.
4. Şebeke kayıp/kaçak oranları en aza indirilmelidir.

Tablo 12: Ortalama sıcaklık için trend analizi sonuçları kullanılarak elde edilen yüzdeler

	Artma (%)	Azalma (%)	Değişimsiz (%)	İstatistiksel artma (%)	İstatistiksel azalma (%)
Ocak	80,0	20,0	0	0	0
Şubat	100	0	0	0	0
Mart	100	0	0	0	0
Nisan	100	0	0	0	0
Mayıs	100	0	0	0	0
Haziran	100	0	0	0	0
Temmuz	100	0	0	40	0
Ağustos	100	0	0	80	0
Eylül	100	0	0	0	0
Ekim	100	0	0	0	0
Kasım	100	0	0	0	0
Aralık	100	0	0	0	0
Ort	98,33	1,67	0	10	0

Tablo 13: Ortalama maksimum sıcaklık için trend analizi sonuçları kullanılarak elde edilen yüzdeler

	Artma (%)	Azalma (%)	Değişimsiz (%)	İstatistiksel artma (%)	İstatistiksel azalma (%)
Ocak	100	0	0	0	0
Şubat	100	0	0	0	0
Mart	60	20	20	0	0
Nisan	80	20	0	0	0
Mayıs	60	20	20	0	0
Haziran	100	0	0	0	0
Temmuz	100	0	0	0	0
Ağustos	100	0	0	0	0
Eylül	80	20	0	0	0
Ekim	80	20	0	0	0
Kasım	100	0	0	0	0
Aralık	100	0	0	0	0
Ort	88,33	8,33	3,33	0	0

Tablo 14: Ortalama minimum sıcaklık için trend analizi sonuçları kullanılarak elde edilen yüzdeler

	Artma (%)	Azalma(%)	Değişimsiz (%)	İstatistiksel artma (%)	İstatistiksel azalma (%)
Ocak	20	80	0	0	0
Şubat	40	40	20	0	0
Mart	100	0	0	0	0
Nisan	100	0	0	0	0
Mayıs	100	0	0	0	0
Haziran	100	0	0	0	0
Temmuz	100	0	0	40	0
Ağustos	100	0	0	20	0
Eylül	80	0	20	0	0
Ekim	80	0	20	0	0
Kasım	80	20	0	0	0
Aralık	60	0	40	0	0
Ort	80	11,67	8,33	5	0

Teşekkür

Veri temini için Devlet Su İşleri' ne teşekkür ederim.

Referanslar

- [1] V. A., Steinke, LA., Martins Palhares de Melo, M., Luiz Melo, R., Rodrigues da Franca, R., Luna Lucena, E., Torres Steinke, E., “Trend analysis of air temperature in the federal district of Brazil: 1980–2010”, *Climate*, 2020, doi: 10.3390/cli8080089.
- [2] J., Tian, J., Liu, J., Wang, C., Li, H., Nie, F., Yu, “Trend analysis of temperature and precipitation extremes in major grain producing area of China”, *International Journal of Climatology*, 2017, doi: 10.1002/joc.4732.
- [3] D., Fenner F, Meier D, Scherer A, Polze A., “ Spatial and temporal air temperature variability in Berlin, Germany, during the years 2001-2010”, *Urban Climate*, 2014, doi: 10.1016/j.uclim.2014.02.004.
- [4] R., Saboohi, S., Soltani, M., Khodagholi, “Trend analysis of temperature parameters in Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, 2012, doi: 10.1007/s00704-012-0590-5.
- [5] K. Kumaş ve A. Ö. Akyüz , "Methane, Diesel Fuel, Electrical Energy, CO2 Emissions and Economical Equavialent from Animal Manure of Tokat, Turkey", *International Scientific and Vocational Studies Journal*, c. 5, sayı. 2, ss. 144-153, Ara. 2021, doi:10.47897/bilmes.969372.
- [6] A., Toreti, F., Desiato, “Temperature trend over Italy from 1961 to 2004”, *Theoretical and Applied Climatology*, 2008, doi: 10.1007/s00704-006-0289-6.
- [7] O. Arslan , "Hydrological Drought Analysis for Bolu City with Streamflow Drought Index", *International Scientific and Vocational Studies Journal*, c. 5, sayı. 2, ss. 115-123, Ara. 2021, doi:10.47897/bilmes.989082.
- [8] M. I., Chidean j, Muñoz-Bulnes J, RamiroBargueño A. J., Caamaño S, Salcedo-Sanz S., “Spatio-temporal trend analysis of air temperature in Europe and Western Asia using data-coupled clustering”, *Global and Planetary Change*, 2015, doi: 10.1016/j.gloplacha.2015.03.006.
- [9] S. A., Salman, S., Shahida, T., Ismail, E., Chung, A. M., Al-Abadic, “Long-term trends in daily temperature extremes in Iraq”, *Atmospheric Research*, vol. 198, no. 1, pp. 97-107, 2017.
- [10] M., Karabulut, “Doğu Akdeniz’de ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi”, *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, Özel Sayı*, pp. 37-44, 2012.
- [11] Y., Kızılelma, M., Çelik, M., Karabulut, “İç Anadolu Bölgesinde sıcaklık ve yağışların trend analizi”, *Türk Coğrafya Dergisi*, vol. 64, pp. 1-10, 2015.
- [12] E., Macana, E., Yeşilirmak, E., “Büyük Menderes Havzasında Ortalama, Maksimum Ve Minimum Sıcaklık Eğilimleri”, *Journal of Adnan Menderes University Agricultural Faculty*, vol. 12, no 1, pp. 73 – 80, 2015.
- [13] S., Tokgöz, t., Partal, “Karadeniz Bölgesinde Yıllık Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall Yöntemleri ile Trend Analizi”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 10, no. 2, pp. 1107-1118, 2020.
- [14] F., Cosun, m., Karabulut, “Kahramanmaraş’ta ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıkların trend analizi” *Türk Coğrafya Dergisi*, vol. 53, pp. 41-50, 2009.
- [15] A. D., Demir, Y., Demir, Ü., Şahin, R., Meral, “Bingöl İlinde Sıcaklık ve Yağışların Trend Analizi ve Tarıma Etkisi”, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, vol. 4, no. 3, pp. 284-291, 2017.
- [16] K. Saphioğlu, M., Kilit, M., “İklim Değişikliğinin Afyon İlindeki Yağış ve Sıcaklıklara Etkisinin Araştırılması ve Trendlerinin Belirlenmesi”, *Engineering Sciences* , vol. 7 , no. 4 , pp., 696-705, 2012.
- [17] P., Polat, M., Sunkar, “Rize’nin iklim özellikleri ve Rize çevresinde uzun dönem sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizleri”, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2017, doi: 10.18069/fıratsbed.346684.
- [18] A. Ülke, T., Özkoca, “Sinop, Ordu ve Samsun illerinin sıcaklık verilerinde trend analizi”, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, doi: 10.17714/gumusfenbil.351294, 2018.
- [19] Saphioğlu K., Güçlü, Y.S., “Combination of Wilcoxon test and scatter diagram for trend analysis of hydrological data”, *Journal of Hydrology*, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128132>.
- [20] D. R., HELSEL, R.M., HIRSCH, *Statistical Methods in Water Resources*, Elsevier, New York, USA, 1992.

Evaluation of the Performance of ANN Algorithms with the Bidirectional Functionally Graded Circular Plate Problem

Munise Didem Demirtaş^{a,1}, Didem Çakır^b

^a Erciyes University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, Kayseri, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-8043-6813

^b Cappadocia University, Cappadocia Vocational College, Computer Programming, Nevşehir, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-7682-6923

Abstract

Functionally graded materials (FGMs) are materials composed of metals and ceramics in which the distribution of material components varies according to a particular volumetric function. FGMs are often used in high-temperature applications. In our study, models were created in the Artificial Neural Network depending on the equivalent stress levels in the compositional gradient exponent, which is the most important parameter in determining the thermo-mechanical behavior of circular plates functionally staggered in two directions, and the performances of these models were evaluated. These models were obtained with four different training algorithms: Levenberg-Marquardt, Backpropagation Algorithm, Resilient Propagation Algorithm, Conjugate Gradient Backpropagation with Powell-Beale Restarts To train the ANN, equivalent stress levels were obtained by performing numerical analyzes at different compositional gradient upper values. The data sets were created by considering the largest value of the equivalent stress levels, the smallest value of the largest value, the largest value of the smallest value, and the smallest value of the smallest value. In this study, training stages and performance values were examined and interpreted with 4 training algorithms in detail.

Keywords: “Two-directional functionally graded circular plates, finite difference method, thermal stress analysis, artificial neural network, training algorithms.”

1. Giriş

Malzeme biliminde basit gerilmelere mukavim metallere sonra kompozitler ve seramikler gibi çoklu yapı malzemelerin geliştirilmesi ile daha zorlu çalışma şartları için mekanik ve aynı zamanda termal malzeme mukavemeti sağlanmıştır. Yapay zeka bilimlerinin, farklı analiz yöntem ve yaklaşımlarının gelişmesi ile istenilen özellikte ve yapıda makine malzemesi üretilmesi mümkün olmuştur. Sürekli gelişmekte olan bilgisayar bilimleri ve yapay zeka uygulamalarına sayesinde malzeme davranışlarını önceden kestirebilmek ve ileri teknoloji malzeme kompozisyonunu belirleyebilmek mümkün olmuştur. Bahsedilen ileri teknoloji malzemelerinden ve yüksek termal mukavemet istenen çalışmalar kullanılan bir yüzeyi metal karşı yüzeyi seramik olmak üzere metalden seramiğe geçiş ise bir hacimsel fonksiyona göre olan fonksiyonel kademeli malzeme (FKM)'dir. FKM ile malzeme bileşenlerinin geçiş bölgesinde süreklilik sağlanarak olası ara yüzeyde oluşabilecek malzeme kusurları engellenebilmiştir [1-3].

Literatürde yapılan çalışmalar, belirli sınır şartları altında malzeme çalışma koşullarını ve termo-mekanik davranışı belirleyen kompozisyonel gradyant üst değerinin tayin edilmesine odaklanmıştır. Alışılmadık çalışma şartlarına uyum sağlayabilecek malzeme tayininde, malzemenin bileşenleri arasında optimum dağılımın tespiti için sayısal analiz yöntemleri kullanılmış ve Sürü Optimizasyonları, Genetik Algoritmalar (GA),Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Evrimsel Algoritmalar gibi sezgisel optimizasyon yöntemlerinde farklı çalışma koşulları için çeşitli tasarım modelleri uygulanmıştır. Literatürde yapılmış birkaç çalışma açıklanmıştır.

Cho ve Ha [4], termal yük altında FKM'nin termo-elastik davranışını, Sonlu Farklar Metodunu (SFM) kullanarak farklı sınır şartlarında iki boyutlu hacimsel dağılım için en uygun değeri araştırdılar. Ara yüzeylerde oluşan en yüksek gerilme seviyesini minimize etmek için YSA algoritması geliştirdiler. Nemat-Alla [5], havacılık sanayisinde verimli çalışabilecek ve yüksek termal gerilmeye dayanabilecek iki boyutlu FKM'nin geliştirilmesi için Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile ideal tasarımı sundu.

Ootao ve arkadaşları [6], içi boş kürede termal yüklemeye altında malzeme kompozisyonunun optimizasyonunu YSA yöntemini kullanarak yaptılar. Doğrusal olmayan programlama ile YSA'nın doğruluğunu test ettiler. YSA'nın ilk verilerden sonra optimum

¹ Corresponding Author
E-mail Address: mddemirbas@erciyes.edu.tr

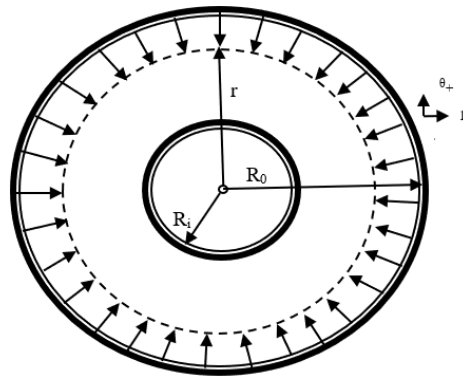
sonuca gayet hızlı bir şekilde ulaştığını tespit ettiler. Khoshnoodi ve arkadaşları [7], çok yönlü kademeli FKM'nin analizi için optimum değerlere yarı analitik yöntem ile ulaştılar. Analiz çalışmasında SSDQM ve YSA yöntemini kıyasladılar. Başlangıç verilerine ulaşma zamanı dikkate alınmadığında YSA'nın daha hızlı olduğunu belirttiler. Xu ve You [8], FK boruların kritik frekansını Legendre yöntemi ile hesapladılar. Levenberg-Marquart(L-M) algoritmasını ve optimizasyon yöntemi olarak YSA'yı tercih ettiler. Yapılan çalışma ile kompozisyonel gradyant üst değerinin gerçek ile tahmini değerlerinin birbirine yakınsadığını vurguladılar. Singh ve arkadaşları [9], kompozit malzemelerde aşınma dayanımını araştırdılar. Kompozit ve FKM üretmek için santrifüj yöntemini ve malzemeleri mekanik olarak karıştırmayı denediler. Geliştirilen malzemeyi Taguchi Yöntemi ve Varyans Analizi ile analiz ederek verileri YSA ile doğruladılar. FKM'lerin üretilen diğer kompozitlere göre aşınma dayanımlarını oldukça başarılı buldular. Ghatage ve arkadaşları [10], FKM'lerin malzeme teknolojisinde yeni yöntemlerle daha çok gelişebileceğini, uygun malzeme kompozisyonu, ideal modelleme ve doğru analiz ile her türlü gerilime dayanabileceğini belirttiler. Medikal teknolojisinde ve insan sağlığına zarar vermeyecek FKM'ler için çalışma yaptılar. Lineer olmayan yüklemeler altındaki FKM'ler için literatürde yapılan analizlerin sınırlı olduğuna değindiler. Yakın gelecekte FKM'ler üzerine yapılacak çalışmaların inovatif analiz yöntemleri ile daha uygulanabilir ve faydalı olabileceğini belirttiler. Na ve Kim [11], 3 boyutlu FKM'nin termal ve mekanik yük altında burkulma analizi için en önemli kriter olan kompozisyonel gradyant üst değerini araştırdılar. SEM kullanarak malzemede oluşabilecek gerilme dağılımının optimum olması için gerekli ideal hacimsel kompozisyonu bulmaya çalıştılar. Demirbaş ve Çakır [12], FK plakanın termal yüklemeye altında eşdeğer gerilmelerini hesapladılar. Belli sınır koşullar altında optimum kompozisyonel gradyant üst değerini bulmak için YSA kullanarak bir model oluşturdular. Khayat ve arkadaşları [13], Budiansky ve Ruth'un kriterlerine dayalı silindirik kabukların termal ve mekanik gerilme tesirindeki FKM'de dinamik kararlılığını araştırdılar. Bu çalışmada belirsiz değerleri ortandan kaldırmak için nokta tahmini ve YSA ile termal yüklemeye altındaki davranışı araştırdılar. Demirbaş ve arkadaşları[14] termal yüklemeye altındaki malzemenin yapısındaki deformasyonları belirlemede kullanılan eşdeğer gerilme değerlerini göz önünde tutarak malzemenin kompozisyonel gradyant üst değerini bulmak için sonlu farklar metodunu kullandılar. Bu yöntemle oluşturdukları veri setiyle genetik programlamada optimizasyona yol gösterecek formülleri ürettiler.

Literatürde FKM'lerin malzeme dağılımını belirleyen kompozisyonel gradyant üst değerinin tahmini veya gerçek değeri üzerine çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Kompozisyonel gradyant üst değerinin optimizasyonu ile ağır çalışma şartları için ideal malzeme mukavemeti sağlanabilmektedir. GA ve YSA gibi literatürde sıkça yer alan yapay zeka yöntemleri ile birlikte çeşitli varyasyonlarla geliştirilen hibrit optimizasyon yöntemleri sayesinde yüksek değerde FKM tasarım çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmada henüz seri üretimi gerçekleştirilemeyen ve yüksek sıcaklık uygulamalarında sıkça kullanılan FK malzeme yapıları için daha önceden yapılan YSA çalışmalarında kullanılmayan eğitim algoritmaları değerlendirilerek performanslarının kıyaslanması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Fonksiyonel Kademelenirilmiş Dairesel Plaka

FKM'ler birbirinden farklı nitelikte malzemelerin bir hacimsel fonksiyona göre malzemede ara yüzey formasyonu oluşturmayacak ve bileşenlerin malzeme içindeki geçişleri kademeli olacak şekilde birleştirilmesi ile elde edilen henüz seri üretimi olmayan teknolojik malzemelerdir. Kademeli malzeme geçişi ile seri üretim ile üretilmiş standart malzemelerden farklı olarak malzemenin ara yüzey bölgesindeki malzeme süreksizliğine bağlı olarak meydana gelebilecek yapısal düzensizlikler ve ara yüzey çatlakları makul seviyeye indirgenebilmiştir. En uygun hacimsel dağılımı belirlerken malzemenin performansı/verimli çalışabilmesi ile birlikte gelişmiş termo-mekanik nitelikler de arzu edilmektedir. Bu özellikler optimum hacimsel kompozisyon ve kompozisyonel gradyant üst değerinin belirlenmesi ile mümkün olmaktadır .



Şekil 1. FK dairesel plaka [15]

Şekil 1'de FK dairesel plaka için radyal yönde kademelenirilmiş gösterilmiştir. Radyal kademelenirilmiş aşağıda gösterilen seramik malzemenin hacimsel dağılım formülü ile gerçekleştirilmiştir. $p = 0.5$ olup, periyodik fonksiyonun periyotudur.

$$V_s(\bar{r}) = \left(\frac{\bar{r}}{l_R}\right)^n \quad (1)$$

$$V_s^\theta(\theta) = (|\sin(p\theta)|)^m \quad (2)$$

R_i ve R_o sırasıyla plakanın iç ve dış yarıçapı olup $\bar{r} = r - R_i$, $l_R = R_o - R_i$ 'dir ve V_s , seramik malzemenin hacimsel oranını vermektedir. Radyal ve teğetsel yöndeki hacimsel oran denklem 1 ve denklem 2'de verilmektedir.

V_s ve V_m olarak verilen seramik ve metalin hacimsel dağılımına denklem 3 ve 4 ile ulaşılmaktadır;

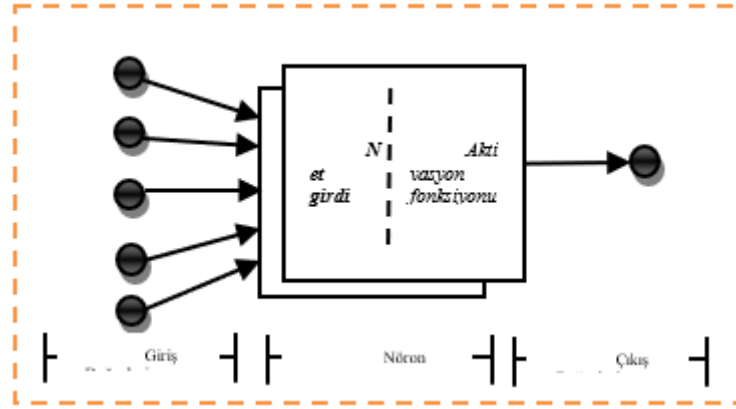
$$V_s(\bar{r}, \theta) = V_s^r(\bar{r}, \theta) \cdot V_s^\theta(\bar{r}, \theta) \quad (3)$$

$$V_m(\bar{r}, \theta) = 1 - V_s(\bar{r}, \theta) \quad (4)$$

Hacimsel dağılımına bağlı olarak plakanın termal ve mekanik özellikleri Mori-Tanaka [16] şeması esas alınarak belirlenmiştir. Kısıklık adına problemin sayısal analiz ile ilgili diğer formülasyonlar [15-18] detaylı olarak yer almaktadır.

2.2. YSA Algoritması

Optimizasyon yöntemleri genellikle doğadaki canlıların var olma, organizasyon yapısı ve çalışma şekillerinden esinlenerek tasarlanmıştır. Hiyerarşik/organizasyonel yapı ve görev paylaşımları gibi süreçler göz önünde tutularak bunların en uygun sonuca ulaşma aşamaları gözlemlenmiştir. Bu optimizasyon yöntemlerinden biri olan YSA da insan beyninin sinirsel aktivitesi, bilgiyi işleme ve iletme şekli ve karar verme aşamaları düşünülerek ortaya çıkmıştır [19]. Bu süreçte bilgilerin/verilerin alınması, değerlendirilmesi, işlenmesi ve sonuca ulaşması aşamaları bulunmaktadır.



Şekil 2. YSA'nın basit bir nöron işleyiş modeli [25]

YSA yöntemi birden fazla giriş ve çıkış değeri olabilen lineer ya da non-lineer çeşitli problemlerin çözülmesinde geniş yer bulmaktadır. YSA giriş değerleri, nöron sayısı ve çıkış değerleri dikkate alınarak yapılandırılır. Şekil 2'de YSA'nın yapısında yer alan basit bir nöron için çalışma modeli gösterilmiştir. Nöronlara gelen giriş değerleri kümülatif toplam fonksiyonunda kullanılarak (denklem 5) net girdi oluşturulur ve Denklem 6'daki aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Denklem 5'te x giriş değerini, w ağırlık değerini ve b eşik değerini göstermektedir. Çalışmamızda aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu tercih edilmiştir.

$$net\ girdi = \sum_{m=1}^m (x_i * w_i + b_i) \quad (5)$$

$$f(net\ girdi) = \frac{1}{1 + e^{-net\ girdi}} \quad (6)$$

Bu aşamaların sonucu olarak tahmini çıktı değerleri bulunur. Gerçek ile tahmini değerler arasındaki farkı ve yakınsamayı görebilmek için bir hata fonksiyonu belirlenmelidir. Denklem 7'de ortalama karesel hata fonksiyonu (RMSE) gösterilmiştir. Denklem 7'de yer alan y_d gerçek değer ve y_d tahmini değerdir.

$$e = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^m (y_d - y)^2 \quad (7)$$

Problemimizde 4 farklı YSA eğitim algoritması ile modeller kurularak sonuçlar detaylı bir şekilde incelenmiştir.

L-M algoritması; YSA'nın kuruluş temelinde eğitim algoritmaları işlem yapar. Bu algoritmalar hep daha iyiyi bulmak için problem türüne göre iyileştirilmiştir. L-M algoritması hessian matrisindeki işlem sürecini ortadan kaldırmak için Gauss-Newton algoritması ve gradyant azaltma metodunun birleştirilmesiyle oluşturulmuştur [20]. Denklem 9 ve 10 'da H Hessian matrisini ve g gradyant formülleri gösterilmektedir [21]. Birçok geri beslemeli ağ türlerinin aksine L-M algoritması ileri beslemeli ağ türüdür ve performansı birçoğuna göre daha iyidir. Denklem 11'de J Jacobian matrisini, Denklem 14'te I birim matrisi ve μ marquardt katsayısını göstermektedir. Ağın performansını ikinci dereceden türevleri belirler. Bu algoritma Hessian matrisini hesaplamaya gerek duymadan gerçek değerlere daha yakın tahmini değerler üretmektedir [20].

$$x_{k+1} = x_k - H^{-1}g \quad (8)$$

$$g = \left[\frac{\partial E(w)}{\partial w_1} \quad \frac{\partial E(w)}{\partial w_2} \quad \dots \quad \frac{\partial E(w)}{\partial w_n} \right]^T \quad (9)$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial E(w)}{\partial w_1^2} & \frac{\partial E(w)}{\partial w_1 \partial w_2} & \dots & \frac{\partial E(w)}{\partial w_1 \partial w_n} \\ \frac{\partial E(w)}{\partial w_2 \partial w_1} & \frac{\partial E(w)}{\partial w_2^2} & \dots & \frac{\partial E(w)}{\partial w_2 \partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial E(w)}{\partial w_n \partial w_1} & \frac{\partial E(w)}{\partial w_n \partial w_2} & \dots & \frac{\partial E(w)}{\partial w_n^2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_1} & \frac{\partial e_1}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_n} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_1} & \frac{\partial e_2}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial e_n}{\partial w_1} & \frac{\partial e_n}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_n}{\partial w_n} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$H \cong J^T J \quad (12)$$

$$g = J^T e \quad (13)$$

$$x_{k+1} = x_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (14)$$

Geriye Yayılım Algoritması (Gradient Descent Backpropagation); YSA'nın bir çok alanda kullanılan bir eğitim algoritmasıdır. Öğrenme aşamalarında her nöron için gradyant azaltma tekniği uygulanır. Bu yöntemde çıkış değerlerinden giriş değerlerine doğru hata değerlerinin azaltılması işlemi yapılır [25]. Algoritmanın kuruluş mantığına göre hata oranları ve ağırlıklar kısmı türevler üzerinden işlenir ve tahmini değerlerin gerçek değerlere yakınsaması istenir. Bu algorithmada, ilk koşullar çok önemlidir ayrıca yakınsama hızı diğer algoritmalara nazaran yavaştır. İlk atanan ağırlık vektörleri hata değerine yakınsa öğrenme süreci hızlı olur. Öğrenme katsayısı "n" ile gösterilir ve 0.1-0.9 arasında bir değer alır [22]. GYA Denklem 15'te verilmiştir.

$$w_{ij} = w_{ij-1} + n \left(\frac{\partial e_{ij}}{\partial w_{ij-1}} \right) \quad (15)$$

Esnek Yayılım Algoritması (Resilient Propagation Algorithm); Riedmiller ve Braun tarafından geliştirilmiş olup amacı kısmi türevlerin olumsuz etkilerini öğrenme işleminden kaldırmaktır. Ağırlıkların tekrar hesaplanma yönü sadece türevlerin işaretlerine bakılarak yapılır. Yapılan bu işlem Esnek Yayılım Algoritmasını diğer algoritmalarından ayıran en önemli özelliktir. Bu özellik esnek yayılma denmiştir ve algoritmaya hızlı çözüme varma yeteneği kazandırmıştır. Her adımda hata fonksiyonu 'e' ve ağırlık

değişim değeri wa_{ij} 'nin bulunması ile süreç başlar ve ağırlık değişimleri Denklem 17'deki gibi değerlendirilir. η ve μ , $0 < \eta < 1 < \mu$ aralığında artma ve azaltma faktörleridir [23].

$$w_{ij} = \begin{cases} -wa_{ij}, \text{ eğer } \frac{\partial e_{ij}}{\partial w_{ij}} > 0 \\ +wa_{ij}, \text{ eğer } \frac{\partial e_{ij}}{\partial w_{ij}} < 0 \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases} \quad (16)$$

$$wa_{ij} = \begin{cases} \eta wa_{ij-1} wa_{ij-1}, \text{ eğer } \left(\frac{\partial e_{ij-1}}{\partial w_{ij-1}} \right) \left(\frac{\partial e_{ij}}{\partial w_{ij}} \right) > 0 \\ \mu wa_{ij-1}, \text{ eğer } \left(\frac{\partial e_{ij-1}}{\partial w_{ij-1}} \right) \left(\frac{\partial e_{ij}}{\partial w_{ij}} \right) < 0 \\ wa_{ij-1}, \text{ aksi halde} \end{cases} \quad (17)$$

Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı (Conjugate Gradient Backpropagation with Powell-Beale Restarts); algoritma, geriye yayılım algoritmasının değerlerini eğimin negatif yönünde dengeler ve eğim azaltım yöntemindeki doğrultulardan daha hızlı yakınsayan eşleştirme doğrultularında bir arama işlemi gerçekleştirir. Öğrenme oranı her bir iterasyonda güncellenir. İlk iterasyon negatif eğim değeri belirlendiği noktadan başlar. Fletcher-Reeves'in β_{ij} skaler değeri p_{ij-1} ve p_{ij} doğrultusunun performans fonksiyonunun ikinci dereceden türev değerleri ile eşleştirilmesi ile ulaşılır. Denklem 19'da β_{ij} güncelleme yaklaşımı gösterilmiştir [23].

$$p_{ij} = g_{ij} + \beta_{ij} p_{ij-1} \quad (18)$$

$$\beta_{ij} = \frac{g_{ij}^T g_{ij}}{g_{ij-1}^T g_{ij-1}} \quad (19)$$

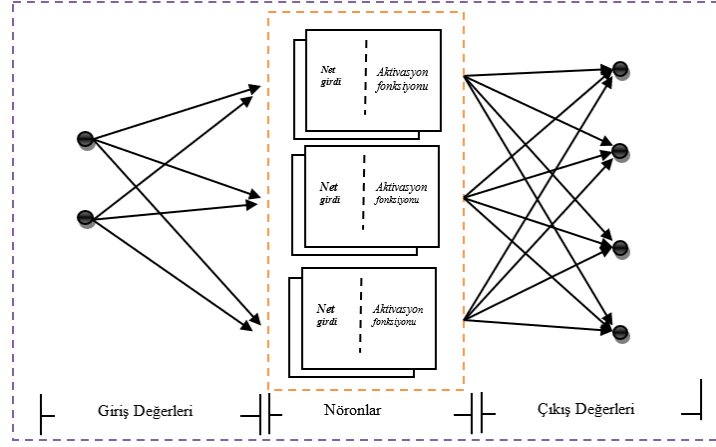
3. Problem Tarifi ve YSA ile Modelleme

3.1. Problemin Tarifi

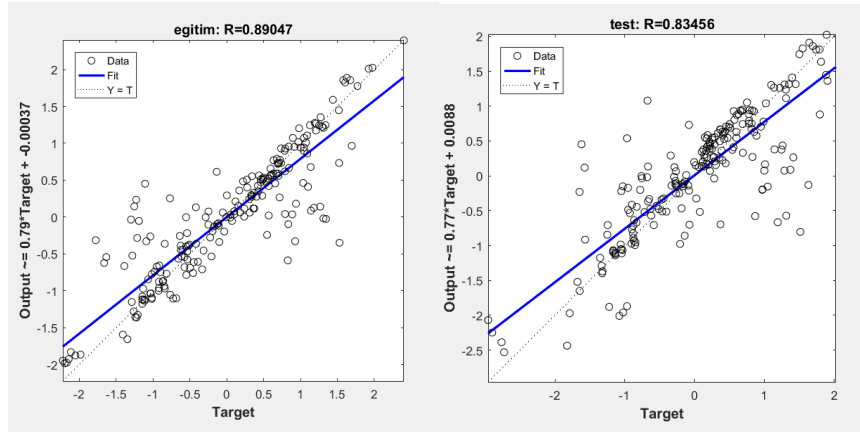
Seramik (ZrO_2) ve metal (Ti-6Al-4V) olmak üzere iki farklı malzemenin birleşimi ile oluşturulan fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plaka n ve m kompozisyonel gradyant üst değerleri olmak üzere iki yönde kademelendirilmiştir. Hacimsel dağılıma etkisi olan kompozisyonel gradyant üst değeri göz önünde tutularak fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plakanın dış kenarı doğrultusunda 200 KW/m^2 ısı akısına maruz bırakılmış ve dış kenarda sıcaklık herhangi bir nokta da 1800 K olana kadar uygulanmıştır. Isı akısı tesirindeki plaka hem iç ve de dış kenarı boyunca sabitlenerek her iki yönde yer değiştirmeler engellenmiş böylece termo-mekanik etki oluşturulmuştur. Tariflenen sınır şartları için sonlu farklar metodu kullanılarak sayısal analizler yapılmış ve eş değer gerilme değerleri hesaplanmıştır. $[0.1-1]$ değer aralığında 112 farklı kompozisyonel gradyant üst değer için eşdeğer gerilme seviyeleri kullanılarak veri setleri oluşturulmuştur. Eşdeğer gerilme seviyelerinin; en büyük değerinin en büyüğü ve en küçüğü ile en küçük değerinin en büyüğü ve en küçüğü için veri setleri oluşturularak YSA analizleri ve sayısal çalışmalar için Matlab [24] programlama dili kullanılmıştır. Bu veri setleri ile YSA eğitim algoritmalarının performansı değerlendirilmiştir.

3.2. YSA ile Modelleme

YSA modelinde 112 farklı kompozisyonel gradyant üst değeri ile veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti değerleri eğitim ve test seti olarak yarı yarıya dağıtılmıştır. Dört farklı eğitim algoritması ile değerler karşılaştırılmıştır. Şekil 3'te gösterilen şekli ile YSA modelimizde tüm eğitim algoritmaları n ve m kompozisyonel gradyant üst değerleri olmak üzere iki giriş, tek katmanlı, üç nöronlu ve eşdeğer gerilme seviyelerinin; en büyük değerinin en büyüğü ve en küçüğü ile en küçük değerinin en büyüğü ve en küçüğü olmak üzere dört çıkış değerine sahiptir.

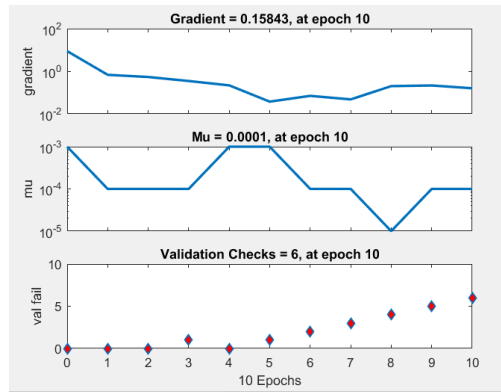


Şekil 3. YSA'da tek katmanlı ağ modeli [25]



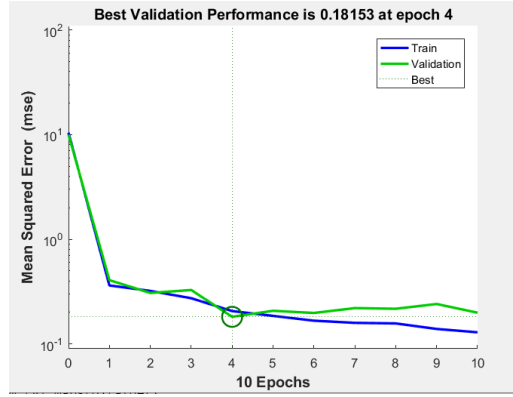
Şekil 4. L-M eğitim algoritması ile model tahmin değerleri

Belirlenen algoritmalarından L-M algoritması ile oluşturulan model için ağın eğitim ve test tahmin değerleri Şekil 4' de gösterilmiştir. Bu modelde çıkış verilerimiz, en iyi hedeflenen eğitim tahmin değerine %89 ve test tahmini değerine ise %83 oranında doğrulukla çözümüne ulaşmıştır.

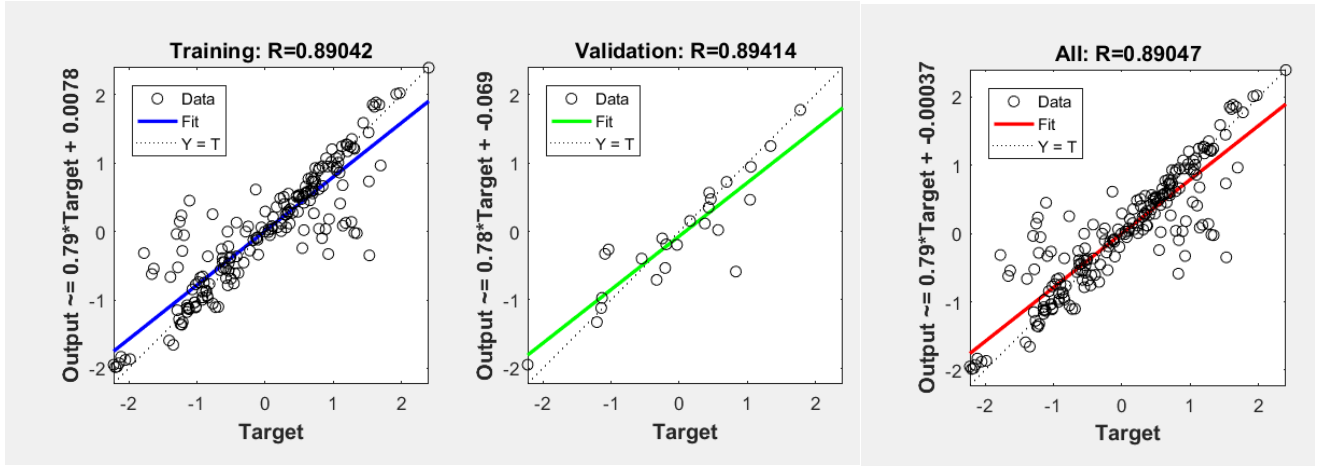


Şekil 5. L-M algoritması ile kurulan model için gradyanın, momentumun ve başarısız doğrulamanın çevrim sayısına göre değişimi

Şekil 5' te gösterilen grafikler ışığında gradyan 0.15843, momentum 0.001, başarısız doğrulama 6, maksimum çevrim sayısı 10'dur. Şekil 6 çıkış verilerimizin hedeflenen eğitim, doğrulama ve tahmin değerinin 0.89 üzerinde bir değerle hesaplandığını göstermektedir. Burada çevrim sayısı arttıkça eğitim ile doğrulama tahmini hata değeri arasındaki farkın arttığı görülmüştür. En iyi doğrulama performansı ise 4 çevrim için 0.18153' tür.

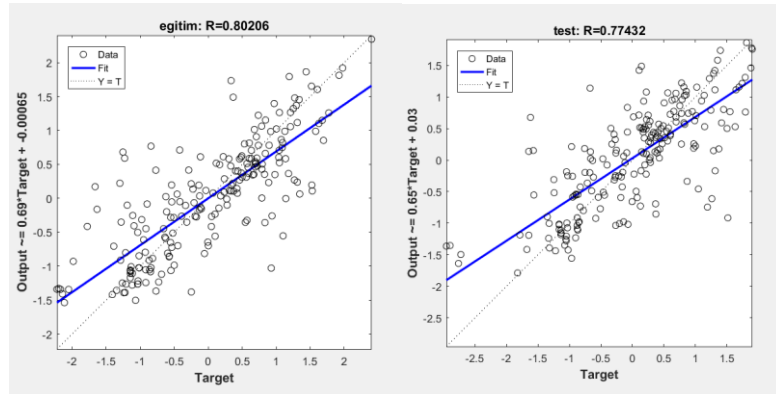


Şekil 6. L-M algoritmasının performansı



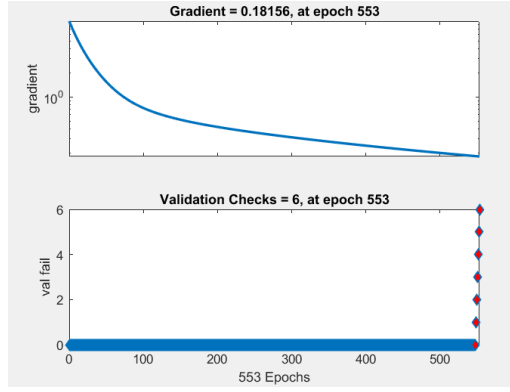
Şekil 7. L-M algoritması için tüm tahmin değerleri

Şekil 7’de L-M algoritmasının tüm tahmin değerleri gösterilmektedir. Burada eğitim için tahmin değeri 0.89042, doğrulama için tahmin değeri 0.89414 ve toplam tahmin değeri 0.89047’dir. Bu çalışmada çıkış verilerimize göre, en iyi hedeflenen eğitimi değeri, doğrulama değeri ve tüm tahmin değeri 0.88281 üzerinde tahmin ile hesaplanmaktadır. Bu durumda ağızımızın iyi eğitildiği anlaşılmaktadır.



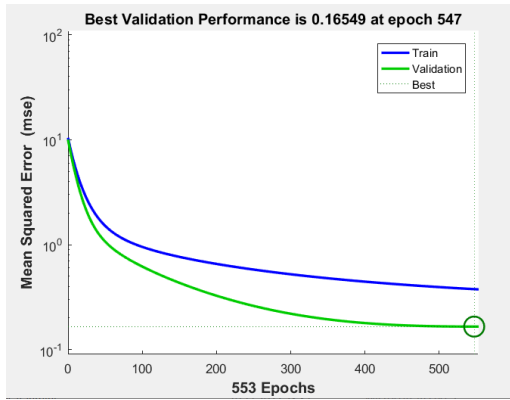
Şekil 8. Geriye Yayılım Algoritması algoritması ile model tahmin değerleri

Geriye Yayılım Algoritması ile oluşturduğumuz model için Şekil 8’ de ağız eğitimi ve test tahmini değerlerini gösterilmektedir. Bu modelde çıkış verilerimiz, en iyi hedeflenen eğitim tahmin değeri olan %80’nin üzerinde bir değerle hesaplanmıştır. Test verilerinin gerçek verilere %77 oranında doğrulukla sonuca ulaşmıştır.

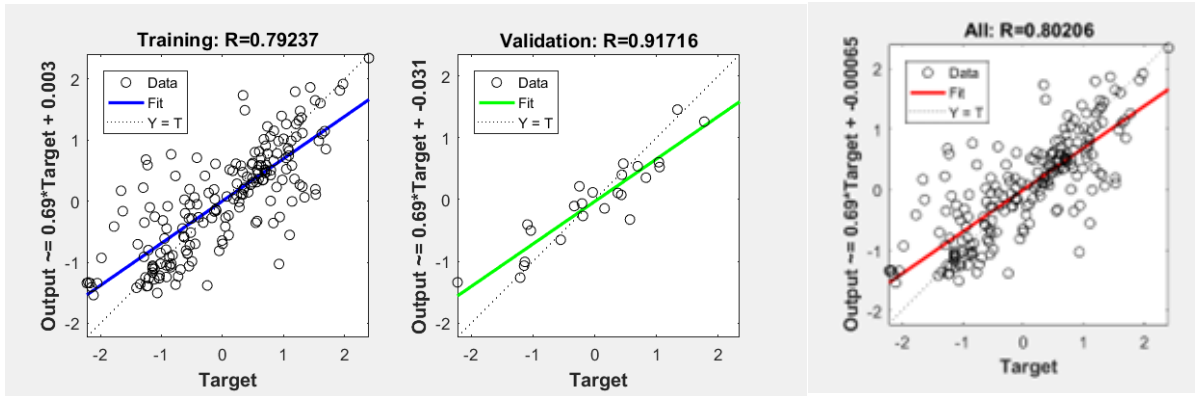


Şekil 9. Geriye Yayılım Algoritması ile eğitilen modelde gradyanın ve başarısız doğrulamanın çevrim sayısına göre değişimi

Şekil 9’ da Gradyant (Gradient) 0.18156 ve 553 çevrimde başarısız doğrulama değerleri 6’dır. Şekil 10 ’da çıkış verilerimizin, en iyi eğitim ve tahmin değerini %80’nin üzerinde bir değerle hesaplandığını göstermektedir. Bu algoritmada çevrim sayısı arttıkça eğitim ile doğrulamanın tahmini hata değerleri arasındaki fark değişmemektedir. En iyi doğrulama performansı ise 547 çevrim için 0.18156’ dır.

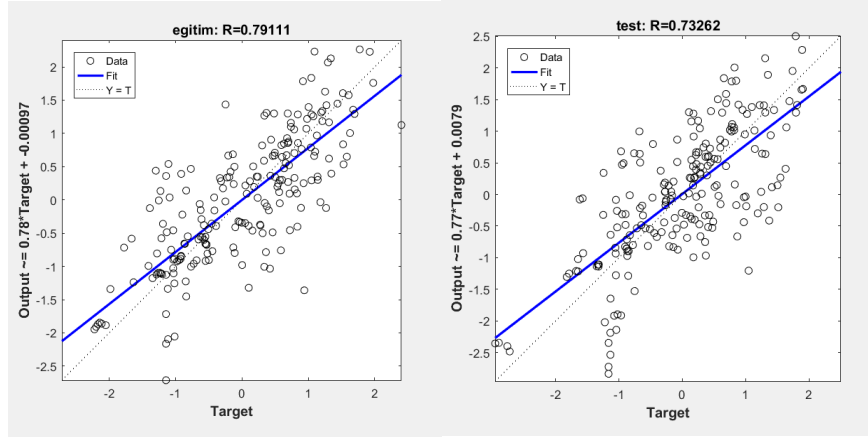


Şekil 10. Geriye Yayılım Algoritmasının performansı



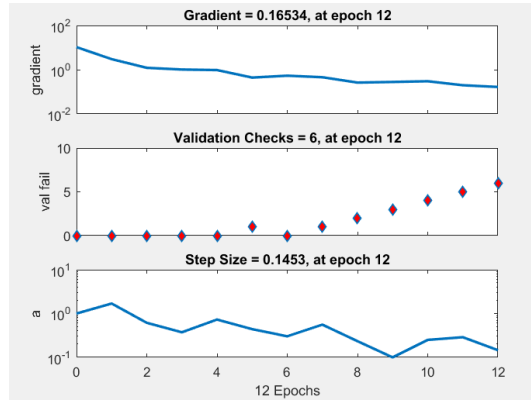
Şekil 11. Geriye Yayılım Algoritması ile eğitilen model için tüm tahmin değerleri

Şekil 11’de Geriye Yayılım Algoritmasının tüm tahmin değerleri gösterilmektedir. Burada eğitim için tahmin değer 0.79237, doğrulama için tahmin değer 0.91716 ve toplam tahmin değer 0.80206 ‘dır.



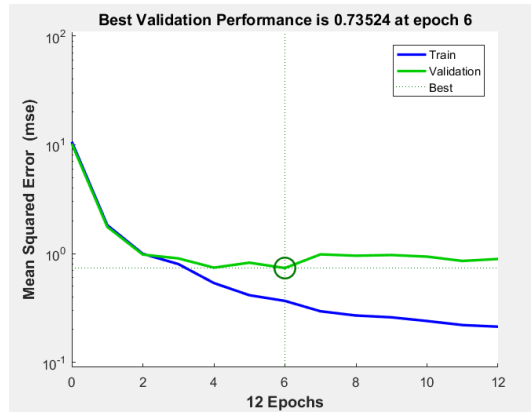
Şekil 12. Esnek Yayılm Algoritması ile model tahmin değerleri

Üçüncü algoritmamız olan Esnek Yayılm Algoritması ile kurduğumuz model için Şekil 12' de ağız eğitim ve test tahmin değerleri gösterilmektedir. Bu modelde çıkış verilerimiz en iyi hedeflenen eğitim tahmin değeri %79 ve test tahmini değeri ise %73 oranında doğrulukla çözüme ulaşmıştır.



Şekil 13. Esnek Yayılm Algoritması ile eğitilen model için gradyanın ve başarısız doğrulamaların çevrim sayısına bağlı değişimi

Şekil 13' te görüleceği üzere Gradyant (Gradient) 0.16534, basamak ölçüsü 0.1453, başarısız doğrulama (validation fail) 6 ve maksimum çevrim sayısı (epochs) 12'dir.



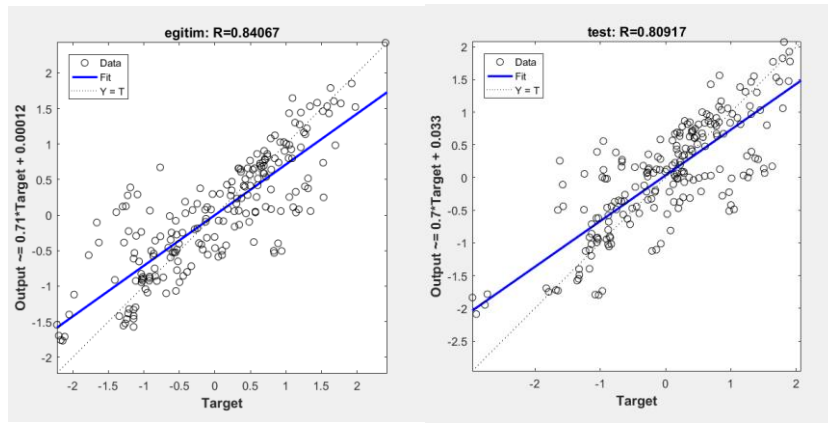
Şekil 14. Esnek Yayılm Algoritmasının performansı

Şekil 14'te verilen performans değerleri incelendiğinde çevrim sayısı arttıkça eğitim ile doğrulama tahmini hata değeri arasındaki farkın değişmediği görülmektedir. En iyi doğrulama 6 çevrim için 0.73524' tür.



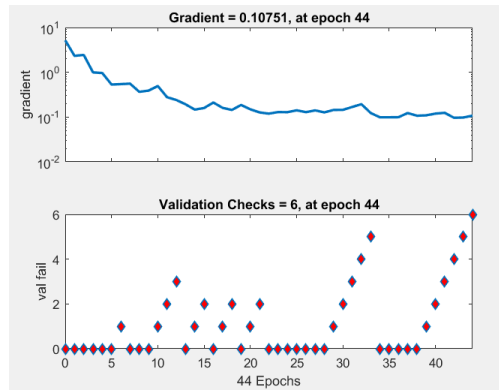
Şekil 15. Esnek Yayılm Algoritması ile eğitilen model için tüm tahmin değerleri

Şekil 15’de Esnek Yayılm Algoritmasının tüm tahmin değerleri gösterilmektedir. Burada eğitim için tahmin değeri 0.81273 doğrulama için tahmin değeri 0.66415 ve toplam tahmin değeri 0.79111’dir.



Şekil 16. Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılmı ile model tahmin değerleri

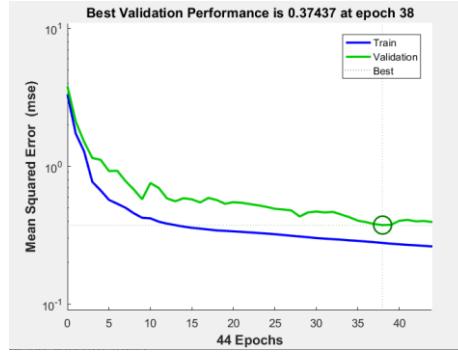
Dördüncü olarak Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılmı algoritması ile kurulan model için Şekil 16’ da ağır eğitim ve test tahmin değerleri gösterilmiştir. Bu modelde çıkış verilerimiz, en iyi hedeflenen eğitim tahmin değerine %84 ve test tahmini değerine ise %80 oranında doğrulukla çözüme ulaşmıştır.



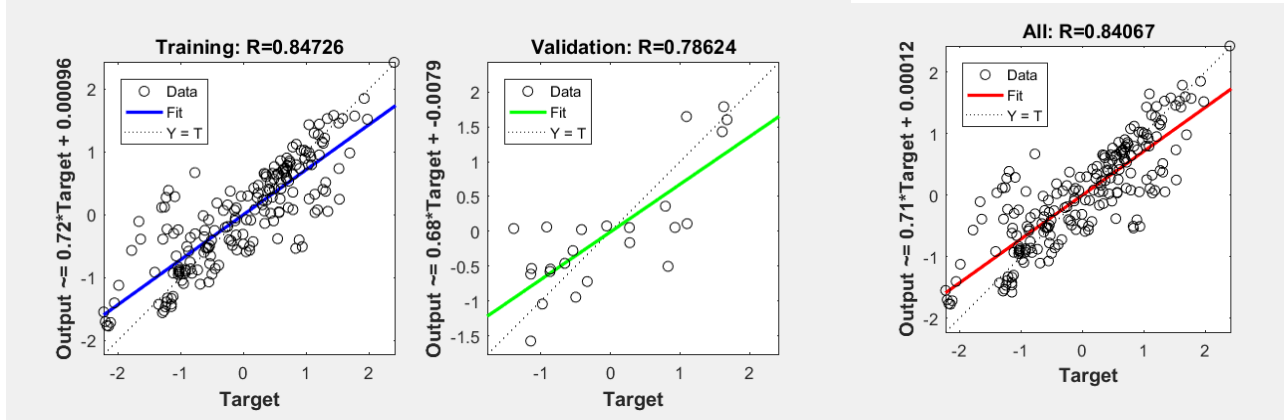
Şekil 17. Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılmı ile eğitilen model için gradyant ve başarısız doğrulamamın çevrim sayısına bağlı değişimi

Şekil 17’ de Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılmı kullanılarak oluşturduğumuz model için gradyant ve başarısız doğrulamamın çevrim sayısına bağlı değişimi gösterilmiştir. Gradyant (Gradient) 0.10751, başarısız doğrulama (validation fail) 6 ve maksimum çevrim sayısı (epochs) 44’tür.

Şekil 18 ’te çıkış verilerimizin, en iyi hedeflenen eğitim, doğrulama ve tahmin değerinin 0.84 üzerinde bir değerle hesaplandığını göstermektedir. Burada çevrim sayısı arttıkça eğitim ile doğrulama tahmini hata değeri arasındaki fark değişmemektedir. En iyi doğrulama performansı ise 38 çevrim için 0.37437’ dir.



Şekil 18. Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı algoritmasının performansı



Şekil 19. Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı algoritması ile eğitilen model için tüm tahmin değerleri

Şekil 19’da Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı’nın tüm tahmin değerleri gösterilmiştir. Burada eğitim tahmin değeri 0.84726, doğrulama tahmin değeri 0.78624 ve toplam tahmin değeri 0.84067’dir.

Tablo 1. Maksimum ve Minimum hata değerleri, MAE

Eş Değer Gerilme Seviyelerinin En Büyük Değerinin En Büyüğü	Maksimum Hata Değerleri	Minimum Hata Değerleri	MAE
L-M Algoritması	567.3049046	0.0884847	44.9600643
Geriy Yayılım Algoritması	583.7448404	2.6159451	73.6396777
Esnek Yayılım Algoritması	615.5700057	1.1184570	71.5189687
Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı Algoritması	663.3704551	1.3264837	98.5485152

Termo-mekanik analizimiz için belirlediğimiz eş değer gerilmelerin en büyük değerinin en büyüğü ve en küçüğü ile en küçük değerinin en büyüğü ve en küçüğü değerlerine bakılarak maksimum hata, minimum hata, RMSE ve MSE değerleri üzerinde değerlendirilmiştir. Tablo 1’de en büyük değerinin en büyüğü olan değer maksimum hata değeri Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı Algoritması’nda, minimum hata değeri L-M Algoritması’nda gözlemlenmiştir. Hatanın mutlak ortalamasına (Mean Absolute Error (MAE)) L-M Algoritması ulaşmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda en iyi performansı L-M Algoritması göstermiştir.

Tablo 2. Maksimum ve Minimum hata değerleri, MAE

Eş Değer Gerilme Seviyelerinin En Büyük Değerinin En Küçüğü	Maksimum Hata Değerleri	Minimum Hata Değerleri	MAE
L-M Algoritması	0.71700552	0,00008547	0.0438608
Geriy Yayılım Algoritması Algoritması	0.7752295	0.0002169	0.0705915
Esnek Yayılım Algoritması Algoritması	0:6980131	0.0004641	0.0520689
Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı Algoritması	0.7887164	0.0001396	0.653947

Tablo 2’de en büyük değerinin en küçüğü değerlerine bakıldığında maksimum ve minimum hata Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı Algoritması ulaşmıştır. Hatanın mutlak ortalaması (MAE) en iyi değerinin L-M Algoritması’nda olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Maksimum ve Minimum hata değerleri, MAE

Eş Değer Gerilme Seviyelerinin En Küçük Değerinin En Büyüğü	Maksimum Hata Değerleri	Minimum Hata Değerleri	MAE
L-M Algoritması	0.0000338	0.0000002	0.0000113
Geriyeye Yayılım Algoritması	0.0000326	0.0000006	0.0000125
Esnek Yayılım Algoritması	0.0000291	0.0000006	0.0000122
Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı Algoritması	0.0000302	0.0000001	0.0000126

Tablo 3’te en küçük değerinin en büyüğü değerlerine bakıldığında maksimum hata değeri L-M Algoritmasında ve minimum hata değeri Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı Algoritmasında olduğu görülmüştür. Hatanın mutlak ortalaması (MAE) değerine bakıldığında performans olarak en iyi sonuca L-M Algoritması varmıştır. Malzemenin radyal yapısından dolayı nümerik analizde eşdeğer gerilme değerlerinin en küçüğünün en büyüğü değeri tüm kompozisyonel gradyent değerlerinde aynı sonuca ulaşmıştır. YSA’nın çıkış verilerine katkı sağlayacağı için bu değer eğitim algoritmalarında kullanılmıştır. Bu sebepten tüm eğitim algoritmalarında hassasiyet ve performansı yüksektir.

Tablo 4. Maksimum ve Minimum hata değerleri, MAE

Eş Değer Gerilme Seviyelerinin En Küçük Değerinin En Küçüğü	Maksimum Hata Değerleri	Minimum Hata Değerleri	MAE
L-M Algoritması	0.0017451	0.0000014	0.0005324
Geriyeye Yayılım Algoritması	0.0047502	0.0000635	0.0012881
Esnek Yayılım Algoritması	0.0057311	0.0000325	0.0012010
Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı Algoritması	0.0091208	0.0001633	0.0025756

Tablo 4’te en küçük değerinin en küçüğü değerlerine bakıldığında maksimum hatayı Powell-Beale Yeniden Başlatma ile Eşlenik Gradyan Geri Yayılımı, minimum hata değerini L-M Algoritması ve hatanın mutlak ortalaması (MAE) değerinde en iyi performansı L-M Algoritması göstermiştir.

4. Sonuç

Fonksiyonel kademelendirilmiş dairesel plaka için termal yüklemeye altında malzeme davranışını belirlemede önem arz eden eş değer gerilme seviyelerinin, mevcut sınır koşulları altında kompozisyonel gradyent üst değerinin belirlenmesi için YSA ile veri setleri oluşturulmuştur. YSA’da dört farklı eğitim algoritması için oluşturulan modeller ile bu algoritmaların performansı değerlendirilmiştir. Tüm eğitim algoritmalarında iki giriş verisi, dört çıkış verisi, tek katmanlı ve üç nöronlu model kullanılmıştır. Hatanın mutlak ortalaması, minimum hata, maksimum hata değerleri açısından uygulanan modellerin test ve eğitim değerlerine bakıldığında genel anlamda L-M Algoritması uygulanan diğer algoritmalara göre daha başarılı sonuç vermiştir. Dairesel plakada radyal yapıdan dolayı en küçüğünün en büyüğü eşdeğer gerilme değeri hep aynı çıktığı ve tüm eğitim algoritmalarının doğru sonuca ulaşmış olduğu görülmüştür. Buna rağmen eğitim algoritmalarına değer olarak katkı sağlayacağı için çalışmaya dahil edilmiştir. Kurulan modellerde CPU işlem sürelerini azaltılması ve doğru veriye en yakın değerle ulaşılması amaçlanmıştır. Termal gerilme probleminin Sonlu Farklar Metodu ile nümerik çözümü bir n ve m değeri için yaklaşık 2-3 gün sürebilirken, yapılan çalışma ile veri seti oluşturma süresi dahil edilmeksizin bu değere 1 saniyeden kısa sürede ulaşılmaktadır. Belirlediğimiz sınır koşulları altında kurulan model ile FKM’lerin hem üretiminde hem de yapılacak teorik çalışmalarında optimum hacimsel dağılıma ulaşmada fikir verici olacaktır. Yapılan çalışmada kullanılan eğitim algoritmaları için, probleme uyumu ve çözme becerisi ile termal gerilme analizindeki performansları dikkate alınarak daha sonraki çalışmalarda araştırmacılar için referans niteliğinde olacaktır.

Referanslar

- [1] Kakac S., Pramuanjaroenkij A., Zhou X.Y., “A review of numerical modeling of solid oxide fuel cells,” International Journal of Hydrogen Energy, 32(7).761-786, 2007, doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.11.028
- [2] Ruys A., Popov E., Sun D., Russell J., Murray C., “Functionally graded electrical/thermal ceramic systems,” Journal of the European Ceramic Society, 21(10-11). 2025-2029, 2001, doi.org/10.1016/S0955-2219(01)00165-0

- [3] Koizumi M., Niino M., "Overview of FGM research in Japan", *MRS Bulletin*, 20(1).19-21, 1995.
- [4] Cho J.R., Ha D.Y., "Optimal tailoring of 2D volume-fraction distributions for heat-resisting functionally graded materials using FDM." *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 191 (29-30). 3195-3211, 2002. doi: 10.1557/S0883769400048867
- [5] Nemat-Alla M., "Reduction of thermal stresses by developing two-dimensional functionally graded materials," *International Journal of Solids and Structures*, 40(26). 7339-7356, 2003. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2003.08.017
- [6] Ootao Y., Tanigawa Y., Nakamura T., "Optimization of material composition of FGM hollow circular cylinder under thermal loading a neural network approach." *Composites Part B: Engineering*. 30(4). 415-422 1999. doi: 10.1016/S1359-8368(99)00003-7
- [7] Khoshnoodi H., Yas M.H., Samadinejad A., "Dynamic Analysis of Multi-Directional Functionally Graded Panels and Comparative Modeling by ANN." *Journal of Solid Mechanics*, 8(3).482-494, 2016. Retrieved from http://jsm.iauarak.ac.ir/article_524265.html
- [8] Xu.Y., You.T., "Minimizing thermal residual stresses in ceramic matrix composites by using Iterative MapReduce guided particle swarm optimization algorithm." *Composite Structures*. 99. 388-396. 2013. doi: 10.1016/j.compstruct.2012.11.027
- [9] Singh A.K., Siddhartha, Hussain S., "Wear peculiarity of TiO₂ filled polyester-based Homogeneous composites and their Functionally Graded Materials using Taguchi methodology and ANN." *Materials Today: Proceedings*. 2. 2718 – 2727, 2015. doi: 10.1016/j.matpr.2015.07.239
- [10] Ghatage P.S., Kar V.R., P., Sudhagara E., "On the numerical modelling and analysis of multi-directional functionally graded composite structures: A review", *Composite Structures*, 236, 111837, 2020. doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111837
- [11] Na K.S., Kim J.H., "Volume fraction optimization for step-formed functionally graded plates considering stress and critical temperature", *Composite Structures*, 92(6):1283-1290, 2010. doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.11.004
- [12] Demirbaş M.D., Çakır D., "Thermal stress control in functionally graded plates with artificial neural network." *ISVOS Journal*. 2(1). 39-55, 2018.
- [13] Khayat M., Baghlani A., Najafgholipour M.A., "A hybrid algorithm for modeling and studying of the effect of material and mechanical uncertainties on stability of sandwich FGM materials under thermal shock," *Composite Structures* 293, 115657, 2022. doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115657
- [14] Demirbaş M.D., Çakır D., Ozturk C., Arslan S., "Stress Analysis of 2D-FG Rectangular Plates with Multi-Gene Genetic Programming," *applied sciences*, 12,8198, 2022.
- [15] Demirbaş M.D. "Düzlem içi ısı yüküne maruz iki yönlü işlevsel kademelendirilmiş dikdörtgen ve dairesel plakanın ısı gerilme analizi." *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği*. 2012.
- [16] Mori, T., Tanaka, K., "Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfittings inclusions." *Acta Metallurgica*, 21(5): 517-574. 1973. doi.org/10.1016/0001-6160(73)90064-3
- [17] Apalak M.K., Demirbaş M.D., "Thermal Residual Stresses İn İn-Plane Functionally Graded Clamped Hollow Circular Plates", *Subjected To An Edge Heat Flux Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers Part L-Journal Of Materials-Design And Applications*, 229:236-260. 2015. doi.org/10.1177/1464420713509
- [18] Apalak M.K., Demirbaş M.D., "Thermal residual stresses in adhesively bonded in-plane functionally graded clamped circular hollow Plates", *Journal Of Adhesion Science And Technology*, 27:1590-1623, 2013. doi:10.1080/01694243.2012.747732
- [19] Öztürk C. 2011. "Yapay Sinir Ağlarının Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile eğitilmesi." *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği*. 2011.
- [20] Hagan M.T., Menhaj M., "Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(6)989-993. 1994.
- [21] Ümütlü R.C. Fault "Diagnosis of A Power Transmission System Using Artificial Neural Networks," *Dokuz Eylül Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans, İzmir*, 104s. 2016.
- [22] Metrotra K., Mohan C.K., Ranka S., "Elements of artificial neural networks." 1997.
- [23] Haykin. S., "Neural networks". Prentice Hall. New Jersey. 2005.
- [24] MATLAB. Mathematical software, version 2009a, "TheMathWorks." Retrieved from <http://www.mathworks.com>.
- [25] Demirbaş M.D., Çakır D., "Modeling of 2D Functionally Graded Circular Plates with Artificial Neural Network", *ISVOS Journal*, 2020, 4(2): 97-110, 2020.

Association between Prior Pain Intensity, Back Function and The Characteristics of Episodes in Patients with Low Back Pain

Ayşe Nur Oymak Soysal ^{a,1}, Şule Şimşek ^b, Atiye Kaş Özdemir ^c, Şule Fırınıcı ^d

^a Pamukkale University, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5383-7937

^b Pamukkale University, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-8065-6461

^c Pamukkale University, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-5553-4726

^d Servergazi State Hospital, Denizli, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8354-4358

Abstract

There is little information about causes of recurrence and why low back pain (LBP) transit to recurrent LBP. The aim of this study was to identify the recurrence proportion of LBP, and the relation between baseline pain intensity, back function and the number, duration and mean pain intensity of subsequent episodes in patients with recurrent LBP. Four hundred and sixty-four patients were included in this study. The mean age of the participants was 38.70 ± 13.10 (ranges from 20 to 65 years). Demographic data were recorded. Prior pain intensity (VAS), back function (FBPS) and subsequent pain episodes (pain diary) were assessed at baseline and over 6 months. Recurrence proportion of LBP was 39.2% during 6-month follow-up. Baseline pain intensity and back function were significantly different in patients with recurrent LBP compared to patients without recurrent LBP ($p < 0.001$). Baseline VAS score was found positively related with the number of episodes ($r=0.544$, $p<0.001$), the mean duration of episodes ($r=0.381$, $p<0.001$), the mean pain intensity at episodes ($r=0.779$, $p<0.001$). Baseline FBPS score was negatively correlated with the number of episodes ($r=-0.380$, $p<0.001$), the duration of pain episodes ($r=-0.287$, $p<0.001$) and the mean pain intensity at episodes ($r=-0.520$, $p<0.001$). Patients with recurrent back pain had higher pain intensity and lower back function prior to the pain attacks. Prior pain intensity and back function were related with the number and duration of episodes and mean pain intensity at episodes.

Keywords: "Association, functional status, recurrence, risk factors."

1. Introduction

Chronic low back pain (CLBP) is defined as pain, muscle tension or stiffness lasting longer than 3 months, with or without symptoms radiating to the leg. Symptoms are located between the inferior border of the costal margin and superior border of the lower gluteal folds. [1,2]. The point, annual, and lifetime prevalence of chronic low back pain were 12, 23, 38, and 40%, respectively [3,4]. In 80% of chronic low back pain cases, symptoms resolve within a few weeks, while 20% develop chronic disability. Individual factors, psychological factors or socio-professional factors lead the pain to become chronic [5], however, few studies have investigated the risk factors for recurrence [6].

LBP is a long-term condition that includes symptomatic episodes, remission, and relapse [6]. The most accepted definition for recurrent low back pain in the literature is 'return of LBP lasting at least 24 hours with pain intensity of 3 or more in the Visual Analog Scale' [7]. While the annual prevalence of recurrent low back pain ranges from 25% to 80% [8], the number of relapses, duration of pain, intensity and episodes of pain, and patient characteristics explain the varying prevalence [7].

Researchers reported that due to the multidimensional effects of LBP, not only pain intensity but also functionality must be evaluated [9]- [11]. It was shown that a positive and uniform linear relationship between CLBP pain intensity and disability [12].

Little is known about the cause of recurrence of low back pain [8,13,14] and the studies investigating the effect of recurrent low back pain on low back function are limited. Therefore, this study was planned to identify the recurrence proportion of LBP,

¹ Corresponding Author
E-mail Address: aysenuroymak@gmail.com

and the relation between baseline pain intensity, back function and the number, duration and mean pain intensity of subsequent episodes in patients with recurrent LBP.

2. Materials and Methods

2.1. Design

This prospective observational study was carried out in the Servergazi State Hospital Outpatient Physical Therapy and Rehabilitation Clinic in Turkey between February 2020 and July 2021. Patients completed and signed the informed consent form. Current study was approved by the University Clinical Research and Ethics Committee and was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki.

2.2. Participants

Inclusion criteria of the study were: being diagnosed with non-specific LBP, age between 20 and 65 years, pain duration > 3 months. Exclusion criteria were: low back-related conditions (spondylolisthesis, spinal stenosis etc.), red flags indicating serious spinal pathology, neurological conditions (nerve root compromise, neurological signs, disc herniation, radicular symptoms etc.), rheumatologic or immunologic conditions, psychiatric disorder, cancer, had previous surgery related to the back, pregnancy, other current treatment, participant's prior experience with a given treatment.

A total of 747 patients assessed for eligibility. One hundred and twenty seven of them were excluded for not meeting the inclusion criteria. Finally, 620 patients were followed with a pain diary for 6 months.

2.3. Outcome Measures

The demographic data (age, body mass index) of the patients were recorded. Baseline pain intensity, back function and subsequent pain episodes were assessed. After the baseline assessment, the patients were instructed to fill in the pain diary, and they were reminded every month with phone call to fill it if they had pain episode. This follow-up was continued for 6 months.

Lumbar pain intensity was assessed with VAS. Patients were asked to record whether they had a pain episode for 6 months and pain recurrence was defined as the onset of LBP lasting at least 24 hours, with a VAS score of 3 or more pain intensity [7]. If the patients had LBP episode, they were instructed to record how many hours the pain episodes lasted (pain duration at episodes), and the intensity of their pain in the pain diary (VAS at episodes).

Back function was assessed with Functional Back Pain Scale (FBPS). FBPS is a self-administered questionnaire with 12 items to measure patient's functional capacity. Each item is graded on a Likert Scale (range 0-5), '0' indicates inability to perform the activity due to back pain, and '5' indicates that it can be done easily. The total score is in the range of 0 to 60. The total lower score represents lower functional abilities. The Turkish version of FBAS was made by Koç and Bayar [9] and permission was obtained from Koç and Bayar for the study.

2.4. Statistical Analysis

The overall effect size of reference study was low ($r=0.27$) [10]. According to the power analysis, considering that a lower effect size ($r=0.2$) could be obtained; when at least 191 participant were included in the study, that would result in 80% power with 95% confidence level.

SPSS Statistics (Version 21; IBM, Armonk, NY, USA) was used to analyze the obtained data. Continuous variables were presented as mean \pm standard deviation, maximum and minimum and categorical variable values were presented as absolute frequency and percentages. The conformity of continuous variables to normal distribution was evaluated using the Shapiro-Wilk test.

Independent sample t test and Mann Whitney U test was used to compare baseline FBPS and VAS scores according to subsequent episode characteristics, respectively. The correlation between the baseline FBPS score and the mean VAS at episodes was analyzed by Pearson Correlation analysis and baseline FBPS score and the number and duration of episodes, and between baseline VAS score and all variables was analyzed by Spearman's Correlation analysis. If an r value of > 0.8 is considered very strong, then $0.8 > r \geq 0.6$ is strong, $0.4 > r \geq 0.2$ is moderate, $0.4 > r \geq 0.2$ is weak and < 0.2 is poor [11]. A p value was accepted at ≤ 0.05 level.

3. Results

Six hundred and twenty patients were followed with a pain diary for 6 months. 156 patients were excluded from the study because they did not recorded follow-up data to their diary. The response rate was 74.8%. Finally, current study was conducted with 464 patients with the mean age of 38.70 ± 13.10 (281 of them were female and 183 of them were male). Recurrence LBP proportion was 39.2% for 6 month. Descriptive and clinical data of patients were shown in Table 1.

Table 1. Demographic and clinical data of the patients

Variables		Ort \pm SS	
Age (year)		38.70 \pm 13.10	
BMI (kg/m ²)		26.16 \pm 4.48	
Prior VAS (cm)		6.03 \pm 1.86	
Number of episodes (n=182)		3.22 \pm 1.58	
Duration of episodes (hour) (n=182)		28.13 \pm 87.66	
VAS at episode (n=182)		6.00 \pm 1.07	
Prior FBPS (n=182)		32.45 \pm 11.10	
		n (%)	
Recurrent LBP	Yes	182	32.9
	No	282	67.1
Gender	Female	281	60.6
	Male	183	39.4
Exercise habit	Yes	70	15.1
	No	394	84.99

BMI: Body Mass Index; FBPS: Functional Back Pain Scale; LBP: Low Back Pain; VAS: Visual Analog Scale

Table 2 shows that, baseline VAS score of the patients with recurrent LBP was significantly higher than not having recurrence ($p < 0.001$). Baseline FBPS score of patients with recurrent LBP was significantly lower than not having recurrence ($p < 0.001$) (Table 2).

Table 2. Comparison of prior VAS and FBPS scores of patients with recurrent back pain or not

Variables	Recurrent back pain		<i>p</i>
	Yes (n=182)	No (n=282)	
VAS	7.12 \pm 1.64	5.33 \pm 1.65	<0.001
FBPS	32.45 \pm 11.1	40.66 \pm 1.65	<0.001

FBPS: Functional Back Pain Scale; VAS: Visual Analog Scale

The correlation between baseline VAS, baseline FBPS and the number of episodes, mean pain duration at episodes and mean pain intensity at episodes was shown in Table 3. There was a moderate positive correlation between baseline VAS and the number of episodes ($r = 0.544$, $p < 0.001$), a weak positive correlation with the mean duration of pain episodes ($r = 0.381$, $p < 0.001$) and a strong positive correlation with the mean pain intensity at episodes ($r = 0.779$, $p < 0.001$). A weak negative correlation was found between the baseline FBPS score and the number of episodes ($r = -0.380$, $p < 0.001$), and the duration of pain episodes ($r = -0.287$, $p < 0.001$), while a moderately negative correlation was found between the mean pain intensity at episodes ($r = -0.520$, $p < 0.001$) (Table 3).

Table 3. The relationship between prior pain intensity, BPFS scores and the number, duration and mean pain intensity of subsequent episodes

Variables		VAS	BPFS
Number of episodes	<i>r</i>	0.544	-0.380
	<i>p</i>	<0.001	0.001
Mean VAS at episodes	<i>r</i>	0.779	-0.520
	<i>p</i>	<0.001	<0.001
Duration of episodes (hour)	<i>r</i>	0.381	-0.285
	<i>p</i>	<0.001	<0.001

FBPS: Functional Back Pain Scale; VAS: Visual Analog Scale

4. Discussion

This study planned to identify the recurrence proportion of LBP, and the relation between baseline pain intensity, back function and the number, duration and mean pain intensity of subsequent episodes in patients with recurrent LBP. Recurrence proportion of LBP was 39.2% for 6 month follow-up. Patients with recurrent LBP had higher pain intensity and lower functional status prior to follow-up. According to the results of this study, prior pain intensity and back function were found to be related with the number of episodes, mean episode duration, and mean pain intensity at episodes.

There is no a single description of a recurrence of LBP in literature [12-14]. We preferred to use the definition of Stanton et al. because there was a substantially consensus on this definition (95%) [7]. We defined recurrent LBP as ‘a return of LBP lasting at least 24 hours with a pain intensity of 3 or more on VAS’. We followed our patients for 6 months and detected that the LBP recurrence proportion was 39.2%. In the literature, the results and methods of studies reporting recurrence of LBP episodes differed from each other. [8,12,15]. The onset period of pain is less than 3 months in some studies [12,15]. According to Hancock et al [16] LBP recurrence proportion was 54% during the 1 year follow-up. We followed 182 patients for 6 months immediately after recovery from LBP. We trained the patients to take note of pain parameters and contacted with them every month. The short follow-up period of the current study and the fact that it followed the patients immediately after recovering a new episode may have affected the recurrence proportion. Because of different definition, inception periods and follow up periods, the recurrent LBP proportions may be different in literature.

Stevans et al investigated the risk factors associated with transition from acute to chronic LBP but little researches investigated risk factors for recurrent LBP [6,8,13]. In literature, the proven potential risk factors for recurrent LBP were MRI findings [6] and the number of LBP episodes before the most recent episode [8]. Melloh et al suggested that recurrent LBP was related to impaired health-related factors [10]. We hypothesized that pain intensity and functional status before the LBP pain episode could be the risk factors for recurrence. We confirmed our hypothesis. This suggests that prior pain intensity and back function were the determinants of recurrence.

It is important to eliminate risk factors for better back health. To eliminate the risk factors, the relationship between the risk factors and the characteristics of the next back pain attack should be determined. In literature occupational risk factors and general health status were associated with recurrence [14]. Patients' self-reported LBP triggers, as well as possible prognostic associations with different trajectories, are under investigation by Ardakani et al [17], but the study is not yet complete. We found that baseline pain intensity and back function were related to the number of subsequent episodes, pain duration, and mean pain intensity within episodes. This suggests that these risk factors triggers the characteristics of subsequent back pain episode.

This study has some limitations; such as relatively short follow up time and not questioning the number of previous pain episodes. One year follow up with monthly contact would better reflects recurrence proportion. It has been stated in previous studies that the number of previous pain episodes is a risk factor for recurrence [8]. We did not question this in our study. Determining the relationship between the number of previous pain episodes and the characteristics of subsequent pain attacks could have contributed significantly to the literature. However, current study is the first to investigate the association between baseline pain intensity and function and the characteristics of subsequent pain episode in patients with recurrent LBP.

We investigated the recurrence proportion of LBP in small sample. And we detected the association between prior pain intensity, prior back function and the characteristics of pain episodes at recurrence for 6 months. The recurrence proportion of LBP was 39% and prior pain intensity and back function were associated with the number, duration and intensity of subsequent pain episodes. Therefore, we thought that pain severity and pain-related disability should be controlled in order to reduce recurrent LBP episodes. The results of this study provided new insights into recurrent LBP.

Acknowledgments

Ethics committee approval: Permission was obtained from Pamukkale University Non-Interventional Clinical Research Ethics Committee for the study (23.06.2020 /12, 60116787-020/37902).

Conflict of interest: No conflict of interest was declared by the authors.

References

- [1] F. Balagué, A. F. Mannon, F. Pellisé and C. Cedraschi, “Non-specific low back pain,” *Lancet*, vol. 379, no. 9814, Feb., pp. 482-491, 2012.
- [2] A. H. Almoallim, S. Alwafi, K. Albazli, M. Alotaibi, and T. Bazuhair, “A simple approach of low back pain.” *International Journal of Clinical Medicine*, vol.5, no:17, Semp., pp. 1087-1098, 2014.
- [3] N. Gouveia, A. Rodrigues, M. Eusébio, S. Ramiro, P. Machado, H. Canhão, and J. C. Branco, “Prevalence and social burden of active chronic low back pain in the adult Portuguese population: results from a national survey,” *Rheumatol Int.*, vol. 36, no. 2, Feb., pp. 183–97, 2016.

- [4] J. B. S. Garcia, J. J. Hernandez-Castro, R. G. N. M. Ar Pazos, J. O. Aguirre, A. J. W. Delgado, M. Serpentegui, M. Berenguel, and Catalin Cantemir, "Prevalence of low back pain in Latin America: a systematic literature review," *Pain Physician*, vol. 17, no. 5, Semp-Oct., pp. 379–91, 2014.
- [5] M. Kahere, and T. Ginindza, "The prevalence and risk factors of chronic low back pain among adults in KwaZulu-Natal, South Africa: an observational cross-sectional hospital-based study," *BMC Musculoskelet Disord*. vol. 15, no. 22, Nov., pp. 955-965, 2021.
- [6] T. da Silva, K. Mills, B.T. Brown, R.D. Herbert, C.G. Maher, and M.J. Hancock, "Risk of recurrence of LBP: a systematic review," *J Orthop Sports Phys Ther*. Vol. 47, no.5, May, pp. 305–313, 2017.
- [7] T. R. Stanton, J. Latimer, C. G. Maher, and M. Hancock, "Definitions of recurrence of an episode of LBP: a systematic review," *Spine (Phila Pa 1976)*. No.34, no.9, Apr., pp.316-322,2009.
- [8] D. Goubert, R. De Pauw, M. Meeus, T. Willems, B. Cagnie, S. Schouppe, J. Van Oosterwijck, E. Dhondt, and L. Danneels, "Lumbar muscle structure and function in chronic versus recurrent LBP: a cross-sectional study," *Spine J*. Vol.17, no.9, Sep., pp.1285–1296, 2017.
- [9] M. Koc, B. Bayar, and K. Bayar, "A Comparison of Back Pain Functional Scale with Roland Morris Disability Questionnaire, Oswestry Disability Index, and Short Form 36-Health Survey," *Spine*. Vol. 43, no.12, June, pp. 877-882, 2018.
- [10] M. Melloh, A. Elfering, T.R. Stanton, T. Barz, E. Aghayev, C. Röder, and J. C. Theis, "LBP risk factors associated with persistence, recurrence and delayed presentation," *J Back Musculoskelet Rehabil*. vol.27, no.3, Aug., pp.281-289, 2014.
- [11] F. Faul, E. Erdfelder, A. Buchner, and A. G. Lang, "Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses," *Behav Res Methods*. vol.41, no.4, Nov., pp.1149-1160, 2009.
- [12] T. S. Carey, J. M. Garrett, A. Jackman, and N. Hadler, "North Carolina Back Pain Project. Recurrence and care seeking after acute back pain: results of a long-term follow-up study," *Med Care*. vol.37 no.2 Feb., pp.157-164, 1999.
- [13] J. M. Stevans, A. Delitto, S. S. Khoja, C. G. Patterson, C. N. Smith, M. J. Schneider, J. K. Freburger, C. M. Greco, J. A. Freel, G. A. Sowa, A. D. Wasan, G. P. Brennan, S. J. Hunter, K. I. Minick, S. T. Wegener, P. L. Ephraim, M. Friedman, J. M. Beneciuk, S. Z. George, and R. B. Saper, "Affiliations expandet al. Risk Factors Associated With Transition From Acute to Chronic LBP in US Patients Seeking Primary Care," *JAMA Netw Open*. vol.4, no.2, Feb., pp.e2037371-e2037398, 2021.
- [14] L. A. Elders, and A. Burdorf, "Prevalence, incidence, and recurrence of LBP in scaffolders during a 3-year follow-up study," *Spine*. vol.29, no.6, Mar., pp.101–106, 2004.
- [15] T. R. Stanton, N. Henschke, C. G. Maher, K. M. Refshauge, J. Latimer, and J. H. McAuley, "After an episode of acute LBP, recurrence is unpredictable and not as common as previously thought," *Spine (Phila Pa 1976)*. vol.33, no.26, Dec., pp.2923-2928, 2008.
- [16] M. J. Hancock, C. M. Maher, P. Petocz, C. C. Lin, D. Steffens, A. Luque-Suarez, and J. S. Magnussen, "Affiliations al. Risk factors for a recurrence of LBP," *Spine J*. vol.15, no.11 Nov., pp.2360–2368, 2015.
- [17] E. M. Ardakani, C. Leboeuf-Yde, A. Jacques, and B. F. Walker, "The prognostic merit of self-reported triggers of recurrent LBP: study protocol," *Chiropractic & Manual Therapies*. vol.28 no.1, Jan., pp.1-7, 2020.

Applicability Of Incineration Technology In Waste Management: Istanbul Case Study

Mehmet Taştan ^{a,1}, Mehmet N. Uğural ^b

^a Istanbul Kültür University, Institute of Graduate Education, Istanbul, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5367-5368

^b Istanbul Kültür University, Faculty of Engineering, Istanbul, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8037-760

Abstract

The purpose of this study is to make a technological and financial forecast for the future construction of similar facilities based on feasibility data from the Istanbul Domestic Waste Incineration and Energy Production Facility, which was constructed to minimize environmental damage and give domestic solid wastes economic value, as opposed to storing and disposing of them. The study examined the initial investment and operating costs of the facility, the repayment time and profitability calculations, the financial and economic profitability of the project, and the cost and internal profitability rates for other waste disposal facilities to be established, in addition to comparisons with conventional waste management systems (storage or composting) and incineration techniques. By separating themselves as much as possible from conventional waste management systems, systems employing technological methods will be more realistic and cost-effective, both financially and in terms of the environment. To meet rising energy demands and lessen reliance on foreign sources, investments in sustainable renewable energy systems other than fossil fuels must be increased now. It is crucial to accelerate and support investments in environmentally friendly energy technologies through their development. This is the first study conducted in Turkey on obtaining energy by burning domestic solid waste as opposed to storing it.

Keywords: “Waste management, investment management, project management.”

1. Giriş

Sanayileşme neticesinde elde edilen ilerlemeye bağlı olarak yaşam kalitesi yükselirken, önüne geçilemeyen nüfus artışı da doğal kaynakların tükenmesine ve çevrenin daha büyük bir hızla kirlenmesine neden olmaktadır. Bu süreçte artan şehirleşme, tüketim alışkanlıklarını da değiştirerek üretilen katı atıkların kişi başına düşen miktarının da artmasına neden olmuştur. Katı atık miktarında yaşanan bu artış, evsel ve endüstriyel atıkların bertarafını önemli bir çevresel sorun haline getirmiştir. Bu bağlamda hem katı atıkları ortadan kaldırmak hem bu atıkların yer işgal etmelerini önlemek ve beraberinde enerji elde etmek amacıyla yeni teknolojileri kullanan önemli projelerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Ülkelerin, tabii kaynaklarından sürekli olarak faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri ve ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemleri geliştirmeleri gerekmektedir. Biyokütleden enerji üretimi, her iki sorunun çözümüne katkıda bulunabilecek olması nedeni ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ayrı bir yere sahiptir. Yaşanan bu gelişmeler atık yönetimi ile birlikte tükenmekte olan enerji kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir büyüme için, yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemi gün geçtikçe artırmaktadır. Yeni teknolojiler arama sürecindeki müteşebbisler için ekolojik dengeyi koruyarak katı atıkları hem bertaraf etmek hem de yeni enerji kaynakları oluşturarak çağdaş dünya ile yarışabilecek yatırımlar yapmak artık kaçınılmazdır. Tüm dünyada sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı kapsamında; atıkların çevre ve insan sağlığı açısından bir tehdit olmaktan çıkıp, ekonomi için bir girdiye dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim stratejileri üzerinde çalışılmaktadır. Çevre, geri kazanılabilir atıkların ekonomiye tekrar kazandırılması ile hava, su, toprak ve görüntü kirlilikleri açısından da korunmuş olacaktır [1,2].

Katı atıkların zararlı etkilerini en aza indirmek ve katı atık bertarafı için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir [3,4]. Bu yöntemler içerisinde yer alan entegre katı atık yönetimi; kaynakta atık azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım uygulamaları ile başlayıp oluşan atığın toplanması ve nihai olarak bertaraf edilmesi ile son bulan bir işlemdir [5,6]. Depolama alanları için arazi bulma imkânlarının sınırlı olduğu ülkelerde tercih edilmekte olan bu yöntemin temel faydası, atıkların kütleli ve hacimsel olarak azaltılmasıdır. Artan katı atık miktarı için düzenli depolama sahaları günden güne dolmakta, yeni saha arama çalışmaları ve yeni yer işgalleriyle sonuçlanmaktadır. Düzenli atık depolama tesisleri yerine yapılacak olan katı atık bertaraf

¹ Corresponding Author

E-mail Address: mehmet.tastan@ibb.gov.tr, +90 5326028400

tesisi ile hem kullanılabilir katı atıklar ayrıştırılacak hem de kalan yüksek kalorifik değerli yakıtın (RDF, Refuse Derived Fuel) termal bertarafı ile de enerji üretimi gerçekleştirilecektir [7,8].

Kentsel atık miktarının artması Türkiye’de de en önemli çevresel ve ekonomik sorunlardan biridir [9,10]. Ülkemizdeki evsel atıkların toplanması ve bertarafı belediyelerin sorumluluğundadır [11]. TÜİK 2020 verilerine göre; belediyelerce toplanan kişi başı günlük ortalama atık miktarı 1,13 kg’dır ve günlük toplamda 32,3 milyon ton atık ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de 2752 adet atık bertaraf ve geri kazanım tesisi bulunmaktadır. Bunların 174 tanesi düzenli depolama tesisi, 10 tanesi yakma tesisi ve 2568 tanesi diğer kazanım tesislerinden oluşmaktadır [12].

Avrupa Birliğine uyum süreci çerçevesinde katı atıkların depolanarak bertaraf edilmesi yerine, çevreye verilecek olan zararların minimize edilmesi ve atık bertarafına ekonomik bir anlam kazandırılması maksadıyla yeni yöntemlerin uygulamaya konması gerekmektedir. Bu kapsamda yakma, proliz ve gazifikasyon tekniklerini içeren termal bertaraf yöntemleri, gelişmiş ülkelerde uzunca bir süredir katı atıkların bertarafı amacıyla uygulanmaktadır. Bu yöntemde atıkların hacimce azalması ve atıklardan enerji üretimi beraber gerçekleştiği için popüler bir yöntemdir ve gelişmiş ülkelerde evsel katı atık bertaraf yöntemi olarak 50 yılı aşkın bir süredir yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde 400’e yakın katı atık yakma tesisinde her yıl 59 milyon ton evsel katı atık termal yollarla bertaraf edilmektedir. ABD de ise evsel atıkların yakılarak bertaraf edildiği 87 adet atık yakma tesisi bulunmaktadır [13].

Bu çalışma ile; Türkiye’de bir ilk olan ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan “Evsel Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi” incelenmiş, projenin mali ve ekonomik analizinden hareketle depolama ve yakma yöntemlerinin sayısal olarak karşılaştırması yapılarak ileriye dönük benzer tesislerin yapılmasına yönelik teknolojik ve finansal bir öngöründe bulunulmaya çalışılmıştır.

2. Literatür Taraması

Tüm dünyada nüfus ve kentleşmenin artması ve gelişen teknoloji ile beraber üretilen atık miktarı da artmaktadır. Katı atıkların bertarafı, büyük oranda düzenli depolama yöntemiyle sağlanmaktadır [14].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) katı atık bertaraf yöntemlerinin toplamayı optimize etmesi, gereksinime yanıt vermesi, çevreyi yaşanılabilir kılarak geri kazanımın sağlanmasının amaçlanması gerektiğini ifade etmektedir [15,16]. Bu çerçevede Atık ve Atık Yönetimine ilişkin kavramlar açıklanmıştır.

2.1. Atık Yönetiminde Genel Yaklaşım

Resmi anlamda atık ilk olarak 2872 numaralı Çevre Kanunu’ndaki ifadesiyle "Herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeler" olarak tanımlanmıştır [17]. Daha sonra bu tanım 2015 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca yayınlanan Atık Yönetimi Yönetmeliğince “Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal olarak” detaylandırılmıştır [18].

Atıklar; belediye atıkları, ambalaj atıkları, tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar, hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları, atık pil ve akümülatörler, atık motor yağları, atık sanayi yağları, bitkisel atık yağlar, ömrünü tamamlamış lastikler, atık elektrikli ve elektronik eşyalar ve ömrünü tamamlamış araçlar olarak sınıflandırılmaktadır [19].

Katı atıkların son 20–30 yılda içeriğinin farklılaşmasıyla, sınıflandırılması da değişmiştir. Örneğin; evsel katı atık içeriğindeki kömür külü yerine, plastik atık çoğalmıştır. Katı atıkların içeriği, toplumun ekonomik ve kültürel düzeyine ve mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; yaz aylarında katı atıklar içerisindeki meyve ve sebze atıkları daha çok yer almaktadır [20].

Evsel katı atıkların %65’ini organik atıklar, kalan kısmını ise kâğıt, karton, tekstil, plastik, deri, metal, ağaç, cam ve kül gibi maddeler oluşturmaktadır [21]. Bu çalışmada evsel katı atıklar üzerine odaklanılmıştır.

2.2. Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi

Sürdürülebilir atık yönetimi; atık önleme, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanıma odaklanmayı, atık hiyerarşisini yukarı taşımayı gerektirmektedir. Bu kapsamda; sürdürülebilir bir katı atık yönetimi için atıkların kaynağında en aza indirilmesi, sınıflara ayrılması, toplanması, taşınması, geçici depolanması, geri kazanılması, bertaraf edilmesi, yeniden kullanılması, arıtılması, enerjiye dönüştürülmesi ve nihai depolanması konularında politika ve strateji belirlenmesi ve mevzuat oluşturulması gereklidir.

Bu kapsamda; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca AB müktesebatına uyum çalışmaları çerçevesinde “sürdürülebilir atık yönetim stratejileri” doğrultusunda “Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023” hazırlanmıştır [19].

Eylem planında yer alan yeniden kullanım ve geri dönüşüm, herhangi bir faaliyet sonucunda atıktan yeni ürün elde edilmesinde kullanılan veya üretim sonucu başka maddelere dönüşebilen maddeler için “atık” tanımlaması yapılabilmektedir; katı atıklardan, geri kazanıldıktan sonra günümüz teknolojisinin tekrar geri kazanmaya müsaade etmediği kalan kısımlar “atık” kapsamına girmektedir [22].

2.3. Katı Atık Yönetiminin Hiyerarşisi ve Termal Bertaraf Yöntemleri

Katı atık yönetimi sistemi, aşağıdaki uygulama metotlarının hepsini veya bir kısmını içermektedir [23].

- Katı atıkların kaynağında en aza indirilmesi,
- Geri kazanım ve yeniden kullanma, kompostlaştırma,
- Enerji kazanımı için yakma ve benzeri termal yöntemler.

Atıkların uygun teknoloji ile bertaraf edilmesi için ilgili yönetmelikler doğrultusunda toplanması ve taşınması gerekir. Merkezi bir katı atık bertaraf tesisinin maliyet unsurları bölge, il ve ilçe düzeyindeki atıkların toplanma, taşıma, bertaraf ve uzaklaştırma durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir [24]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2014 yılı Atık Bertaraf Sistemlerinin karşılaştırılması aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo1. Atık Bertaraf Sistemlerinin Karşılaştırılması [25]

	Düzenli Depolama*	Termal Santraller	Biyolojik Sistemler
Maliyet	Düşük	Yüksek	Orta
Hacimsel Azalma	Düşük	Yüksek	Yüksek
Çevresel Riskler	Yüksek	Orta	Düşük
İşletme Hassasiyeti	Kolay	Zor	Zor

*Düzenli depolama tesisleri, toplanan katı atıkların günümüz teknik standartlara göre bertaraf edildiği sahalara verilen isimdir [26]. (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

Atıklara uygulanan termal bertaraf yöntemleri atıkların yüksek sıcaklıkta enerji ve diğer yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Burada temel amaç, atığın hacminin ve miktarının azaltılmasıdır. Bu yöntem sayesinde, katı atıkların depolanması için ihtiyaç duyulan alan azaltılırken atık içerisinde bulunan ve işlem sonucu ortaya çıkan ısı kullanılarak enerji geri kazanımı sağlanmaktadır. Katı atıkların bertarafı amacıyla kullanılmakta olan termal yöntemleri üç ana başlık altında gruplandırmak mümkündür [27].

2.3.1. Doğrudan Yakma

Dünya genelinde, atıktan enerji üretiminin yaklaşık %90'ı yakma işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Ancak yüksek yatırım maliyeti, büyük karbon ayak izi ve CO₂ salınımı, yakma işleminin ayrıca yönetilmesi gereken kül artıkları ve baca gazı arıtımının yüksek işletme maliyeti sebebiyle yakma işlemi tartışılmaktadır [28].

2.3.2. Proliz

Proliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı veya sıvı ürünlere dönüşmesi işlemidir. Organik maddeler tamamen oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (300 – 700 °C) bozunarak sıvı ve gaz hale dönüşür ve elde edilen bu ürünlerden elektrik üretilir. Proliz, hava yokluğunda gerçekleşir ve gazlaştırmadaki gibi hava ile kontrollü bir yanma içermez. Böylece; H₂, CH₄, CO, CO₂ ve diğer yakıt gazları dışında bir emisyon üretilmez [29].

2.3.3. Gazlaştırma (Gazifikasyon)

Gazlaştırma, karbon içeren katı veya sıvı bir malzemenin bir gazlaştırma ajanı ile yanabilir gaz ürünlere termo-kimyasal dönüşümüdür. Gazlaştırma prosesinde, önce biyokütle kurutulurken yani yakıtın nemi buhara dönüştürülerek uzaklaştırılır. Birçok biyokütle kaynağı gazlaştırmaya uygun olmasına rağmen, gazlaştırmaya uygun olması için ideal olarak hammaddenin nem içeriği %5- 35 aralığında olmalıdır. Kuru biyokütle daha sonra 700 °C'nin üzerinde ısıtılarak gazlaştırılır. Yüksek sıcaklık, biyokütlenin kimyasal yapısını değiştirir ve gazlaştırma ajanı, hammaddenin farklı heterojen reaksiyonlarla hızlı bir şekilde gaza dönüşmesini sağlar. Karbonca zengin sentetik gaz içerir; CO₂, CO, H₂, CH₄, H₂O, iz miktarda ağır hidrokarbonlar, gazlaştırma ajanındaki inert gazlar, küçük karbon granülleri, kül ve katran gibi çeşitli kirlilikler içerir [30].

2.3.4. Termal Bertaraf Yöntemlerinin Kullanım Durumu

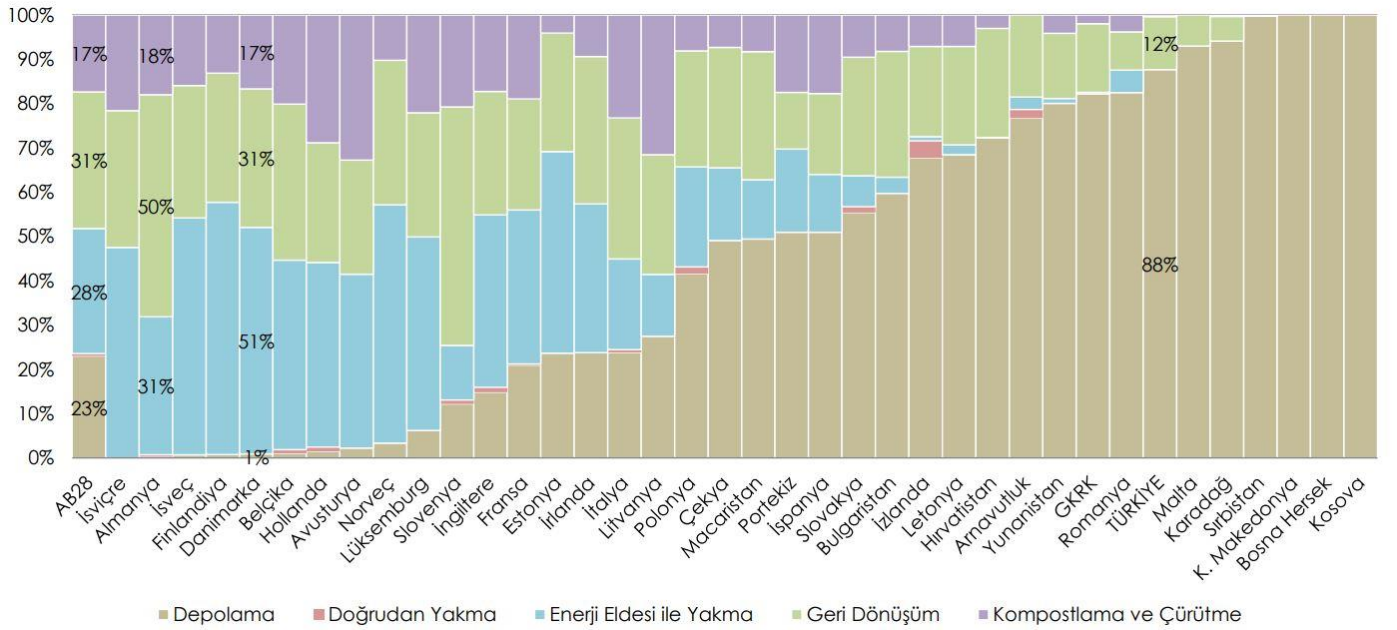
Dünyada yılda yaklaşık 270 milyon ton atık bertaraf kapasitesine sahip yaklaşık 2240 tesis faaliyet göstermektedir. 2023 yılına kadar yıllık yaklaşık 150 milyon ton kapasiteli yaklaşık 500 yeni tesisin daha kurulacağı tahmin edilmektedir [31]. Yaşanabilir alanların sınırlı olması sebebiyle Dünya’da katı atık bertarafında termal yöntemleri en çok kullanan ülke Japonya’dır. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde ise durum biraz daha farklıdır. Katı atık bertarafında mevcut durumda en çok düzenli depolama yöntemi tercih edilse de Atık Yakma Direktifinde (Waste Incineration Directive, 2000/76/EC) belirlenen şartların sağlanması amacıyla depolama dışındaki bertaraf yöntemlerinin kullanımı da her geçen gün artmaktadır [32].

Avrupa’da ortaya çıkan evsel atık; yakma, düzenli depolama, geri kazanım ve kompost gibi yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Avrupa ülkelerinde bertaraf yöntemlerinden geri kazanım-kompost ön plandadır. Türkiye’de 2014 yılında oluşan belediye atığı miktarı 27,1 milyon tondur. Belediye atıklarının, %6’sı geri kazanım ve %64’ü düzenli depolama yöntemleri ile yönetilmekte iken %30’u ise düzensiz döküm yapılarak geliş güzel alanlara bırakılmaktadır [19].

Türkiye’de geri kazanım-kompost oranı yaklaşık %10 olup, diğer evsel atıkların ise düzenli depolama metodu ile bertaraf edildiği görülmektedir [33].

Aşağıdaki Tablo 2’de 2018 yılı itibariyle Avrupa birliği ülkeleri ve Türkiye’de evsel atıkların hangi yöntemle yönetildiği gösterilmiştir.

Tablo 2. 2018 yılı Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye’de Evsel Atıkların Yönetimi[34]



Günümüzde Avrupa Birliği üyesi ülkelerde 400’e yakın katı atık yakma tesisinde her yıl 59 milyon ton evsel katı atık termal yollarla bertaraf edilmektedir. Bu tesislerde yılda 7 milyon evin ihtiyacı olan 23 milyon GW-saat elektrik enerjisi üretilmektedir. Bunun yanında, üretilen 58 milyon GW-saatlik ısı enerjisi ile 13 milyon konutun ısı ihtiyacı karşılanmaktadır. ABD’de ise evsel atıkların yakılarak bertaraf edildiği 87 adet atık yakma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde yılda 30 milyon tona yakın atık bertaraf edilirken 15 milyon GW-saat enerji üretimi gerçekleştirilmektedir [35].

3. Atık Yönetiminde Yakma Teknolojisinin Uygulama Örneği

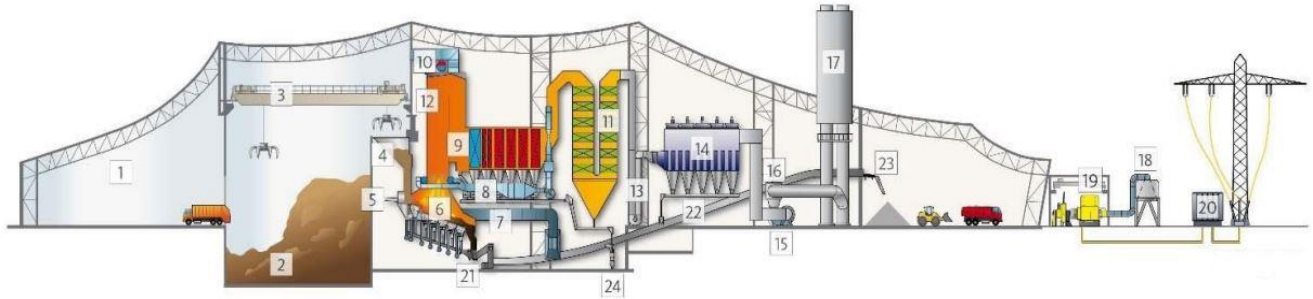
Bu çalışmada kullanılacak veriler termal bertaraf yöntemlerinden biri olan atık yakma ve elektrik üretim projesinden elde edilmiştir. Yakma tesisinde kullanılacak atığın miktarı ve karakteristik özellikleri başta olmak üzere, söz konusu tesisin yapılabiliğini teknik, mali ve ekonomik açıdan değerlendiren bir çalışmanın sonuçları bu bölümde değerlendirilecektir.

3.1. Hedef, Kapsam ve Projenin Tanıtılması

26 Mart 2010 tarihinde yayımlanan “Atıkların Düzenli Depolanması Yönetmeliği’ne göre düzenli depolama tesislerinde depolanacak biyobozunur atıkların miktarının zaman içerisinde giderek azaltılması hedef olarak belirlenmiştir. Belirtilen hedefin gerçekleştirilebilmesi için İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin büyük miktarda biyobozunur atığı düzenli depolama dışında

bertaraf edecek uygulamalara girmesi gerekmektedir. 2005 yılında İstanbul'da düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilen katı atık miktarı İstanbul Büyükşehir Belediyesi verilerine göre 4.604.000 ton dolayında olmuştur. Düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilmeyen fakat sokak toplayıcıları tarafından toplanan, kompost yapılan, geri dönüştürülen atıklarla birlikte toplam katı atık oluşumunun 5 milyon ton dolaylarında olduğu tahmin edilmektedir. Biyobozunur atıkların düzenli depolama tesisleri dışında bir yöntemle bertaraf edilmesi söz konusu olduğunda ilk akla gelen yöntem kompost üretimidir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi 2001 yılından bu yana kompost üretimi yapmaktadır. Ancak, kompostun İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin ihtiyaçları dışında kullanılmasında ve pazarlanmasında karşılaşılan zorluklar kompost üretiminin sınırlı düzeyde kalmasına yol açmıştır. 2010 yılında 158.198 ton atık işlenerek 19.240 ton kompost üretilmiştir. Bu nedenlerle, bir atık yakma tesisi kurulması düşüncesi biyobozunur atıkların düzenli depolama sahaları dışında bertaraf edilmesi yöntemi seçilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi katı atıkların bertaraf edilmesi ile ilgili olarak AB direktifleri ve mevzuatta belirtilmiş olan ilke ve hedefler çerçevesinde bir "Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi" yapılmasına karar vermiştir. Bu tesiste İstanbul'da toplanan katı atıkların bir kısmı yakılacak ve elde edilen enerji yardımıyla elektrik enerjisi üretilecektir. Üretilen elektrik enerjisi mevcut mevzuat ile belirlenmiş kurallar çerçevesinde serbest piyasada satılarak gelir elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tesiste İstanbul Avrupa yakasında oluşan 12.000 ton/günlük atığın 3000 ton/günlük (saatlik kapasite 125 ton, yıllık kapasite 1.000.000 ton) kısmının yakılarak 78,8 MW enerji üretimi sağlanması hedeflenmiştir. Üretilen enerji 300.000 – 500.000 hanenin enerji ihtiyacına denk gelmektedir. Tesis elektrik üretmek için kesintisiz olarak günde 24 saat çalışacaktır. Tesisin arıza ve yıllık bakımı elektrik üretimine engel teşkil etmeyecek şekilde devam edecektir. Elektrik enerjisi üretmek için çalışma süresi yılda 8000 saat olacak ve bu süre içerisinde yılda 630 milyon KWh elektrik enerjisi üretilecektir. Tesisin kendi ihtiyaçları için yılda 64 milyon KWh elektrik enerjisi kullanacağı hesaplanmaktadır. Dolayısıyla satışa sunulacak elektrik enerjisi miktarı yılda 566 milyon KWh olacaktır. Tesiste yakılacak katı atıklar Silivri, Halkalı, Yenibosna ve Baruthane Aktarma İstasyonlarından sıkıştırılmış semi-treylerle getirilecek ve ön işleme tabi tutulmadan ızgaralı sistemler vasıtasıyla yakılarak elektrik enerjisi elde edilecektir. Proje Sahası'nda atık depolama işlemi yapılmayacaktır. Tesis içerisinde yer alan ileri teknolojik ekipmanlar için yaklaşık 25 yıl garanti süresi öngörülmektedir. Tesis 3 adet birbirinden bağımsız üniteden oluşmaktadır. Her bir ünite ortak bir atık depolama bunkerinden beslenecektir. Her bir ünitenin birbirinden bağımsız atık yakma fırını, buhar kazanı ve baca gazı arıtma sistemi bulunacaktır [36].



Atık Kabul ve Depolama	Yakma ve Kazan	Baca Gazı Arıtma	Enerji Geri Kazanımı	Artık Madde Taşıma ve İşleme
1 Atık boşaltma holü	4 Besleme hunisi	12 SNCR	18 Hava soğutmalı kondenser	21 Cüruf tahliye sistemi
2 Atık bunkerı	5 Besleme pistonu	13 Xerosorp® Reaktörü	19 Türbin	22 Cüruf taşıma
3 Atık vinci	6 HZI ızgara	14 Bez filtre torbası	20 Trafo	23 Cüruf deşarjı
	7 Primer hava sistemi	15 Cebri çekiş fanı		24 Uçucu kül deşarjı
	8 Sekonder hava sistemi	16 Susturucu		
	9 Beş geçişli kazan	17 Baca		
	10 Kazan domu			
	11 Ekonomizer			

Şekil 1. İ.B.B Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisinin Proses Kısımları [37]

Tesise getirilecek olan evsel nitelikli atıklar bir depolama haznesine alınacaktır. Atıklar bir vinç yardımıyla yanma odasına alınarak ızgaralı sistemler vasıtasıyla yakılacaktır. Yanma sonucu oluşan sıcak gazlar atık ısı kazanına gönderilerek buhar üretilir. 70 bar basınç ve 4000 C sıcaklığa ulaşan buhar ise türbine gönderilerek türbin döndürülecek ve böylece jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi tamamlanmış olacaktır. Yanma sonucu oluşacak baca gazı her ünite için ayrı olarak kurulacak olan baca gazı arıtma sisteminde arıtıldıktan sonra atmosfere salınacaktır. ızgaralı yakma sisteminde katı atıkların herhangi bir ön işleme tabi tutulmasına gerek bulunmamaktadır. Bu sistem kalorifik değer ve atık kompozisyonundaki değişimlere karşı dirençlidir ve yakma sürecinde %85'e varan termal verim değerleri elde edilebilmektedir. Depo gazı, sızıntı suyu ve koku gibi problemler minimize edilmektedir. Atık miktarında ağırlıkça %75, hacimce %90 azalma sağlanmakta ve depolama işlemine gerek duyulmayacaktır [36].

3.2. Proje Yer Seçim Süreci

Projenin yeri ile ilgili alternatifler değerlendirilirken çevresel unsur ve hassasiyetler göz önüne alınmış ve sadece ekonomik ve teknik değil, çevresel açıdan da en sürdürülebilir ve tüm taraflarca kabul edilebilir yerin seçilmesi için çaba harcanmıştır. Bu çerçevede tesis için olası yer alternatifleri değerlendirilirken mevzuat hükümleri, belediyenin tercihleri, arazinin mülkiyet durumu, kaynaktan tesise taşıma uzaklığı, üretim atıklarının depolanacağı alana uzaklık, ana ulaşım şebekesine yakınlık, elektrik müşterilerine bağlantı imkânları, ısı enerjisi veya buhar kullanan müşterilere yakınlık ve mevcut altyapı gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Evsel atık yakma tesisi seçme sürecini daha objektif bir hale getirmek, yer seçimi için belirleyici sebeplerin anlaşılabilir olmasını sağlamak ve seçilen sahanın neden seçildiğini kontrol edebilmek amacıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın hazırladığı yer seçimi modeli kullanılmıştır. Modelin ana hedefleri; yakma tesisi sahası için yer seçim sürecini bütünüyle planlamak, karar verme sürecini desteklemek, yer seçimi sürecinde rol oynayan kıstasları netleştirmek ve karar vermeyi daha şeffaf bir hale getirmektir. Tesis için alternatif olarak belirlenen seçeneklerinin çevresel, planlama, siyasal-siyasal kriterler ile finansal ve ekonomik kriterler bakımından incelenerek puanlama yapılmış, puanlama neticesinde Hasdal, Kompost ve Odayeri seçeneklerinin ön plana çıktığı görülmüştür.

Avrupa Yakası'nda kurulabilecek atık yakma tesisi için belirlenen seçenekler incelenerek Hasdal, Kompost ve Odayeri bölgeleri için kül ve atık taşıma maliyetleri mukayese edilmiştir. Hasdal, atık taşıma bakımından en uygun nokta olup kül taşıma maliyetinin mevcut olduğu; Odayeri'nin atık taşıma maliyeti açısından Hasdal'a nazaran daha maliyetli olup kül taşıma maliyeti içermediği; fakat bu bölgede arazi tahsis konusunda sıkıntıların yaşanmasının muhtemel olduğu tespit edilmiştir. Kompost tesisi atık taşıma ve kül taşıma maliyetleri açısından Odayeri ve Hasdal'a göre yüksek maliyet içermektedir. Fakat sosyal direnç bakımından daha az sorunlu olması ve ayrıca katı atık bertarafı ile değerlendirilmeye tahsisli arazinin olması bu alanın avantajları olarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme modeline göre Kompost tesisleri ve Odayerinde kurulacak tesis Hasdal'a göre daha avantajlı görünmektedir. Hasdal ve Odayeri'nde yaşanacak arazi tahsis gücünü sebebiyle Kompost (Biyometanizasyon) tesisi yanında tahsis edilen araziye atık yakma tesisi kurulması bu seçeneği ön plana çıkarmıştır.

İBB Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi proje sahası seçiminde; yerleşim yerlerine yakınlık, yüzeysel su kaynağı, fay hattı, okul, yaban hayatı geliştirme sahası, elektrik iletim hatlarına yakınlık, yol ve sanayi tesisleri gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Yer seçimi için yapılan puanlama ve değerlendirme sonucunda İstanbul'un yaklaşık 20 km kuzey tarafında bulunan Eyüp İlçesi Kısırmandıra mevkiinde bulunan Kompost (Biyometanizasyon) tesisleri yer olarak seçilmiştir. Tesisin 14,8 hektarlık bir alan üzerine kurulması kararlaştırılmış ve Orman Genel Müdürlüğü'nden gerekli izinler alınarak 49 yıllığına İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne tahsis edilmiştir [37].



Şekil 2. İBB Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisinin Uydu Görüntüsü Üzerindeki Konumu [38]

3.3. Proje Kapasitesi

Tesisin işletme ömrü 25 yıl olarak öngörülmüştür. Tesis 3000 ton/gün evsel atık yakma ve yaklaşık 78,8 MW elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahiptir. İstanbul Avrupa yakasında oluşan 12.000 ton/günlük atığın 3000 ton/günlük (saatlik kapasite 125

ton, yıllık kapasite 1.000.000 ton) kısmının bu tesiste yakılması öngörülmektedir. Tesis 3 adet birbirinden bağımsız üniteden oluşmaktadır. Her bir ünite ortak bir atık depolama bunkerinden beslenecektir. Her bir ünitenin birbirinden bağımsız atık yakma fırını, buhar kazanı, baca gazı arıtma sistemi bulunmaktadır. Tesise getirilecek olan evsel nitelikli atıklar bir depolama haznesine alınacaktır. Atıklar bir vinç yardımıyla yanma odasına alınarak ızgaralı sistemler vasıtasıyla yakılacaktır. Yanma sonucu oluşan sıcak gazlar atık ısı kazanına gönderilerek buhar üretilmektedir. 70 bar basınç ve 4000 C sıcaklığa ulaşan buhar ise türbine gönderilerek türbin döndürülecek ve böylece jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi tamamlanmış olacaktır. Yanma sonucu oluşacak baca gazı her ünite için ayrı olarak kurulacak olan baca gazı arıtma sisteminde arıtıldıktan sonra atmosfere salınmaktadır (İ.B.B Fizibilite Raporu, 2019).

Sistemde kullanılan ızgaralı yakma, katı atıkların herhangi bir ön işleme tabi tutulmasına gerek duyulmadan yakılması esasına dayanmaktadır. Bu sistem kalorifik değer ve atık kompozisyonundaki değişimlere karşı dirençlidir ve yakma sürecinde %85'e varan termal verim değerleri elde edilebilmektedir. Depo gazı, sızıntı suyu ve koku gibi problemler minimize edilmektedir. Atık miktarında ağırlıkça %75, hacimce %90 azalma sağlanmaktadır ve depolama işlemine gerek yoktur. Tesis tüm işletme dönemi boyunca yaklaşık 26,6 milyon ton evsel atığın yakılması suretiyle bertarafı sağlanmış olacaktır [36].

4. Bulgular

Bu bölümde, projenin yatırım maliyeti ve işletme dönemi gelir-gider unsurları ortaya konulmak suretiyle ana yatırım bileşenlerinin detayları incelenmiştir.

4.1. Toplam Yatırım Maliyeti ve Yıllara Dağılımı

Yatırım projesinin toplam maliyeti yaklaşık 409,4 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Yatırım projesi; arazi bedeli, sabit sermaye yatırımları ve işletme sermayesi olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır.

4.1.1. Arazi Bedeli

Tesisin kurulacağı arazi için herhangi bir bedel öngörülmemiştir. Tesis yeri Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bedelsiz olarak tahsis edilmiştir.

4.1.2. Sabit Sermaye Yatırımları

Yatırım projesi maliyeti içerisinde en büyük kısım yaklaşık 407,5 milyon Euro ile sabit sermaye yatırımlarına aittir. Bu miktar toplam proje bedelinin %99,5'ini oluşturmaktadır. Sabit sermaye yatırımları tutarı olan 407,5 milyon Euro'nun bileşenlerine göre dağılımı aşağıdaki Tablo:3'te verilmiştir. Sabit sermaye yatırımları içerisinde en büyük pay yaklaşık %68,2 ile mekanik ve elektrik donanım yatırımlarına aittir. Kurulacak olan tesisin ve üretim sürecinin özelliğinden dolayı projede çok sayıda ve yüksek değerli makine ve ekipman bulunmaktadır. Bu nedenle sabit sermaye yatırımı içerisinde makine ve donanımın büyük bir payı bulunmaktadır. Sabit sermaye yatırımları içerisinde ikinci büyük pay ise %18,0 ile inşaat yatırımlarına aittir. Sabit sermaye yatırımlarının içerisinde en düşük pay, işletmeye alma giderlerine aittir. Toplam bedeli 3,08 milyon Euro olan bu gider grubunun sabit sermaye yatırımları içerisindeki payı yaklaşık %0,76'dır. Tesisin her ünitesi montajı tamamlandıktan sonra deneme işletmesine alınacaktır. Deneme işletmesi süreci 2021 yılı son çeyreğinde başlamıştır. Sabit sermaye yatırımlarının son bileşeni beklenmeyen giderlerdir. Bu bileşen sabit sermaye yatırımlarının %9'unu oluşturmakta olup işletme sermayesi kısmında açıklanmıştır [36].

4.1.3. İşletme Sermayesi

İşletme sermayesi, tesisin İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilecek olan 2022 yılında yapılacak yıllık nakit işletme gideri üzerinden hesaplanmıştır. Tesisin 36 günlük nakit işletme giderlerini karşılayacak düzeyde bir işletme sermayesinin üretim faaliyetinin sorunsuz olarak devam ettirilmesi için yeterli olacağı öngörülmüştür. 2022 yılında yapılması planlanan nakit işletme gideri harcaması 19,2 milyon Euro'dur. Dolayısıyla 36 günlük işletme gideri 1,9 milyon Euro olmaktadır. Tesisin Beklenmeyen Giderleri ise; Sabit sermaye yatırım maliyetinin %10'u kadar olacağı varsayılmış ve 37,04 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Böylece, beklenmeyen giderlerin toplam sabit sermaye yatırım bedeli içerisindeki payı %9 olmaktadır [36]. Projenin yatırım maliyetinin ana yatırım bileşenleri itibarıyla ve her bileşenin maliyetinin iç ve dış para arasındaki dağılımını Tablo 3'te gösterilmektedir[36].

Tablo 3. Sabit Sermaye Yatırımının Bileşenlerine Göre Dağılımı (2016 Sabit Fiyatlarıyla)

Evsel Katı Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi Yatırımları	İç Para (Euro)	Dış Para (Euro)	Toplam (Euro)	Dağılım Yüzdesi	
				Sabit Sermaye Yatırımı (%)	Toplam Proje Bedeli (%)
Arazi bedeli (Kamulaştırma Giderleri)	0	0	0		0,00
Sabit Sermaye Yatırımları					
Etüt-Proje ve Müşavirlik					
Uygulama Projeleri Hazırlanması	3 001 163	5 573 588	8 574 750	2,10	
İnşaat ve Mekanik Kontrol Hizmetleri	3 193 329		3 193 329	0,78	
Etüt-Proje ve Müşavirlik Hizmetleri Toplamı	6 194 492	5 573 588	11 768 079	2,89	
Fiziki Yatırımlar					
İnşaat	73 453 757		73 453 757	18,02	
Mekanik ve Elektrik Donanım	83 346 570	194 705 133	278 051 703	68,23	
Genel Giderler	4 115 880		4 115 880	1,01	
İşletmeye Alma Giderleri	3 086 910		3 086 910	0,76	
Fiziki Yatırımlar Toplamı	164 003 117	194 705 133	358 708 250	88,02	
Toplam Sabit Sermaye Yatırım Maliyeti	170 197 608	200 278 721	370 476 329	90,91	
Beklenmeyen Giderler (%10)	17 020 000	20 028 000	37 048 000	9,09	
Toplam Sabit Sermaye Yatırım Maliyeti (Beklenmeyen Giderler Dahil)	187 217 608	220 306 721	407 524 329	100,00	99,54
İşletme Sermayesi	1 900 000		1 900 000		0,46
Yatırım Projesi Toplam Maliyeti	189 117 608	220 306 721	409 424 329		100,00

4.2. İşletme Dönemi Gelir ve Giderleri

Tesisin işletme dönemi boyunca elde edilen enerjiden sağlanacak gelirleri ile bu aşamada kullanılan araç, gereç, yakıt ve bakım-onarım vb. gibi sabit ve değişken işletme maliyetleri ortaya konmuştur. Böylece yatırım maliyetinin iç ve dış para bakımından dağılım bileşenleri incelenmiştir.

4.2.1. İşletme Gelirleri

Evsel katı atık yakma ve enerji üretim tesisinde elde edilen ürün elektrik enerjisidir. Tesisin yıllık elektrik enerjisi üretimi 720 milyon kWh'tır. Tesisin kendi ihtiyaçları için yılda 72 milyon kWh elektrik enerjisi kullanacağı hesaplanmıştır. Yıllık satışa sunulacak elektrik enerjisi miktarı yılda 648 milyon kWh olacaktır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, yürürlükteki mevzuatta bulunan ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen elektrik enerjisi üretimini özendirmeyi amaçlayan teşvik önlemleri kapsamında, serbest piyasada oluşan elektrik enerjisi fiyatlarına maddi destek uygulamaktadır. Bu desteğin 2030 yılına kadar devam edeceği ve 2031 yılından itibaren elektrik enerjisinin serbest piyasa fiyatları üzerinden satılacağı öngörülmüştür. Bu çerçevede, elektrik enerjisi satış fiyatı 2020 – 2030 dönemi için 0,118 Euro/kWh ve 2031 – 2046 dönemi için 0.044 Euro/kWh olarak kabul edilmiş ve elektrik enerjisi satış geliri bu fiyatlar üzerinden hesaplanmıştır. Dolayısıyla elektrik enerjisi yıllık satış geliri 2021 – 2030 dönemi için yılda 73,2 milyon Euro ve 2031 – 2046 dönemi için yılda 28,5 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. İşletme dönemi sonuna kadar yaklaşık 1.188 milyar Euro gelir elde edilmiş olacaktır. Üretilen elektrik enerjisinden elde edilecek gelir Tablo:4'te belirli yıllar itibarıyla verilmiştir [36].

Tablo 4. Tesiste Üretilen Elektrikten Sağlanacak Gelirin Yıllara Dağılımı

	Birim	2021 *10 ³	2025*10 ³	2030 *10 ³	2031 *10 ³	2035 *10 ³	2040 *10 ³	2046 *10 ³
Elektrik Üretimi	KWh	720000	720000	720000	720000	720000	720000	720000
Tesis Bünyesindeki Elektrik Tüketimi	KWh	72000	72000	72000	72000	72000	72000	72000
Satışa Sunulacak Net Elektrik Miktarı	KWh	648000	648000	648000	648000	648000	648000	648000
Elektrik Enerjisi Satış Fiyatı	Euro/KWh	0.113/1000	0.113/1000	0.113/1000	0.044/1000	0.044/1000	0.044/1000	0.044/1000
Elektrik Enerjisi Satış Geliri	Euro	73 224	73 224	73 224	28 512	28 512	28 512	28 512

4.2.2. İşletme Giderleri

Tesisin işletme dönemi (2021-2046) boyunca sabit ve değişken olmak üzere iki ana maliyet başlığı altında incelenerek Tablo:5'te verilmiştir.

- **Sabit işletme giderleri:** Atık yakma tesisinin işletme dönemi boyunca personel, bakım-onarım ve amortisman giderleri gibi maliyet unsurlarından oluşmaktadır.
- **Değişken işletme maliyetleri:** Atık yakma tesisinin işletme dönemi boyunca elektrik tüketim, kimyasal madde tüketim, diğer yardımcı üretim girdileri (yakıt, yağ, su), cüruf ve baca gazı kalıntılarının bertaraf edilmesi ve proses suyu arıtımı ve genel gider maliyet unsurlarından oluşmaktadır.

4.3. Proje Finansman Yapısı, Koşulları ve Kaynakları

Yapılması öngörülen yatırım miktarı 409,4 milyon Euro'dur. İstanbul Büyükşehir Belediyesi yönetimi yatırımın büyük bir kısmını uzun vadeli kredi ile finanse etmiştir. Evsel katı atık yakma ve enerji üretim tesisinin yatırım bedelinin %80'i uluslararası finansman kuruluşlarından sağlanan dış kaynaklı ve uzun vadeli yatırım kredileri ile finanse edilmiştir. Yatırımın kalan %20'si ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin kendi öz kaynaklarından sağlanmıştır. Projenin finansman kaynakları ve koşulları incelendiğinde temin edilen ve kullanılan dış kaynaklı kredinin miktarı 489 milyon Euro olarak belirlenmiştir. Kredinin geri ödeme süresinin 15 yıl olması öngörülmüş ve bu sürenin ilk beş yılı geri ödemesiz dönem olarak kabul edilmiştir. Kredinin yıllık faizinin altı ayda bir ödeme bazında yıllık %5 olacağı kararlaştırılmıştır. Ayrıca taahhüt ücreti olarak kredinin kullanılmamış miktarı üzerinden yılda %0,25 ve hazine garanti ücreti olarak da bir defa için kredi miktarı üzerinden %0,1 oranında ödeme yapılacağı kabul edilmiştir [36].

Tablo 5. Yatırımın Finansman Yapısı (2016 Yılı Fiyatlarıyla, Birim: Euro)

Evsel Katı Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi Yatırımları	Fiziki Yatırımlar	Müşavirlik ve Kontrollük Hizmetleri	Toplam Yatırım Tutarı
Arazi Bedeli (Kamulaştırma Giderleri)			
Sabit Sermaye Yatırımları			
Müşavirlik ve Kontrollük Hizmetleri			
Uygulama Projeleri Hazırlanması		8 574 750	
İnşaat ve Mekanik Kontrollüğü Hizmetleri		3 193 329	
Müşavirlik ve Kontrollük Hizmetleri Toplamı		11 768 079	11 768 079
Fiziki Yatırımlar			
İnşaat İşleri Yatırımı	73 453 757		73 453 757
Mekanik ve Elektrik Donanım Yatırımı	278 051 703		278 051 703
Genel Giderler	4 115 880		4 115 880
İşletmeye Alma Giderleri	3 086 910		3 086 910
Fiziki Yatırımlar Toplamı	358 708 250		351 505 460
Toplam Sabit Sermaye Yatırım Maliyeti	358 708 250	11 768 079	366 360 449
Beklenmeyen Giderler (%10)	35 871 192	1 176 808	37 048 000
Toplam Sabit Sermaye Yatırım Maliyeti (Beklenmeyen Giderler Dahil)	394 579 442	12 944 887	407 524 329
İşletme Sermayesi	1 900 000		1 900 000
Yatırım Projesi Toplam Maliyeti (Euro)	396 479 442	12 944 887	409 424 329

Projenin finansman maliyeti ve finansman planına göre fiziki yatırımları finanse etmek için yatırım kredisinin 340 milyon Euro'luk kısmı dış kredi ve 69,50 milyon Euro'luk kısmı belediye öz kaynakları ile finanse edilmiştir [36].

Tablo 6. Yatırımın Kredi ve Özkaynaklar Yönüyle Dağılımı

Projenin Finansman Yapısı	Yatırım Kredisini	Belediye Katkısı	Toplam
Fiziki Yatırımlar ve İşletme Sermayesi	338 000 000	58 479 442	396 479 442
Müşavirlik ve Kontrollük Hizmetleri	2 000 000	10 944 887	12 944 887
Proje Toplamı (Euro)	340 000 000	69 424 329	409 424 329

4.4. Finansal Analiz

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin "Evsel Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi" yatırımının mali analizi yapılmakta ve proje karlılığı değerlendirilmektedir. Bu analizde kullanılan varsayımlar şunlardır;

- Proje analizi 29 yıl üzerinden yapılmıştır. Takvim yılı bazında bu süre 2018 – 2046 dönemini kapsamaktadır. Bu sürenin ilk 3 yıllık kısmı ilk yatırım dönemi ve 1 yılı tesisi kuran yüklenici tarafından işletilir. Evsel Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi 2021 yılı sonunda işletmeye alınmıştır. Dolayısıyla belediyenin tesisi işletme dönemi 25 yıl olmaktadır.
- Proje analizi 2017 yılı sabit fiyatları ve Euro cinsinden hesaplanmıştır.
- Hesaplamalara katma değer vergisi dahil edilmemiştir.
- NBD ve iç karlılık oranı hesaplamalarında %10 iskonto oranı kullanılmıştır.
- Hesaplamalarda, makina, ekipman gibi varlıklarla sabit tesisler için esas alınan ekonomik ömür süreleri şöyledir. İnşaat için 40 yıl; yakma sistemleri, kazan, türbin vb. hareketsiz makine ve ekipmanları için 25 yıl; motor, pompa, enstrümantasyon ve diğer hareketli makine, araç ve gereçler için 15 yıl; taşıt araçları ve iş makineleri için 10 yıl öngörülmüştür [36].

4.4.1. Proje Gelir ve Gider Dengesi, Üretim Maliyeti ve İşletme Karı

Bu bölümde projenin gelir ve gider dengesi ve dolayısıyla projenin karı değerlendirilecektir. Aşağıda Tablo 7'de proje ömrü boyunca (2018 – 2046 dönemindeki) faaliyet sonuçlarına ilişkin çeşitli değişkenlerin değerleri dönem toplamı olarak verilmektedir. Bu değerler hem mutlak değer olarak hem de 2017 yılı itibarıyla net bugünkü değer olarak ifade edilmiştir. Tesiste yakma yoluyla bertaraf edilecek olan katı atık miktarı, satılacak olan elektrik enerjisi miktarı, elde edilecek elektrik satış geliri, yatırım harcamaları, yenileme yatırımları işletme giderleri, faiz giderleri ve hurda değer değişkenleri yer almaktadır.

Tablo 7. Yatırımın Projesinin Gelir, Gider, Üretim Maliyeti ve İşletme Karı Dağılımı

Açıklama	Birim	Net Bugünkü Değer (2017)	2018-2046 Dönemi Toplamı (Mutlak Değer)
Kullanılan Katı Atık Miktarı	Ton/yıl	6 917 168	26 130 000
Satılacak Elektrik Enerjisi Miktarı	KWh/yıl	4 460 024 542	16 848 000 000
Elektrik Enerjisi Tarifesi (2021-2030 arası)	Euro/kWh		0,113
Elektrik Enerjisi Tarifesi (2031-2046 arası)	Euro/kWh		0,044
Elektrik Enerjisi Geliri	Euro	402 654 216	1 188 432 000
Yatırım Harcamaları	Euro	327 951 570	409 424 329
Yenileme Yatırımları	Euro	3 879 149	21 509 246
İşletme Giderleri (sabit ve değişken)	Euro	145 256 982	568 432 537
Faiz Giderleri	Euro	84 624 396	162 599 947
Hurda Değeri	Euro	-2 142 192	-33 981 791
Toplam Giderler	Euro	559 569 904	1 127 984 268
Elektrik Enerjisi Birim Üretim Maliyeti	Euro/kWh	0,125	0,067
Katı Atıkların Yakılarak Bertarafı ve Enerji Üretim Maliyeti	Euro/ton	80,90	43,17
Bertaraf Edilen Birim Katı Atık Başına Elektrik Enerjisi Satış Geliri	Euro/ton	58,21	45,48
Toplam Proje Karı	Euro	-156 915 688	60 447 732
Kullanılan Katı Atık Miktarı Başına Proje Karı	Euro/ton	-22,68	2,31

Evsel katı atık yakma ve enerji üretim tesisinin ekonomik ömrü olan 26 yıl boyunca toplam olarak 26,1 milyon ton katı atık yakılması planlanmaktadır. Bu atıklardan elde edilecek buhar enerjisi elektrik enerjisine çevrilecek ve tesisin kendi ihtiyaçları için tüketilecek elektrik enerjisinden arta kalan kısım satılarak gelir elde edilecektir. Tesisin ekonomik ömrü boyunca satılacak toplam elektrik enerjisi miktarının yaklaşık 16,8 milyar kWh olacağı hesaplanmıştır. Elektrik satışından elde edilecek gelir toplamının 1,2 milyar Euro olacağı tahmin edilmektedir. Elektrik enerjisinin satış fiyatının 2020 – 2030 dönemi için kWh başına 0.113 Euro ve 2031 – 2046 dönemi için kWh başına 0,044 Euro olacağı kabul edilmiştir. Elektrik enerjisi satış fiyatının 2020 – 2030 dönemi için daha yüksek olmasının nedeni bu dönemde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilecek olan elektrik enerjisi için Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından destek primi ödenecek olmasıdır.

Katı atıkların yakılması, elektrik enerjisi üretilmesi ve baca gazı arıtımı ile genel yönetim giderleri için tesisin ekonomik ömrü boyunca yapılacak toplam harcama miktarı 1.127,98 milyon Euro olarak tahmin edilmiştir. Bu harcama miktarına sabit ve değişken işletme giderleri ile faiz ödemeleri dâhildir. Ayrıca 409,4 milyon Euro tutarındaki ilk yatırım harcaması ile tesisin işletme döneminde yapılacak olan toplam 21,5 milyon Euro değerindeki yenileme yatırımları da hesaplamalara dâhil edilmiştir. Tesisin ekonomik ömrü sonunda elde edilecek hurda değer de giderleri azaltıcı bir unsur olarak dikkate alınmıştır. Bu durumda, zaman faktörü dikkate alınmaksızın gelir ve gider akımlarının mutlak değerleri üzerinden yapılacak bir değerlendirmede tesisin ekonomik ömrü boyunca toplam olarak 60,4 milyon Euro'luk bir proje karı oluşacağı sonucuna varılmaktadır. Ancak, bu rakamlar tesisin ekonomik ömrü boyunca gerçekleşecek yıllık gelir ve gider akımlarının ve yıllık elektrik enerjisi üretimi ve katı atık yakma miktarlarının mutlak değer olarak toplamını gösteren rakamlardır. Dolayısıyla bu rakamlar üzerinden yapılacak değerlendirmelerde paranın zaman değeri dikkate alınmamış olacaktır. Bu nedenle bütün gelir ve gider akımlarının net bugünkü değerleri de hesaplanarak yukarıdaki Tablo 9'da gösterilmiştir. Tablodaki verilerden de anlaşılacağı üzere, mutlak değerler üzerinden yapılan hesaplamalarda işletme faaliyeti sonucunda toplam olarak 60,4 milyon Euro düzeyinde bir kar değeri görünmesine karşılık 2017 yılına indirgenmiş gelir ve gider akımları üzerinden yapılan değerlendirmede 156,9 milyon Euro tutarında bir zarar olacağı sonucuna varılmaktadır.

Net bugünkü değer verilerinden yararlanarak yapılan hesaplamalarda elektrik enerjisi üretim maliyeti 0,125 Euro/KWh olarak hesaplanmıştır. Bu maliyet rakamı; 0,113 Euro /KWh olan 2021 – 2030 dönemi elektrik satış fiyatından %9,9 oranında ve 0,044 Euro/KWh olan 2031 – 2046 dönemi satış fiyatından %64,9 oranında daha yüksektir. Diğer yandan, toplam giderleri, yakılarak bertaraf edilen katı atık miktarı açısından da değerlendirmek mümkündür. Bu durumda, katı atıkların yakılarak bertaraf edilmesi ve daha sonra da elektrik enerjisi üretilmesi için her bir ton katı atık için yatırım ve işletme gideri olarak net bugünkü değer bazında 80,9 Euro harcama yapılmış olacaktır. Ancak yapılan bu harcama ile elektrik enerjisi üretilip satılarak gelir elde edilmektedir ve 1 ton katı atık yakılması sonucunda yine net bugünkü değer bazında 58,2 Euro değerinde elektrik enerjisi geliri elde edileceği hesaplanmıştır. Dolayısıyla, 1 ton atığın yakılarak bertaraf edilmesi ve elde edilen enerjinin elektrik enerjisine çevrilerek gelir elde edilmesi faaliyetinin getireceği net zarar 1 ton katı atık başına 22,68 Euro olmaktadır. Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin işletme dönemi üretim faaliyeti sonucunda oluşan gelir ve gider akımları aşağıdaki Tablo:8'de belirli yıllar itibarıyla gösterilmiştir. Tesis 2021 yılında işletmeye alınmıştır. Tesisin tek geliri elektrik enerjisi satışından elde edilecektir. Tesisin 2021 yılından itibaren tam kapasite ile çalışması söz konusu olduğundan bu yıldan itibaren yıllık gelir 73,2 milyon Euro olacaktır. Tesisin giderleri işletme, amortisman ve finansman giderlerinden oluşmaktadır. Finansman giderleri yatırım kredisi geri ödemelerinin tamamlanacağı 2033 yılına kadar azalarak devam edecektir. Tesis giderleri 2023 yılında 53,2 milyon Euro düzeyine ulaşmaktadır. Daha sonraki yıllarda giderler azalarak yaklaşık 38,2 milyon Euro düzeyine kadar gerilemektedir. Tesisin normal işletme dengesi 2021 – 2030 döneminde kar ile sonuçlanmaktadır. Ancak 2031 yılında elektrik enerjisi satış fiyatının 0,044 Euro /KWh düzeyine inmesinden sonra işletme her yıl zarar etmektedir. Bu zarar yıllık bazda 9,6 milyon Euro düzeyinde olmaktadır. Aşağıda Tablo 8'de açıklandığı üzere tesis 2021 – 2030 döneminde kar elde etmekle birlikte bu kar yatırım kredisinin anapara geri ödemelerinin tamamını gerçekleştirecek düzeye ulaşamamaktadır. Bu nedenle İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin kendi öz kaynaklarından finansman desteği sağlanmasına ihtiyaç duyulacaktır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden, yatırım kredisinin anapara geri ödemelerinin gerçekleştirilebilmesi için temin edilmesi gereken mali desteğin miktarı yatırımın fon akımı ile sağlanacaktır [36].

Tablo 8. Yatırım Projesinin Gelir, Gider ve Karlılıklarının Yıllara Göre Dağılımı

	2021	2023	2030	2031	2046	Toplam
Gelirler						
Elektrik Enerjisi Satış Gelirleri	73 224 000	73 224 000	28 512 000	28 512 000	28 512 000	1 188 432 000
Toplam Gelirler	73 224 000	73 224 000	28 512 000	28 512 000	28 512 000	1 188 432 000
Giderler						
İşletme Giderleri	15 594 092	20 456 207	22 352 100	22 298 761	22 585 612	568 432 537
Amortisman Giderleri	15 778 576	15 778 576	15 778 576	15 778 576	15 778 576	410 242 975
Finansman Giderleri	17 000 000	17 000 000	4 675 000			162 599 947
Toplam Giderler	48 372 668	53 234 783	38 130 676	42 752 337	38 364 188	1 141 275 459
Proje Karı (Euro)	24 851 332	19 989 217	-9 618 676	-14 240 337	-9 852 188	47 156 541

4.4.2. Yatırımın Fon Akımı

Yıllık nakit dengesi, projenin ekonomik ömrü boyunca 2031 yılı dışında bütün yıllarda nakit fazlası ile sonuçlanmaktadır. Kümülatif nakit dengesi 2031 yılı da dahil olmak üzere hep nakit fazlasını göstermektedir. Dolayısıyla işletmenin bir nakit sıkıntısı ile karşılaşması söz konusu olmayacaktır. Fon akımı 2017 yılı sabit fiyatlarıyla hazırlanmıştır. Ancak bu olumlu nakit dengesi İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bu proje için yatırım harcamalarına yapacağı %17 oranındaki öz kaynak katkısı ve yine yatırım dönemindeki kredi masrafları ve faiz ödemeleri için sağlayacağı 22,3 milyon Euro dışında projenin işletme dönemi sırasında da maddi kaynak sağlanmasını gerektirmektedir. Bu maddi katkı, anapara geri ödemesinin gerçekleştirilebilmesi için sağlanacak 98 milyon Euro katkıdan oluşmaktadır. Ayrıca yatırım dönemi finansman katkısı 91,8 milyon Euro olmaktadır.

Dolayısıyla Büyükşehir Belediyesi'nin toplam finansman katkısı 189,8 milyon Euro olmaktadır. Aşağıdaki Tablo:9'da bu katkının değeri belli yıllar itibarıyla ve toplam olarak gösterilmiştir [36].

Tablo 9. Yatırım Projesinin Fon Akışı

	2018-2020	2024	2030	2035	2046	Toplam
Yatırım Giderleri	409 424 329					409 424 329
Yenileme Yatırımları			252 784	21 003 679		21 509 146
İşletme Giderleri		21 445 982	22 281 401	22 370 308	22 585 612	568 432 537
Yatırım Kredisi Faiz Ödemeleri	21 802 977	16 575 000	6 375 000			162 052 977
Hazine Garantisi ve Taahhüt Ücreti	546 970					546 970
Yatırım Kredisi Anapara Ödemesi		34 000 000	34 000 000			340 000 000
Toplam Nakit Çıkışı	431 774 276	72 020 982	62 909 185	43 373 987	22 585 612	1 501 966 058
Elektrik Enerjisi Satış Geliri Tahsilatı		71 027 280	71 027 280	27 656 640	27 656 640	1 188 432 000
İBB'nin Kredi Anaparasının Geri Ödemesine katkısı		1 000 000				98 000 000
İBB'nin Yatırım Dönemi Finansman Katkısı	91 774 276					91 774 276
Yatırım Kredisi Kullanımı	340 000 000					340 000 000
Toplam Nakit Girişi	431 774 276	72 027 280	71 027 280	27 656 640	27 656 640	1 718 206 276
Yıllık Nakit Dengesi		6 298	8 118 095	-15 717 347	5 071 028	216 240 217
Kümülatif Nakit Dengesi		106 812 221	132 273 625	129 224 445	180 587 257	

4.4.3. Projenin Net Bugünkü Değeri (NPV) ve İç Karlılık Oranı (IRR)

Yatırımın karlılığı hem mali açıdan ve hem de ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde iskonto oranı %10 olarak kabul edilmiştir. Bu iskonto oranında yapılan mali değerlendirmede projenin net bugünkü değerinin negatif olarak 159 milyon Euro olduğu hesaplanmıştır. Bunun üzerine projenin mali net bugünkü değeri değişik iskonto oranlarında hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların sonuçları aşağıdaki Tablo10'da sunulmuştur.

Tablo 10. Projenin Değişik Iskonto Oranlarında Net Bugünkü Değerleri ve İç Karlılık Oranı

İskonto Oranı (%)	-5,00	0,71	0,72	1,00	10,00	İç Karlılık Oranı (IRR)
Net Bugünkü Değer (NPV)						
Toplam Maliyetler	2 201 488 623	1 081 399 728	1 080 337 263	1 051 343 592	561 712 096	
Toplam Gelirler	2 557 804 592	1 081 674 369	1 080 266 493	1 041 848 756	402 654 216	
Net Bugünkü Değer	356 315 969	274 641	-70 771	-9 494 836	-159 057 880	
İç Karlılık Oranı (IRR)						0,7179

Tablo 10'da görüleceği üzere, projenin mali net bugünkü değeri %-5 iskonto oranında pozitif değer almakta ve 356 milyon Euro olmaktadır. Bu çerçevede projenin iç karlılık oranı da %-0,72 olarak hesaplanmıştır. Bu verilerden de anlaşılacağı üzere proje mali açıdan karlı değildir. Yatırımın iç karlılık oranının bu denli düşük çıkmasının nedeni, %10 iskonto oranında evsel katı atık yakma ve enerji üretim tesisi yatırımının kredi geri ödemelerini gerçekleştirebilecek kadar fon yaratamamış olmasıdır. Bu durum aşağıdaki Tablo 11'de bütün gelir ve gider akımları için ayrı olarak verilmiş olan net bugünkü değer rakamlarından da anlaşılmaktadır. Proje gelirlerinin %10 iskonto oranında toplam net bugünkü değeri 402,7 milyon Euro olmasına karşılık işletme giderleri, kredi faizleri, yatırım harcamaları ve yenileme yatırımları harcamalarının %10 iskonto oranındaki toplam net bugünkü değeri 561,7 milyon Euro'dur. Dolayısıyla, net gelir akımlarının net bugünkü değeri negatif olarak 159,1 milyon Euro olmaktadır [36].

Tablo 11. İç Karlılık Oranı Hesabına Esas Olan Gelir ve Gider Akımları (2017 Yılı Fiyatlarıyla)

Proje Yılları	0	4	14	20	30	
Takvim Yılları	Net Bugünkü Değer 2017	2020	2030	2036	2046	TOPLAM
GELİRLER						
Elektrik Enerjisi Satış Geliri	402 654 216		73 224 000	28 512 000	28 512 000	1 045 872 000
Toplam Gelirler	402 654 216		28 512 000	28 512 000	28 512 000	1 045 872 000
MALİYETLER						
Etüt-Proje, Müşavirlik	10 279 326	638 665				11 768 079
Fiziki Yatırımlar	286 560 488	148 733 545				
Beklenmeyen Giderler	29 684 257	14 937 588				
İşletme Sermayesi	1 427 498	1 900 000				1 900 000
Toplam Yatırım Maliyeti	327 951 570	166 209 798				409 424 329
İŞLETME GİDERLERİ						
Sabit İşletme Giderleri	64 007 252		10 892 463	10 981 908	11 145 972	267 804 864
Değişken İşletme Giderleri	81 249 730		11 388 938	11 406 827	11 439 640	300 627 672
Kredi Faizleri ve Kredi Giderleri	84 624 396	15 072 847	6 375 000			162 599 947
Yenileme Yatırımları	3 879 149		252 784			21 509 246
Toplam İşletme Gideri	233 760 527	15 072 847	28 909 185	22 388 735	22 585 612	639 818 834
TOPLAM MALİYET	561 712 096	181 282 645	28 909 185	22 388 735	22 585 612	1 049 243 163
NET GELİRLER	-159 057 880	-181 282 645	44 314 815	6 123 265	5 926 388	-3 371 163

4.5. Ekonomik Analiz

Bu analiz bölümünde, finansal analizde piyasa fiyatlarıyla değerlendirilmiş olan proje gelir ve gider akımları, ekonomik fiyatlarla hesaplanarak değerlendirilmektedir. Böylece proje fayda ve maliyetlerinin gerçek kıtlık fiyatları (kaynakların az olmasından doğan temel ekonomik sorunların çözümüne yönelik alternatif maliyet unsurları) bazında karşılaştırılması mümkün olmaktadır. Ayrıca projenin, projeden etkilenecek topluluk üzerindeki etkisinin incelenmesi de ekonomik değerlendirmenin bir parçasıdır. Projenin uygulanması ile ortaya çıkacak tüm mali, sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerin daha geniş bir çerçevede ele alınmasıyla, projenin kendisinden etkilenecek tüm alanlar üzerindeki önemli dış etkilerinin mümkün olduğunca düşünülüp, değerlendirilmesi çalışılmış olacaktır. Projenin dış etkileri mümkün olduğunca parasal olarak değerlendirilmeye çalışılmış ve rakamsal değerlendirmelerin yapılamadığı durumlarda projenin niteliksel dış etkileri tartışılmıştır. Türkiye’de resmi bir sosyal iskonto oranı bulunmadığından, finansal analiz için kullanılan %10 oranının aynısı ekonomik iskonto oranı olarak da kullanılmıştır [36].

4.5.1. Projenin Çevresel Etkileri

Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin ekonomik analiz değerlendirmelerinde dikkate alınması gereken bir çevresel maliyeti bulunmamaktadır. Buna karşılık katı atıkların yakılması yoluyla ağırlık açısından %75 ve hacim açısından %90 oranında azalma sağlanması, yine yakma işlemi dolayısıyla katı atıkların stabilize edilmesi, patojen mikroorganizmaların giderilmesi ve düzenli depolamaya oranla 1/3 oranında daha az sera gazı etkisi yaratılması gibi avantajları bulunmaktadır.

4.5.2. Projenin Sosyal Etkileri

Proje hem inşaat aşamasında hem de işletme aşamasında istihdam yaratmıştır. İnşaat sırasında 200 kişiye istihdam sağlanmıştır. İşletme sırasında ise 87 kişi istihdam edilmektedir. Tesisin çevresel ve sosyal olumlu etkileri projenin dolaylı dış faydası olarak tanımlanmaktadır. Bu dış faydanın kişi başına parasal değerinin yılda 4,0 Euro olduğu varsayılmıştır. Bu kişi başına fayda değeri İstanbul’un nüfusu ile çarpılarak projenin dolaylı dış faydasının ekonomik değeri hesaplanmış ve ekonomik analizde dikkate alınmıştır.

4.5.3. Projenin Ekonomik Faydaları

Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisi, düzenli depolama sahasına gönderilecek katı atık miktarını azaltmak amacıyla inşa edilmiş ve işletilmektedir. Bu amaçla yapılacak yatırım tutarı yaklaşık olarak 409,4 milyon Euro'dur. Bu tesiste yılda 1.005.000 ton ve tesisin ekonomik ömrü boyunca da yaklaşık olarak 26,6 milyon atık yakılmış olacaktır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, evsel atık yakma ve enerji üretim tesisi kurmak suretiyle düzenli depolama sahası yatırımı yapmaktan ve dolayısıyla buna ilişkin yatırım ve işletme giderlerinden de kurtulmuş olmaktadır. Bu nedenle, 26,6 milyon ton katı atığı düzenli depolama sahasında bertaraf etmek için yapılması gerekli yatırım ve işletme harcamalarının ekonomik analizde dikkate alınması gerekmektedir. Ekonomik analiz yapılırken söz konusu işletme ve yatırım harcamaları projenin dış faydası olarak dikkate alınmıştır.

Proje ömrü boyunca yakılacak atık miktarı, ara örtü tabakaları ile birlikte değerlendirildiğinde 30,6 milyon m³ düzeyinde bir depolama hacmine karşılık gelmektedir. Bu kadar hacmi depolamak için yaklaşık 70 hektar alana sahip bir araziye ihtiyaç olacaktır. Odayeri Düzenli Depolama Sahası'nda bir ton katı atığın bertaraf edilebilmesi için oluşan işletme gideri ortalama döviz kuru üzerinden 3,64 Euro'ya karşılık gelmektedir. Bu işletme gideri, evsel atık yakma tesisinde yakılacak atık miktarı göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 97 milyon Euro'dur ve ekonomik analizde projenin dış faydası olarak dikkate alınmıştır. Düzenli depolama sahası inşaat yatırımları hesaplanırken depolama sahasının taban alanının her bir hektarı için 325.000 Euro tutarında yatırım harcaması gerekeceği varsayılmıştır. Bu durumda düzenli depolama sahası toplam inşaat yatırımı 22,8 milyon Euro olmaktadır. Ayrıca 4,5 milyon Euro tutarında sızıntı suyu arıtma sistemi ekipmanları, meşale, kantar ve jeneratör gibi makine ve ekipman yatırımı olmuş ve toplam 27,3 milyon Euro yatırım maliyeti oluşmuştur. Bu yatırım maliyetlerine arazi maliyetleri dahil edilmemiştir [36].

4.5.4. Projenin Ekonomik Maliyetleri

Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin muhtemel dış maliyeti baca gazının dışarıya olduğu gibi salınması durumunda ortaya çıkacaktır. Ancak, tesis bünyesinde kurulan baca gazı arıtma tesisi ile bu risk ortadan kaldırılmıştır. Dolayısıyla evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin ekonomik analizde dikkate alınması gereken herhangi bir dış maliyeti bulunmamaktadır.

4.5.5. Ekonomik Net Bugünkü Değeri ve Ekonomik İç Karlılık Oranı

Projenin toplam ekonomik faydalarının bugünkü değerinin 913,7 milyon Euro olduğu görülmektedir. Bu toplam fayda değerinin 367,1 milyon Euro tutarındaki kısmı elektrik satışından elde edilecek gelirlerin ekonomik fiyatlarla hesaplanmış bedeline aittir. Toplam ekonomik faydanın kalan 546,6 milyon Euro tutarındaki kısmı projenin dış faydalarının bedeline aittir. Projenin dış faydaları iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grup, evsel atık yakma tesisinde yakılması planlanan atıkların bugüne kadar olduğu gibi yine bir düzenli depolama sahasında bertaraf edilmesi durumunda yapılması gereken yatırım ve işletme giderlerine aittir. Zira evsel atık yakma tesisinin alternatifi, bu tesiste 2046 yılına kadar yakılacak toplam 26,6 milyon ton atığın bir düzenli depolama sahasında bertaraf edilmesidir. Bunu yapabilmek için ek bir düzenli depolama alanı belirleyip gerekli yatırım ve işletme harcamalarını yapmak gerekecektir. Evsel Atık Yakma tesisinin kurulması ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi söz konusu düzenli depolama sahası yatırım ve işletme giderlerinden tasarruf etmiş olmaktadır. Birinci gruba giren bu tasarrufların ekonomik fayda hesaplamalarına katkısı 37,99 milyon Euro'dur. Bu bedel, düzenli depolama sahası için yapılacak yatırım harcamaları ile işletme giderlerinden oluşmaktadır. Dış faydaların ikinci grubu dolaylı dış faydalardan oluşmaktadır. Bu gruptaki faydalar, yukarıda "Projenin Sosyal Etkileri" bölümünde anlatılan faydaların parasal değerini ifade etmektedir. Söz konusu sosyal faydalar, projenin yarattığı doğrudan ve dolaylı istihdam ve ek talep nedeniyle ekonomide ortaya çıkacak ek geliri yansıtmaktadır. Bu sosyal faydaların parasal değeri, ekonomide yaratılan yıllık ek gelir değerinin kişi başına 4 Euro olacağı varsayımıyla hesaplanmıştır. Böylece, projenin dolaylı dış faydasının toplam bugünkü değeri 508,6 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, projenin toplam dış faydası 546,6 milyon Euro ve toplam faydası da 913,7 milyon Euro olmaktadır. Projenin toplam fayda değerine karşılık projenin toplam ekonomik maliyetinin bugünkü değeri 545,6 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Bu değer, projenin yatırım ve işletme giderlerinin ekonomik fiyatlarla ve %10 ıskonto oranı bazında hesaplanmış bugünkü değeridir. Projenin mali analizi kısmında 561,7 milyon Euro olarak hesaplanan proje maliyetinin bugünkü değeri ekonomik fiyatlara dönüştürüldüğünde 545,6 milyon Euro olmaktadır. Bu koşullar altında projenin ekonomik fayda maliyet oranı ise 1,67 olarak hesaplanmıştır [36].

Dış fayda akımları ile proje gelir ve gider akımlarının %10 sosyal ıskonto oranı ile değerlendirilerek hesaplanmış olan bugünkü değerlerinin farkı ise, projenin ekonomik net bugünkü değerini göstermektedir. Yukarıda verilen değerlerin ışığında projenin net bugünkü değeri yaklaşık 367,9 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Bu durumda projenin ekonomik iç karlılık oranı da %22,52 olarak bulunmuştur. Proje ekonomik açıdan değerlendirilirken yatırım harcamaları ile işletme gelir ve giderleri, finansal maliyetlere özgü olan sapmalardan ve gerçek maliyetleri maskeleyen vergiler ve sübvansiyonlardan arındırılarak ekonomik fiyatlarla hesaplanmıştır. Buna ek olarak ekonomik değerlendirmede projenin yarattığı dış fayda ve maliyetler de dikkate alınmıştır. Bu çerçevede projenin çevreye zarar verecek herhangi bir etkisi olmayacak şekilde planlandığı dikkate alınarak dış maliyetlerin olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna karşılık, projenin çeşitli dış faydalarının olduğu belirlenmiştir. Bunlardan birisi, projede çalışan personele ödenen ücretlerle, tesisin işletmesi sırasında dışarıdan temin edilen çeşitli girdi ve malzemelerle hizmetler için yapılan ödemelerin yaratacağı ek gelir ve bu gelirin harcanmasının piyasada yaratacağı çarpan etkileridir. Diğer dış fayda ise atık yakma tesisinin hizmete girmesiyle bu katı atıkların düzenli depolama sahasında bertaraf edilmesi için yapılması gereken yatırım ve işletme giderlerinden sağlanan tasarruftur. Bütün bu faydalar hesaplanarak, proje için

yapılan ekonomik değerlendirmede dikkate alınmış ve projenin ekonomik net bugünkü değeri ile ekonomik iç karlılık oranı hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamaların sonucu Tablo 12’de görüleceği üzere projenin ekonomik net bugünkü değeri yaklaşık olarak 368 milyon Euro ve ekonomik iç karlılık oranı da %22,52 olmakta olup, proje ekonomik açıdan karlıdır [36].

Tablo 12. Yatırımın Fayda/Maliyet Oranı (F/M)

	Toplam Mutlak Değer	Net Bugünkü Değer (2017)	2018-2020	2030	2036	2046
DIŞ FAYDALAR						
Düzenli Depolama Sahası İşletme Giderinden Tasarruf	96 942 300	26 552 720	1 829 100	3 658 200	3 658 200	3 658 200
DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASI YATIRIM HARCAMALARINDAN YAPILAN TASARRUFLAR						
Altyapı Yatırımları	16 000 000	5 780 742	2 000 000			
Üstyapı Yatırımları	6 800 000	1 935 933				850 000
Sızıntı Suyu Makinaları, Kantar, Jeneratör vb. Makinalar	4 500 000	3 719 008	4 500 000			
Projenin Dolaylı Dış Faydaları	1 984 795 516	508 561 753	31 388 722	71 472 530	77 234 598	87 888 714
PROJE GELİR VE GİDER AKIMLARI (İktisadi Fiyatlarla)						
Yıllık Elektrik Satış Gelirleri	1 083 612 298	367 140 114		66 765 643	25 997 242	25 997 242
Yıllık Kredi Faizleri ve Kredi Giderleri	162 599 947	84 624 396	22 349 947	6 375 000		
Yıllık İşletme Bakım Giderleri	534 326 585	136 541 563		20 944 517	21 045 411	21 230 475
Yıllık Yatırım Giderleri	402 765 267	322 647 116	402 765 267			
Yenileme Yatırımları	21 144 962	3 813 629		252 784		
Hurda Değeri	-31 942 883	-2 013 660				-31 942 883
Net Nakit Akışı	2 103 756 236	2 103 756 236	-385 397 392	114 324 072	85 844 628	129 106 564
Ekonomik Net Bugünkü Değer (ENBD)		367 949 214				
Ekonomik İç Karlılık Oranı (EİKO) %		22,52				
Faydalar	3 192 650 113	913 690 271				
Maliyetler	926 293 930	545 613 043				
F/M Oranı		1,67				

4.6. Duyarlılık Analizi

Proje duyarlılık analizi; proje değişkenlerinin aldığı değerlerdeki muhtemel değişikliklerin, projenin mali ve ekonomik net bugünkü değeri ile iç karlılık oranı üzerindeki etkileri incelenerek yapılmıştır. Bu incelemede kullanılan proje değişkenleri “yeni yatırımlar”, “işletme giderleri”, “işletme gelirleri” ve “dış faydalar” olarak belirlenmiştir. Duyarlılık analizinin yapılabilmesi için yukarıda belirtilen proje değişkenlerinin değerleri %1, %5 ve %10 oranında artırılmış ve azaltılmış ve bu değişikliklere bağlı olarak mali ve ekonomik iç karlılık oranları ile net bugünkü değerlerde ortaya çıkan değişiklikler hesaplanmıştır. Bu değerlendirme sonucunda mali net bugünkü değer yeni yatırımlarla işletme gelirlerine ve mali iç karlılık oranının ise bu iki değişkene ek olarak işletme giderlerindeki değişikliklere de duyarlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu değişkenlerin dönüşüm değerleri yani mali iç karlılık ve net bugünkü değer katsayılarını karlı hale dönüştürmek için almaları gereken değerler de hesaplanarak proje değişkenlerinde bu oranda bir değişiklik yapmanın mümkün olamayacağı anlaşılmıştır. Projenin mali açıdan karlı duruma geçebilmesi için yatırım harcamasının 611,3 milyon Euro düzeyinden 256 milyon Euro düzeyine inmesi gerekmektedir ki bu tutardaki bir yatırım ile bu tesisin gerçekleştirilemeyeceği açıktır. Ekonomik net bugünkü değer ve ekonomik iç karlılık oranı için de duyarlılık analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda ekonomik net bugünkü değer bütün proje değişkenlerine duyarlı olduğu, ekonomik iç karlılık oranının ise yeni yatırımlar ile işletme gelirlerine duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bu iki proje göstergesi için dönüşüm değerleri de hesaplanmış ve bunun sonucunda projenin ekonomik açıdan karsız duruma geçebilmesi için yatırımların da %29 oranında artması gerekmekte olup bu durum olası değildir [36].

4.7. Risk Analizi

Proje değişkenlerinde aynı anda değişik yönlerde ve aynı anda çeşitli değişikliklerin olması durumunda net bugünkü değer ve iç karlılık oranı değerlerinin aldığı yeni değerler belirlenerek bu değerler için bir olasılık dağılımı çıkarılmaktadır. "Monte Carlo" yöntemi kullanılarak ve 5000 iterasyon yapılarak hazırlanan olasılık dağılımları sonucunda bu dağılımların ortalama değerlerinin fizibilite çalışması sonucu belirlenen değerlerden anlamlı bir şekilde sapmadığı yani bulunan proje karlılık göstergelerinin güvenilir olduğu belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Satın alma gücünün artışı ve teknolojik gelişmeler paralelinde atık miktarında oluşan fazlalığın sağlıklı ve çevreci bir yaklaşım gözetilerek bertaraf edilmesi ve ekonomik fayda odaklı politika ve stratejiler geliştirilmesi kaçınılmaz bir hal almıştır. Ortaya konulacak politika ve eylem planlarında; kurumsal yapısı güçlü atık yönetim sistemlerinin desteklenmesi ve ekonomik ve mali açıdan sürdürülebilir işletme stratejileri ortaya konulması durumunda yaşanabilir bir çevre imkânı sağlanabilecektir. Yapılan çalışma ile; ülkemiz için yeni bir teknoloji sayılabilecek bir uygulamanın özellikle büyükşehirlerdeki depolanabilir atık fazlalığının yakma bertaraf yöntemi ile yakılarak enerji girdisi elde edilmesi ve depolama alanlarından tasarruf edilerek ülke ekonomisine katkı sunması suretiyle diğer büyükşehir belediyelerine yol göstermesi amaçlanmıştır. Bertaraf yöntemlerinden biri olan yakma teknolojisi alternatif ve güvenilir bir çözümdür. Tesisin yatırım ve işletme maliyetlerinin ortaya konması suretiyle finansal, ekonomik, duyarlılık ve risk analizleri yapılarak ileride yapılacak olan benzer yatırımlar için teknolojik ve finansal öngöründe bulunulmaya çalışılmıştır. AB müktesebatı çerçevesinde hazırlanan uyum çalışmaları doğrultusunda uygulanan, çevre mevzuatının geliştirilmesi ve sürdürülebilir kılınması için çeşitli yaklaşım ve modeller üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Sürdürülebilir bir atık yönetimi için mali açıdan işletilebilmesi ve uygun bertaraf teknolojisinin seçilmesi gerekir. Ortaya çıkan atıkların uygun teknoloji ile bertaraf edilmesi ve çevreye olan risklerini en aza indirmek için etkin ve sürdürülebilir projelerle finansal ve ekonomik faydaları olan çözümlerin ortaya konması gerekmektedir.

Bu çalışmada, başta İstanbul olmak üzere diğer büyükşehirlerin atık rezervlerinin doğrudan yakılması sonucu elektrik üretme potansiyeline sahip olması, ekonomik ve çevresel açıdan önemlidir. Atığın enerjiye dönüştürülmesi ülke ekonomisine katma değer katan bir yatırım olması sebebiyle, yenilikçi ve öncü bir rol oynamaktadır. Tesis, 26 yıllık işletme döneminin ilk 9 yılında elektrik satışlarıyla kar elde ederken geri kalan yıllarda zarar etmektedir. Bunun sebebi Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından verilen destek priminin ortadan kaldırılmasıdır. 2031 yılından itibaren Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından destek priminin ödenmeye devam etmesi halinde her yıl yaklaşık 35 milyon Euro, 16 yılda yaklaşık 555 milyon Euro fazladan kar elde ederek, işletme dönemi boyunca 1,2 milyar Euro katma değer sağlanabilmektedir. Projenin fayda maliyet oranının 1,67 olması uygun bir yatırım olduğunu göstermektedir.

Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin, ekonomik analiz değerlendirmelerinde dikkate alınması gereken bir çevresel maliyeti bulunmamaktadır. Buna karşılık katı atıkların yakılması yoluyla ağırlık açısından %75 ve hacim açısından %90 oranında azalma sağlanması, yine yakma işlemi dolayısıyla katı atıkların stabilize edilmesi, patojen mikroorganizmaların giderilmesi ve düzenli depolamaya oranla 1/3 oranında daha az sera gazı etkisi yaratılması gibi önemli avantajları olduğu görülmüştür. Bu yönüyle projenin çevreye zarar verecek herhangi bir etkisinin olmadığını, dış maliyetlerinin olmadığını ve çeşitli dış faydalarının olduğunu belirtmek yerinde olacaktır. Odayeri bölgesindeki katı atık yakma tesisi Silivri'deki düzenli depolama tesisine göre yıllık yaklaşık 6 milyon km yol tasarrufu avantajı sağlamakta ve yine yıllık 1,4 milyon ton CO2 emisyonu ile yaklaşık 700 bin aracın emisyonunu karşılayabilmektedir. Tesis evsel katı atıklardan enerji geri kazanımının ekonomik yönüyle olumlu olduğunu göstermektedir ve bu sebeple diğer büyükşehirlerde kurulacak tesisler için örnek olabilecek bir çalışma örneğidir.

Referanslar

- [1] K. Kumaş ve A. Ö. Akyüz , "Methane, Diesel Fuel, Electrical Energy, CO2 Emissions and Economical Equavialent from Animal Manure of Tokat, Turkey", International Scientific and Vocational Studies Journal, c. 5, sayı. 2, ss. 144-153, Ara. 2021, doi:10.47897/bilmes.969372
- [2] Savini F. The circular economy of waste: recovery, incineration and urban reuse, Journal of Environmental Planning and Management, 64:12, pp 2114-2132, 2021
- [3] Arıkan, E.; Kalender, Z.T.; Vayvay, Ö. "Solid Waste Disposal Methodology Selection Using Multi-Criteria Decision Making Methods and an Application in Turkey," Journal of Cleaner Production Volume 142, Part 1, pp 403-412 2017
- [4] Akmal, T.; Jamil, F. Testing the Role of Waste Management and Environmental Quality on Health Indicators Using Structural Equation Modeling in Pakistan. Int. J. Environ. Res. Public Health, 18, 4193. 2021
- [5] Marshall, R.E., Farahbakhsh, K., Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. Waste Manag 33, pp. 988–1003 2013.
- [6] Bayram, S.E. "Katı Atıkların Geriye Kazanımı ve Tarımsal Kullanım Olanakları", Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, Cilt.10, Sayı.2, pp:62-65. 2017
- [7] Palabıyık H, Altunbaş D, Kent sel Katı Atıklar ve Yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler (C. Marin, U. Yıldırım ed.), Beta Yayınları, pp.103-124. İstanbul. 2004.

- [8] Yang, Y., Liew, R.K., Tamothran, A.M. Gasification of Refuse-Derived Fuel from Municipal Solid Waste for Energy Production: A Review. *Environ Chem Lett* 19, pp. 2127–2140. 2021
- [9] Topal, H. "Plasma Gasification Technology for Solid Waste Disposal" *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol.30, No.4, pp.733-741, Ankara 2015
- [10] Koçak, E.; İkizoğlu, B. Types of Waste in the Context of Waste Management and General Overview of Waste Disposal in Turkey. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 4 (4), pp. 520-527. 2020.
- [11] Dede, Ş.; Ulutaş, A.; Yiğit, S: K. "Research of Leachate Treatability with Biological, Physical, Chemical and Membrane Bioreactor Processes," *Sigma Journal of Engineering and Natural Science*, SCI 34 (2), pp.199-209, İstanbul 2016
- [12] TÜİK Atık İstatistikleri [Basın bülteni]. Erişim adresi <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>. 2020.
- [13] U.S EPA. Advancing Sustainable Material Management 2015 Fact Sheet. Available at <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/advancing-sustainable-materials-management> Erişim tarihi 22.05.2021
- [14] Aydemir-Karadağ, A. "Katı Atık Depolama Tesisi Yer Seçimi için Birleştirilmiş Hedef Programlama ve AHP Yaklaşımı," *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:1 2019
- [15] Saltabaş, F.; Sosyal, Y.; Yıldız, Ş. Balahorli, V. "Municipal Solid Waste Thermal Disposal Methods and its Applicability in İstanbul", *Journal of Engineering and Natural Sciences-SIGMA*, 3, pp.109-116, İstanbul 2011.
- [16] Onwosi, C.; Igbokwe, V.; Odimba, J.; Eke, I.; Nwankwoala, M.; Iroh, I.; Ezeogu, L. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *J. Environ. Manag.*, 190, pp.140–157. 2017
- [17] Çevre Kanunu Resmî Gazete, 1 Temmuz 1983 Tarihli 18132 Sayılı 2872 Numaralı <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18132.pdf> (Erişim Tarihi: 27.05.2021)
- [18] Atık Yönetimi Yönetmeliği Resmî Gazete, 2 Nisan 2015, Sayı: 29314 Yönetmelik, Atık Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm> (Erişim Tarihi: 27.05.2020)
- [19] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023
- [20] Tedesco, D.E.A.; Scarioni, S.; Tava, A.; Panseri, S.; Zuorro, A Fruit and Vegetable Wholesale Market Waste: Safety and Nutritional Characterization for Their Potential Re-Use in Livestock Nutrition. *Sustainability*, 13, 9478. 2021.
- [21] Türkiye. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı web sayfası <https://tucev.csb.gov.tr/biliyor-musunuz-i-104667>. Erişim tarihi: 15.04.2022,
- [22] Tolay, M., Baileys, R., Waterschoot, A., , "Drying and Gasification Technologies for Industrial Wastewater Sludge", 12th Industrial Pollution Control Symposium, EKK 2010, June 16-18 2010, ITU, İstanbul-Turkey. 2010
- [23] Seadon, J. K., "Integrated Waste Management Looking Beyond the Solid Waste Horizon". *Waste Management - Pergamon Press*. 26 (12): pp. 1327-1336. 2006
- [24] Mazlum, N.; Mazlum, S. "Kentsel Organik Katı Atıkların Kompostlaştırılması" *Katı Atık ve Çevre, Katı Atık Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Katı Atık ve Çevre*, 55, pp. 23-30. 2004.
- [25] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2014) Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi ve İşletme Klavuzu
- [26] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Çevre Durum Raporu (Çevre Durum Raporu 2016 yılı Özeti-İller).
- [27] Nanda, S.; Berruti, F. A Technical review of bioenergy and resource recovery from municipal solid waste. *J. Hazard. Mater.*, 403, 123970. 2021
- [28] Iwaszko, J.; Lubas, M.; Sitarz, M.; Zajemska, M.; Nowak, A Production of vitrified material from hazardous asbestos-cement waste and CRT glass cullet. *J. Clean. Prod.*, 317, 128345. 2021.
- [29] Mountouris, A, Voutsas, E, "Solid waste plasma gasification: Equilibrium model development and exergy analysis", *Energy Conversion and Management*, 47, pp.1723-1737, 2006
- [30] Sipra, A.T.; Gao, N.; Sarwar, H. Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts. *Fuel Process. Technol.*, 175, pp.131–147. 2018
- [31] Y. Mustafa, "Balıkesir İli Evsel Katı Atıklarının Bertarafında Uygun Termal Yöntemin Seçilmesi" Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2019.
- [32] Lu, J.-W.; Xie, Y.; Xu, B.; Huang, Y.; Hai, J.; Zhang, J. From NIMBY to BIMBY: An evaluation of aesthetic appearance and social sustainability of MSW incineration plants in China. *Waste Manag.* 95, pp. 325–333 2019
- [33] European Commission Integrated Pollution Prevention and Control "Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration" Brussel, 2006
- [34] Eurostat (2018) Eurostat 2018 Waste Treatments: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASMUN/default/table?lang=en. 26.11.2021
- [35] Vyas, S., Prajapati, P., Shah, A.V., Varjani, S., Municipal Solid Waste Management: Dynamics, Risk Assessment, Ecological Influence, Advancements, Constraints and Perspectives. *Science of the Total Environment*. 814, 152802. 2022
- [36] İ.B.B Fizibilite Raporu İBB Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi Projesi Fizibilite Raporu", Şubat 2019.
- [37] ÇED Raporu İstanbul Büyükşehir Belediyesi Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi Projesi" Nihai Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu, Ankara, 2012.
- [38] İ.B.B Proje sunumu İBB Yapı İşleri Müdürlüğü'nün 03.03.2021 tarihli Proje Sunumu

Investigation Of The Conversion Procedures For Fossil Fuel Vehicles To Electric Vehicles In Turkey

Mehmet Murat Tezcan ^{a,1}, Sümeyra Taşer ^b

^{a, b} Kütahya Dumlupınar University Faculty of Engineering Department of Electrical and Electronics Engineering

^a ORCID ID: 0000-0002-5390-4527

^b ORCID ID: 0000-0002-0477-5714

Abstract

Globally, with the rapid growth of the population, the use of cars is also increasing. Although there is an increase in the use of electric vehicles, the vast majority of the vehicles used are internal combustion engine vehicles. Fossil fuel vehicles have disadvantages such as damaging the environment due to their high emission values, using non-renewable energy sources as fuel, high maintenance costs, and complex vehicle structures. Electric vehicles have many advantages such as being sensitive to the environment with a near-zero emission value, simple structures, low maintenance costs, and the use of renewable energy sources as fuel. Today, the reserve ratios of fossil fuels are rapidly depleting. Consumers tend to buy electric vehicles because of the environmental damage caused by fossil fuel vehicles due to the high emissions they emit, and because of the danger of depletion of non-renewable energy sources. The purchase of electric vehicles from the factory is difficult due to the few product varieties and the high prices in the market. It is possible for consumers to have electric vehicles with the features, colors, and models they want at much more affordable prices, by converting internal combustion engine vehicles to electric vehicles. Each country has its own regulations for the conversion process. Transformation operations in our country are carried out in accordance with the Regulations of the Ministry of Science, Industry, and Technology. There are ready-made conversion kits of different brands on the market that contain the components necessary for the conversion of internal combustion engine vehicles to electric vehicles. In this study, the advantages and disadvantages of internal combustion engine vehicles and electric vehicles, why conversion is necessary, and how conversion should be carried out will be discussed. Thanks to the conversion to an internal combustion engine, there will be a decrease in the emission of harmful gases to the environment, an economic contribution will be made to the country, and consumers will be able to have the vehicle they want at affordable prices.

Keywords: “Electric vehicles, fossil fuel vehicles, internal combustion engine, emission, conversion, renewable energy systems.”

1. Introduction

As a result of the increase in welfare in the globalizing world and the changes in transportation methods, tremendous growth has occurred in the transportation sector and the need for energy has increased to a great extent. While the efficiency of internal combustion engine vehicles is around 30-40%, the efficiency of electric vehicles is close to 100% [1]. Considering these ratios, it is seen that the efficiency of electric vehicles is approximately 3 times higher than the efficiency of internal combustion engine vehicles [2].

Today, fossil fuel vehicles are widely used in the transportation sector. According to TUIK's data, 26.2% of the vehicles registered in traffic in Turkey in the first 6 months of 2022 are gasoline vehicles, 0.9% electric or hybrid vehicles, 35.5% LPG vehicles and 37%, 3 of them are diesel vehicles [3]. 99% of the vehicles registered to traffic in our country are fossil fuel vehicles. Fossil fuel vehicles are disadvantageous due to the danger of depletion of non-renewable energy sources, emission of harmful gases to the environment, and low energy efficiency. High greenhouse gas emissions cause global warming [4]. Approximately 20% of the greenhouse gas emission values, which include the CO₂ emissions emitted from the transportation sector, cause air pollution, which brings along global climate change problems [5]. Reducing the use of fossil fuels in transportation is seen as the most effective method of reducing CO₂ emissions. Electric vehicles are shown as an alternative to fossil fuel vehicles. The use of renewable energy sources in electric vehicles has advantages such as no emission of harmful gases to the environment and higher energy efficiency. The emission rate of electric vehicles is lower than fossil fuel vehicles.

¹ Corresponding Author

E-mail Address: murat.tezcan@dpu.edu.tr

Electric vehicles also have some disadvantages compared to fossil fuel vehicles. These are issues such as range, battery and high cost. Efforts are being made to solve the range problem and battery problems. In purchasing electric vehicles from the factory, both the cost is high and the consumer is offered few options. As a solution to the high cost problem, internal combustion engine vehicles are transformed into electric vehicles. There are many advantages to performing the conversion operation. These advantages are: contributing to the national economy by converting the internal combustion engine vehicle instead of sending it to scrap, contributing to the transformation of small automotive repair shops in city industries, the possibility of the consumer to convert the vehicle they want to an electric vehicle, the conversion process being less costly than purchasing a vehicle. It should be carried out in accordance with the Regulation of the Ministry of Industry and Technology, TSE, ISE standards.

2. Electric Vehicles

Electric vehicles are vehicles that get their power from an electric motor. Electric motors are used in electric vehicles. Electric motors work through new generation batteries. Electric vehicles are divided into three as Full Electric Vehicle (BEV), Hybrid Electric Vehicle (HEV) and Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV).

2.1. Hybrid Electric Vehicle (HEV)

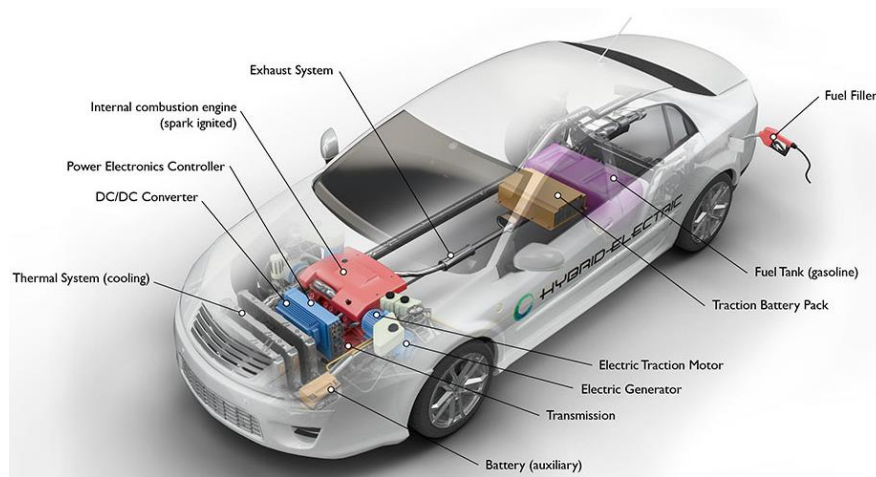


Figure 1. Hybrid Electric Vehicle (HEV) [6]

In hybrid electric vehicles, the vehicle's power is provided by using two or more energy sources [7]. Hybrid electric vehicles can switch between the internal combustion engine and the electric motor, or they can be used simultaneously. Hybrid electric vehicles differ from other electric vehicles in that they do not need to be recharged. Regenerative braking system is used to charge the battery in hybrid electric vehicles.

Hybrid electric vehicles are divided into three as serial hybrid electric vehicle, parallel hybrid electric vehicle and serial-parallel hybrid electric vehicle. Parallel hybrid electric vehicles are the most common hybrid type vehicles. In parallel hybrid electric vehicles, the internal combustion engine and electric motor are connected in parallel to the vehicle and work together to provide power. In such vehicles, the internal combustion engines are supported by the electric motor. In a parallel hybrid electric vehicle, the two engines used combine their power. In this case, in parallel hybrid electric vehicles, the internal combustion engine and the electric motor are mechanically interconnected. The powers of the electric motor and the internal combustion engine are combined with torque converters. The characteristic of the parallel hybrid electric vehicle is that the power is transferred in parallel [8]. In series hybrid electric vehicles, the wheels and the internal combustion engine are not mechanically interconnected. In series hybrid electric vehicles, the electric motor provides the movement of the vehicle. In these vehicles, the electric motor gets its energy from the internal combustion engine. In series hybrid electric vehicles, the engines are connected in series to transfer power. In series hybrid electric vehicles, power is transmitted from the internal combustion engine to the battery via the generator, and from there to the electric motor to turn the wheels. In series hybrid electric vehicles, there is no physical connection between the internal combustion engine and the electric motor. In this case, since there is no connection between the internal combustion engine and the electric motor, it can be placed anywhere on the vehicle [8]. Since the electric motor directly drives the vehicle in serial hybrid vehicles, it is usually sufficient to use a single-stage gearbox in such vehicles [9]. Series-parallel hybrid vehicles consist of a combination of parallel hybrid electric and serial hybrid electric vehicles. Vehicles of this type can run on electricity only, fuel only, or both. These vehicles offer the features offered by both parallel and serial hybrid electric vehicles. This type of vehicle has an internal combustion engine, generator and electric motor. In series-parallel hybrid electric vehicles, these three components are mechanically interconnected [10].

2.2. All-Electric Vehicle (BEV)

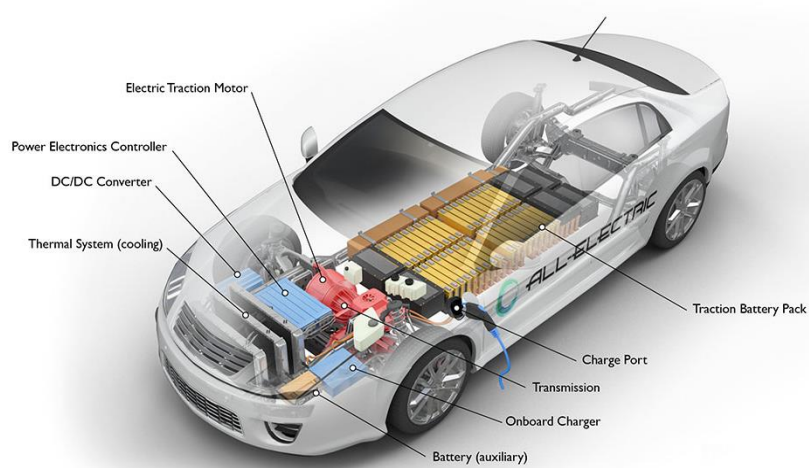


Figure 2. All-Electric Vehicle (BEV) [6]

All-electric vehicles use the energy stored in the battery to power the electric motor and turn the wheels. All-electric vehicles have drivetrains that come from all-electric, high-capacity batteries charged via power lines [10]. When the energy in the battery of fully electric vehicles is completely depleted, the battery is recharged using the charging unit or wall socket. This type of vehicle works with 100% electricity. In fully electric vehicles, there is no internal combustion engine, fuel tank and exhaust system. Fully electric vehicles have one or more electric motors powered by a larger onboard battery [11].

All-electric vehicles are driven by an electric motor, the power of which is expressed in kilowatts (kW). In fully electric vehicles, batteries (usually lithium-ion) are needed for the electric motor to power the vehicle. VW ID3, Tesla Model Y, Nissan Note and Renault Zoe fully electric vehicle models are among the best-selling electric vehicles worldwide [11].

2.3. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

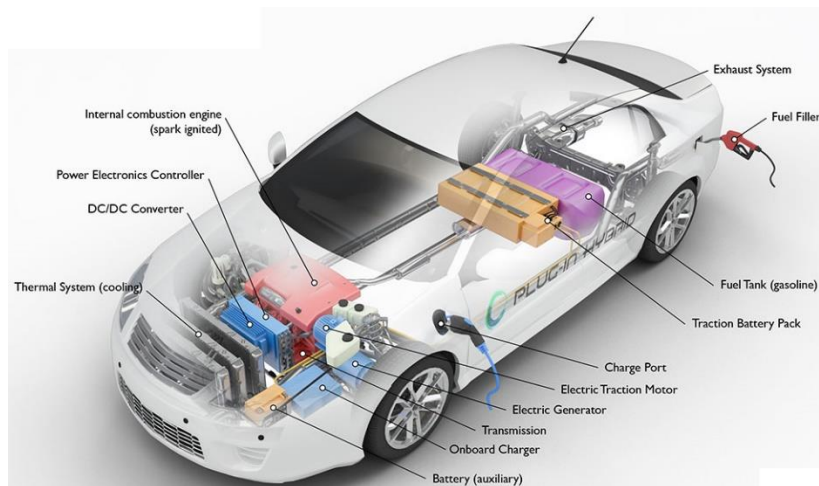


Figure 3. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PEV) [6]

Plug-in hybrid electric vehicles are types of electric hybrid vehicles with a charging port and a fuel inlet. Plug-in hybrid electric In vehicles, the internal combustion engine and the electric motor work independently of each other. However, these motors are activated alternately with each other while driving. The operating mode of plug-in hybrid electric vehicles differs from hybrid electric vehicles. hybrid electric vehicles it is dependent on gasoline, which means that the energy from the battery and the generator partially assist the engine. Plug-in hybrid In electric vehicles, electricity from the rechargeable battery will play a leading role, while the fuel engine will be retained as the auxiliary drive unit [12].

3. Why is Conversion Necessary and How Is Conversion Made?

With the conversion process, the cost of owning an electric vehicle is minimized and the old vehicle can still be used. In addition, electric vehicles create a greener lifestyle and therefore a healthier environment. In order to have the vehicles with the desired features, model and color at more affordable prices, it is the most appropriate option to carry out the electric vehicle conversion process today.

Consumers who want to convert their electric vehicles can consult a professional with a conversion background or they can do this conversion themselves. They can use more affordable conversion kits instead of individually procuring the components needed for the conversion. Among the companies that do the conversion and have kits, the best are Flash Drive Motors , Zero Labs , Zelectric_Motors are Electric GT, EV West . Among these companies, the recommended company is Flash Drive Motors [13].

In order to convert an internal combustion engine car into an electric vehicle, components such as the internal combustion engine, radiator, fuel tank, distributor, carburetor, alternator, exhaust pipe must be removed from the vehicle. In order to turn our vehicle into an electric vehicle instead of the removed parts, the electric motor, inverter, controller, battery, cooling system and pump, fuse and contactor components must be attached to the vehicle. In fact, there are multiple product options for each component on the market. Therefore, the components must be carefully selected according to the type of electric vehicle desired in line with the user's needs [14]. After removing the components that we do not need from the internal combustion engine vehicle, we need to add the components required for the electric vehicle to the vehicle.

The choice of the electric motor directly affects the important performance parameters of electric vehicles such as power, torque and speed. The selection of the electric motor is therefore very important. To achieve good vehicle control, the mass of the conversion components must be evenly distributed throughout the vehicle, especially the battery with the largest mass. The battery can be distributed to various centers of gravity depending on the vehicle used. The important thing at this stage is to achieve balance. Battery selection: It should be done in a way that will meet the expectations of the person who will use the vehicle, depending on the vehicle converted and the place where the vehicle will be used. After the electric motor, inverter, controller, battery, DC/DC converter, cooling system and pump, fuse, contactor components have been installed in the converted vehicle, the required process is wiring. First, the installation of the power cable is carried out. Power cables are used in serial circuit such as battery poles, battery poles going to motor controller and auxiliary components using high current. The state of charge of the batteries is checked and the battery is placed in a suitable place in the vehicle.

4. Number of Electric-Hybrid Vehicle Sales in Turkey

According to the Electric and Hybrid Vehicles Platform (TEHAD) report in Turkey, as of the end of June 2021, a total of 894 electric vehicles were sold. 27% of these vehicles are Porsche Taycan, 19% are Renault, 17% are Mercedes Benz, 16% are BMW, 15% are MG and 2% are Jaguar. In the first 6 months of 2022, 2143 electric vehicles were sold, with a total of 3 times more sales compared to 2021. According to TEHAD's 2022 data, BMW Group (i3,iX3,iX) is in the brand ranking for 2022, and Renault Zoe is in the list of the most sold models [15].

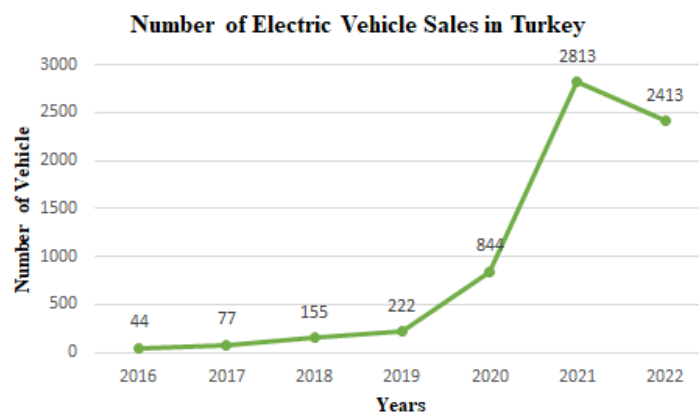


Figure 4. Graphical Representation of the Total Number of Electric Vehicle Sales in Turkey

According to the Electric and Hybrid Vehicles Platform (TEHAD) 2022 data in Turkey, 11,851 hybrid vehicles were sold as of the end of June 2021. 97% of these vehicles are Toyota Corolla (9667 units), 3% are Volvo, Honda, Hyundai, Jeep, Kia, Lexus. According to the TEHAD 2021 report, 20915 hybrid vehicles were sold throughout 2021 [16]. In the first 6 months of

2022, with a total loss of 40% compared to the same period of 2021. 9731 hybrid vehicles were sold. In 2022, there was a decline in hybrid vehicle sales. According to TEHAD 2022 data, 69% of these vehicles are Toyota Corolla (5709 units), 12% Honda, 12% Fiat, 3% Hyundai, 1% Volvo, 1% Jeep, 1% Kia constitutes 1% and MG constitutes 1% [15].

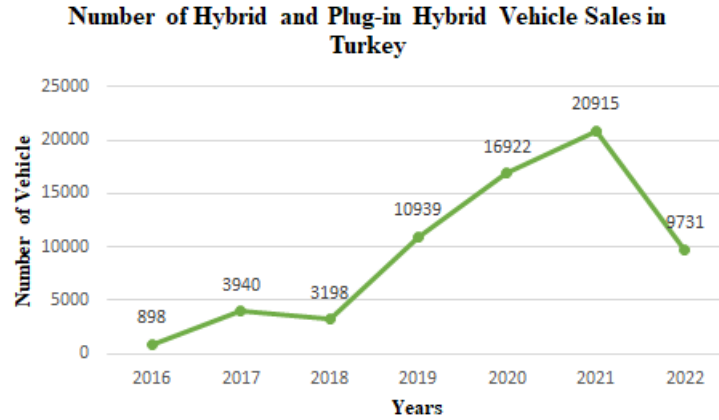


Figure 5. Graphic Display of Total Sales of Hybrid and Plug-in Hybrid Vehicles in Turkey

5. What is Being Done for The Transformation of Electric Vehicles in Turkey

There are companies in Turkey that carry out the conversion of electric vehicles. These companies do not carry out individual vehicle conversions in accordance with the conditions of the Regulation on the Manufacturing, Modification and Assembly of Vehicles (AITM). These companies are venture companies, carries out the vehicle transformation of automotive companies, universities, research centers. A feasibility study is carried out to realize the vehicle conversion. As a result, the fee required for the conversion and the conversion time are determined.

The Ministry of Science, Industry and Technology continues to work on the “Transformation of Fossil Fuel Vehicles to Electricity Project”, which is widespread abroad, so that internal combustion electric vehicles can be put on the road in Turkey.

6. Conclusions

Electric vehicles are seen as alternative vehicles to be used in the future. Electric vehicles are environmentally friendly thanks to their use of renewable energy sources and zero carbon dioxide emissions. Consumers demand for electric vehicles is increasing day by day. The lack of variety and economic conditions make it difficult for consumers to buy new electric vehicles from the factory. Electric vehicle transformation is shown as a solution to this situation. With the realization of the conversion process, the internal combustion engine vehicles that are no longer used will not harm the environment by waiting in the junkyard, and it will reduce the cost of buying the majority of the materials required for the electric vehicle from old vehicles instead of ordering them from abroad. This will benefit both the consumer and the country's economy. In addition, trained electrical-electronic technicians will be needed for conversion operations. There will be a need for electrical-electronic technicians and thus the employment rate in Turkey will increase.

References

- [1] Abo-Khalil, A. G., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., Radwan, A., Rezk, H., ve Olabi, A. G. “Electric Vehicle Impact on Energy Industry, Policy, Technical barriers, and Power Systems” *International Journal of Thermofluids*, 2022, 100134.
- [2] Gürbüz, Y., & KULAKSIZ, A. A. (2016). Elektrikli araçlar ile klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 117-125.
- [3] TÜİK. “Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2021”. Erişim:8.12.2022.<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Haziran-2022-45709>.
- [4] Çakmak, E. G., Doğan, T., & Hilmioğlu, B. (2017). İklim Değişikliği Süresinde Paris Anlaşması'nın Rolü ve Türkiye'nin Konumu. *Akdeniz Üniversitesi Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi, VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 1(3).

- [5] TOREN, M., & MOLLAHANNOGLU, H. Elektrikli ve Hibrit Araçlardaki Elektrik Motorlarının İçten Yanmalı Motorlarda Oluşan [CO]₂ Emisyonunda Meydana Getireceği Değişimin Tahmini ve Verimliliğe Etkisi: Türkiye Örnekleme. *El-Cezeri*, 9(3), 1082-1097.
- [6] AFDC. "How Do Electric Cars Work". Erişim:8.12.2022. <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>.
- [7] Özbay, H., Közkurt, C., DALCALI, A., & Tektaş, M. (2017). Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34-50.
- [8] OTOMOTİVLAB. "Hibrid Araç Çeşitleri ve Çalışma Prensipleri". Erişim:8.12.2022. <https://otomotivlab.net/hibrit-arac-cesitleri-ve-calisma-prensipleri/>.
- [9] SFGATE. "Advantages Disadvantages Series Hybrid Designs". Erişim:8.12.2022. <http://homeguides.sfgate.com/advantages-disadvantages-series-hybrid-designs-78758.html>.
- [10] Setiawan, I. C. (2019). Policy simulation of electricity-based vehicle utilization in Indonesia (electrified vehicle-HEV, PHEV, BEV and FCEV). *Automotive Experiences*, 2(1), 1-8.
- [11] APTİV. "Bev Phev or Hev The Differences Affect The Architecture". Erişim:8.12.2022. <https://www.aptiv.com/en/insights/article/bev-phaev-or-hev-the-differences-affect-the-architecture>.
- [12] Ding, N., Prasad, K., & Lie, T. T. (2017). The electric vehicle: a review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 9(1), 49-66.
- [13] Treehugger. "Electric Vehicle EV Conversion Company". Erişim:8.12.2022. <https://www.treehugger.com/electric-vehicle-ev-conversion-companies-85249>.
- [14] Rende, H., & Karaman, E. (2017). Hurdaya ayrılmış bir aracın elektrikli araca dönüştürülmesi. *Mühendis ve Makina*, 58(688), 79-94.
- [15] TEHAD."2022 Yılı İlk 6 Ayında Satılan Elektrikli ve Hibrid Otomobil Satış Rakamları". Erişim:7.12.2022. <https://www.tehad.org/2022/07/08/2022-yili-ilk-6-ayinda-satilan-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari/>
- [16] TEHAD." 2021 Yılı Satılan Elektrikli ve Hibrid Satış Rakamları Belli Oldu". Erişim:7.12.2022. <https://www.tehad.org/2022/01/16/2021-yili-elektrikli-ve-hibrid-satis-rakamlari-belli-oldu/>

Runge Kutta Optimization for Fixed Size Multimodal Test Functions

Fatih Cantaş^a, Serdar Özyön^{b,1}, Celal Yaşar^c

^a Kütahya Dumlupınar University, Institute of Graduate Education, Kütahya, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5573-021X

^b Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Kütahya, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-4469-3908

^c Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Kütahya, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-1251-3562

Abstract

In this study, it is aimed to increase the success of the Runge Kutta (RUN) algorithm, which is used in the solution of many optimization problems in the literature, on fixed-size test functions by changing the parameter values. Optimization can be defined as making a system most efficient at the least possible cost under certain constraints. For this process, many optimization algorithms have been designed in the literature and used to obtain the best solutions for certain problems. The most important parts in solving these problems are modeling the problem correctly, determining the parameters and constraints of the problem, and finally choosing a suitable meta-heuristic algorithm for the solution of the objective function. Not every algorithm is suitable for every problem structure. Therefore, in this study, the suitability of the RUN algorithm for the solution of fixed-size functions will be evaluated. Theoretically, Runge-Kutta methods used in numerical analysis are an important type of the family of closed and open iterative methods for solution approximations of ordinary differential equations. The RUN algorithm is also designed with inspiration from these methods. In order to evaluate the performance of the RUN algorithm on fixed-size functions in the study, 10 fixed-size multimodal test functions (Shekel's Foxholes, Kowalik, Six-Hump Camel-Back, Branin, Goldstein-Price, Hartman3, Hartman6, Shekel5, Shekel7, Shekel10) have been found in the literature before was selected. Solutions for each of the selected functions are obtained by changing the parameter values of the RUN algorithm. The obtained solution values were evaluated by comparing the solutions obtained with Slime Mold Algorithm (SMA) and Hunger Games Search (HGS) algorithms.

Keywords: "Runge kutta algorithm (RUN), slime mould algorithm (SMA), hunger games search (HGS), fixed size multimodal test functions."

1. Giriş

Günümüz koşullarında problemlere hızlı ve kolay çözüm üreten optimizasyon yöntemleri büyük önem arz etmektedir. Optimizasyon, kısaca en iyi çözümü bulmaktır. Bir problemin optimizasyonu, verilen kısıtlar altında o problem için mevcut olan çözümler arasında en iyi olana ulaşmak demektir. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları ise klasik yöntemlerle çözümü zor ya da uzun zaman alan problemlere, kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler bulmaya çalışan algoritmalar [1].

Bu kapsamda değerlendirilen Runge Kutta algoritması (RUN) sayısal analizde kullanılan, adi diferansiyel denklemlerin çözüm yaklaşımları için kapalı ve açık yinelemeli yöntemler ailesinin önemli bir tipidir. Mühendislik ve uygulamalı bilimlerin farklı alanlarındaki problemlerin çözümlerinde kolayca uyarlanabilir olması, ayrıca dördüncü dereceye kadar olan diferansiyel denklemlerin çözümlerinde kabul edilebilir bir zaman dilimi içerisinde başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmuştur [2].

Literatürde yer alan birçok çalışmada üretilen algoritmalar daha iyi ve kararlı hale getirilmek için algoritma içinde yer alan parametreler ya da yöntemler ilk çıkış halinden farklı formlara dönüştürülmüştür. Yapılan literatür taramasında son yıllarda oldukça geniş bir uygulama alanı bulan bazı güçlü algoritmalar, açlık oyunları arama algoritması (Hunger Games Search- HGS) [3,4], balçık kalıp algoritması (slime mould algorithm-SMA) [5,6], sinüs-kosinüs algoritması (Sine Cosine Algorithm-SCA) [7], çoklu evren optimizasyonu (Multi-Verse Optimizer-MVO) [8] ve merkezi kuvvet optimizasyonu (Central Force Optimization-CFO) [9] şeklinde sayılabilir.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: serdar.ozyon@dpu.edu.tr

Literatürdeki birçok çalışmada, üretilen benzer algoritmaları daha iyi ve kararlı hale getirmek için algoritma içinde yer alan parametreler ya da yöntemler ilk çıkış halinden farklı formlara da dönüştürülmüştür [4,6,10]. Bu çalışmada, RUN algoritmasında kullanılan parametrelerden biri olan a için, değişik aralıktaki değerler kullanılarak, RUN algoritmasının sabit boyutlu test fonksiyonları üzerindeki başarısı gözlemlenmiştir. Elde edilen eniyi değerler, aynı platform üzerinde, aynı şartlarla geliştirilmiş farklı algoritmalarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. Runge Kutta Algoritması (RUN)

RUN algoritması, stokastik bileşenlere sahip yeni bir sürü tabanlı model olarak geliştirilmiştir. Bu algoritma, metaforsuz ve temel matematiksel yapılara sıkı bağla karakterize edilmiştir. Metaforların popülasyona dayalı bir modelde kullanılması uygun olmaz, çünkü böyle bir yöntemin tek faydası optimizasyon algoritmalarında kullanılan denklemlerin gerçek doğasını gözden kaçıracağıdır. Bu nedenle RUN algoritması, Runge-Kutta (RK) tekniğinin ana mantığını ve bir ajan sürüsünün popülasyona dayalı evrimini açıklar. Aslında RK, eğimi hesaplamak ve adi diferansiyel denklemleri çözmek için özel bir formülasyon (yani, RK4 yöntemi) kullanır. RUN'un ana fikri, RK yönteminde önerilen hesaplanmış eğim kavramına dayanmaktadır. RUN algoritması, hesaplanan eğimi, arama uzayındaki gelecek vaat eden alanı keşfetmek ve sürü tabanlı optimizasyon algoritmasının mantığına göre bir popülasyon kümesinin evrimi için bir dizi kural oluşturmak için bir arama mantığı olarak kullanır [2].

RK yöntemi, Euler yöntemindeki ortalama eğim hesaplama işlemlerini bir adım daha ileri götürmektedir. Lineer interpolasyonda kullanılan eğim, aralığın sol ve sağ sınırındaki eğimler ile aralığın içinde bulunan birkaç nokta alınarak ağırlıklı ortalama olarak hesaplanır. Eğimler için kullanılan bölmeleme ve bağıl ağırlıklar için birçok alternatif bulunmaktadır. RK yöntemi birinci mertebeden adi diferansiyel denklemlerin çözüm yöntemi olarak bilinir. Bütün bu yöntemler, fonksiyonun Taylor serisi açılımında h^k (k yöntemin mertebesi olmak üzere) merteye terimlerine kadar uyumludur. Bundan dolayı ikinci, üçüncü ve dördüncü mertebeden RK yöntemleri vardır. İkinci mertebeden yöntemler h^2 'li terime kadar bütün terimlere sahiptir. Dördüncü mertebeden RK yöntemi ise h^4 'lü terime kadar bütün terimlere sahiptir. En yaygın kullanılan RK yöntemi olup klasik RK diye de isimlendirilir [2].

2.1. Dördüncü Mertebeden RK Yöntemi

Bir adi diferansiyel denklemi çözerken en çok kullanılan yöntem dördüncü mertebeden RK yöntemidir. Dördüncü merteye yöntem için y_{i+1} denklem (1)'den elde edilir.

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (1)$$

Bu denklemde k_i ağırlık değerleri ile elde edilen y değeri, tahmini artışı ifade etmekte olup k_1, k_2, k_3 ve k_4 eşitlikleri denklem (2)'de verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= f(x_i, y_i) \\ k_2 &= f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + k_1 \cdot \frac{h}{2}\right) \\ k_3 &= f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + k_2 \cdot \frac{h}{2}\right) \\ k_4 &= f(x_i + h, y_i + k_3 \cdot h) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Burada k_1 sol sınırın eğim tahminini, k_4 sağ sınırın eğim tahminini, k_2 ve k_3 ise aradaki iki noktanın eğim tahminlerini göstermektedir. k_i değerlerinin ağırlıklı ortalaması y 'deki artışı belirlemek için kullanılır ve y_{i+1} değerinin bulunması için y_i değerine eklenir. RUN algoritmasının çalışma prensipleri başlatma adımı, arama mekanizmasının kökü, çözümlerin güncellenmesi ve gelişmiş çözüm kalitesi gibi başlıklar halinde aşağıda özetlenmiştir [2].

2.2. Başlatma Adımı

Bu adımda mantık, izin verilen yineleme sayısı içinde geliştirilecek bir başlangıç sürüsü ayarlamaktır. RUN algoritmasında, N büyüklüğündeki bir popülasyon için N pozisyon rastgele oluşturulur. Popülasyonun her bir üyesi x_n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$), bir optimizasyon problemi için D boyutuna sahip bir çözümdür. Genel olarak, başlangıç konumları aşağıdaki denklem (3) tarafından rastgele oluşturulur [2].

$$x_{n,i} = L_i + rand(U_i - L_i) \quad (3)$$

Denklemdede L_l ve U_l değerleri, problemin l . değişkeninin alt ve üst sınırlarını ($l=1,2,\dots,D$), ve $rand$ ise $[0, 1]$ aralığında rastgele bir sayıyı göstermektedir. Bu kural sadece sınırlar içinde bazı çözümler üretir.

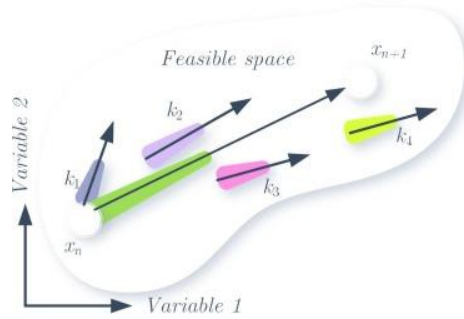
2.3. Arama Mekanizmasının Kökü

Herhangi bir optimize edicinin gücü, keşif ve kullanım modellerini oluşturmak için yinelemeli çekirdeklerine bağlıdır. Keşif çekirdeğinde, bir optimizasyon algoritması, uygulanabilir uzayın gelecek vaat eden alanlarını keşfetmek için yüksek rastgelelik oranına sahip bir dizi rastgele çözüm kullanır. Çekirdek çözümlerinin kullanımındaki küçük ve kademeli varyasyonlar ve rastgele davranışlar, keşif mekanizmasındaki diğerlerinden oldukça düşüktür. Bu çalışmada, RUN algoritmasının önde gelen arama mekanizması, bir dizi rastgele çözüm kullanarak karar uzayını aramak ve uygun bir küresel ve yerel arama uygulamak için RK yöntemine dayanmaktadır [2].

2.4. Çözümlerin Güncellemesi

RUN algoritması, optimizasyon sürecini bir dizi rastgele bireyle (çözümler) başlatır. Her yinelemede çözümler, RK yöntemini kullanarak konumlarını günceller. Bunu yapmak için RUN algoritması, bir çözüm ve RK yöntemiyle elde edilen arama mekanizmasını kullanır. Şekil 1, bir konumun RK yöntemini kullanarak konumunu nasıl güncellediğini göstermektedir. Bu çalışmada, global (keşif) ve yerel (işletme) aramayı sağlamak için, bir sonraki yinelemede konum oluşturmak için Denklem (4)'teki akış uygulanmıştır [2].

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } rand < 0,5 \\ x_{n+1} = (x_c) + SF \times SM + \mu \times x_s \quad (\text{keşif aşaması}) \\ \text{else} \\ x_{n+1} = (x_m) + SF \times SM + \mu \times x_{s'} \quad (\text{işletme aşaması}) \\ \text{end} \end{array} \right\} \quad (4)$$



Şekil 1. Bir sonraki konumu elde etmek için RK tarafından kullanılan eğimler (x_{k+1}) [2]

Denklem (4)'teki μ rasgele bir sayı olup eşitliği denklem (5)'te, x_s ve $x_{s'}$ değerleri ise denklem (6)'da ve x_c ve x_m değerleri ise denklem (7)'de verilmiştir. $randn$ ise normal dağılıma sahip rasgele bir sayıdır.

$$\mu = 0,5 + 0,1 randn \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} x_s = randn(x_m - x_c) \\ x_{s'} = randn(x_{r1} - x_{r2}) \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{array}{l} x_c = \varphi \times x_n + (1 - \varphi) \times x_{r1} \\ x_m = \varphi \times x_{best} + (1 - \varphi) \times x_{lbest} \end{array} \right\} \quad (7)$$

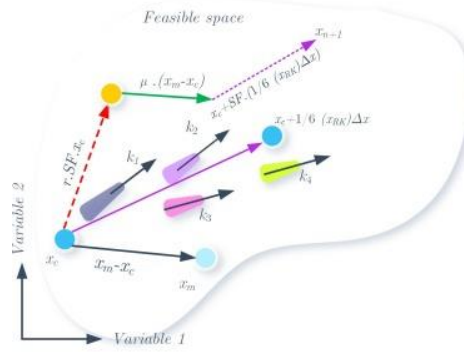
Denklemlerdeki φ (0,1) aralığında rastgele bir sayıyı, x_{best} o ana kadarki en iyi çözümlü ve x_{lbest} ise her yinelemede elde edilen en iyi konumu göstermektedir. SF adaptif bir faktördür, denklem (8)'de verildiği gibidir.

$$\left. \begin{array}{l} SF = 2(0,5 - rand) \times f \\ f = a \times \exp(-b \times rand \times \frac{i}{Maxi}) \end{array} \right\} \quad (8)$$

Denklemden a ve b iki sabit sayıyı, i yineleme sayısını ve $Maxi$ ise maksimum yineleme sayısını göstermektedir. Bu çalışmada, keşif ve işletme arasında uygun bir denge sağlamak için SF kullanılmıştır. Çeşitliliği artırmak ve keşif aramasını geliştirmek için başlangıçtaki yinelemelerde büyük bir SF değeri belirlenir; sonra, yineleme sayısı arttığında işletme arama yeteneğini desteklemek için değeri azaltılır. RUN algoritmasının ana kontrol parametreleri, (SF)'de kullanılan a ve b olan iki parametreyi içermektedir. Denklem (4)'deki kural, önerilen RUN algoritmasının, $rand < 0,5$ koşuluna dayalı olarak keşif işletme aşamalarını seçtiğini göstermektedir. RUN algoritmasının optimizasyon için kullanılan bu yeni prosedüründe $rand < 0,5$ ise, çözüm uzayında global bir aramanın uygulanmasını ve aynı anda x_c çözümü etrafında yerel bir aramanın yapılmasını sağlar. Yeni bir küresel arama (keşif) uygulayarak, algoritma arama alanının üstün gelecek vaat eden bölgelerini keşfedebilir. Diğer taraftan, $rand \geq 0,5$ ise RUN algoritması, x_m çözümü etrafında yerel bir arama gerçekleştirir. Bu yerel arama aşamasını uygulayarak, önerilen algoritma yakınsama hızını etkili bir şekilde artırabilir ve yüksek kaliteli çözümlere odaklanabilir. x_c ve x_m çözümleri etrafında yerel arama yapmak ve arama uzayında gelecek vaat eden bölgeleri keşfetmek için denklem (4) aşağıdaki gibi yeniden düzenlenir [2].

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } rand < 0,5 \\ x_{n+1} = (x_c + r \times SF \times g \times x_c) + SF \times SM + \mu \times x_s \quad (\text{keşif aşaması}) \\ \text{else} \\ x_{n+1} = (x_m + r \times SF \times g \times x_m) + SF \times SM + \mu \times x_s \quad (\text{işletme aşaması}) \\ \text{end} \end{array} \right\} \quad (9)$$

Denklemden g , $[0, 2]$ aralığında rastgele bir sayıyı göstermekte, r ise, 1 veya -1 olan bir tam sayı olup arama yönünü değiştirerek çeşitliliği artırmaktadır. Denklem (9)'a göre, yineleme (iterasyon) sayısı arttıkça x_c etrafındaki yerel arama azalır. Bir sonraki yinelemede x_{n+1} konumunun nasıl oluşturulacağını gösteren RUN algoritmasının arama mekanizması Şekil 2'de verilmiştir [2].



Şekil 2. RUN algoritmasının arama mekanizması [2]

2.5. Gelişmiş Çözüm Kalitesi (ESQ)

RUN algoritmasında, çözümlerin kalitesini artırmak ve her yinelemede yerel optimumdan kaçınmak için geliştirilmiş çözüm kalitesi (enhanced solution quality-ESQ) kullanılır. RUN algoritması, ESQ uygulayarak her çözümün daha iyi bir konuma doğru hareket etmesini sağlar. Önerilen ESQ'da, üç rastgele çözümün (x_{ort}) ortalaması hesaplanır ve yeni bir çözüm (x_{yeni1}) oluşturmak için en iyi konumla (x_b) birleştirilir. ESQ kullanılarak sonraki çözümü (x_{yeni2}) oluşturmak için denklem (10)'daki işlem yürütülür [2]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } rand < 0,5 \\ \text{if } w < 1 \\ x_{yeni2} = x_{yeni1} + r \cdot w \cdot |x_{yeni1} - x_{ort}| + randn \\ \text{else} \\ x_{yeni2} = (x_{yeni1} - x_{ort}) + r \cdot w \cdot |(u \cdot x_{yeni1} - x_{ort} + randn)| \\ \text{end} \\ \text{end} \end{array} \right\} \quad (10)$$

Denklemden w , x_{ort} ve x_{yeni1} değerleri sırasıyla denklem (11), (12) ve (13)'te verilmiştir.

$$w = rand(0, 2) \exp\left(-c \left(\frac{i}{Maxi}\right)\right) \quad (11)$$

$$x_{ort} = \frac{x_{r1} + x_{r2} + x_{r3}}{3} \quad (12)$$

$$x_{yeni1} = \beta \times x_{ort} + (1 - \beta) \times x_{best} \quad (13)$$

Denklemlerde β , $[0, 1]$ aralığında rastgele bir sayıyı, c ise seçilebilecek rastgele bir sayıyı, w artan yineleme sayısı ile azalan rastgele bir sayıyı ve r ise 1, 0 veya -1 olan bir tam sayıyı göstermektedir. Denklem (10)'ün ikinci koşulunda çeşitliliği artırmak için u parametresinin tanımlanmıştır. Bu bölümde hesaplanan çözüm (x_{yeni2}) mevcut çözümden daha iyi uygunluk göstermeyebilir (yani, $(f(x_{yeni2}) > f(x_n))$). İyi bir çözüm oluşturmak için başka bir şansa sahip olmak için başka bir yeni çözüm (x_{yeni3}) oluşturulur ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } w < 1 \\ x_{yeni3} = (x_{yeni2} - rand \cdot x_{yeni2}) + SF(rand \cdot x_{RK} + (v \cdot x_b - x_{yeni2})) \\ \text{end} \end{array} \right\} \quad (14)$$

Denklemden v , $2 \times rand$ değerine sahip rastgele bir sayıdır. Aslında, yeni çözüm (x_{yeni3}), $rand < w$ koşulu karşılandığında uygulanır. Denklem (14)'ün temel amacı, x_{yeni2} çözümünü daha iyi bir konuma taşımaktır. Bu denklemin ilk kuralında x_{yeni2} civarında yerel bir arama oluşturulur ve ikinci kuralda RUN en iyi çözüme doğru hareketle gelecek vaat eden bölgeleri keşfetmeye çalışır. Bu nedenle, en iyi çözümün önemini vurgulamak için v katsayısı kullanılır. X_{rk} 'yi hesaplamak için x_b ve x_w çözümlerinin sırasıyla x_k ve x_{yeni2} olduğu unutulmamalıdır, çünkü x_n 'nin uygunluk değeri x_{yeni2} 'kinden küçüktür (yani, $(f(x_{yeni2}) > f(x_n))$). RUN algoritmasının sözde kodu, Algoritma 1'de verilmiştir [2].

Algoritma 1. RUN Algoritmasının sözde kodu [2]

Aşama 1. Başlatma

a, b'yi gir.

x_n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) RUN algoritmasının popülasyonunu oluştur

Popülasyonun her üyesinin amaç fonksiyonunu hesaplayın

x_w , x_b ve x_{best} çözümlerini belirleyin

Aşama 2. RUN operatörleri

for $i = 1 : Maxi$

for $n = 1 : N$

for $l = 1 : D$

Denklem (9)'u kullanarak $x_{n+1,l}$ konumunu hesaplayın

end for

Çözüm kalitesini artırın

if $rand < 0,5$

Denklem (10)'u kullanarak x_{yeni2} konumunu hesaplayın

if $f(x_n) < f(x_{yeni2})$

if $rand < w$

Denklem (11)'i kullanarak x_{yeni3} konumunu hesaplayın

end

end

end

x_w ve x_b konumlarını güncelle

end for

x_{best} konumunu güncelle

$i = i + 1$

end

Aşama 3. x_{best} 'e dön.

3. Araştırma ve Bulgular

3.1. Test Fonksiyonları

RUN algoritmasının, performansının değerlendirilebilmesi için literatürde farklı araştırmacılar tarafından daha önce farklı algoritmalar ile çözümü yapılmış olan 10 adet test fonksiyonu seçilmiştir. Bu fonksiyonlar Tablo 1'de verilmiştir. Çizelgede, D değeri fonksiyonun boyutunu, S arama uzayını, f_{min} ise fonksiyonun minimum değerini göstermektedir. Bu fonksiyonlar düşük ve sabit boyutlu olup az sayıda lokal minimum noktaları olan multimodal fonksiyonlardır [11].

Tablo 1. Test fonksiyonları

	<i>Formül</i>	<i>Fonksiyon Adı</i>	<i>D</i>	<i>Aralık (S)</i>	<i>fmin</i>
1	$f_1(x) = \left(\frac{1}{500} + \sum_{j=1}^{25} \frac{1}{j + \sum_{i=1}^2 (x_i - a_{ij})^6} \right)^{-1}$	Shekel's Foxholes	2	$[-65.53, 65.53]2$	0,998
2	$f_2(x) = \sum_{i=1}^{11} \left[a_i - \frac{x_1(b_i^2 + b_i x_2)}{b_i^2 + b_i x_3 + x_4} \right]$	Kowalik	4	$[-5, 5]4$	0,0003
3	$f_3(x) = 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4$	Six-Hump Camel Back	2	$[-5, 5]2$	-1,0316
4	$f_4(x) = \left(x_2 - \frac{5.1}{4\pi^2}x_1^2 + \frac{5}{\pi}x_1 - 6 \right)^2 + 10 \left(1 - \frac{1}{8\pi} \right) \cos x_1 + 10$	Branin	2	$[-5, 10]x[0, 15]$	0,397887
5	$f_5(x) = [1 + (x_1 + x_2 + 1)^2(19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)]x \dots [30 + (2x_1 - 3x_2)^2(18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)]$	Goldstein-Price	2	$[-2, 2]2$	3
6	$f_6(x) = - \sum_{j=1}^3 c_j \exp \left(- \sum_{j=1}^3 a_{ij}(x_j - p_{ij})^2 \right)$	Hartman3	3	$[0, 1]3$	-3,86278
7	$f_7(x) = - \sum_{i=1}^4 c_i \exp \left(- \sum_{j=1}^6 a_{ij}(x_j - p_{ij})^2 \right)$	Hartman6	6	$[0, 1]6$	-3,32237
8	$f_8(x) = - \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 [(x_j - a_{ij})(x_j - a_{ij})^T + c_i]^{-1}$	Shekel5	4	$[0, 10]4$	-10,1532
9	$f_9(x) = - \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^4 [(x_j - a_{ij})(x_j - a_{ij})^T + c_i]^{-1}$	Shekel7	4	$[0, 10]4$	-10,4029
10	$f_{10}(x) = - \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^4 [(x_j - a_{ij})(x_j - a_{ij})^T + c_i]^{-1}$	Shekel10	4	$[0, 10]4$	10,5364

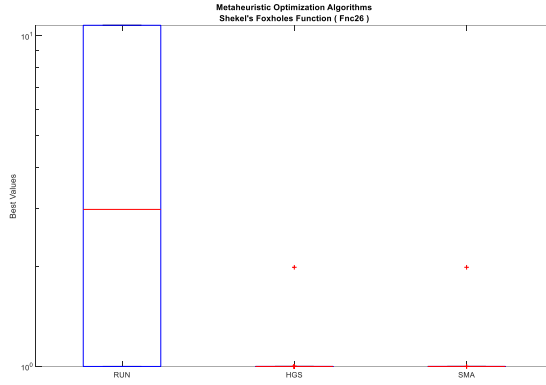
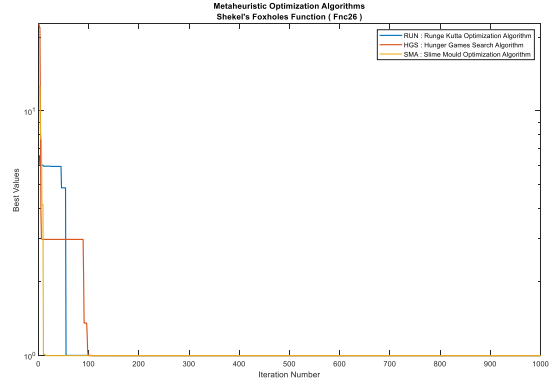
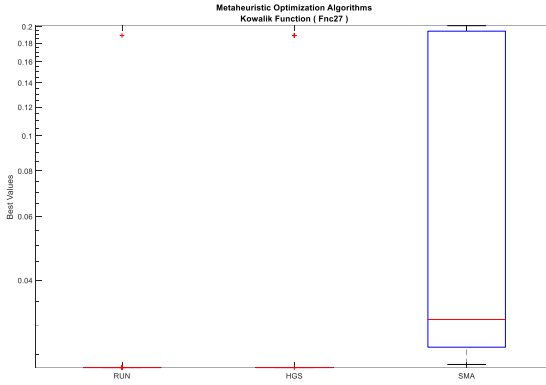
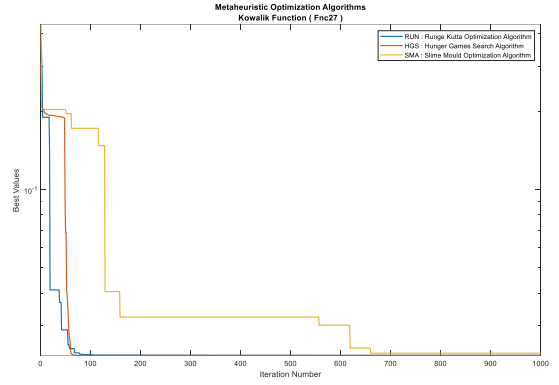
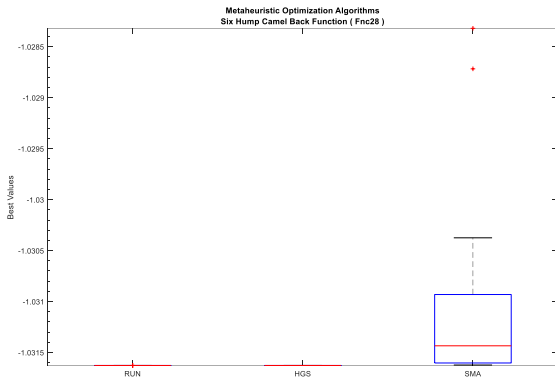
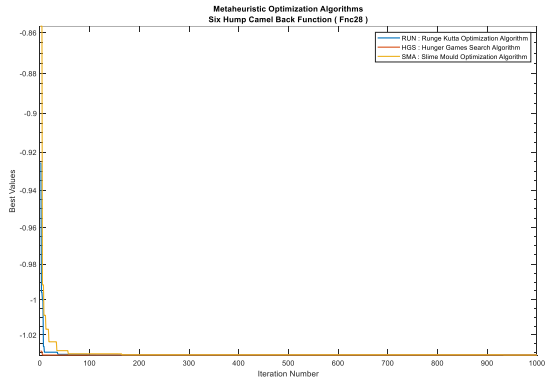
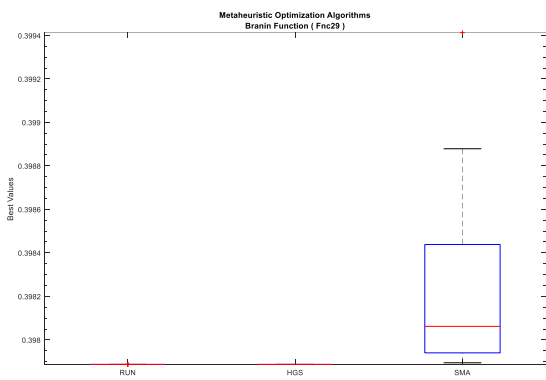
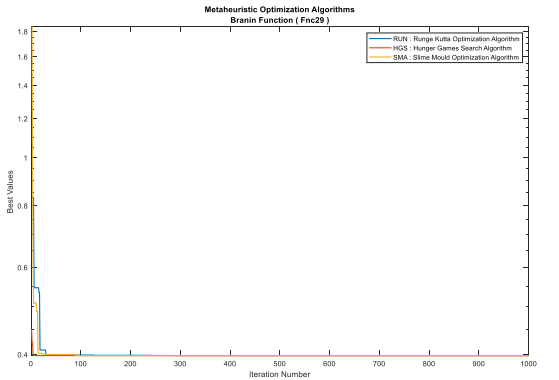
3.2. Sayısal Sonuçlar

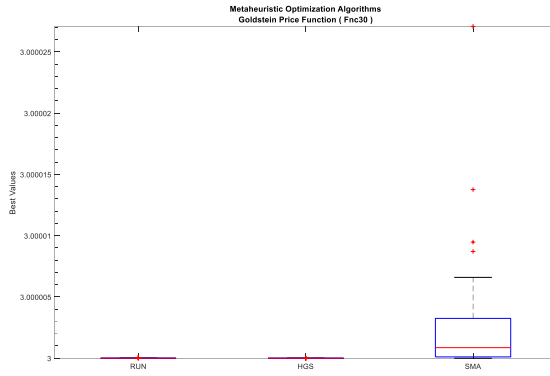
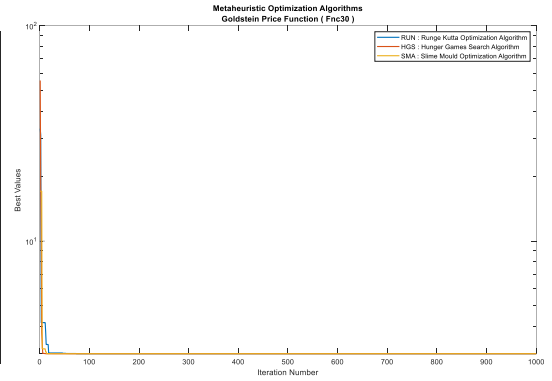
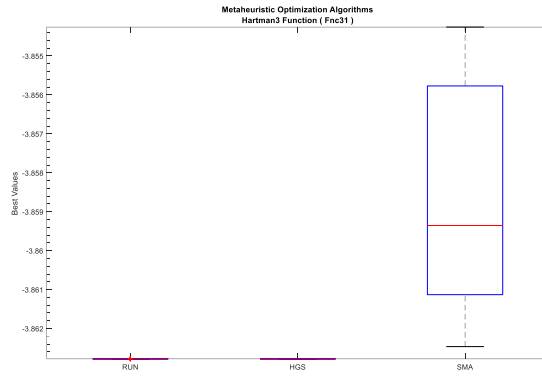
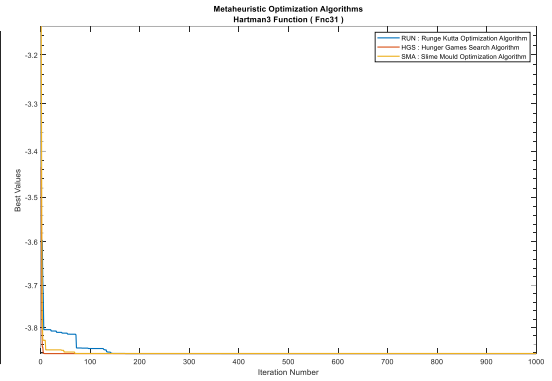
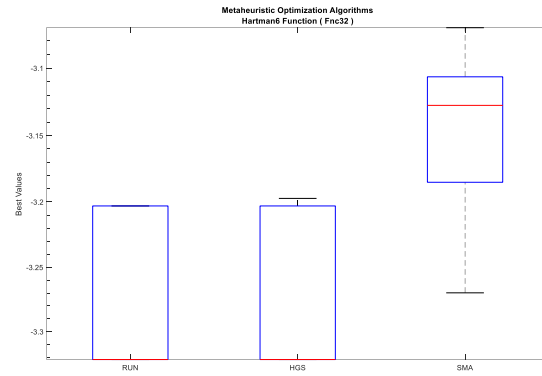
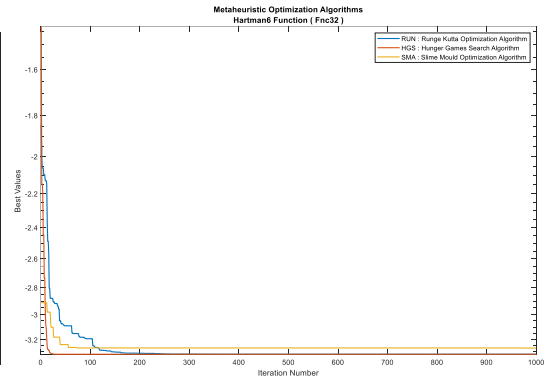
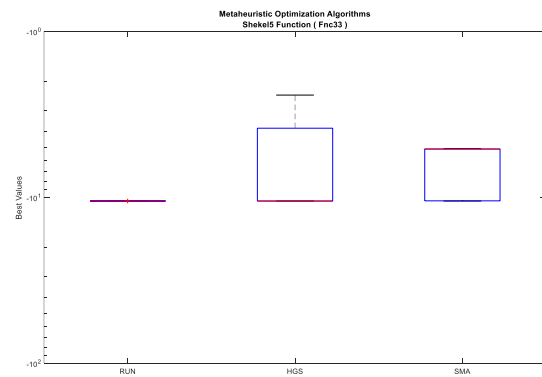
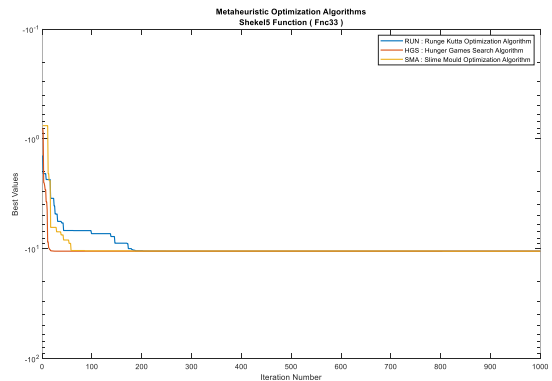
Bu çalışmada yer alan test fonksiyonlarının çözümünde kullanılan a parametresi değiştirilirken, b parametresi, literatürde RUN algoritmasıyla aynı değer olarak alınmıştır ($b=12$). Kullanılan diğer değişkenler popülasyon boyutu (N) 50, iterasyon sayısı ($iteN$) 1000 olarak alınmıştır. Karşılaştırma yapılan bütün algoritmalar için bu değerler eşit alınmıştır. Bunun nedeni algoritmalar arasındaki karşılaştırmanın doğru ve sağlıklı yapılabilmesi içindir. Böylelikle geliştirilen metotlar performans, yakınsama, kararlılık ve hız açısından daha doğru değerlendirilmiş olacaktır. Çalışmada sonuçları verilen bütün algoritmalar ve test fonksiyonlarının çözümü için MATLAB R2022b'de geliştirilen programlar AMD Ryzen 7 3800X 8-Core Processor 3.90 GHz işlemcili ve 16 GB RAM bellekli iş istasyonunda Çizelge 1'deki fonksiyonlar için 1000 iterasyon (50000 fonksiyon çağırımı, FCall) çalıştırılmıştır. Tablo 1'de RUN algoritmasına ait farklı a değerleri için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

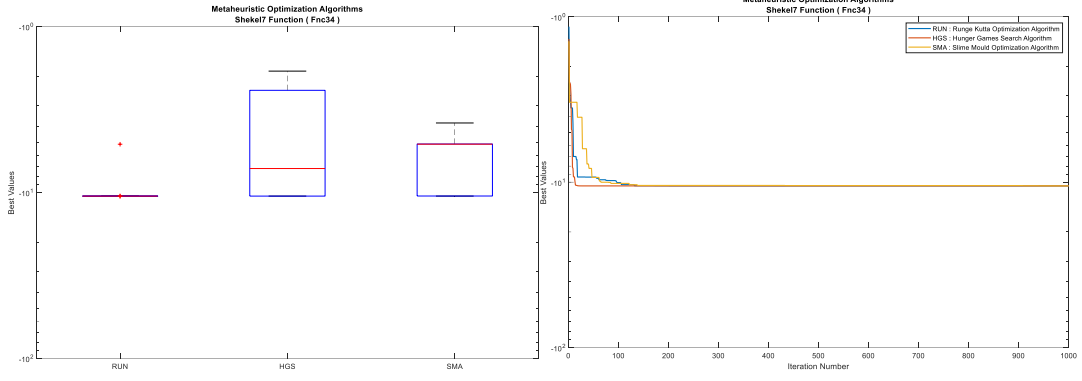
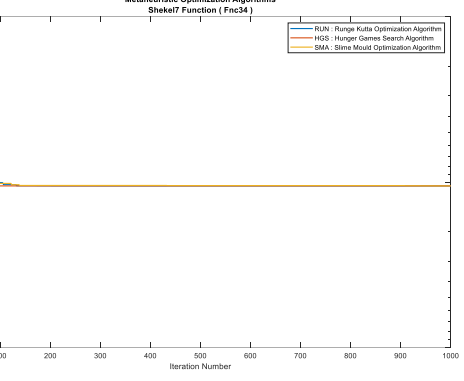
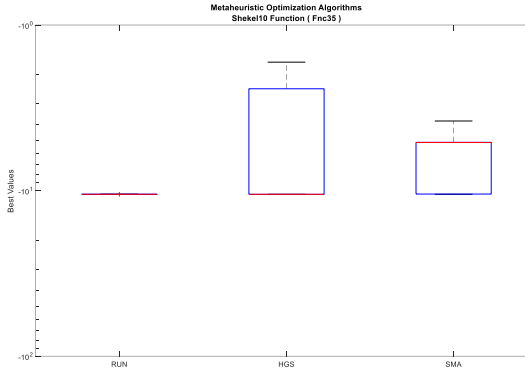
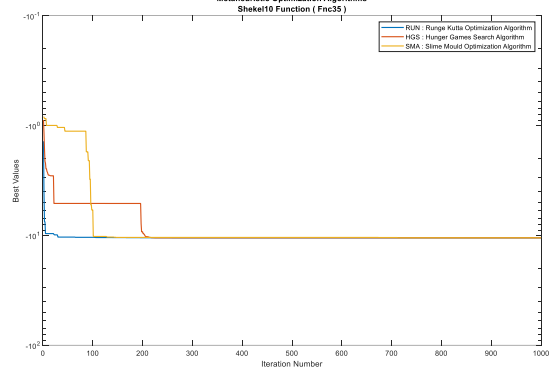
Tablo 2. Farklı a değerleri için elde edilen veriler (30 bağımsız çalışma- 1000 iterasyon)

		10	15	20	25	30
f_1	EnKötü	1.076318067e+01	1.076318067e+01	1.076318067e+01	1.076318067e+01	1.076318067e+01
	Ortalama	2.409653679e+00	2.051013549e+00	4.197281388e+00	2.834298759e+00	3.452439833e+00
	Enİyi	9.980038378e-01	9.980038378e-01	9.980038378e-01	9.980038378e-01	9.980038378e-01
	StdSapma	2.416788689e+00	1.874362411e+00	4.046554275e+00	2.805311741e+00	3.378033051e+00
	Süre (s)	0.857953	0.863482	0.863241	0.868943	0.866918
f_2	EnKötü	1.889337489e-01	1.889337487e-01	1.889337486e-01	1.889337491e-01	1.889337495e-01
	Ortalama	6.724412604e-02	5.065008662e-02	2.852470093e-02	5.065008698e-02	5.065008710e-02
	Enİyi	2.299335416e-02	2.299335416e-02	2.299335416e-02	2.299335416e-02	2.299335416e-02
	StdSapma	7.338160347e-02	6.184233369e-02	2.978721236e-02	6.184233359e-02	6.184233356e-02
	Süre (s)	0.424347	0.424921	0.424211	0.423041	0.427185
f_3	EnKötü	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00
	Ortalama	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00
	Enİyi	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00
	StdSapma	5.978281758e-14	1.327760395e-13	1.321611528e-13	1.569940362e-13	4.045270849e-13
	Süre (s)	0.444946	0.443917	0.44607	0.446965	0.448546
f_4	EnKötü	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978873578e-01	3.978873577e-01
	Ortalama	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978873577e-01
	Enİyi	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978873577e-01
	StdSapma	8.537860065e-13	9.296393350e-13	2.905012321e-12	8.092891212e-12	2.917507966e-12
	Süre (s)	0.419307	0.420943	0.419064	0.421273	0.421646
f_5	EnKötü	3.000000213e+00	3.000000241e+00	3.000000063e+00	3.000000655e+00	3.000000421e+00
	Ortalama	3.000000014e+00	3.000000034e+00	3.000000009e+00	3.000000046e+00	3.000000045e+00
	Enİyi	3.000000000e+00	3.000000000e+00	3.000000000e+00	3.000000000e+00	3.000000000e+00
	StdSapma	3.998206129e-08	6.092053966e-08	1.650698400e-08	1.276370719e-07	8.684382822e-08
	Süre (s)	0.418445	0.416773	0.417586	0.417793	0.419598
f_6	EnKötü	-3.862782145e+00	-3.862782147e+00	-3.862782142e+00	-3.862782141e+00	-3.862782145e+00
	Ortalama	-3.862782148e+00	-3.862782148e+00	-3.862782147e+00	-3.862782147e+00	-3.862782148e+00
	Enİyi	-3.862782148e+00	-3.862782148e+00	-3.862782148e+00	-3.862782148e+00	-3.862782148e+00
	StdSapma	4.260309090e-10	1.574606466e-10	1.271676321e-09	1.357638186e-09	5.817528482e-10
	Süre (s)	0.476469	0.475015	0.473804	0.474769	0.473759
f_7	EnKötü	-3.203102039e+00	-3.203102036e+00	-3.203102024e+00	-3.203102042e+00	-3.203101890e+00
	Ortalama	-3.254622583e+00	-3.274438173e+00	-3.286327525e+00	-3.286327527e+00	-3.254622574e+00
	Enİyi	-3.321995589e+00	-3.321995589e+00	-3.321995589e+00	-3.321995589e+00	-3.321995589e+00
	StdSapma	5.891598494e-02	5.824570156e-02	5.448386777e-02	5.448386526e-02	5.891599260e-02
	Süre (s)	0.483162	0.486115	0.484211	0.488591	0.486961
f_8	EnKötü	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640981e+01
	Ortalama	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01
	Enİyi	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01
	StdSapma	3.238524258e-11	9.329384990e-11	1.565975890e-10	3.552990315e-10	5.964816456e-10
	Süre (s)	0.50228	0.506674	0.503974	0.503205	0.502636
f_9	EnKötü	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-5.128480787e+00	-1.053640981e+01	-1.053640981e+01
	Ortalama	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.035614552e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01
	Enİyi	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01
	StdSapma	9.295259264e-11	8.139412708e-11	9.707529697e-01	8.082734482e-10	4.078465329e-10
	Süre (s)	0.506504	0.509365	0.504749	0.504194	0.505743
f_{10}	EnKötü	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-5.128480787e+00	-5.128480787e+00
	Ortalama	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.035614552e+01	-1.035614552e+01
	Enİyi	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01
	StdSapma	7.688594525e-11	1.763667712e-10	2.022781615e-10	9.707529697e-01	9.707529696e-01
	Süre (s)	0.507534	0.509114	0.505672	0.50273	0.505777

Tabloda elde edilen sonuçlar incelendiğinde farklı a değerlerinin ortalama sonuçları elde etmede benzer etkiler gösterildiği görülmektedir. $a=15$, $a=20$ değerleri için daha fazla test fonksiyonunda iyi sonuç elde ettiği görülmektedir. Aynı fonksiyonların aynı platforma ve aynı fonksiyon çağırım sayılarıyla RUN, SMA ve HGS algoritmalarıyla elde edilen kutu grafikleri ve yakınsama eğrileri Şekil 3.1-13.2 arasında verilmiştir.

Şekil 3.1 f_1 için kutu grafiğiŞekil 3.2 f_1 için yakınsama eğrileriŞekil 4.1 f_2 için kutu grafiğiŞekil 4.2. f_2 için yakınsama eğrileriŞekil 5.1 f_3 için kutu grafiğiŞekil 5.2 f_3 için yakınsama eğrileriŞekil 6.1 f_4 için kutu grafiğiŞekil 6.2 f_4 için yakınsama eğrileri

Şekil 7.1 f_5 için kutu grafiğiŞekil 7.2 f_5 için yakınsama eğrileriŞekil 8.1 f_6 için kutu grafiğiŞekil 8.2 f_6 için yakınsama eğrileriŞekil 9.1 f_7 için kutu grafiğiŞekil 9.2 f_7 için yakınsama eğrileriŞekil 10.1 f_8 için kutu grafiğiŞekil 10.2 f_8 için yakınsama eğrileri

Şekil 11.1 f_9 için kutu grafiğiŞekil 11.2 f_9 için yakınsama eğrileriŞekil 12.1 f_{10} için kutu grafiğiŞekil 12.2 f_{10} için yakınsama eğrileri

Şekil 3.1-13.2 arasında verilen, RUN, SMA ve HGS algoritmalarıyla elde edilen yakınsama eğrileri incelendiğinde HGS algoritmasının diğer iki algoritmaya göre oldukça iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. RUN algoritması sadece f_{10} için, SMA algoritması ise sadece f_1 için daha iyi bir yakınsama göstermiştir. Algoritmalarla elde edilen en iyi sonuçların karşılaştırmalar ise Tablo 3'te verilmiştir. Karşılaştırma yapılırken bütün sonuçlar aynı bilgisayardan alınmıştır.

Tablo incelendiğinde RUN algoritmasının en iyi çözüm ve ortalama sonuçlar bakımından f_2 , f_4 ve f_{10} da, diğer fonksiyonlarda ise HGS ve SMA algoritmalarının en iyi değerleri yakaladıkları görülmektedir. Ortalama süre açısından da RUN algoritmasının en iyi sürede sonuca ulaştığı fonksiyon görülmektedir. HGS ve SMA algoritmasının en iyi değeri yakaladığı durumlar için ortalama değerler ve standart sapmalar açısından karşılaştırıldığında ise, RUN algoritmasından daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Literatür karşılaştırması

		<i>RUN</i>	<i>HGS</i> [4]	<i>SMA</i> [6]
f_1	EnKötü	1.076318067e+01	1.992030900e+00	1.992030900e+00
	Ortalama	4.197281388e+00	1.031138073e+00	1.031138833e+00
	Enİyi	9.980038378e-01	9.980038378e-01	9.980038378e-01
	StdSapma	4.046554275e+00	1.784333185e-01	1.784331773e-01
	Süre (s)	0.863241	0.308757	0.551339
f_2	EnKötü	1.889337486e-01	1.889337486e-01	2.010852839e-01
	Ortalama	2.852470093e-02	4.511874008e-02	9.469342197e-02
	Enİyi	2.299335416e-02	2.299335416e-02	2.344709703e-02
	StdSapma	2.978721236e-02	5.640888729e-02	7.810053422e-02
	Süre (s)	0.424211	0.0521708	0.29629
f_3	EnKötü	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.028320341e+00
	Ortalama	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031130208e+00
	Enİyi	-1.031628453e+00	-1.031628453e+00	-1.031624076e+00
	StdSapma	1.321611528e-13	5.438959822e-16	7.722245746e-04
	Süre (s)	0.44607	0.0601073	0.297698

Tablo 3. Literatür karşılaştırması (devamı)

		<i>RUN</i>	<i>HGS [4]</i>	<i>SMA [6]</i>
f_4	EnKötü	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.994133960e-01
	Ortalama	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.982144398e-01
	Enİyi	3.978873577e-01	3.978873577e-01	3.978950035e-01
	StdSapma	2.905012321e-12	0.000000000e+00	3.650342261e-04
	Süre (s)	0.419064	0.0448801	0.285088
f_5	EnKötü	3.000000063e+00	3.000000000e+00	3.000027083e+00
	Ortalama	3.000000009e+00	3.000000000e+00	3.000003146e+00
	Enİyi	3.000000000e+00	3.000000000e+00	3.000000001e+00
	StdSapma	1.650698400e-08	1.329798179e-15	5.559972441e-06
	Süre (s)	0.417586	0.0447413	0.280431
f_6	EnKötü	-3.862782142e+00	-3.862782148e+00	-3.854258088e+00
	Ortalama	-3.862782147e+00	-3.862782148e+00	-3.858693374e+00
	Enİyi	-3.862782148e+00	-3.862782148e+00	-3.862466113e+00
	StdSapma	1.271676321e-09	2.467260961e-15	2.666409285e-03
	Süre (s)	0.473804	0.0732032	0.317267
f_7	EnKötü	-3.203102024e+00	-3.197382698e+00	-3.070466802e+00
	Ortalama	-3.286327525e+00	-3.270284411e+00	-3.145451199e+00
	Enİyi	-3.321995589e+00	-3.321995589e+00	-3.269828897e+00
	StdSapma	5.448386777e-02	5.914250450e-02	5.227637375e-02
	Süre (s)	0.484211	0.0824719	0.356651
f_8	EnKötü	-1.053640982e+01	-2.421734027e+00	-5.089399323e+00
	Ortalama	-1.053640982e+01	-8.479465018e+00	-7.276342830e+00
	Enİyi	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053396209e+01
	StdSapma	1.565975890e-10	3.423413380e+00	2.641601190e+00
	Süre (s)	0.503974	0.092968	0.374028
f_9	EnKötü	-5.128480787e+00	-1.859480301e+00	-3.818636754e+00
	Ortalama	-1.035614552e+01	-6.688432405e+00	-7.192217548e+00
	Enİyi	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053516915e+01
	StdSapma	9.707529697e-01	3.874415479e+00	2.736496390e+00
	Süre (s)	0.504749	0.0941297	0.370598
f_{10}	EnKötü	-1.053640982e+01	-1.676553250e+00	-3.800228293e+00
	Ortalama	-1.053640982e+01	-7.097308651e+00	-6.605600513e+00
	Enİyi	-1.053640982e+01	-1.053640982e+01	-1.053325327e+01
	StdSapma	2.022781615e-10	3.952848584e+00	2.587773966e+00
	Süre (s)	0.505672	0.0945474	0.370248

4. Sonuçlar

Bu çalışmada literatürde son yıllarda ortaya atılmış RUN, sabit boyutlu multimodal test fonksiyonlarına uygulanmıştır. Algoritmanın farklı parametre değerleri için de fonksiyonların minimum noktasını bulmak için çözüm aranmıştır. RUN algoritmasıyla elde edilen sonuçlar, literatürde farklı çalışmalarda uygulama alanı bulan SMA ve HGS sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma RUN algoritmasının test fonksiyonları üzerindeki performansının araştırılması ve algoritmaya ait farklı parametre değişimlerdeki davranışlarının gözlemlenmesi için bir ön çalışma niteliği taşımaktadır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda algoritma elektrik elektronik mühendisliği alanında önemli bir yere sahip olan farklı yapılarıdaki ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanacaktır.

Bilgi

Bu çalışma; 4. Uluslararası Palandöken Bilimsel Araştırmalar Kongresinde özet bildiri olarak sunulmuştur.

Referanslar

- [1] Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., Test fonksiyonları için kaos tabanlı yerçekimsel arama algoritmaları (CbGSA-X), Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(3),1771-1793, 2020.
- [2] Ahmadianfar, I., Heidari, AA., Gandomi, AH., Chu, X., Chen, H. RUN beyond the metaphor: An efficient optimization algorithm based on Runge Kutta method, Expert Systems with Applications, 181, 2021, 115079.

- [3] Yang, Y., Chen, H., Heidari, AA., Gandomi, AH., Hunger games search: Visions, conception, implementation, deep analysis, perspectives, and towards performance shifts, *Expert Systems with Applications*, 177, 2021, 114864.
- [4] Çam, H., Yaşar, C., Özyön, S. Açlık oyunları arama algoritmasının değişken boyutlu test fonksiyonlarına uygulanması, 4. Uluslararası Palandöken Bilimsel Çalışmalar Kongresi, Erzurum, 880-891, 28-29.04.2022.
- [5] Li, S., Chen, H., Wang, M., Heidari, AA., Mirjalili, S., Slime mould algorithm: a new method for stochastic optimization, *Future generation computer systems*, 111, 300-323, 2020.
- [6] Kaya, MF., Yaşar, C., Özyön, S. Meta-Sezgisel Balçık Kalıp Algoritmasının Performans Analizi - Performance Analysis of Meta Heuristic Slime Mould Algorithm, 4. Uluslararası Palandöken Bilimsel Çalışmalar Kongresi, Erzurum, 910-921, 28.04.2022.
- [7] Mirjalili, S., SCA: A sine cosine algorithm for solving optimization problems, *Knowledge-Based Systems*, 96, 120-133, 2016.
- [8] Mirjalili, S., Mirjalili, SM., Hatamlou, A. Multi-verse optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization, *Neural Computing and Applications*, 27, 495-513, 2016.
- [9] Formato, R., Central force optimization: A new metaheuristic with applications in applied electromagnetics, *Progress in Electromagnetics Research*, 77(1), 425-491, 2007.
- [10] Özyön, S., Durmuş, B., Kuvat, G. Özcan, G. Yüksek boyutlu problemlerin optimizasyonunda parametre seçiminin genetik algoritma performansına etkileri, *International Multidisciplinary Congree of Eurasia (IMCOFE'15)*, Üsküp, 01.09.2015.
- [11] Özyön, S., Yaşar, C. Temurtaş, H. Incremental gravitational search algorithm for high-dimensional benchmark functions, *Neural Computing and Applications*, 31(8), 3779-3803, 2019.

Investigation Effect of Magnet Skew on Thrust Force in Linear Brushless Direct Current Motor with FEM

Mustafa Eker ^{a,1}

^a Electrical and Electronics Engineering, Institute of Graduate Studies, Tokat Gaziosmanpasa University, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-1085-0968

Abstract

This study is concerned with the reduction of ripple in the thrust force produced in a linear Brushless Direct Current Motor (BLDC). To reduce the ripples in the generated thrust force, different methods such as structural solutions are applied both in the control part and in the production phase of the motor. In this study, skew application, which is one of the mechanical methods, is proposed. For this reason, the changes in the thrust force of a BLDC motor with a surface magnet-placed translator are investigated by applying different levels of skew to the magnets. First, a 3D solid model of the motor was created. A pole on the translator of the linear BLDC motor is composed of 3 equal magnet groups. For each skew level, the magnets were shifted 3 mm independently of each other and the thrust force values were examined. For this process, a 3D magnetostatic analysis of the linear BLDC motor was performed. The results obtained show that the skewing process applied to the magnets reduces the ripples in the thrust curve up to a certain point, after which no significant improvement in the ripple is observed, while the average force value decreases significantly.

Keywords: “Linear BLDC, thrust force, ripple, step skew.”

1. Introduction

Considering energy efficiency in recent years, the aim is to achieve low energy consumption and high performance from electrical machines. Therefore, it is aimed to use structures with high acceleration, precise position control, simpler structure, and low maintenance for this process. One of the structures that provide these features is the linear motor structure[1]–[3]. Although the history of linear motors dates to ancient times, their usage areas have started to increase gradually nowadays. Linear motors have different types like rotary machines. One of these types is the linear Brushless Direct Current Motor (BLDC), which is included in the group containing magnets. Linear BLDC motors are frequently preferred in speed, acceleration, and position-controlled drive systems such as CNC machines, robotics and automation applications, rocket positioning systems, gene sequencing, conveyor systems, crane systems and magnetic levitation, electromagnetic maneuvering, high-speed transportation, etc[4], [5].

Linear BLDC motors are produced in different structures and are defined by various names[5], [6]. Depending on the number of stator/translators, and magnet position, various definitions are used in literature [4], [7]. They can also be named according to whether the cores used are slotted or slotless. In general, a linear BLDC motor is also defined as a simple structure. The most obvious advantages of linear BLDC motors are that the stator windings and general structure are easy to install, the air gap can be adjusted more easily than radial motors, the end winding resistance is short, and the flux distribution has lower harmonics.

One of the main disadvantages of linear BLDC motors is the ripples in the generated forces. These force ripples are mainly caused by cogging force and mutual force. The flux density function of the magnets used in the Linear BLDC motor is not always uniform, so ideal square wave and trapezoidal wave are not formed. In addition, the magnets are not endless structures but have corner points. These corners cause deviations in the flux distribution towards the end. In addition, due to the slotted structure, the reluctance value changes, and this causes distortions in the flux distribution. These distortions cause ripples in the generated thrust and pulling forces.

Various methods have been proposed and applied to minimize the force ripples that occur in a linear BLDC motor in [8]–[13]. Some of these methods are aimed at reducing the ripple value by modifying the structure of the motor. The process of

¹ Corresponding Author
E-mail Address: mustafa.eker@gop.edu.tr

skewing the magnets is one of these methods. Generally, magnets are produced by skewing during the production phase and mounted on the translator. This increases the production cost and causes problems in the possible procurement process. Another method is to reduce the ripple value with step skewing. This study aims to reduce the torque ripple in the thrust force of the linear motor with a step skew. For this reason, the magnets in the translator are subjected to a skewing process.

This study consists of 5 sections. First, there is the Introduction section, then the structure and working principle of the preferred motor are given. Section 3 presents the mathematical expressions for the linear BLDC motor and the solution to the problem. Section 4 describes the modeling of the motor and the FEM process. Results are given in the Result section and evaluation is made in the Conclusion section.

2. Basic Working Principle and Structure of Linear BLDC Motor

In their simplest form, linear motors can be defined as the linearized state of a rotary motor cut along its radius. The operation of a linear motor has the same principle as that of a rotary machine. However, in the linear motor, the torque expression used in rotary machines is replaced by the force expression. The Fig. 1 shows the basic view of the single-sided linear BLDC and the 3D solid model of the proposed structure[14].

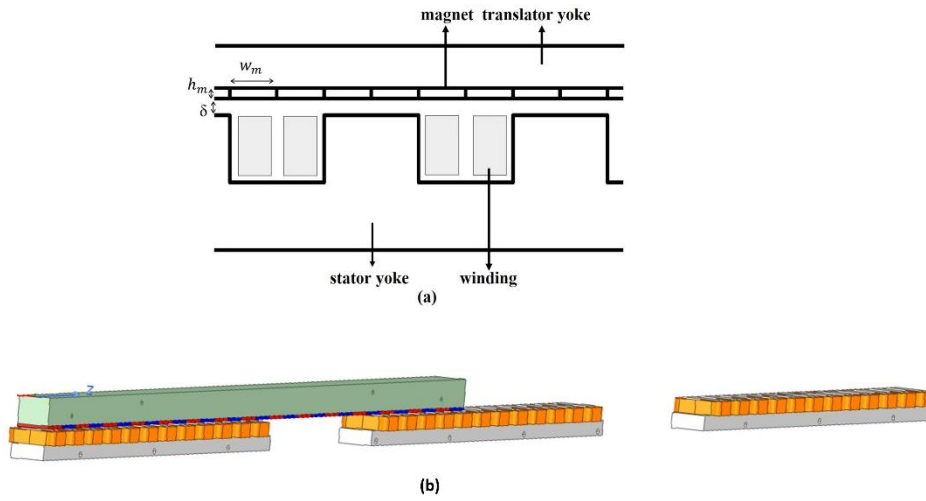


Fig. 1. a) The basic view of the single-sided Linear BLDC b) 3D solid model of the proposed model

The working principle of the linear motor is basically similar to rotary machines. However, while the output parameter in rotary machines is defined by torque, the equivalent of this expression in linear machines is given as force. Linear BLDC motors could move with a trapezoid DC excitation. BLDC motors are operated with the excitation of two phases of a 3-phase source. For linear BLDC motors to move, it is very important to determine the rotor position relative to the stator. It is a necessary condition for the excitation of the appropriate windings. The use of hall sensors to determine the position is a very common method.

Two of three phases are excited to drive the BLDC motor driving system. There is just one mode of operation for two switches. Three-phase stator windings are assumed to be symmetrically star-connected and the parameters are assumed to be constant, also assuming that the values of self and mutual inductance do not change, the 3-phase voltage equation is as follows[15];

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_a & M & M \\ M & L_b & M \\ M & M & L_c \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

Some assumptions are made when generating the equivalent circuits of the motors. For BLDC, it is assumed to be operated at rated conditions with star winding connection. In this way, the current-induced saturation effect is neglected. Stator resistances of all windings are equal, self, and mutual inductances are taken constant and iron losses are neglected. With these assumptions, BLDC can be represented as follows.

$$u_a - u_o = R_a \cdot i_a + \frac{d(L_a \cdot i_a + M \cdot i_b + M \cdot i_c)}{dt} + e_a \quad (2)$$

$$u_b - u_o = R_b \cdot i_b + \frac{d(M \cdot i_a + L_b \cdot i_b + M \cdot i_c)}{dt} + e_b \quad (3)$$

$$u_c - u_o = R_c \cdot i_c + \frac{d(M \cdot i_a + M \cdot i_b + L_c \cdot i_c)}{dt} + e_c \quad (4)$$

Where u_a, u_b, u_c , are the phase winding voltages, phase resistances a, b, and c are denoted R_a, R_b , and R_c respectively. The currents of phases a, b, and c are given i_a, i_b ve i_c respectively and the self-inductances are given by L_a, L_b ve L_c . M the mutual inductance and e_a, e_b ve e_c are the back emf values. Equation 5 gives u_o which is the differential voltage between the star connection point of the windings and the power stage natural zero and is expressed fallows,

$$u_o = \frac{1}{3} \sum_{j=a,b,c} u_j - \sum_{j=a,b,c} e_j \quad (5)$$

In 3-phase systems, the sum of the three phase current values is assumed to be zero. Also, considering the concentrated winding configuration, the mutual inductance is negligibly small. Also, with the above-mentioned assumptions, if Equations 2-4 are rewritten;

$$u_a - u_o = R_a \cdot i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (6)$$

$$u_b - u_o = R_b \cdot i_b + L_b \frac{di_b}{dt} + e_b \quad (7)$$

$$u_c - u_o = R_c \cdot i_c + L_c \frac{di_c}{dt} + e_c \quad (8)$$

If the electromagnetic force F_e expression is written from these expressions.

$$F_e = \frac{e_a \cdot i_a + e_b \cdot i_b + e_c \cdot i_c}{v} \quad (9)$$

Motor speed depends on the interaction of the electromagnetic force and the force due to the load. Equation 10 can be written for the motor speed,

$$m \frac{dv}{dt} = F_e - F_{load} - D \cdot v \quad (10)$$

Where D is the damping coefficient, m is the mass, F_{load} is the load force and v is the speed. For rotating machine considering motor dynamics,

$$T_m = J \frac{d\omega}{dt} + T_{load} - B \cdot \omega \quad (11)$$

The torque expression can be written as Equation 11. If this motion is rewritten for one dimension, the Equation 12 for linear machines is obtained.

$$F_m = m \frac{dv}{dt} + F_{load} + D \cdot v \quad (12)$$

$$F_m(s) = s \cdot m \cdot v(s) + F_{load}(s) + D \cdot v(s) \quad (13)$$

The equation 13 gives the motor dynamics in the frequency domain. Where $F_m(s), F_{load}(s)$ and $v(s)$ represent the laplace transforms of F_m, F_{load} and v respectively.

From the dynamic equation of the motor, it is observed that mass, friction force, and load force act on the moving part. So far, the electrical formulation is given the basic equations of the DC motor and includes the nonlinear dynamics. These equations make some assumptions. Some of these assumptions are that the magnetic circuit is linear, and the friction force is always constant. The BH characteristics of the motor parts do not change linearly. For example, the saturation of the material is not the same in all regions and the magnetic behavior changes completely due to the saturation point. On the other hand, it is assumed that the friction force does not change with motor speed and therefore only viscous friction exists. These values cause a small deviation from the actual results.

In DC motors the magnetic flux is generated by the stator windings. The stator will be assumed to have a single coil characterized by an inductance L_e due to the windings and a resistance R_e due to the distributions in the conductor. The equation for such an electrical circuit is given by,

$$V_e(t) = L_e \frac{di_e}{dt} + R_e \cdot i_e + e \quad (14)$$

If the Equation 10 is transformed in the Laplace domain of the signal assuming linearity;

$$\frac{i_e(t)}{V_e(t) - e} = \frac{K_e}{1 + T_e s} \quad (15)$$

It can be written as Equation 15. where $K_e = \frac{1}{R_e}$ is the stator gain and $T_e = \frac{L_e}{R_e}$ is the stator time constant.

3. Electromagnetic FEM Analysis

One of the methods used in the design/development of electrical machines is the FEM method. The design or state analysis of the linear BLDC motor can be obtained by FEM using some assumptions and limitations. The material properties of the motor parameters and the operating conditions of the motor are defined in the system. In this way, results can be developed in nonlinear situations. The accuracy of these solutions is directly related to the meshing process. With the mesh, the vector potential values of the motor parts can be calculated for each situation. Current sheets J used to give excitation in the stator winding [16],

$$\vec{J}(t) = J(t) \vec{k} \quad (16)$$

In magnetic field analysis, magnetic field strength \vec{H} and flux density \vec{B}

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B} - \frac{1}{\mu} \vec{M}_0 \quad (17)$$

In the Equation 17, μ and M_0 represent the magnetic permeability of materials and the magnetization vector of permanent magnets, respectively. The flux value of the magnets and the rotor core is defined as a single value. In this way the Poissons Equation is expressed as Equation 18,

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial B}{\partial y} = -(J + J_m) \quad (18)$$

In the Equation 18, the vector potential and current density corresponding to the magnets are A and J_m respectively. The current density is given by the Equation 19,

$$J_m = \text{rot}_z(\mu^{-1} \vec{M}_0) = \frac{\partial(\mu^{-1} \vec{M}_{0y})}{\partial x} - \frac{\partial(\mu^{-1} \vec{M}_{0x})}{\partial y} \quad (19)$$

The calculated longitudinal force can be found using the volume integral of the vector product of the current sheet, J , and the flux density, B , as given in Equation (20).

$$\vec{F} = \int_v \vec{J} \times \vec{B} \cdot dV \quad (20)$$

There are three types of magnetic forces in an electric machine. The Lorentz force acting on the windings inside the magnetic field, the magnetostrictive force acting inside the iron core, and the reluctance force acting on material boundaries with different magnetic properties. The reluctance force of an electric motor is the electromagnetic force, which contains two components: radial and tangential components. In a two-dimensional SEY calculation, the material boundary is chosen as the edge of the stator end. The two components of the electromagnetic force can be calculated according to Equations 21 and 22 [17]:

$$F_{rad} = \frac{L_{stk}}{2\mu_0} \oint_l (B_n^2 - B_t^2) dl \quad (21)$$

$$F_{tan} = \frac{L_{stk}}{\mu_0} \oint B_n \cdot B_t dl \quad (22)$$

Where B_n and B_t are the normal and tangential component of the flux density respectively, l is the stator end edge length and L_{stk} is the length of the package length of the machine.

For FEM analysis, a 3D solid model of the motor was created, and material definitions were made. According to the equation, the force to be generated is related to the magnetic flux. Another factor affecting the magnetic flux is the type of material. For this reason, the BH curves of the materials were activated by defining the material in the solid model created. Some parameters and material type of the linear BLDC motor part are given in the Table 1.

Table 1. Linear BLDC motor parameters

Description	Value / defination
Supply voltage (V)	24
Axial length of each coil (mm)	30
One pole magnets length (mm)	30
Length of stator (mm)	480
Sum of length of stator (mm)	1920
Length of translator (mm)	900
Magnet width (mm)	10
Magnet length (mm)	30
Magnet thickness (mm)	2
Stator	M350 steel
Stator windings	Copper
Translator	AISI 1045 Steel
Magnets	N40SH

The accuracy of the results in FEM analysis is related to the number of meshes created in the materials. While the increase in the number of meshes is an important parameter in approaching the exact result, it causes an increase in the analysis time. For this study, fine mesh structure from standard mesh definitions was used. The obtained mesh structure is given in the Fig. 2. At the end of the meshing process, the total mesh is 984039 pieces, 271835 in the stator, 137863 in the translator, and 139539 in the magnets.

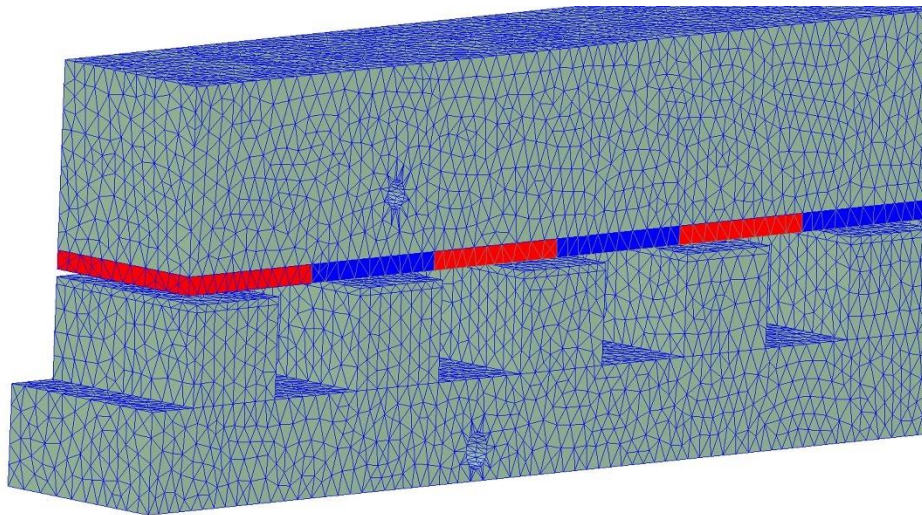


Fig. 2. Mesh structure

4. Proposed Method

In order to reduce ripple in thrust force in motors, different methods are used in the structural or driving method [18]–[21]. In this study, the step skew method is applied to the magnets in the translator to produce a solution in the structural methods. There are 3 equal magnets on one pole in the translator. One of these magnets is kept fixed and the other two magnets are shifted in the direction of the axis where the thrust force occurs at certain rates. The outside magnet was shifted at a maximum value of 30 mm.

This value corresponds to one magnet length. In the case of a maximum skew level, the magnet in the middle was shifted by 15 mm in the same axis and direction. Table 2 shows the nomenclature of the magnets according to the skew state. The Fig. 3 shows the image of the skewing process applied. Fig. 3a show the normal translator called step_0mm. Fig. 3b shows the image of the maximum shift called step_30mm.

Table 2. The nomenclature of the magnets according to the skew state

Skew denomination	1 st magnet	2 nd magnets	3 rd magnets
Step_0mm	Fixed	fixed	fixed
Step_3mm	Fixed	1.5 mm	3.0 mm
Step_6mm	Fixed	3.0 mm	6.0 mm
Step_9mm	Fixed	4.5 mm	9.0 mm
Step_12mm	Fixed	6.0 mm	12.0 mm
Step_15mm	Fixed	7.5 mm	15.0 mm
Step_18mm	Fixed	9.0 mm	18.0 mm
Step_21mm	Fixed	10.5 mm	21.0 mm
Step_24mm	Fixed	12.0 mm	24.0 mm
Step_27mm	Fixed	13.5 mm	27.0 mm
Step_30mm	Fixed	15.0 mm	30.0 mm

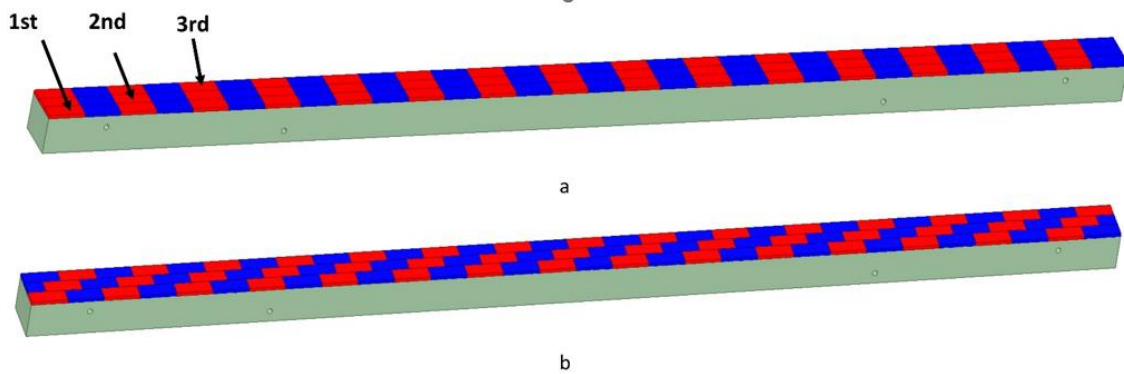


Fig. 3. Translator magnet states a) step_0mm b) step_30mm

5. Result

Technical information of the motor used is given in Table 1. The 3D solid motor was created in these dimensions, and the thrust force and pulling force occurring in the motor were examined by performing a FEM analysis. In Fig. 4, the thrust force curves of the structures without and with skew are given together. Fig. 5 shows the Fast Fourier Transform (FFT) plots of the force curves.

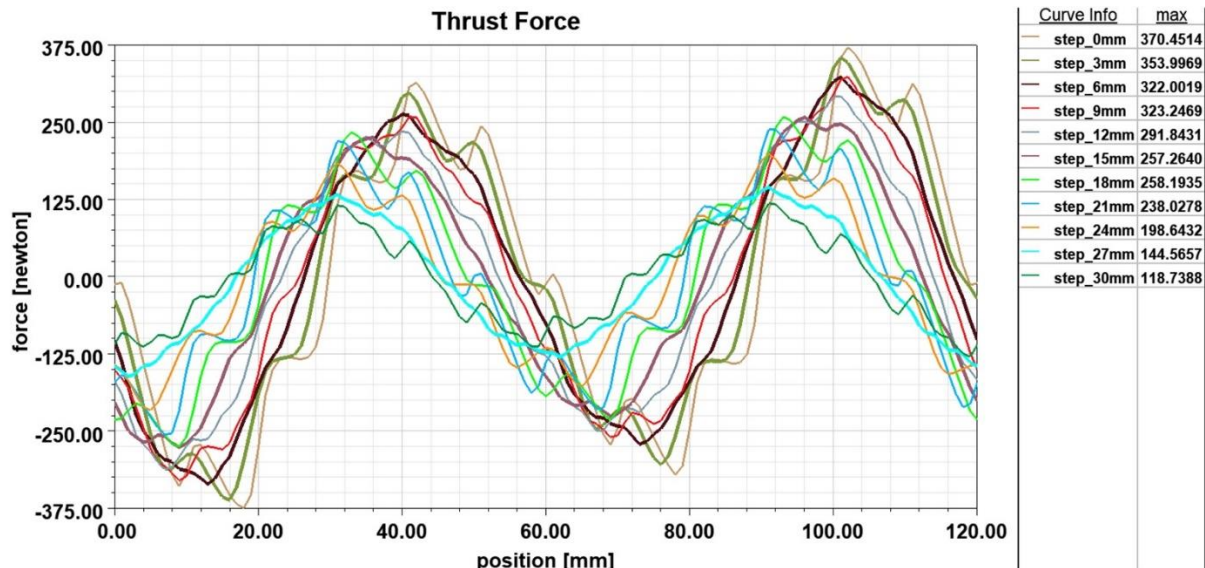


Fig. 4. Thrust force for all skew levels

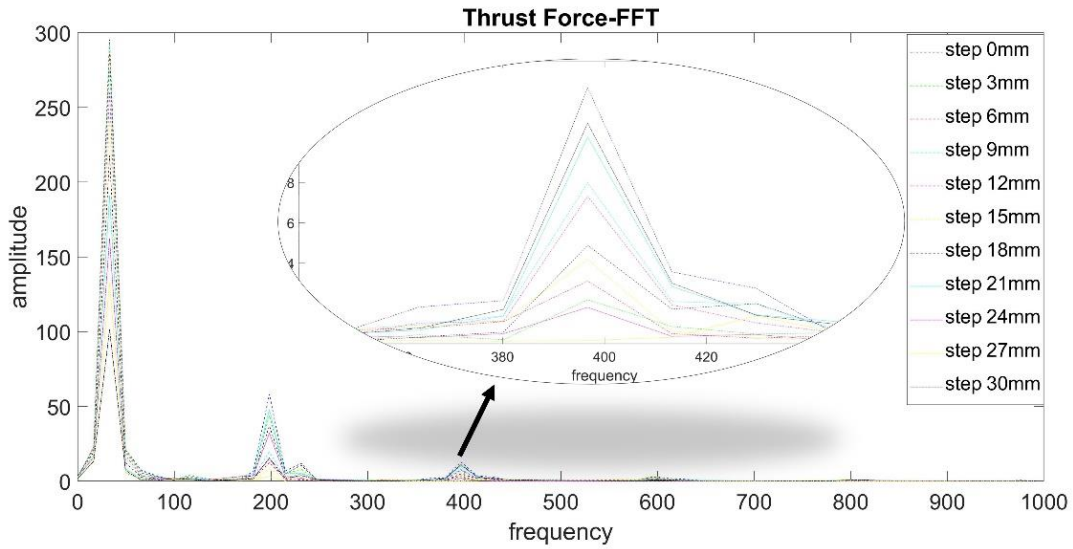


Fig. 5. FFT of thrust force

Fig. 4 shows the thrust curves produced by the linear BLDC motor for different skew values, and the FFT plots of these curves are given in Fig. 5. When the curves are analyzed, it is observed that the maximum value of the force decreases as the amount of skew increases. While the maximum force produced by the motor of the translator without skew is 370N, this value is obtained as 257N in the structure with 15 mm skew and 118N in the structure with 30 mm skew. The ripple values of the thrust force show improvement with the skew level. However, the decrease in the force value produced by the skew process shows that the optimum skew value should be determined. For this reason, FFT graphs of the force curves were obtained. The results show that the skew level reduces the ripples in the generated force curves. It is seen that the harmonics occurring due to ripples are reduced. When the graphs are analyzed, when the maximum force generated and the ripple values are evaluated together, it is seen that the structure with a 6 mm skew is the most suitable. Although the best harmonic is shown in the structure of 27 mm skew level, the force produced at this skew value is very low.

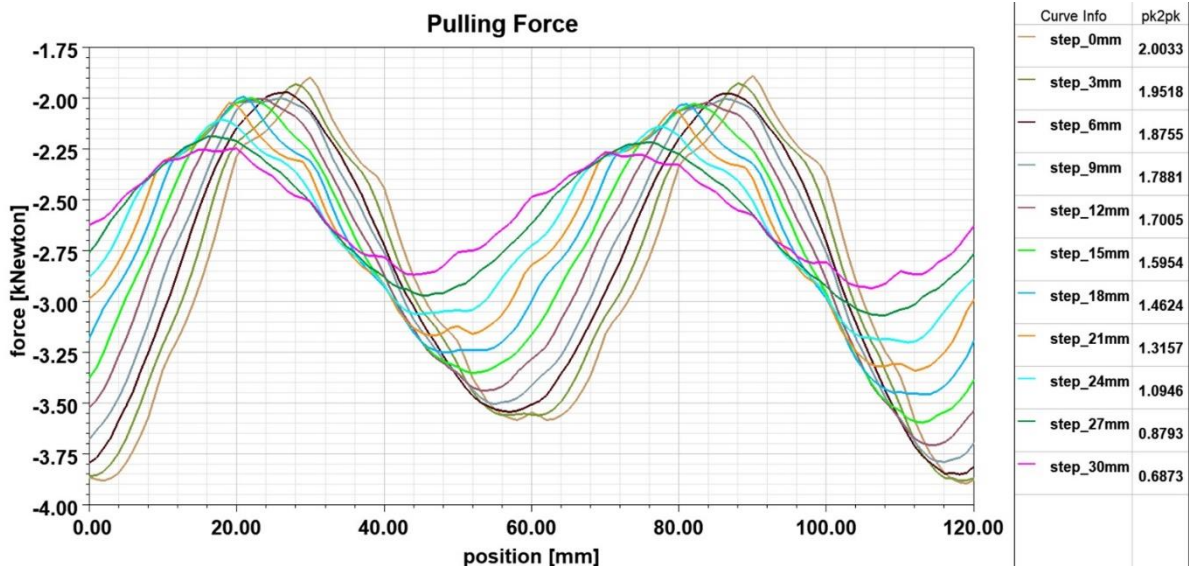


Fig. 6. Pulling force for all skew levels

Fig. 6 shows the curves of the pulling forces produced by the linear BLDC motor for different skew levels. Like the ripple value occurring in the thrust force, the ripple value occurring in the pulling force curve decreases with the skew effect. The same effect of the skew values, where successful results were obtained in thrust force value, also showed the same effect in pulling force value. In the average values of pulling force, a decrease from 2 kN to 0.6 kN was observed.

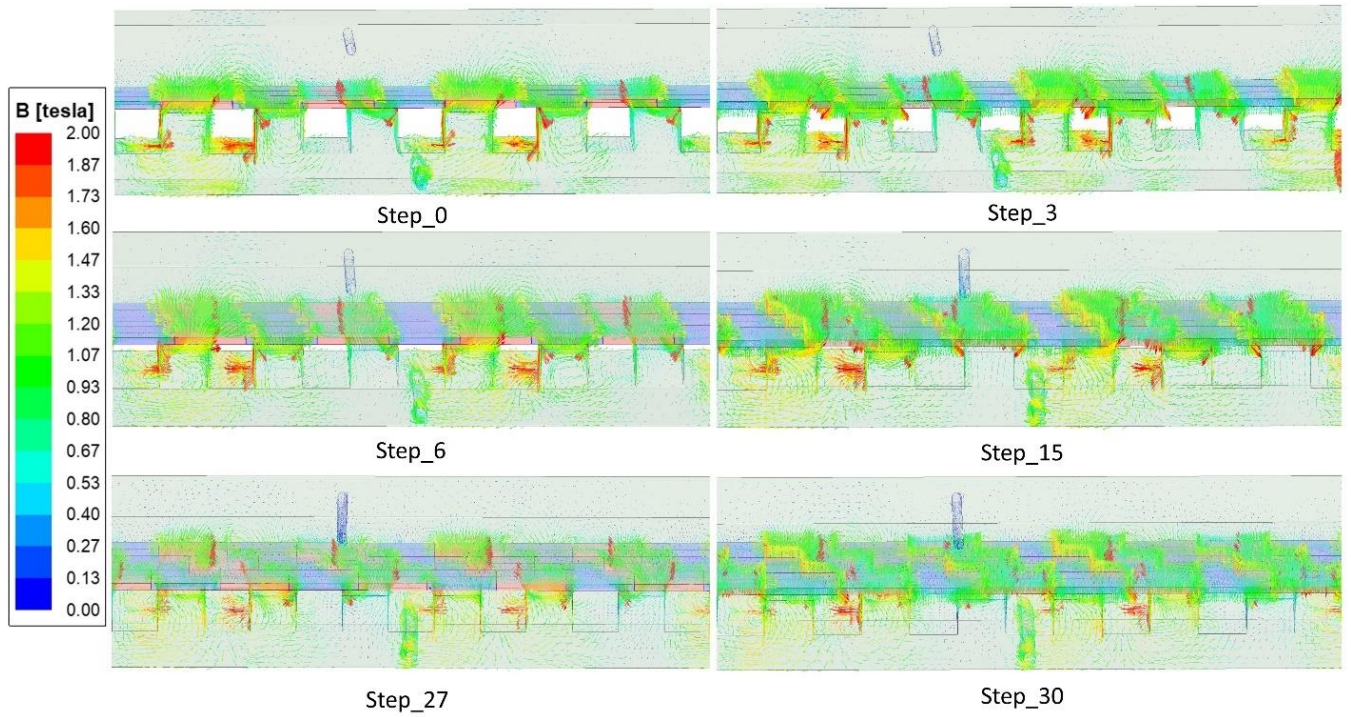


Fig. 7. Magnetic flux vector for some skew levels

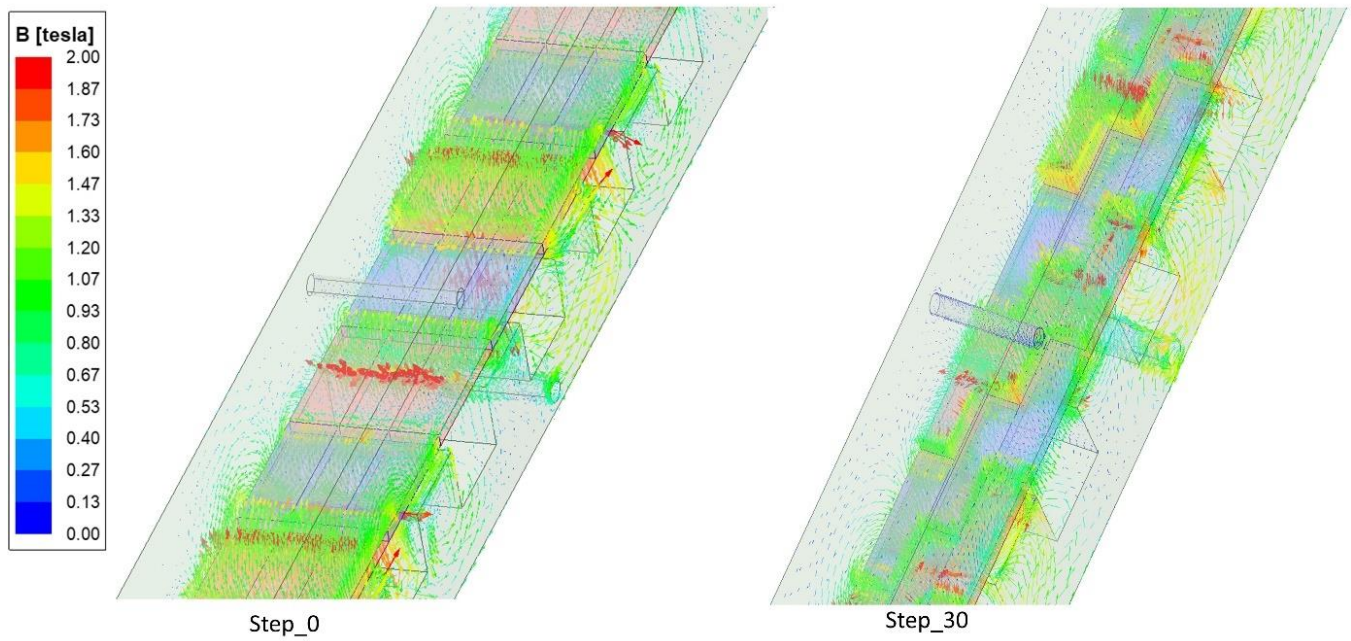


Fig. 8. Magnetic flux vector

Fig. 7 show the flux vectors generated in the motor for some skew levels. The distribution of the flux provided by the magnets at different levels of skew is also shown in detail in Fig. 8. When the figures are examined, it can be seen that the flux vectors produced according to each skew condition are displaced and therefore changes in the flux paths are realized. In this way, although there is a homogeneity in the flux distribution, there is a decrease in the forces generated. However, no negative saturation was observed for the materials in the flux density of the materials when examined in each case.

6. Conclusion

This study was carried out to reduce the ripples occurring in the thrust force of the linear BLDC motor. In this study, the process of skewing the magnets was applied. There are 3 equal magnets on one pole in the translator. One of these magnets is kept fixed and the other two magnets are shifted in the direction of the axis where the thrust force occurs at certain rates. The skew process was shifted by a maximum magnet length of 30 mm.

The results show that skewing reduces the ripples in the thrust force. The ripple values of the thrust force and pulling force improve with the level of skewness. The skew process improves the harmonics in the thrust and pulling curves of the motor. However, it also causes a decrease in the maximum and average values of the generated forces. When the curves are examined, the least harmonic is observed when the magnets are shifted by 27 mm, while the maximum force produced at this value decreases from 370 N to 144 N. For this reason, when the harmonic and generated force values are evaluated together, the best result occurs in the case of 6 mm skewing. As a result, although the maximum force value to be produced by the thrust force decreases when the magnets are shifted by 6 mm, the skew process can be applied to prevent comfort users and motor failures due to the decrease in ripples in the force curves.

References

- [1] A. Barış, M. Güleç, Y. Demir, and M. Aydın, "Electromagnetic Design and Analysis of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor," in *Ulusal Elektrik Enerjisi Dönüşümü Kongresi*, Jul. 2017, pp. 1–6, doi: 10.3390/en15155441.
- [2] C. Krämer, A. Kugi, and W. Kemmetmüller, "Modeling of a permanent magnet linear synchronous motor using magnetic equivalent circuits," *Mechatronics*, vol. 76, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.MECHATRONICS.2021.102558.
- [3] I. Boldea, M. Pucci, and W. Xu, "Design and Control for Linear Machines, Drives, and MAGLEVs - Part II," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 12, pp. 9801–9803, Dec. 2018, doi: 10.1109/TIE.2018.2849761.
- [4] I. Boldea, "Linear Electric Machines, Drives, and MAGLEVs Handbook," *CRC Press*, pp. 1–646, Jan. 2013, doi: 10.1201/B13756.
- [5] I. Eguren, G. Almandoz, A. Egea, G. Ugalde, and A. J. Escalada, "Linear Machines for Long Stroke Applications - A Review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 3960–3979, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2961758.
- [6] S. Chevailler, "(PDF) Comparative study and selection criteria of linear motors," ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, 2006.
- [7] J. Wang, W. Wang, K. Atallah, and D. Howe, "Comparative studies of linear permanent magnet motor topologies for active vehicle suspension," *2008 IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC 2008*, 2008, doi: 10.1109/VPPC.2008.4677550.
- [8] S. Vaez-Zadeh and A. H. Isfahani, "Multiobjective optimization of air-core linear permanent magnet synchronous motors for improved thrust and low magnet consumption," *ICEMS 2005 Proc. Eighth Int. Conf. Electr. Mach. Syst.*, vol. 1, pp. 226–229, 2005, doi: 10.1109/ICEMS.2005.202517.
- [9] S. G. Lee, S. A. Kim, S. Saha, Y. W. Zhu, and Y. H. Cho, "Optimal structure design for minimizing detent force of PMLSM for a ropeless elevator," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 50, no. 1, 2014, doi: 10.1109/TMAG.2013.2277544.
- [10] C. F. Wang, J. X. Shen, Y. Wang, L. L. Wang, and M. J. Jin, "A new method for reduction of detent force in permanent magnet flux-switching linear motors," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 45, no. 6, pp. 2843–2846, 2009, doi: 10.1109/TMAG.2009.2018689.
- [11] W. Ullah, F. Khan, N. Ullah, M. Umair, B. Khan, and H. A. Khan, "Comparative Study between C-Core/E-Core SFPMM with Consequent Pole SFPMM," *RAEE 2019 - Int. Symp. Recent Adv. Electr. Eng.*, Aug. 2019, doi: 10.1109/RAEE.2019.8886946.
- [12] Y. Du, G. Yang, L. Quan, X. Zhu, F. Xiao, and H. Wu, "Detent Force Reduction of a C-Core Linear Flux-Switching Permanent Magnet Machine with Multiple Additional Teeth," *Energies 2017, Vol. 10, Page 318*, vol. 10, no. 3, p. 318, Mar. 2017, doi: 10.3390/EN10030318.
- [13] W. Hao and Y. Wang, "Comparison of the Stator Step Skewed Structures for Cogging Force Reduction of Linear Flux Switching Permanent Magnet Machines," *Energies 2018, Vol. 11, Page 2172*, vol. 11, no. 8, p. 2172, Aug. 2018, doi: 10.3390/EN11082172.
- [14] M. Eker, "Adaptive drive element for PV panel cleaning system: linear BLDC motor," *Electr. Eng.*, Nov. 2022, doi: 10.1007/S00202-022-01680-8.
- [15] Poorina Norouzi, "High performance position control of double sided air core linear brushless DC motor," 2015.
- [16] O. Ustun, O. C. Kivanc, and M. S. Mokuçcu, "A linear brushless direct current motor design approach for seismic shake tables," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 21, pp. 1–13, Nov. 2020, doi: 10.3390/APP10217618.
- [17] XIN GE, "Simulation of Vibrations in Electrical Machines for Hybrid-electric Vehicles," p. 56 p., 2014.
- [18] J. J. Cai, Q. Lu, X. Huang, and Y. Yes, "Thrust ripple of a permanent magnet LSM with step skewed magnets," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 48, no. 11, pp. 4666–4669, 2012, doi: 10.1109/TMAG.2012.2198437.
- [19] X. Z. Huang, J. Li, C. Zhang, Z. Y. Qian, L. Li, and D. Gerada, "Electromagnetic and Thrust Characteristics of Double-sided Permanent Magnet Linear Synchronous Motor Adopting Staggering Primaries Structure," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 6, pp. 4826–4836, Jun. 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2860526.

- [20] K. C. Lim, J. K. Woo, G. H. Kang, J. P. Hong, and G. T. Kim, "Detent force minimization techniques in permanent magnet linear synchronous motors," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 38, no. 2 I, pp. 1157–1160, 2002, doi: 10.1109/20.996296.
- [21] Y. W. Zhu and Y. H. Cho, "Thrust ripples suppression of permanent magnet linear synchronous motor," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 43, no. 6, pp. 2537–2539, 2007, doi: 10.1109/TMAG.2007.893308.

Experimental Analysis of Pneumatic Motion Control Application with Piezo Technology

Çiğdem Gündoğan Türker ^{a,1}, Fikret Kemal Akyüz ^b

^a Festo Technology Center, İstanbul, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-9003-0902

^b Festo Technology Center, İstanbul, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-1584-9421

Abstract

Piezo technology is used in a large number of sectors thanks to the possibility of switching between electrical energy and motion energy. In particular, Piezo technology provides an important advantage in pneumatic applications with its features such as low energy consumption, accuracy, quiet operation, compact structure, fast switching possibility, quiet operation and lightness. Directional control, proportional pressure control, proportional flow control, positioning, soft-stop and similar basic applications are being transformed into controlled and digitalized Pneumatic System applications. In this paper, piezovalves developed using piezoceramic material are compared with solenoid valves in pneumatic applications. The working methods and advantages of piezo technology in pneumatic applications such as pressure control, flow control, motion control are presented. The experimental test device with a pneumatic cylinder working with piezo valves and position sensors was installed and motion control application was performed. In the experimental results of the application, the system characteristics can be observed graphically and the results can be analyzed.

Keywords: "Digitalization, efficiency, controlled pneumatic, piezoelectric, energy saving."

1. Giriş

Elektrikle kontrol edilen pnömatik valfler dünyasında, solenoid valfler neredeyse %100 pazar payıyla standarttır. Bununla birlikte piezo teknolojisini kullanan valfler, solenoid valflere göre avantajlar sunmakta ve tamamen yeni uygulama alanları açmaktadır. Kapalı çevrim çalışan yazılımlar ile pnömatik uygulama alanlarında bu teknoloji düşük enerji tüketimi, hassasiyeti, kompakt yapısı, hızlı anahtarlama imkânı, oransal çalışma, hafiflik gibi özellikler sağlayabilmektedir. Standart bir solenoid valf kullanıldığında bobine sürekli olarak enerji verilmesi gerekmektedir. Piezo valflerde yapılması gereken tek şey başlangıç akımını vermektir. Bir kez şarj olduktan sonra piezo teknolojisi ile çalışan yeni nesil valfin akım tüketimi neredeyse sıfır seviyelerinde gerçekleşmektedir.

Piezo teknolojisi; basınç kontrolü, akış kontrolü, hareket kontrolü gibi pnömatik uygulamalarda büyük avantajlar sunmaktadır. Bu bildiride, piezo teknolojisi kullanılarak kontrollü ve dijitalleşen pnömatik uygulamalardan bahsedilmekte, bir hareket kontrolü uygulaması deneysel olarak analiz edilmektedir. İkinci bölümde piezo elektrik teknolojisi tanıtılmaktadır. Sonraki bölümde piezo valflerin çalışma prensipleri anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde piezo teknolojisi ile akış kontrolü ve hareket kontrolü gibi uygulamaların çalışma şekillerinden bahsedilmektedir. En son bölümde ise hareket kontrolü uygulaması için kurulan test düzeneği ve deneysel çalışmaların sonuçları sunulmaktadır.

2. Piezo Elektrik Teknolojisi

Genellikle iletken olarak kabul edilen yüzeylere sahip özel seramik nesnelere sahip piezoelektrik malzemeler, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmekte ve bunun tersini de yapabilmektedir. Piezo seramiklerdeki moleküllerin kafes yapısı, Curie sıcaklığının altında asimimetrik ve bu nedenle bir dipoldür. Güçlü elektrik alanının etkisi altında, piezo seramiklerini kalıcı olarak polarize etmek veya başka bir deyişle onlara tercih edilen bir yön vermek mümkündür. Seramik malzeme daha sonra piezoelektrik özelliklere sahip olmakta ve bir gerilim uygulandığında şekil değiştirmektedir. 3B deformasyon, alan çizgileri

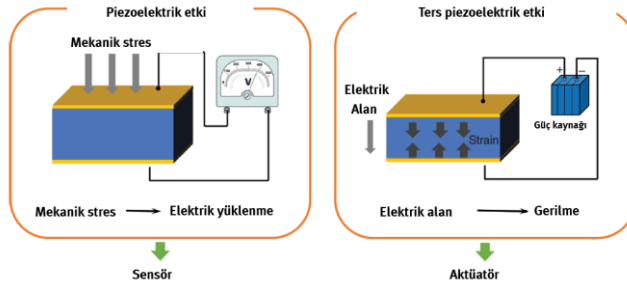
¹ Corresponding Author

E-mail Address: cigdem.gundoganturker@festo.com

boyunca gerçekleşmektedir. Seramik malzemeler sabit bir hacme sahip olduğundan, malzemede alan çizgilerine dik açılarda büzülme meydana getirmektedir. Piezo tabanlı sürücülerin avantajı, neredeyse sıfır güçle enerjilendirilebilir olmasıdır [1-3].

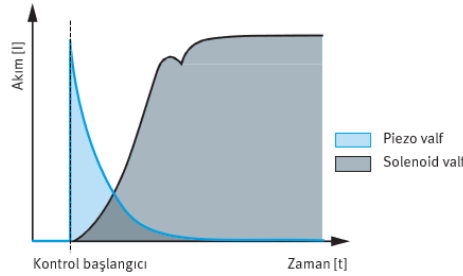
Şekil 1'de gösterildiği gibi piezo elemanlar elektromekanik dönüştürücülerdir. Doğrudan piezoelektrik etki olarak adlandırılan bir piezo elemanı, mekanik kuvvetleri (basınç, çekme gerilmesi veya hızlanma) ölçülebilir bir gerilime dönüştürmektedir. Ters piezoelektrik etki ise tam tersidir; bir gerilim uygulandığında piezo eleman deforme olmakta ve böylece mekanik hareket veya salınımlar oluşmaktadır.

Elektriksel açıdan bir piezo elemanı, iletken iki plaka ve dielektrik olarak işlev gören seramik piezo malzemeden oluşan bir kapasitördür. Akım yalnızca kapasitör şarj olurken akmakta ve şarj tamamlandığında ise sifıra düşmektedir. Bu durumda, daha fazla akım akmazsa elektrik gücü sıfır olacaktır. Sürücü sıfırlandığında şarj enerjisini geri kazanarak enerji verimliliği yüksek uygulamalar yapmak mümkündür.



Şekil 1. Piezoelektrik Etkisi

Piezoelektrik valf uygulamaları, solenoid valf ile kıyaslandığında Şekil 2'de gösterildiği gibi düşük enerji tüketimi sağlamaktadır. Anahtarlama sırasında düşük enerji ihtiyacı duyduğundan yüksek frekanslarda ısı meydana getirmemektedir.



Şekil 2. Piezo valf ve solenoid valf arasındaki enerji tüketim farkı

Piezo valfler, oldukça hızlı olabilmekte ve mikrosaniyenin altındaki aralığa kolayca ulaşabilmektedir. Bu valfler, hızın önemli olduğu uygulamalar için ideal çözüm olmaktadır. Kapalı çevrim çalışmalarda yüksek anahtarlama hızı sayesinde daha iyi performans gösterebilmektedir. Ayrıca, piezo teknolojisi herhangi bir arıza riski olmadan yüksek manyetik ortamlarda da kullanılabilir. Bir sistem doğru bir şekilde tasarlandığında ve kısa tepki süreleriyle birleştiğinde, piezo valflerin orantılılığı sayesinde tüm üst düzey kontrol sistemleri için ideal aktüatörler haline gelmektedirler.

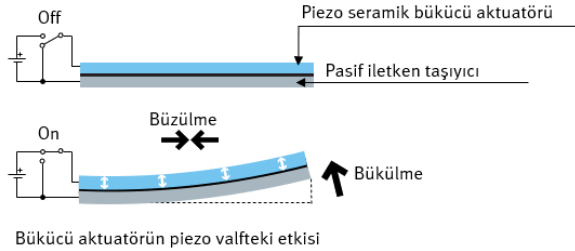
3. Piezo Valflerin Çalışma Prensipleri

Piezo valf; ince piezo seramik tabakadan oluşan bir aktüatördür. Seramik malzemeye voltaj uygulandığında bükülmektedir. Bu hareket, akış hızını veya basıncını düzenlemek için kullanılan bir bükülmüdür. Sapma, uygulanan gerilim ile orantılıdır ve akış hızının veya basıncın orantılı olarak düzenlenmesini sağlamaktadır. Belirli bir uygulamanın gereksinimlerine bağlı olarak piezo etkisi, çeşitli transdüser türleri olarak kullanılabilir. Disk transdüserleri, bükücü aktüatörler ve piezo yığın transdüserleri piezo elemanlarla türetilen temel formlardır.

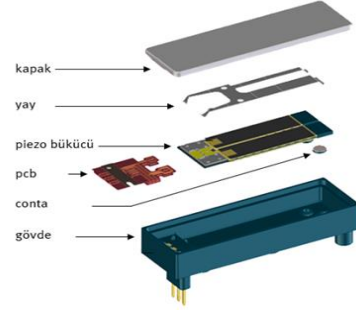
Bükme aktüatörü (bender actuator) dikdörtgen bir şekle sahiptir. Birincil eleman, her iki yüzeyi de iletken hale getirilmiş bir piezo seramik malzeme parçasıdır. Bu seramik malzeme, aynı zamanda iletken olan bir alt tabakaya tek tarafından tamamen birleştirilmiştir. Seramik tabakanın ve alt tabakanın iletken yüzeyleri elektrot görevi görmektedir. Elektrotlara gerilim uygulanırsa, seramik malzeme elektrik alanı yönünde genişlemektedir. Çoğu uygulamada bükme aktüatörleri bir uca sabitlendiğinden, Şekil 3'teki gibi serbest uçta bir bükülme hareketiyle sonuçlanmaktadır.

Tipik karakteristik veriler arasında milimetrenin onda biri kadar sapma ve 1 N'a kadar kuvvetler bulunmaktadır. Sıklıkla kullanılan özel bir değişken, alt tabakanın diğer tarafında ikinci bir seramik katmana sahip olan trimorfudur. Bu özellik; dönüştürücünün performansını arttırmakta ve simetrisi sayesinde daha geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilir. Bükücü aktüatörleri, farklı kuvvetler ve hareketlerde özellikle basınç ve akış kontrolü için pnömatrik valflerde kullanım için oldukça uygundur.

Şekil 4'te görüldüğü gibi piezo valf tasarımı oldukça basittir. İçinde enjeksiyonla kalıplanmış contaları bulunan bir muhafazadan oluşmaktadır. Aktüatör olarak bükücü piezo seramik ve onun üzerinde geri dönüş hareketini sağlayan bir yay bulunmaktadır.



Şekil 3. Bükücü aktüatörlerde bükülme

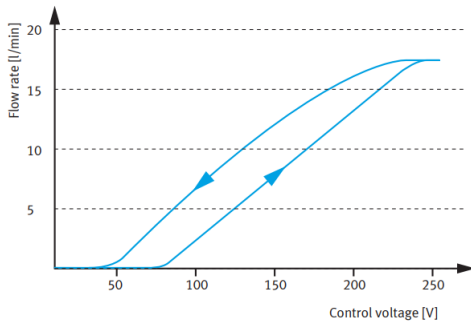


Şekil 4. Piezo valf tasarımı

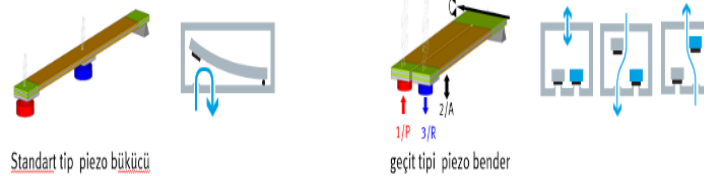
Piezo valflerin performansı, elektrik alanının gücüne bağlıdır. Alan gücü ne kadar büyükse, aktüatörün ve vananın performansı o kadar iyi olmaktadır. Solenoid valflerle karşılaştırıldığında, piezo valflerin anahtarlama durumunu korumak için tutma akımına ihtiyacı yoktur. Solenoid valflere kıyasla piezo valflerin ihtiyaç duyduğu daha yüksek besleme gerilimi, yalnızca çalıştırma aşamasında önemlidir. Tüketilen açma enerjisi, pnömatrikte normal olan çalıştırma gücü seviyelerinin oldukça altındadır. Piezo valflerin çalıştırma enerjisi, yalnızca miliwat saniye cinsinden belirtilmektedir. Solenoid valflerde olduğu gibi güç değerlerinin watt cinsinden belirtilmesi mümkün değildir.

Bir piezo valf açıldığında ve ardından güç kaynağı bağlantısı kesildiğinde, valf durumu korunur, çünkü yük taşıyıcıları kesinti nedeniyle artık akamamaktadır. Vanayı sıfırlamak için yük, dönüştürücüden aktif olarak çıkarılmalıdır. Bu da başka bir sistemde tampon depolama (enerji geri kazanımı) veya enerjinin ısıya dönüştürülmesi (kısa devre) yoluyla sağlanabilmektedir. Bu nedenle vanayı çalıştırmak için açma-kapama anahtarı yerine bir değiştirme anahtarı gerekmektedir.

Bir solenoid valfte bobine her zaman enerji verilmelidir. Armatürü valf yuvasından uzaklaştıran manyetik alan, bu şekilde oluşturulmaktadır. Öte yandan, bir piezo valfin sürekli olarak enerjilendirilmesine gerek yoktur. Piezo teknolojisi ile mevcut tüketimin düşürülmesi büyük bir farklılıktır. Oransal solenoid valflerle karşılaştırıldığında %95'e varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi çok basit bir akış kontrolü için bir bükücü ve iki portlu tasarımıyla 2/2 yollu valf uygulanan gerilim ile orantılı olarak açılmaktadır. Şekil 6'daki gibi üç portlu ve iki bükücülü 3/3 yollu bir valf çözümü ile eksiksiz bir basınç düzenleme sistemi kurulabilmektedir. Basınçlandırma için bir bükücü ve hava tahliye için ikinci bir bükücü kullanılabilir.



Şekil 5. Akış kontrolünde bükücü aktüatör karakteristiği



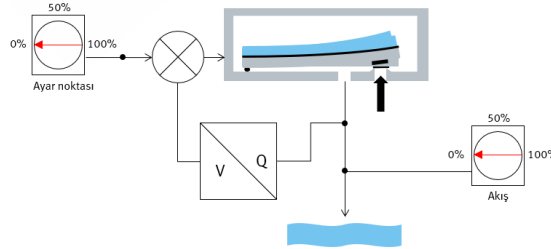
Şekil 6. 2/2 ve 3/3 yollu valfler

Solenoid valflerle karşılaştırıldığında diğer bir fark, elektriksel olarak da tamamen farklı şekilde çalıştırılmasıdır. Solenoid valfler 12 volt veya 24 volt besleme ile çalıştırılabilirken, piezo valflerin 310 volta kadar gerilimlere ihtiyacı vardır ve bu nedenle piezo elektronik sürücülerine gereksinim duyulmaktadır. Günümüzde bu sürücüler, gerilim kaynaklı ve akım sınırlamalı 2 kanallı gibi özelliklerde açık döngü çalışmalarda kullanılmaktadır. Dezavantaj olarak; kısa devre riski nedeniyle piezo seramiğin sıvılara maruz kalmaması gerekmektedir. Piezo etkisi seramik malzemede bir polarizasyon oluşturmaya dayanmaktadır. Bir sıvı veya

yoğunlaşan nem, yükün hemen dağılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle piezo valfler bu tür uygulamalar için doğru seçim değildir [4-6].

4. Piezo Teknolojisi ile Pnömatik Uygulamalar

Piezo teknolojisinin kullanımı oransal debi ürünleri için önemli bir inovasyondur. Gaz akışının sorunsuz bir şekilde aktarılması ve enerji ihtiyacının karşılanması noktasında piezo malzemenin rolü oldukça kritiktir. Kompakt tasarımıyla birlikte akış oranını kontrol altında tutma işleminde miktar ayarlanmasını ve basınç düzenlenmesini daha etkili bir şekilde yapmak mümkündür. Aynı zamanda diğer teknolojilerden farklı olarak piezonun enerjiler arasında geçiş fırsatı sunması, basıncın dağıtımında yön değişikliklerini hassas ve verimli bir şekilde yapmayı sağlamaktadır. Akış hızını ölçen ve ardından elektronik kontrol ile kontrol döngüsünü sağlayan bir sensör kullanarak akış hızı düzenlenebilmektedir.

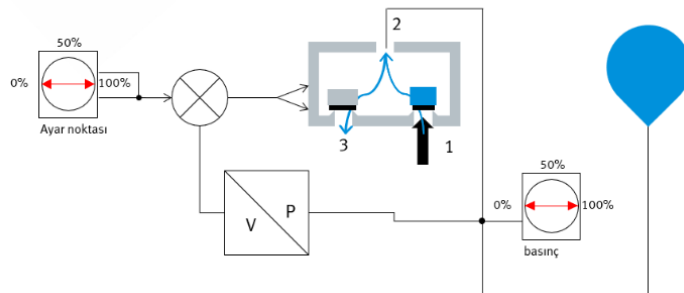


Şekil 7. Akış kontrolü devresi

Şekil 7'deki akış kontrolü devresinde valf, sıfır ayar noktasında kapalıdır. Ayar noktası ile %0-100 arasında orantılı ve lineer akış hızı sağlanmaktadır. Akış hızı ayarlama yöntemi için 2 bar giriş basıncında dakikada 17 litreye kadar akış hızları ve 6 bar'da dakikada 50-80 litre akış hızlarının ayarlanması mümkün olmaktadır. Akış kontrol valfi; piezo valfi, akış sensörü ve kontrol devresinden oluşan kompakt bir çözüm olmaktadır. Bu çözümle, giriş gerilimi ile orantılı bir çıkış akış hızı elde edilebilmektedir. Ayrıca uygulama; hassas, sessiz ve enerji tasarruflu olmaktadır.

Oransal regülatörler de akışkan havanın basıncını kontrol altında tutmak için piezo teknolojisinden aktif olarak yararlanan ürünler arasında yer almaktadır. Kontrol hassasiyetinin yükselmesi ile pratik kullanım, uzun ömür, düşük ses seviyesi, tepki süresi ve düşük enerji tüketimi gibi avantajlar sunmaktadır.

Basınç kontrolü de akış kontrolüne benzer şekilde çalışmaktadır. Şekil 8'de verilen basınç kontrolü devresinde içinde iki bükücü aktüatör bulunan bir piezo valf ve basınçlı hava bağlantısı ile ayar noktası ile valf basıncı arttırılmaktadır. Valfin basınç sensörü sinyaline göre kontrol döngüsü çalışmaktadır. %100'lük bir ayar noktasında, hedef basınca ulaşılan kadar basınçlandırma devam etmektedir. Ardından vana tekrar kapatılmaktadır. Bu, basıncın korunduğu anlamına gelmektedir. Basınç azaltılmak istenirse, ayar noktası düşürülmekte ve hedef basınca düşürülmeye kadar diğer bükücü aktüatör aktif olmaktadır. Valf tekrar kapatılarak sıfıra kadar düşürülürse ortam basıncına ulaşılan kadar valf tamamen tahliye edilmiş olmaktadır. Sadece bir valf kullanılarak uygulanan bu çözüm, solenoid valfler ile yapılsaydı iki valfe ihtiyaç duyulacaktır.



Şekil 8. Basınç kontrol devresi

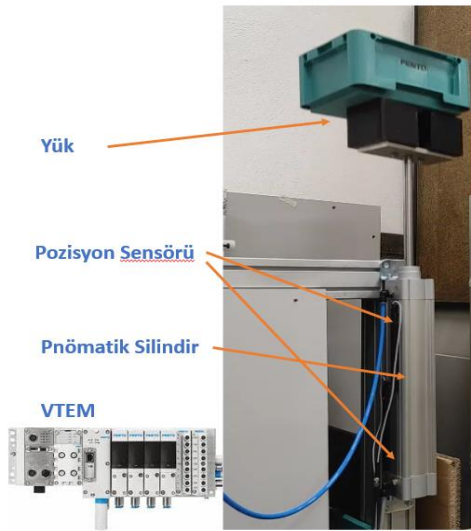
Basınç ve debi kontrolü yanında piezo valfler ve uygun kontrol algoritmaları kullanılarak pnömatik tahrik elemanlarında hareket kontrolü yapılabilmektedir. Konum sensörleri kullanılarak "Soft Stop", tanımlı hareket zamanı ve pozisyonlama uygulamaları örnek gösterilebilmektedir.

“Soft Stop”, endüstriyel uygulamalarda en hızlı çevrim zamanı ve en düşük sarsıntı istenen uygulamalardır. Çevrim zamanında %70’e kadar hızlanma sağlamaktadır. Sarsıntısız olarak dinamik hareket gerçekleşirse servis süresi kısalmakta ve ürünlerin ömrü uzamaktadır. Silindir, sensörle belirlenen son konuma yaklaştığında piezo valf silindire ters yönde hava verilerek hassasiyetle hareketini tamamlayacak şekilde ramplandırılmaktadır. Pnömatik harekette en sık karşılaşılan sorunlardan biri silindirin hareket zamanının tanımlanamamasıdır. Zamanla hareket zamanı değişmektedir. Bu yöntem ile hareketin tanımlanan sürede, örneğin 1000 ms’de tamamlanması istenmektedir. Kapalı çevrim çalışan sistem zamanla değişen şartlara rağmen hareket zamanını sabit tutmaya çalışmaktadır [7-10].

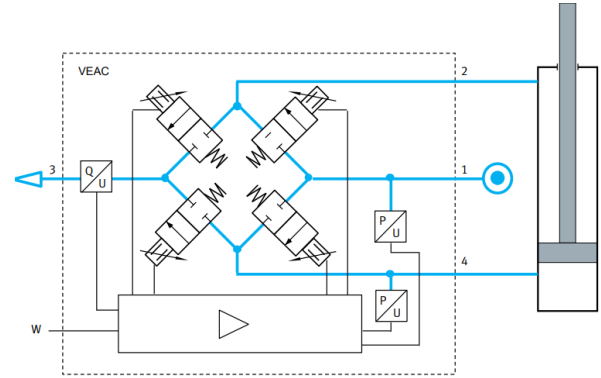
5. Hareket Kontrolü Uygulaması Test Sistemi

Hareket kontrolü uygulaması için kurulan test düzeneği Şekil 9’da görülmektedir. Sistemde hız kontrol cihazı olarak Festo’nun VTEM çift etkili pnömatik silindiri kullanılmaktadır. Şekil 10’da çalışma yapısı görülen dört piezo valf, bir kontrol ünitesi ile birleştirilerek sisteme bağlanabilmektedir. Hız, sabit bir silindirle egzoz akış oranı korunarak kontrol edilmektedir. Piezo valfleri hız kontrolü; yumuşak, sarsıntısız ve yer değiştirme kodlayıcısı olmadan sağlayabilmektedir. Her valf diliminde dört adet piezo valf bulunmakta ve bu valfler oransal olarak kontrol edilebilmektedir. Kurulan devre bağlantıları ile silindire giden ve silindirden boşalan hava kontrol edilmektedir. Bunun için her iki hatta da debi ve basınç sensörleri kullanılmıştır ve bu sensörlerden alınan veri, kontrol algoritması için geri besleme olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sistemde kullanılan pnömatik silindirin son konumlarının belirlenmesi için düzeneğe pozisyon sensörleri yerleştirilmiştir.

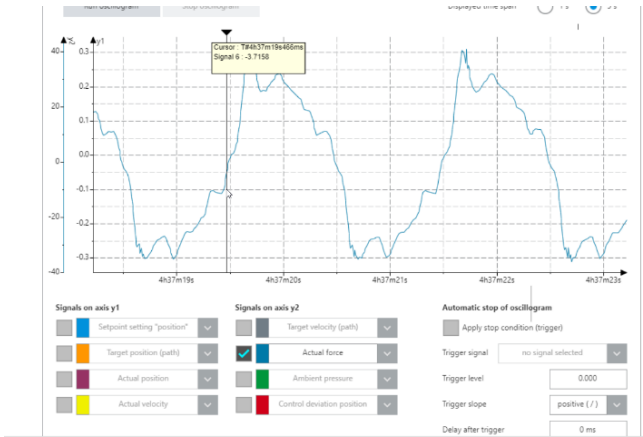
“Soft-Stop” hareket kontrol düzeneği ile, tanımlı hareket zamanı ve pozisyonlama uygulamaları 10 kg yük ile test edilmiştir. Yapılan uygulamaların hız karakteristikleri osiloskop ekranı ile analiz edilmiştir. Şekil 11’de aktüel kuvvet (basınç) grafiği, Şekil 12’de hız grafiği, Şekil 13’te hedeflenen ve gerçekleşen pozisyon grafikleri ve Şekil 14’te deney çalışması resmi verilmektedir.



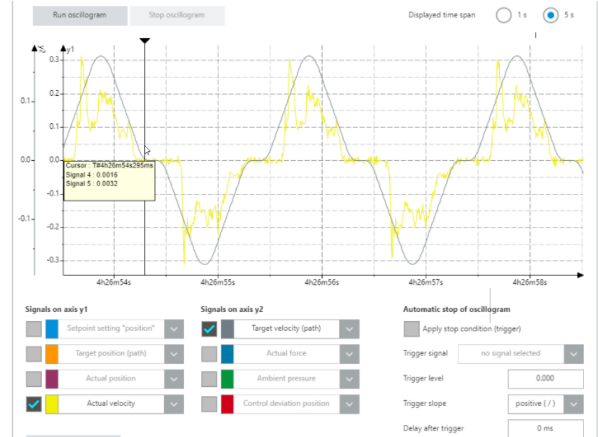
Şekil 9. Hareket kontrolü test düzeneği



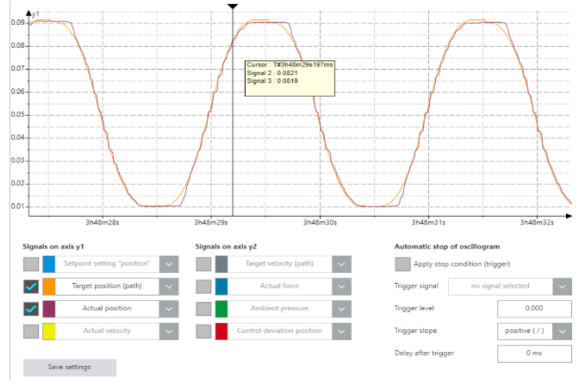
Şekil 10. Piezo valfler çalışma yapısı



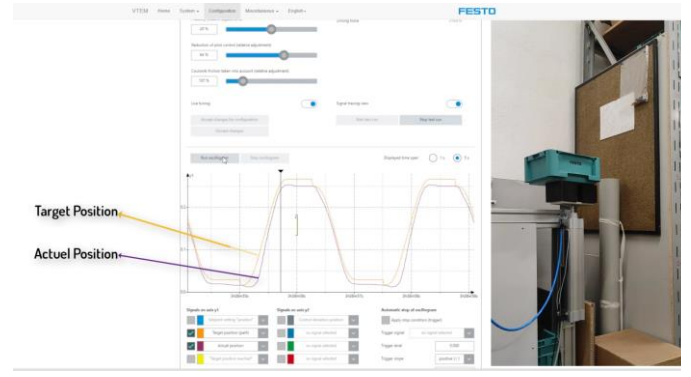
Şekil 11. Aktüel kuvvet grafiği



Şekil 12. Hız Grafiği



Şekil 13. Hedeflenen ve gerçekleşen pozisyon grafikleri



Şekil 14. Pozisyon kontrolü deneysel çalışma

Yapılan testlerde, sistemin ilk başta çok stabil çalışmadığı gözlemlenmiş, ancak kontrol parametrelerinin optimizasyonu ile sistem stabil hale getirilmiştir. 10 kg yüke rağmen sistem oldukça dinamik ve başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Elektrikli sistemlere yakın bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Pozisyonlama hassasiyeti, kabaca 0,1- 0,3 mm olarak ölçülmüştür. Ancak, elektrikli sistemlerde bu değer 0,05- 0,1 mm olmaktadır. Bu anlamda bir dezavantaj gözlenmektedir. Ayrıca, düşük hızlarda hız kontrolü zorlaşmakta ve yörünge hassasiyeti düşmektedir.

6. Sonuç

Hareket teknolojisinde sıklıkla kullanılan servomotor ve sürücüler dahi, dinamik hareketlerde iyi takip davranışı sağlayan güçlü yol kontrolüne sahip olmalıdır. Basınçlı hava sıkışabilir bir enerji türüdür ve kontrol edilebilirlik özelliği zayıf olduğu da açıktır. Buna rağmen piezo (servo) valfler ile pnömatik tahrik elemanları; uygun güç-ağırlık oranı, yüksek dinamikler ve maliyet yönü gibi avantajları nedeniyle şimdiki kadar ağırlıklı olarak kullanılan elektrikli tahriklere iyi bir alternatif olabilmektedir.

Özellikle, yükün ağır olduğu ve sürekli yüklemenin mevcut olduğu uygulamalar daha ilginç hale gelmektedir. Bu uygulamalarda artan güç ile elektrikli çözümlerin fiyatı da artmaktadır. Pnömatikte ise güç değişimine karşın çözüm değişmemekte ve yatırım maliyeti çok değişmemektedir.

Yüksek statik sürtünme ve doğrusal olmayan davranıştan kaynaklanan kontrol güçlüğü söz konusudur ve özel kontrol algoritmaları kullanılmaktadır. Bu nedenle, genellikle deneyde yapıldığı gibi PtP (noktadan noktaya) hareket uygulamalarında kullanılmaktadır. Model tabanlı kontrol yöntemlerinin yardımıyla, piezo valfler ile pnömatik teknolojinin yörünge takibi davranışını, robotik alanındaki zor uygulamalarda kullanılabilir şekilde iyileştirmek mümkündür.

Ağır yüklerde ve dakikada 2- 3 çevrim yapan bir sistemde pnömatik silindirin enerji maliyeti, elektrikten daha ekonomik olabildiği gibi daha sık çevrim yapan bir pnömatik silindir, sürekli hava tüketeceği için yatırım maliyeti çok düşük olsa bile elektrige göre çok pahalı kalabilmektedir. Bu nedenle, enerji tüketimi ve verimliliği açısından sistem değerlendirmesinin iyi yapılması gerekmektedir.

Referanslar

- [1] A. Arnau, D. Soares, "Piezoelectric Transducers and Applications", Springer-Verlag Berlin, 2008
- [2] R. Cartes, R. Kensley, "Introduction to piezoelectric transducers", piezo.com
- [3] J. Holterman, P. Groen, "An Introduction to Piezoelectric Materials and Applications", Stichting Applied Piezo, 2013
- [4] M. Simic, N. Herakovic, "Piezoactuators for the use in hydraulic and pneumatic valves", International Conference Fluid Power, 2017
- [5] B. Najjari, M. Barakati, A. Mohammadi, M.J. Fotuhi, "Modelling and Controller Design of Electropneumatic Actuator Based on PWM", International Journal of Robotics and Automation (IJRA), Vol.1, No.3, pp. 125-136, Sep. 2012.
- [6] "Piezo Technology in pneumatic valves Festo", Festo Whitepaper.
- [7] P. Harris, G. O'Donnell, T. Whelan, "Energy Efficiency in Pneumatic Production Systems: State of the Art and Future Directions", Jan. 2012
- [8] A.Zaim, H. Aras, "Energy Efficiency in Pneumatic Systems", Engineer and Machinery, vol. 61, no. 698, p. 31-45, 2020, Review Article
- [9] M.Ling, X.He, M.Luu, L.Cao, "Dynamic Design of a Novel High Speed Piezoelectric Flow Control Valve Based on Compliant Mechanism", Vol.27, issue 6, pp. 4942-4950, May.2022
- [10] N.Bruno, Y. Zhu, C.Li, Q.Gao, Y.Li, "Development of a piezoelectric high speed on/off valve and its application to pneumatic closed-loop position control system", Journal of Mechanical Science and Technology, 33, 2747-2759, 2019.