



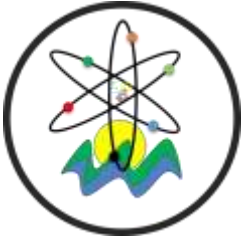
Black Sea Journal of Engineering and Science

Volume 6 | Issue 2



ISSN: 2619 - 8991


BS Journals



BLACK SEA JOURNAL OF ENGINEERING AND SCIENCE
(BSJ ENGIN SCI)


BS Journals

Black Sea Journal of Engineering and Science (BSJ Eng Sci) is a double-blind peer-reviewed, open-access international journal published electronically 4 times (January, April, July and October) in a year by since January 2018. It publishes, in English and Turkish, full-length original research articles, innovative papers, conference papers, reviews, mini-reviews, rapid communications or technical note on advances in a wide range of scientific disciplines from all fields of engineering and science and from any source.

ISSN 2619 - 8991

Phone: +90 362 408 25 15

Fax: +90 362 408 25 15

Email: bsjsci@blackseapublishers.com

Web site: <http://dergipark.gov.tr/bsengineering>

Sort of publication: Periodically 4 times (January, April, July and October) in a year

Publication date and place: April 01, 2023 - Samsun, TÜRKİYE

Publishing kind: Electronically

OWNER

Assoc. Prof. Uğur ŞEN

DIRECTOR IN CHARGE

Prof. Dr. Hasan ÖNDER

EDITOR BOARDS

EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Hasan ÖNDER, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Uğur ŞEN, Ondokuz, Mayıs University, TÜRKİYE

SECTION EDITORS*

Prof. Dr. Ahmet UYANIK, Section Editor of Chemistry, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Berna KILIÇ, Section Editor of Fisheries Engineering, Ege University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Çiğdem TAKMA, Section Editor of Statistics, Ege University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ertan BUYRUK, Section Editor of Mechanical Engineering, Sivas Cumhuriyet University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU, Section Editor of Environmental Engineering, Akdeniz University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan TANAK, Section Editor of Physics, Amasya University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan TEMİZ, Section Editor of Food Engineering, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim Özgür DENEME, Section Editor of Civil Engineering, Aksaray University, TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim UĞUR, Section Editor of Mining Engineering, Süleyman Demirel University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ümit Cafer YILDIZ, Section Editor of Forest Engineering, Karadeniz Technical University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Belgin KARABACAKOĞLU, Section Editor of Chemical Engineering, Eskişehir Osmangazi University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Bülent BOSTANCI, Section Editor of Geomatics Engineering, Erciyes University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Ergün EKİCİ, Section Editor of Industrial Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Kadyrbay CHEKİROV, Section Editor of Biology, Kyrgyz Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Assoc. Prof. Dr. Mehmet EBEOĞLUGİL, Section Editor of Metallurgical and Materials Engineering, Dokuz Eylül University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Nilüfer YURTAY, Section Editor of Computer Engineering, Sakarya University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Özgür Hakan AYDOĞMUŞ, Section Editor of Mathematics, Social Sciences University of Ankara, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Sinan AKISKA, Section Editor of Geological Engineering, Ankara University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Mehmet GÜÇYETMEZ, Section Editor of Electrical and Electronics Engineering, Kırşehir Ahi Evran University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Melahat CİHAN, Section Editor of Aerospace Engineering, Samsun University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Sedat KARADAVUT, Section Editor of Agricultural Engineering, Trakya University, TÜRKİYE

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

EDITORIAL - ADVISORY BOARD*

Prof. Dr. Aglaia (Litsa) LIOPA-TSAKALIDI, Institute of Western Greece, GREECE

Prof. Dr. Ercan EFE, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Mohammad Masood TARIQ, University of Balochistan, PAKISTAN

Prof. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Özkan GÖRGÜLÜ, Ahi Evran University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Taner TUNÇ, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Emil OMURZAK, Kyrgyz-Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Asst. Prof. Dr. Yılmaz KAYA, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

STATISTIC EDITOR

Prof. Dr. Mehmet TOPAL, Kastamonu University, TÜRKİYE

ENGLISH EDITOR

Asst. Prof. Dr. Betül ÖZCAN DOST, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

TURKISH EDITOR

Prof. Dr. Serkan ŞEN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

REVIEWERS OF THE ISSUE*

Prof. Dr. Cemil GÜRÜNLÜ, Karadeniz Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, TÜRKİYE

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP, Dicle University, Department of Mechanical Engineering, TÜRKİYE

Prof. Dr. İskender IŞIK, Kutahya Dumlupınar University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, TÜRKİYE

Prof. Dr. Mehmet ODABAŞI, Aksaray University, Department of Biochemistry, TÜRKİYE

Prof. Dr. Recep ÖZEN, Mersin University, Department of Organic Chemistry, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ruşen YAMAÇLI, Eskişehir Technical University, Department of Architecture, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Arda ÖZTÜRKCAN, İstanbul Gelişim University, Department of Biochemistry, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Aycan Mutlu YAĞANOĞLU, Atatürk University, Department of Biometry, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Aziz Cumhur KOCALAR, Niğde Ömer Halisdemir University, Department of City and Regional Planning, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Harun ÇOBAN, Çanakkale Onsekiz Mart University, Department of Horticulture Growing and Improvement, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin İrfan BALIK, Sakarya Applied Science University, Department of Horticulture Growing and Improvement, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Önder KABAŞ, Akdeniz University, Department of Agricultural Machinery, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Sevil KARAASLAN, Isparta Applied Science University, Department of Agricultural Machinery, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Tunahan ERDEM, Çukurova University, Department of Agricultural Machinery, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Abdulkadir ZİREK, Eskişehir Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Altan ONAT, Eskişehir Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Arslan KAPTAN, Sivas Cumhuriyet University, Department of Mechanical Engineering, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Emel KARACA, Ankara Hacı Bayram Veli University, Department of Geometry, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Esra YAVUZ, Şırnak University, Department of Biometry, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Mehmet HASKUL, Şırnak University, Department of Mechanical Engineering, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Talha Enes GÜMÜŞ, Sakarya University, Department of Electric Energy and Power Systems, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Tuğba MERT, Sivas Cumhuriyet University, Department of Geometry, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Yaşar Selçuk ERBAŞ, Gümüşhane University, Department of Geomatics Engineering, TÜRKİYE

Dr. Adil ÖZDEMİR, Atatürk University, Department of Geological Engineering, TÜRKİYE

Dr. Ayşe YILDIRIM ATEŞ, Akdeniz University, Department of Architecture, TÜRKİYE

Dr. Fuad ALHAJOMAR, University of South Wales, Department of Electrical and Electronics Engineering, UK

Dr. Muhammad SALIM, University of Agriculture, Department of Plant Protection, PAKISTAN

Dr. Onur GÜLER, Karadeniz Technical University, Department of Materials Science and Technologies, TÜRKİYE

Dr. Onur GÜLER, Karadeniz Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, TÜRKİYE

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

Table of Contents

Research Article

1. **SIMULATING THE YIELD RESPONSES OF SUGAR BEET TO DIFFERENT CLIMATE CHANGE SCENARIOS BY LINTUL-MULTICROP MODEL**
Ali Kaan YETİK, Tefide KIZILDENİZ, Zeynep ÜNAL.....53-59
2. **DETERMINING ACCURACY OF TEMPERATURE LIMIT CHANGE IN POWER TRANSFORMER CORE USING TEMPERATURE-TIME PARAMETER METHOD**
Nihat PAMUK.....60-67
3. **CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN DELMESİNDE TAKIM ÇAPININ İTME KUVVETİ VE TİTREŞİM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**
Burak ÖZDEMİR, Erkan BAHÇE, Mehmet Sami GÜLER.....68-73
4. **POLİMER KOMPOZİTLERİN SAVUNMA AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLEMESİ İÇİN HAFİF SİLAHLARLA ATIŞ DENEMELERİ**
Ergun ATEŞ.....74-86
5. **A HYBRID ALGORITHM FOR ADAPTIVE NEURO-CONTROLLERS**
Mustafa DEMİRTAŞ.....87-97
6. **VAJDA'S IDENTITIES FOR DUAL FIBONACCI AND DUAL LUCAS SEDENIONS**
Zafer ÜNAL.....98-101
7. **BİLECİK MERKEZ BÖLGESİNDEKİ MERMER OCAKLARININ ARAZİ DEĞİŞİMİ VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİMİNİN DESTEK VEKTÖR MAKİNE YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**
Can ALTUĞER, Koray ULAMIŞ.....102-110
8. **THE EFFECTS OF BLADE COATINGS ON FORCE DEMAND WHEN PRUNING GRAPE**
Kemal Çağatay SELVİ.....111-116
9. **FINDIK ÜRETİMİ İÇİN ÖĞRENME TABANLI VERİM TAHMİNİ**
Doğan YILDIZ, Gülcan YILDIZ, Sercan DEMİRCİ.....117-126
10. **ÇİNKO-TRİFLAT KATALİZÖRÜ KULLANILARAK FARKLI SÜBSTİTÜYE İZOKUMARİN TÜREVLERİNİN SENTEZİ**
Nesimi ULUDAĞ.....127-131
11. **GESTALT İLKELERİ BAĞLAMINDA DÖRT BAHÇE SİSTEMİ YAPILARININ ANALİZİ (TAÇ MAHAL ÖRNEĞİ)**
Ümit AKAR, Parisa DORAJ.....132-142
12. **PRODUCTION OF REACTIVE ALUMINA FROM DOMESTIC SOURCES AND ITS USE IN ALUMINA-BASED SELF-FLOWING CASTABLE REFRACTORIES**
Hatice Sule COBAN TETİK, Cemile Betül EMRULLAHOGLU ABI.....143-148



SIMULATING THE YIELD RESPONSES OF SUGAR BEET TO DIFFERENT CLIMATE CHANGE SCENARIOS BY LINTUL-MULTICROP MODEL

Ali Kaan YETİK^{1*}, Tefide KIZILDENİZ¹, Zeynep ÜNAL¹


¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Biosystem Engineering, 51240, Niğde, Türkiye


Abstract: Sugar beet is an essential crop for the sugar industry that have a very crucial role in agro-industry of Türkiye and Konya ranks first in terms of total sugar beet production and harvested area. The predictions, that the world's human population will reach 9 billion by the end of the current century and that demand for food will increase, are forcing farmers for the decision to search for new areas for agriculture or choose the crops that will be most productive in already cultivated lands. The aim of this study was to apply the LINTUL-MULTICROP Model for investigating the adaptation of sugar beet for the current climatic conditions and for climate change scenarios to show the response of sugar beet to an increase level of carbon dioxide and temperature. Four different scenarios were compared to check the effects of the climate change on sugar beet farming in the semi-arid Konya Region as followings: i) scenario (a) is the current climate conditions; ii) scenario (b) is the average temperatures increased 2 °C, iii) scenario (c) is 200 ppm increasing atmospheric CO₂; iv) scenario (d) new optimum sowing and harvest dates in sugar beet farming and increased temperatures and atmospheric CO₂ amount were simulated together. The optimum sowing and harvesting dates of sugar beet were moved 13 days back for sowing, and 8 days forward for harvesting. The highest yield was estimated under conditions of 2 °C and 200 ppm increased atmosphere temperature and CO₂ levels with new sowing and harvest dates. The yields under irrigated conditions varied between 74.4 t ha⁻¹ and 111.2 t ha⁻¹. The irrigation water requirements of sugar beet were ranged from 618.8 mm to 688.5 mm for different scenarios. In conclusion, the cultivation of sugar beet tends to alter in semi-arid Konya environment.


Keywords: Crop modelling, Yield estimation, Climate change, Sugar beet

*Corresponding author: Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Biosystem Engineering, 51240, Niğde, Türkiye

E mail: alikaanyetik@ohu.edu.tr (A. K. YETİK)

Ali Kaan YETİK  <https://orcid.org/0000-0003-1372-8407>

Tefide KIZILDENİZ  <https://orcid.org/0000-0002-5627-1307>

Zeynep ÜNAL  <https://orcid.org/0000-0002-9954-1151>

Received: September 28, 2022

Accepted: November 29, 2022

Published: April 01, 2023

Cite as: Yetik AK, Kizildeniz T, Ünal Z. 2023. Simulating the yield responses of sugar beet to different climate change scenarios by LINTUL-MULTICROP model. BSJ Eng Sci, 6(2): 53-59.

1. Introduction

The predictions, that the world's human population will reach 9 billion by the end of the current century and that demand for food will increase (Godfray et al., 2010), are forcing farmers for the decision to search for new areas for agriculture or choose the crops that will be most productive in already cultivated lands (Licker et al., 2010). Both cases will increase the yield, but water scarcity and climate change are another issue that farmers have to deal with, necessitating these decisions to be taken more strategically (Howden et al., 2007). Reliable local scale representation of crop growth and yields by the imitation of atmosphere-soil-vegetation interactions in managed area is essential for the correct design and implementation of these strategies (García-León et al., 2020). Crop modeling is a useful tool that helps to understand how nature responses to given inputs based on physiological knowledge of plant processes (Akhavizadegan et al., 2021). Crop models can be applied for research understanding, integration of knowledge across disciplines, site-specific experimentation, yield analysis, yield forecasting, climate

change projections, scoping best management practices, breeding and commercialization of a new cultivars (Boote et al., 2013). Depending upon the purpose of usage of crop models, they are classified as Empirical models, Mechanistic models, Static and dynamic models, Deterministic models, Stochastic models, Simulation models and Optimizing models (Oteng-Darko et al., 2013).

Recent advances in statistical computing have led to the emergence of more complex models that require large amounts of data and limit their practical use, especially considering the difficulty of obtaining local data. According to studies in the literature, the general belief is that the most efficient models do not have to incorporate every plant development phase. For the time being, Simple mechanistic models continue to be valuable for answering particular concerns, especially when there is insufficient data to run more complicated models (Cabral et al., 2017). The main point of mechanistic models is to explain what is happening in the system and how it is happening. This can be done by repeating the same calculation for selected crop and selected model, feeding



with different parameter values and understanding crop responsiveness to growth circumstances and assessing their outputs in a variety of scenarios (Manschadi et al., 2021).

LINTUL (Light Interception and Utilization) is one of the mechanistic models, published by Spitters (Spitters, 1989) and Spitters and Schapendonk (Spitters and Schapendonk, 1990), which computes dry matter accumulation using solar radiation interception and radiation use efficiency values. A first crop specific version LINTUL-POTATO (Haverkort and Kooman, 1997) included potato specific parameters and later was adopted to various crops. In the previous studies Gimplinger and Kaul (2012) to amaranth, Adiele et al. (2021) to cassava, Kothari et al. (2022) to soybean and Viver (2022) adopted the model successfully to the banana plant.

The crop model parameters that affect crop growth rate and yield in most cases are location or variety specific (Iizumi et al., 2014). To maximize production, the farmer should select the crop that is well suited to local climatic conditions. After the parameter values that affect crop growth rate are inserted in model to find the most suitable conditions a parameter calibration (i.e., change of sowing date, irrigation regime) need to be done. Calibration processes is done by running a crop model multiple times in iterative way to find optimum values for each parameter's effect on crop model outputs (Akhavizadegan et al., 2021).

Apart from whether the product can adapt to the current climatic conditions, there is a need to know what the yield will be in case of a change in climatic conditions in the coming years. So, climate change impacts on shifting planting seasons and water availability that might cause yield reduction should be investigated to feed policy makers with reliable data in interested regions. Therefore, in this study the LINTUL-MULTICROP Model was used to investigate the adaptation of sugar beet crop for the current climatic conditions and for climate change scenarios to show response of sugar beet to an increase level of carbon dioxide and temperature.

2. Materials and Methods

2.1. Model Explanation

The first versions of the LINTUL-MULTICROP Model programmed in Fortran was transcribed into MS-Excel by Linus Franke, the University of Bloemfontein in South Africa. Haverkort et al. (2013) and Franke et al. (2013) carried out the first scientific research using this model. The model requires three main data sets as input: climate, crop and soil data. The first of these inputs is climatic data including minimum and maximum temperature averages ($^{\circ}\text{C}$), precipitation (mm), solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$) and monthly evapotranspiration values (mm). The second input crop dataset includes the dates of sowing and harvest (day), planting and effective rooting depth (cm), dry matter concentration (%), harvest index (%), sprout growth rate (Extension of the below ground sprout per day-degree, mm/degree day),

effective temperature sum between emergence and 100% ground cover (GC) (0-100% GC, degree day), radiation use efficiency (RUE, g MJ^{-1}), minimum and maximum temperature for the photosynthesis and optimal photosynthesis ($^{\circ}\text{C}$). Finally, for the soil input the model has a default option for 9 different soil types with different bulk densities, water capacities, wilting points and available water contents and the user can easily select from among the different variations. The LINTUL-MULTICROP Model has several outputs. The model can recommend adaptation strategies to climate change by determining the growing period (days), days between planting and emergence, between emergence and 100% GC and between 100% GC and harvest. The irrigation water requirements can be calculated by the model with the data of precipitation and ETP. On the other hand, the model can estimate the yield under irrigated and non-irrigated conditions (t ha^{-1}).

2.2. Study Site

The study was carried out for the Konya Province ($37^{\circ}41' 29'' \text{ N}$, $33^{\circ}14' 39'' \text{ E}$; altitude 1016 m), located in Central Anatolia, Türkiye (Figure 1). The Konya Province is a part of the Konya Plain (the second largest plain in Türkiye after the Çukurova Plain) which supplies 17% of the total agricultural lands of Türkiye. Sugar beet is an essential crop in Konya Plain and the sugar industry has a very crucial role in agro-industry of Türkiye (Zengin et al., 2003). Konya is the leading city in terms of total sugar beet production and harvested area in Türkiye with 5 725 947 tons and 89 179 ha, respectively (TURKSTAT, 2022). Therefore, Konya was selected as study area of this work for simulating sugar beet production for Türkiye.



Figure 1. The location of study area.

A semi-arid climate prevails in the region and the average climate data from 1929 to 2020 and the monthly crop evapotranspiration data (ETP) are given in Table 1 (TSMS, 2022).

2.3. Plant Material

Sugar beet, which is well adapted to the ecological conditions of the region and has an economically critical role in the region, was used as plant material. The input crop data of LINTUL-MULTICROP model obtained from various literatures was examined and given in Table 2.

2.4. Climate Change Scenarios

Four different scenarios were created to compare effects of the climate change on sugar beet farming in the semi-arid Konya Region (Table 3).

Table 1. The long-term annual climate data of Konya Province (1929-2021)

Months	Avg. min. temperature (°C)	Avg. max. temperature (°C)	Avg. mean temperature (°C)	Avg. precipitation (mm)	Radiation (MJ m ⁻² day ⁻¹)	ETP (mm)
January	-4.2	4.6	-0.2	38.1	8.3	41.3
February	-3.3	7.0	1.5	28.5	10.8	54.0
March	-0.2	11.8	5.6	29.3	16.6	82.8
April	4.3	17.5	11.1	32.0	19.6	98.1
May	8.6	22.4	15.9	43.1	24.1	120.5
June	12.6	26.7	20.1	53.1	26.0	129.8
July	15.9	30.2	23.5	7.5	25.6	127.9
August	15.6	30.2	23.3	6.4	22.6	113.0
September	11.0	26.0	18.8	13.5	18.5	92.3
October	5.9	20.0	12.8	29.5	13.4	66.9
November	0.8	13.0	6.5	32.2	9.7	48.3
December	-2.3	6.6	1.7	43.2	7.7	38.5
Average	5.4	18.0	11.7	29.7	16.9	84.4

Table 2. Input parameters for the model

Parameters	Values	References
Sowing date (days)	15/04	Petkeviciene, 2009
Planting depth (cm)	3	Acar, 2015
Harvest date (days)	28/09	Yetik and Candoğan, 2022
Effective rooting depth (cm)	120	Jégo et al., 2008
Dry matter concentration (%)	24	Starke and Hoffman, 2014
Harvest index (%)	70	Mamyandi, et al., 2012
Sprout growth rate (mm degree day ⁻¹)	0.3	Durr and Boiffin, 1995
0-100% GC (degree day)	885	Noor and Khan, 2015
RUE (g MJ ⁻¹)	0.92	Kamali et al., 2022
Temperature for the photosynthesis (°C)	Minimum	Terry, 1968
	Maximum	
Temperature for the optimum photosynthesis (°C)	Minimum	38
	Maximum	

Table 3. The climate change scenarios created for the study

Scenario	Explanation
a	Current conditions
b	Current mean temperatures 2 °C
c	Current CO ₂ +200 ppm
d	2 °C, +200 ppm, new sowing, harvest dates

The first scenario (a) was simulated by the current climate conditions for the Konya Province with the aim of comparison, the second scenario (b) was run by the future expectation in which the average temperatures were increased by 2 °C degrees and the third scenario (c) was increasing of atmospheric CO₂ with 200 ppm added to current 410 ppm which is another estimation for the future and causes the increasing radiation use efficiency of crops, and finally in the fourth scenario (d) new optimum sowing and harvest dates in sugar beet farming and increased temperatures and atmospheric CO₂ amount were simulated together.

3. Results and Discussion

The growth season length simulations of the LINTUL-MULTICROP for different scenarios are shown in Table 3. In scenario (c), if 200 ppm is added to the existing atmospheric CO₂ amount, the new RUE value is determined as 1.45 g MJ⁻¹ (Werker and Jaggard, 1998). For the scenario (d), the new sowing and harvesting dates were determined with the effects of increasing temperature expectations (2 °C) on the growing period as given in Figure 2. The optimum temperature for photosynthesis (13.4 °C) was selected as a reference temperature, considering minimum and maximum extreme temperatures during the day and the dates are shifting from 15th to 2nd April for sowing and from 28th September to 6th October for harvesting, were established (as demonstrated in Figure 2).

The growing period of sugar beet cultivated in semi-arid Konya environment determined as 166 days according to model. Since sowing and harvesting dates were input of the model, the total growing period was not changed

except for scenario (d), but the 2 °C temperature increase in scenario (b) provided sugar beet to reach maturity stage earlier than in the other scenarios (Table 4). In scenario (d), with the new sowing and harvest dates, the stage between 100% GC and harvest was 14 days longer than scenario (b) and 22 days longer than scenario (a) and (c) (Table 4). Previous studies stated that the adaptations including modifying sowing and harvest dates might theoretically decrease the impacts of climate change on agriculture (Mendelsohn et al., 1994; Rosenzweig and Hillel, 1998; Challinor et al., 2014; Battisti et al., 2018; Rahman et al., 2018; Pequeno et al., 2021). Jones et al. (2013), reported that early sowing may be possible in sugar beet, as a result of warmer temperatures in Europe in March, according to HadCM2 Climate Model. Richter et al. (2006) stated that the sowing date is a crucial parameter to reduce the influence of climate change on sugar beet cultivation. Alexandrov and Hoogenboom (2000) reported that modification of the sowing date can decrease the adverse impact of climate change on maize farming.

by the model for different scenarios are given in Table 5. The potential yields for different scenarios were varied between 87.2 t ha⁻¹ and 132.3 t ha⁻¹, the yield for irrigated cultivation values varied between 74.4 t ha⁻¹ and 111.2 t ha⁻¹ and the yield for non-irrigated cultivation between 43.8 t ha⁻¹ and 61.7 t ha⁻¹. The irrigation water requirements of scenarios (a,c), (b) and (d) were determined as 618.8, 688.5 and 758.1 mm, respectively.

When the yields of irrigated cultivation for different scenarios are examined, it is seen that under current conditions (scenario a) the yield for the irrigated cultivation was 74.4 t ha⁻¹ (Table 5). Increasing temperatures and RUE values resulted as an increase on the yield of sugar beet for scenarios (b) and (c). Additionally, the new sowing and harvesting dates increased sugar beet yield in scenario (d) (49%).

In previous studies conducted under Konya conditions, the ranges of sugar beet yields were reported as 35.3-49.6 by Gezgin et al. (2001), as 52.3 – 93.1 t ha⁻¹ by Zengin et al. (2009) and as 28.1-77.3 by Topak et al. (2011).

The determined yields and irrigation water requirements

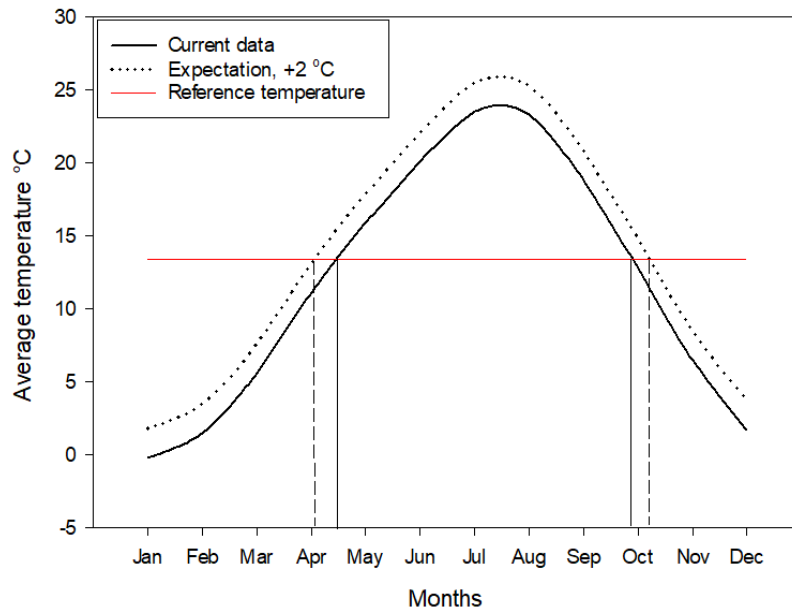


Figure 2. Determination of new dates of sowing and harvest of sugar beet in Konya.

Table 4. Growing stages of sugar beet grown in different scenarios

Scenario	A	b	c	d
Days between planting and emergence	12	10	12	12
Days between emergence and 100% GC	66	60	66	65
Days between 100% GC and harvest	88	96	88	110
Growing period (days)	166	166	166	187

Table 5. Yield and irrigation simulations of different scenarios for sugar beet crop

Scenario	a	b	c	d
Potential yield (t ha ⁻¹)	87.2	92.8	112.9	132.3
Yield irrigated (t ha ⁻¹)	74.4	78.6	90.1	111.2
Yield not irrigated (t ha ⁻¹)	43.8	45.3	57.1	61.7
Irrigation water requirements (mm)	618.8	688.5	618.8	758.1

Tognetti et al. (2003) reported that the root yield of sugar beet ranged from 40.2 t ha⁻¹ to 78.70 t ha⁻¹ under Italy conditions. These results are in parallel with the simulation results of scenario (a). Freckleton et al. (1999) and Kenter et al. (2006) reported that high temperatures tend to discourage yields of sugar beet. In our study as the model tends to adapt to the effects of climate change, it increased the amount of irrigation water. For this reason, it is thought that there is no decrease in yield despite the increase in temperature in scenario (b). The yields under a higher RUE value in scenario (c) were higher than the current conditions. Hoffman and Kenter (2018), reported that RUE is one of the most important parameters to achieve potential yield in sugar beet, and with optimum RUE, a potential yield of 24 t ha⁻¹ can be reached under Germany conditions. Yagiz et al. (2020) reported a 42% increase in potential potato yield under Konya conditions with the increase of RUE. Kamali et al. (2022) determined statistically significant a linear relationship between RUE value and root yield of sugar beet. The simulation results for scenario (d) showed that adaptation to climate change for sugar beet farming in Konya can be provided by changing the sowing and harvesting dates. The yield for irrigated cultivation increased by 49% compared to current conditions. Tingem and Rivington (2009) reported a 32.1% increase in maize yield, a 17.6% increase in sorghum yield, and an almost trebled increase in ground nut yield with the effects of new sowing dates and increasing atmospheric CO₂ amount. Asseng et al. (2019) stated that higher RUE and different sowing and harvest dates provide higher yield and biomass growth in the models.

The irrigation water requirements were calculated as 618.8 mm for scenarios (a) and (c), as 688.5 mm for scenario (b) and 758.1 mm for scenario (d). The irrigation water requirements of sugar beet varied between 70 mm and 912 mm under Konya conditions (Süheri et al., 2007). Similar ranges were reported in the previous studies. Topak et al. (2011) determined the irrigation water requirements of sugar beet as between 244.2 - 977 mm under Konya climatic conditions. Köksal et al. (2011) reported a range from 65 mm to 865 mm for the irrigation water need of sugar beet in a semi-arid environment. Faberio et al. (2003) reported the irrigation water need of sugar beet as 897 mm. In previous modeling studies, Garcia-Vila et al. (2019) reported the 700 mm for the irrigation need of sugar beet by the AquaCrop Model. Stricevic et al. (2011), determined the range of irrigation water requirement of sugar beet as 586.8-767 mm with the AquaCrop Model.

4. Conclusion

Yield optimization is a very important parameter in terms of the quality and economic value of the product obtained from the agricultural sector. In recent years, the conditions in which optimum efficiency will be achieved in cultivation have changed considerably due to the changes in the precipitation regime under the impacts of

climate change, the increases in the air temperature and atmospheric CO₂ amount. In this study, the response of sugar beet yield grown in Konya to different climate scenarios was investigated and optimum growing conditions were evaluated for adaptation to these scenarios. The LINTUL-MULTICROP Model calculated different sowing-harvest dates, three different yield values and irrigation water requirements. The optimum sowing and harvesting dates of sugar beet were moved 13 days back for sowing, and 8 days forward for harvesting. Three different yields were stated by the model and the highest yields were estimated for scenario d (2 °C, +200 ppm, new sowing and harvest dates). The yields under irrigated conditions varied between 74.4 t ha⁻¹ and 111.2 t ha⁻¹. The irrigation water requirements of sugar beet ranged from 618.8 mm to 688.5 mm for different scenarios. The present findings indicated that the cultivation of sugar beet tends to alter in semi-arid Konya environment. The amount of irrigation water should be increased and the harvest and sowing dates should be changed in order to avoid loss of yield in temperature increases in the region.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	A.K.Y.	T.K.	Z.Ü.
C		50	50
D		50	50
S		100	
DCP	50	50	
DAI	100		
L	100		
W	40	30	30
CR		50	50
SR	100		

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

- Acar M. 2015. Şeker pancarının seyreltmeli ve blok ekim uygulamalarının sıra üzeri bitki dağılımı ile kalite özelliklerine etkisi. PhD thesis, Selçuk University, Institute of Science, Konya, Türkiye, pp: 54.
- Adiele JG, Schut AGT, Beuken RPM, Ezui KS, Pypers P, Ano AO, Giller KE. 2021. A recalibrated and tested LINTUL-Cassava simulation model provides insight into the high yield potential of cassava under rainfed conditions. Eur J Agron, 124: 126242.
- Akhavizadegan FJ, Ansarifard LW, Huber I, Archontoulis SV. 2021. A time-dependent parameter estimation framework for crop modeling. Sci Rep, 11(1): 1-15.

- Alexandrov VA, Hoogenboom G. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agric For Meteorol*, 104(4): 315-327.
- Asseng S, Martre P, Maiorano A, Rötter RP, O'Leary GJ, Fitzgerald GJ, Ewert F. 2019. Climate change impact and adaptation for wheat protein. *Glob Chang Biol*, 25(1): 155-173.
- Battisti R, Sentelhas PC, Parker PS, Nendel C, Gil MDS, Farias JR, Basso CJ. 2018. Assessment of crop-management strategies to improve soybean resilience to climate change in Southern Brazil. *Crop Pasture Sci*, 69(2): 154-162.
- Boote KJ, Jones JW, White JW, Asseng S, Lizaso JL. 2013. Putting mechanisms into crop production models. *Plant Cell Environ*, 36(9): 1658-1672.
- Cabral JS, Valente L, Hartig F. 2017. Mechanistic simulation models in macroecology and biogeography: state-of-art and prospects. *Ecography*, 40(2): 267-280.
- Challinor AJ, Watson J, Lobell DB, Howden SM, Smith DR, Chhetri N. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nat Clim Chang*, 4(4): 287-291.
- Durr C, Boiffin J. 1995. Sugarbeet seedling growth from germination to first leaf stage. *J Agric Sci*, 124(3): 427-435.
- Faberio C, Santa Olalla M, Lopez R, Dominguez A. 2003. Production and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation condition in semiarid-climate. *Agric Water Manag*, 62: 215-227.
- Franke AC, Haverkort AJ, Steyn JM. 2013. Climate change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems 2. Assessing risks and opportunities of adaptation strategies. *Potato Res*, 56(1): 51-66.
- Freckleton RP, Watkinson AR, Webb DJ, Thomas TH. 1999. Yield of sugar beet in relation to weather and nutrients. *Agric For Meteorol*, 93(1): 39-51.
- García-León D, López-Lozano R, Toreti A, Zampieri M. 2020. Local-scale cereal yield forecasting in Italy: Lessons from different statistical models and spatial aggregations. *Agron J*, 10(6): 806.
- Garcia-Vila M, Morillo-Velarde R, Fereres E. 2019. Modeling sugar beet responses to irrigation with AquaCrop for optimizing water allocation. *Water*, 11(9): 1918.
- Gezgin S, Hamurcu M, Apaydin M. 2001. Effect of boron application on the yield and quality of sugar beet. *Turk J Agric Forest*, 25(2): 89-95.
- Gimplinger DM, Kaul HP. 2012. Calibration and validation of the crop growth model LINTUL for grain amaranth (*Amaranthus* sp.). *J Appl Bot Food Qual*, 82(2): 183-192.
- Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Toulmin C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967): 812-818.
- Haverkort AJ, Franke AC, Engelbrecht FA, Steyn JM. 2013. Climate change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems 1. Effects on land and water use efficiencies. *Potato Res*, 56(1): 31-50.
- Haverkort AJ, Kooman PL. 1997. The use of modeling growth and development in ideotyping of potato under conditions defining, limiting and reducing yields. *Euphytica*, 94: 191-200.
- Hoffmann CM, Kenter C. 2018. Yield potential of sugar beet—have we hit the ceiling? *Front Plant Sci*, 9: 289.
- Howden SM, Soussana JF, Tubiello FN, Chhetri N, Dunlop M, Meinke H. 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proc Natl Acad Sci*, 104(50): 19691-19696.
- Iizumi T, Luo JJ, Challinor AJ, Sakurai G, Yokozawa M, Sakuma H, Yamagata T. 2014. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nat Commun*, 5(1): 3712.
- Jégo G, Martínez M, Antigüedad I, Launay M, Sanchez-Pérez JM, Justes E. 2008. Evaluation of the impact of various agricultural practices on nitrate leaching under the root zone of potato and sugar beet using the STICS soil-crop model. *Sci Total Environ*, 394(2-3): 207-221.
- Jones PD, Lister DH, Jaggard KW, Pidgeon JD. 2003. Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Clim Change*, 58(1): 93-108.
- Kamali HR, Zand-Parsa S, Zare M, Sapaskhah AR, Kamgar-Haghighi AA. 2022. Development of a simulation model for sugar beet growth under water and nitrogen deficiency. *Irrig Sci*, 40(3): 337-358.
- Kenter C, Hoffmann CM, Märlander B. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *Eur J Agron*, 24(1): 62-69.
- Köksal ES, Güngör Y, Yildirim YE. 2011. Spectral reflectance characteristics of sugar beet under different levels of irrigation water and relationships between growth parameters and spectral indexes. *Irrig Drain*, 60: 187-195.
- Kothari K, Battisti R, Boote KJ, Archontoulis SV, Confalone A, Constantin J, Salmerón M. 2022. Are soybean models ready for climate change food impact assessments? *Eur J Agron*, 135: 126482.
- Licker R, Johnston M, Foley JA, Barford C, Kucharik CJ, Monfreda C, Ramankutty N. 2010. Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the 'yield gap' of croplands around the world? *Glob Ecol Biogeogr*, 19(6): 769-782.
- Mamyandi MM, Pirzad A, Zardoshti MR. 2012. Effect of Nano-iron spraying at varying growth stage of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) on the size of different plant parts. *Intern J Agric Crop Sci*, 4(12): 740-745.
- Manschadi AM, Eitzinger J, Breisch M, Fuchs W, Neubauer T, Soltani A. 2021. Full parameterisation matters for the best performance of crop models: inter-comparison of a simple and a detailed maize model. *Int J Plant Prod*, 15(1): 61-78.
- Mendelsohn R, Nordhaus WD, Shaw D. 1994. The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Econ Rev*, 1: 753-771.
- Noor A, Khan MR. 2015. Efficacy and safety of mixing azoxystrobin and starter fertilizers for controlling *Rhizoctonia solani* in sugar beet. *Phytoparasit*, 43(1): 51-55.
- Oteng-Darko P, Yeboah S, Addy SNT, Amponsah S, Danquah ETO. 2013. Crop modeling: A tool for agricultural research—A review. *J Agric Res Dev*, 2(1): 001-006
- Petkeviciene B. 2009. The effects of climate factors on sugar beet early sowing timing. *Agron Res*, 7: 436-443.
- Prequeno DN, Hernandez-Ochoa IM, Reynolds M, Sonder K, MoleroMilan A, Robertson RD, Asseng S. 2021. Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. *Environ Res*, 16(5): 054070.
- Rahman MH, Ahmad A, Wang X, Wajid A, Nasim W, Hussain M, Hoogenboom G. 2018. Multi-model projections of future climate and climate change impacts uncertainty assessment for cotton production in Pakistan. *Agric For Meteorol*, 253: 94-113.
- Richter GM, Qi A, Semenov MA, Jaggard KW. 2006. Modelling the variability of UK sugar beet yields under climate change and husbandry adaptations. *Soil Use Manag*, 22(1): 39-47.
- Rosenzweig C, Hillel D. 1998. Climate change and the global harvest: potential impacts of the greenhouse effect on agriculture. Oxford University Press, Oxford, UK, 1st ed., pp: 336.
- Spitters CJ, Schapendonk AH. 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. *Gen Aspects of Plant Min Nut*, 2: 151-161.

- Spitters CJT. 1989. Crop Growth Models: Their usefulness and limitations. *Acta Hort*, 267: 349-368.
- Starke P, Hoffmann C. 2014. Yield parameters of Beta beets as a basis to estimate the biogas yield. *Sug Ind*, 2: 169-176.
- Stricevic R, Cosic M, Djurovic N, Pejic B, Maksimovic L. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agric Water Manag*, 98(10): 1615-1621.
- Süheri S, Topak R, Yavuz D. 2007. Farkli sulama programlarının şeker pancarı verimine ve su kullanım randımanına etkisi. *Selcuk J Agric Food Sci*, 21(43): 37-45.
- Terry N. 1968. Developmental physiology of sugar beet: i. the influence of light and temperature on growth. *J Exp Bot*, 19(4): 795-811.
- Tingem M, Rivington M. 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*, 14(2): 153-168.
- Tognetti R, Palladino M, Minnoccia A, Delfino S, Alvino A. 2003. The response of sugar beet to drip and low-pressure sprinkler irrigation in southern Italy. *Agri Water Manage*, 60(2): 135-155.
- Topak R, Süheri S, Acar B. 2011. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey. *Irrig Sci*, 29(1): 79-89.
- TSMS. 2021. Turkish State Meteorological Service, climate data of long term period. URL: <https://mgm.gov.tr> (access date: August 2, 2022).
- TURKSTAT. 2022. Turkish Statistical Institute. URL: <https://tuikweb.tuik.gov.tr/> (access date: August 2, 2022).
- Viver IA. 2022. Translation and evaluation of the LINTUL2-Banana crop growth model in R. MSc Thesis, Wageningen University and Research, Wageningen, Nederland, pp: 78.
- Werker AR, Jaggard KW. 1998. Dependence of sugar beet yield on light interception and evapotranspiration. *Agric For Meteorol*, 89(3-4): 229-240.
- Yagiz AK, Cakici M, Aydoğan N, Omezli S, Yerlikaya BA, Ayten S, Haverkort AJ. 2020. Exploration of climate change effects on shifting potato seasons, yields and water use employing NASA and national long-term weather data. *Potato Res*, 63(4): 565-577.
- Yetik AK, Candoğan BN. 2022. Optimisation of irrigation strategy in sugar beet farming based on yield, quality and water productivity. *Plant Soil Environ*, 68: 358-365.
- Zengin M, Gökmen F, Yazici MA, Gezgin S. 2009. Effects of potassium, magnesium, and sulphur containing fertilizers on yield and quality of sugar beets (*Beta vulgaris* L.). *Turkish J Agric Forest*, 33(5): 495-502.
- Zengin M, Uyanöz R, Çetin Ü. 2003. A study on the soil tare of sugar beet in Konya. *Selcuk J Agric Sci*, 17: 53-55.



DETERMINING ACCURACY OF TEMPERATURE LIMIT CHANGE IN POWER TRANSFORMER CORE USING TEMPERATURE-TIME PARAMETER METHOD

Nihat PAMUK^{1*}


¹Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

Abstract: The efficient transmission of electrical energy depends on amplifying voltage values with power transformers. To obtain higher efficiency from transformers, the core and winding type of transformer, the geometric structure of the core, and the shaping techniques in the windings are changed. This requires modeling transformer windings with equivalent circuits and calculating the inductance and electrical parameters appropriately. In this study, two-dimensional (2D) finite element solutions with energy perturbation and flux-coupling methods are used. The correctness of the inductance values of transformer windings was established, and the design was performed, by considering the inductance and electrical parameter values, which are comparable to the energy perturbation and flux connection. However, when two-dimensional calculated fields are used, the flux coupling method requires less computation and gives numerically more accurate results than the energy perturbation method. So, it is concluded that the flux-coupling approach should be chosen as the preferred method for calculating the inductance and electrical parameters of transformer windings. The numerical properties and equivalence of energy perturbation and flux-connection methods, the “apparent” inductance value of the primary and secondary field windings of power transformer operating under transient conditions, using the temperature-time parameter method, are calculated and its accuracy is demonstrated.

Keywords: Power transformer windings, Energy perturbation method, Flux-linkage method, 2D finite element methods, Transient condition

*Corresponding author: Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

E mail: nihampamuk@gmail.com (N. PAMUK)

Nihat PAMUK  <https://orcid.org/0000-0001-8980-6913>

Received: January 19, 2023

Accepted: February 23, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Pamuk N. 2023. Determining accuracy of temperature limit change in power transformer core using temperature-time parameter method. BJS Eng Sci, 6(2): 60-67.

1. Introduction

The electrical transmission and distribution system includes power transformers as a critical component. Losses in power transformers are become more significant due to rising energy costs (Metwally, 2011). The increase in the use of electronic elements causes the formation of current harmonics in the system (Delghavi et al., 2021). This increases the losses in power transformers. If the losses in the power transformers are not kept under control, it causes the temperature in the power transformer core to increase and the insulation deteriorates (Pamuk, 2017; Mariprasath and Ravindaran, 2022). Load losses in power transformers are examined in three main sections. These are DC losses, eddy current losses in the windings, and leakage losses occurring in the tank and other conductive parts of the power transformer (Ertl and Landes, 2007). The values of DC loss are the simplest to compute and quantify. Eddy current losses in the power transformer's winding and other components cannot be detected during the measurement. These values can only be estimated by computation or modeling in two-dimensional finite element programs (Kwon and Bang, 2018). It has been

successful to estimate the performance of temperature-time parameters for electrical power transformer equipment in steady-state using 2D finite element techniques (2D-FETs) (Mejia-Barron et al., 2018), (Shadab et al., 2023) and transient (Oliveira et al., 2012; Božidar et al., 2017) conditions. Nevertheless, the electrical power transformer model obtained with lots of variables is far too detailed for many applications, such as power system analysis, and therefore, it is common practice to seek comparable circuit simulations with resistances and inductors obtained from finite element solutions.

Numerical inductance estimation of physically realizable equipment windings, such as the main and secondary field core of electrical power transformers, comprises the post-processing of nonlinear finite element solutions. The energy perturbation (EP) method (He, 2003), and the reputable flux-linkage (FL) approach have both been used for this purpose (Fornasiero et al., 2014). The first involves using the right permeability values from the numerical model to calculate co-energies around the electrical device under consideration's operating point. The FL method consists of calculating flux linkages



created by specific currents. Both approaches yield equivalent inductance values. The EP approach is laborious and may be numerically unstable because it includes the variance among values of identical size (Johnson et al., 2014), and to get precise solutions, current perturbations must be properly selected. Furthermore, because area integrations are required, computational expenses are extremely substantial. On the other hand, when 2D numerically determined fields are used, the FL approach is simpler to use and has reduced computing costs.

A power transformer's load capacity and useful life limit values must be estimated, as well as the hot spot limit values of the power transformer core windings. Many methods have been proposed to determine the hot spot limit values under sinusoidal conditions (Kunicki et al., 2020; Emiroglu et al., 2021). This paper proposes a heat transfer theory-based thermal modeling approach for equivalent circuit transformers. The degradation time of the insulation level in transformer windings is evaluated using full simulation and iterative process methodologies. The transformer's design stage and the likelihood that it will fail within a certain time period affect how long it will operate efficiently (Awadallah et al., 2014). Many analytical methods have been developed to estimate the temperature values and distributions at different points of the transformer windings. These methods are closed-form methods using the generalized heat conduction model and are based on mathematical techniques (Lee et al., 2010; Ding and Ning, 2012). However, some methods can evaluate the hot spot distribution in transformer windings under harmonic conditions. To estimate the hot spot distribution and lifetime in power transformers, structures similar to the conventional transformer equivalent circuit model should be used.

2. Calculation of Diverse Inductance Losses

The energy stored in power transformer windings is directly measured by the inductance (Hashemnia et al., 2015). It also serves as an opposite measurement of the current generated in a winding. As a result, precise inductance value calculation is required to represent electrical power transformers with similar circuits. There are several definitions of inductance (Oliveira, 2014). However, calculations for electrical power transformer windings frequently use the apparent and differential values. Due to the notation difference, the differential is utilized in this instance instead of incremental. The ultimate current and flux values determine the apparent inductance. The straight line that connects the origin and the operational point on the nonlinear magnetizing characteristic serves as its representation. The slope of the nonlinear curve at the operational point determines the differential inductance.

2.1. Method for Calculating Apparent Inductance Losses Numerically

The EP method or the FL approach can be used to determine the apparent inductance for linearized equipment. It is important to use the magnetic co-energy that can be proved for a multi-winding system in order to employ the complicated procedure that is used to determine the apparent values of current perturbations and inductance equation 1 (Shirakawa et al., 2016);

$$dW_{stored} = i.d\lambda = e.idt \quad (1)$$

where e is the voltage, i is the current, and λ is the flux linkage. The relationship between $i - \lambda$ is non-linear. If there is a finite change in flux connection from one value to another, (λ_1 to λ_2) it can be calculated as equations 2-6:

$$\Delta W_{stored} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i(\lambda).d\lambda \quad (2)$$

$$Energy(W) + Coenergy(W') = i.\lambda \quad (3)$$

$$W(\lambda, x)_{energy} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda^2}{L(x)} \quad (4)$$

$$W'(i, x)_{coenergy} = \frac{1}{2} \cdot L(x).i^2 \quad (5)$$

$$W'_{stored}(i_1, \dots, i_j, x)_{coenergy} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{p=1}^{N_c} \sum_{q=1}^{N_c} L_{pq} \cdot i_p \cdot i_q \quad (6)$$

Equations 4 and 5 are general equations for energy and co-energy in the magnetostatic system. In equation 6, the electrical input count is N_c , and the position is represented by x . It is presumed that this co-energy is a part of a magnetic system with no loss. Outside the coupling field, losses are taken into account. (Liu et al., 2016). Self and bilateral inductances equation 7 can be calculated by obtaining the derivative of the co-energy related to any specific current from equation 6.

$$\frac{\partial W'_{f}}{\partial i_p} = \sum_{q=1}^{N_c} L_{pq} \cdot i_q = \lambda_{pt} \quad (7)$$

where by considering the approximate value of equation 7 with respect to a different currency, we can determine that λ_{pt} is the overall flux connecting the p^{th} core winding, which is created through all circuit currents. As a result, equation 8 gives the flux linkage between circuits p and q , and the self-inductance is recognized when p and q are equivalent.

$$\frac{\partial^2 W'_{f}}{\partial i_p \cdot \partial i_q} = L_{pq} = \frac{\partial \lambda_{pt}}{\partial i_q} \quad (8)$$

The FL approach can also be used to determine this mutual inductance. The rates of flux-linkage change with

respect to currents in the situation of a linearized machine, where apparent inductances can be utilized, are constant and similar to the internal and bilateral inductances that are equation 9;

$$\frac{\partial \lambda_{pi}}{\partial i_q} = L_{pq} = L_{qp} = \frac{\lambda_p}{i_q} \quad (9)$$

where λ_p is the current flowing through winding i_q and p is the flux connecting windings p and q . This current alone generates the flux p . Equations 8 and 9 provide two techniques for calculating inductance that can be applied to magnetic fields that have been calculated numerically. The FL approach provides a simple procedure for equation 9. A non-linear magneto static numerical solution can be computed after all of the system's currents are known. From the B-H feature, it is possible to determine the conductivity of each component once this solution has been obtained equation 10.

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (10)$$

It preserved in the grid of finite elements. The magnetic

flux connections in overall the power transformer core windings owing to this current are acquired by uptake in the p^{th} winding. Therefore, equation 9 can be used to determine the internal and bilateral inductances connected to the p^{th} winding.

The winding vector notion, which attributes the fractional number of turns to nodes, allows for the efficient calculation of flow connections (Jia et al., 2022). Hence, only linear solutions are needed once the non-linear method has been discovered and each element's permeability has been locked. With just one more solution, all the inductances associated with the p^{th} winding may be calculated. The operational point's saturated circumstances under examination are represented by the values of inductance that were derived by substituting the saturated device with comparable equipment that includes a "sequential" feature through the equilibrium point. The inductance values for this analogous machine are correct, however, they need to be changed if the power transformer core deviates from its operational point. The graphs of variation of the irregular magnetization of the flux properties in the power transformer core depending on the field voltage are shown in Figure 1.

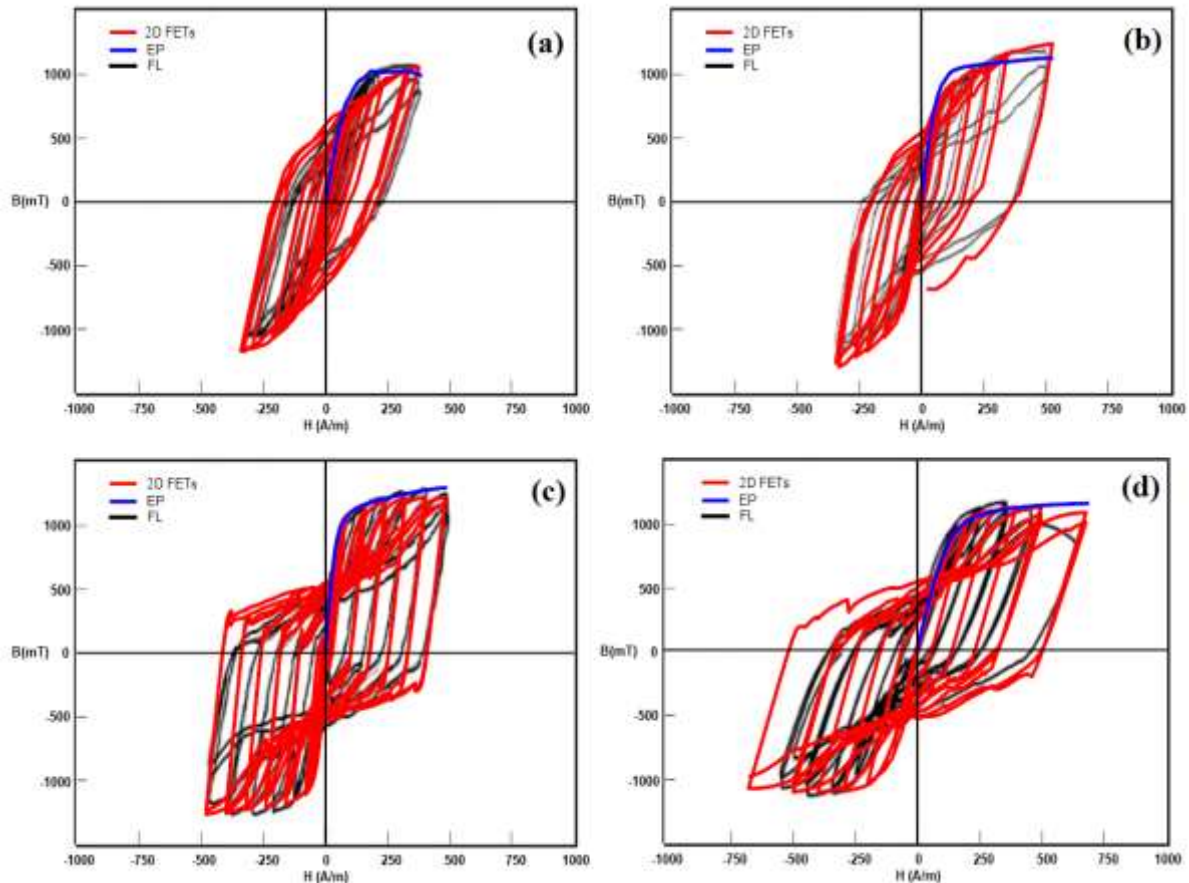


Figure 1. Field variation of uneven magnetic flux density in power transformer core windings, (a) for 144 equidistant air gap segments of the core settings, (b) for 288 equidistant air gap segments of the core settings, (c) for 864 equidistant air gap segments of the core settings, (d) for 1728 equidistant air gap segments of the core settings.

$$L_{pq} = \frac{\partial^2 W' f}{\partial i_p \partial i_q} \approx \frac{[W' f(i_p + \Delta i_p, i_q + \Delta i_q) - W' f(i_p - \Delta i_p, i_q + \Delta i_q) - W' f(i_p + \Delta i_p, i_q - \Delta i_q) + W' f(i_p - \Delta i_p, i_q - \Delta i_q)]}{(4 \Delta i_p \Delta i_q)} \quad (11)$$

The FL strategy is an equivalent to the EP technique equation 11, which is connected to equation 8. However, once the FL magnetic solution has been identified this method needs more linear solutions. This may be observed from the approximate solution of equation 8 using finite differences;

This provides values for the mutual inductance ($p \neq q$). In equation 12, the self-inductance is specified.

$$L_{pp} = \frac{\partial^2 W' f}{\partial i_p \partial i_p} \approx \frac{[W' f(i_p - \Delta i_p) - 2W' f + W' f(i_p + \Delta i_p)]}{(\Delta i_p)^2} \quad (12)$$

In equation 12, If all of the currents are present, the co-energy is $W'f$, and it is at the desired value, but with a partial positive shift in the p^{th} current is $W'f(i_p + \Delta i_p)$. All of the “perturbed” co-energies in equations 11 and 12 have the same interpretations. Since the FE system structure does not shift and also its reverse has already been established, only reverse replacements are necessary to calculate these perturbed co-energies. Keep in mind that the FL approach is equally applicable to this statement.

Due to the numerous solutions or back-substitutions necessary for their evaluation, it can be observed that equations 11 and 12 are awkward. For instance, four sequential approaches are necessary, three more than using the FL technique, to calculate the eddy current between the p^{th} and q^{th} windings. The flux-linkage strategy also offers a single sequential solution for the device winding under investigation and any associated bilateral inductances. Additionally, the post-processing of partial differential equation quantitative information ought to be considered to avoid evaluating variations between quantities of similar magnitude in order to prevent shaped faults, which is a disadvantage of the EP technique. When the necessary current increments are given to the EP approach, the numerical computation of the power transformer’s core and magnetic area winding apparent inductances clearly demonstrates that the two methods are numerically equal.

The determination of apparent inductances in the field at a steady state of a power transformer winding using the EP method. The machine’s real winding distribution served as a proxy for power transformer windings, and while calculating inductance values, it was necessary to account for the variance in inductance in relation to the winding design position. Utilizing 144 increments over 360 electrical degrees, inductance samples were collected. The self-inductance of a single phase, the leakage current between the magnetic and one phase, as well as the self-inductance of the primary coil, are all factors in the computation of the device inductance profiles. All in all, this means that the inductance

computation process required 1728 linear solutions, but the FL technique would have just needed 288 solutions. It is obvious that, in terms of computing expenses, the FL technique is preferable.

2.2. Method for Calculating Differential Inductance Losses Numerically

A modified definition of inductance is required if the power transformer core cannot be substituted with an equivalent one that has apparent inductances. When apparent values are invalid, differential inductance is frequently used. In this case, the p^{th} winding’s flux change rate in relation to the q^{th} current is no longer in effect. This changing rate was referred to as “gradual” inductance in the method. This is undesirable since the additional inductance is connected to minor signal changes around a specialist area, in which case magnetic materials take a different path than the regular B-H curve and instead superimpose incremental loops on the normal B-H profile. Since the inductance described by the gradient of the non-linear curve is better described by the label differential, it is used in this application. Replace the permeability definition in equation 10 with equation 13;

$$\mu = \frac{\partial B}{\partial H} \quad (13)$$

which, following the discovery of the power transformer core’s quasi-solution, is derived from the standard B-H curve. Thus, for the operating situation and the calculation of difference inductances, values of “differential” leakage, are defined as equation 14;

$$L_{pq} = \frac{\partial \lambda_{pq}}{\partial i_q} \quad (14)$$

is now possible to calculate the differential inductance by suspending the difference admittance in the mathematical model and injecting individual currents into the windings;

$$L_{pq} = \frac{\lambda_p \left| \frac{\partial B}{\partial H} \right.}{i_q} \quad (15)$$

where it is presumptively supposed that the system is linearized close to its operational point. Equation 15 is accurate because equation 13 resembles the differential of the flux-linkage in relation to the current. Equation 10 is replaced by equation 13 for the basic mathematical calculation of the “perturbed” energy, while equations 11 and 12 are still applicable for the computation of “difference” values. The following examples make it

simple to demonstrate this claim. The differentiated electromagnetic co-energy of a dynamic function with N_c electricity sources and N_m physical outputs is given by equation 16;

$$dW'f = \sum_{p=1}^{N_c} \lambda_{pt} di_p + \sum_{r=1}^{N_m} T_r d\theta_r \quad (16)$$

where, T_r is the power transformer core's measured r^{th} electromagnetic torque. It is also possible to write the entire differential of co-energy as equation 17;

$$dW'f = \sum_{p=1}^{N_c} \frac{\partial W'f}{\partial i_p} di_p + \sum_{r=1}^{N_m} \frac{\partial W'f}{\partial \theta_r} d\theta_r \quad (17)$$

Hence, by equating 16 and 17, the equation 18;

$$\lambda_{pt} = \frac{\partial W'f}{\partial i_p} \quad (18)$$

It provides the necessary outcome after differentiation with regard to the q^{th} current equation 19;

$$\frac{\partial^2 W'f}{\partial i_q \partial i_p} = \frac{\partial \lambda_{pt}}{\partial i_q} = L_{pq} \quad (19)$$

Calculating differential inductance quantities has the same limitations as calculating apparent inductance numerically using "perturbed" co-energies.

It ought to be noted that the system's stored energy rather than the co-energy is utilized. This is obviously erroneous when determining differential inductances, but it is correct when calculating apparent inductances. As a result, it is clear that both procedures provide identical inductance values. Since both methods are derived from the same physical foundation, this is not surprising. However, since it avoids numerical differentiation and just requires a limited number of sequential values, the FL technique provides an effective and reliable way to determine inductance values in 2D. The calculation of differential inductances for a power transformer core is described. The "energy perturbation method" was used for this calculation. To perform this calculation, the flux-linkage approach might have needed a lot fewer alternatives.

3. Modeling and Numerical Example of Power Transformer Core with Finite Element Methods

Calculating the time variation of the apparent inductance values of a power transformer core operating under different operating conditions demonstrates the numerical equality of the FL and EP approaches. Due to the significant air gap they imply, apparent values are suitable for solid-power transformer cores. The finite

element model as well as the transient conditions of the machine under consideration are fully described. Nevertheless, the machine operating conditions are briefly described here. The core is initially working under-excited (on-load) and connected to the main power system. A three-phase-to-earth fault is applied to the high-voltage connectors of the power transformer core. The fault duration is seven cycles.

The equipment is then reconnected to the main system after the problem has been fixed. A stable condition is achieved after fault clearance. For the fault period, inductance values are computed. The field winding and the fictional d and q axis cyclic distributed windings, which are fixed to the core stationary frame, are included in the self-inductances that were calculated. The effective turns on these d and q -axis windings match the number of real turns on each phase coil. Consequently, two windings have been used in place of the actual three-phase winding, and their mathematical representations take the form of two winding vectors, the entries of which are as follows equation 20;

$$N_{di} = \frac{4}{\pi} N_{eff} \frac{l_i \cdot \sin \Theta_i}{\sum_{j=1}^n |l_j \cdot \sin \Theta_j|}, \quad N_{qi} = \frac{4}{\pi} N_{eff} \frac{l_i \cdot \cos \Theta_i}{\sum_{j=1}^n |l_j \cdot \cos \Theta_j|} \quad (20)$$

where l_i is the length assigned to node i and Θ_i denotes the angle this node makes with the d axis. N_{eff} , which accounts for winding factors, is the quantity of evenly spaced air gap effective turns. The total is computed over the nodes that correspond to the power transformer core winding. To determine core inductances in the power transformer winding current frame, the magnetic state of the power transformer core at every sampling interval is used. The three-phase coordinate system is used to build the 2D-finite element analysis.

All of the power transformer winding eddy currents must be understood in order to use the EP approach. The transient FE solution provides these currents. Finding the power transformer core's d and q -axis current characteristics for every duration level is important so as to compute the d - q -axis inductances. Applying all of the power transformer core currents together with the armature's axis currents to the FE grid, where the reluctivity is determined from the FE transient solution, yields the co-energy at the operating point. Utilizing current increments that are inversely proportional to the predicted power transformer core instantaneous currents at each time step, perturbed co-energies are created. On the other hand, the FL approach necessitates injecting an arbitrary current into the relevant winding in order to get inductance values. The FE transient solution also allows for the determination of element reluctivity for the linear solution. Figure 2 displays the time-dependent self-inductance variation graph. Figure 2 compares the power transformer core winding apparent inductances calculated from the FL and EP methods.

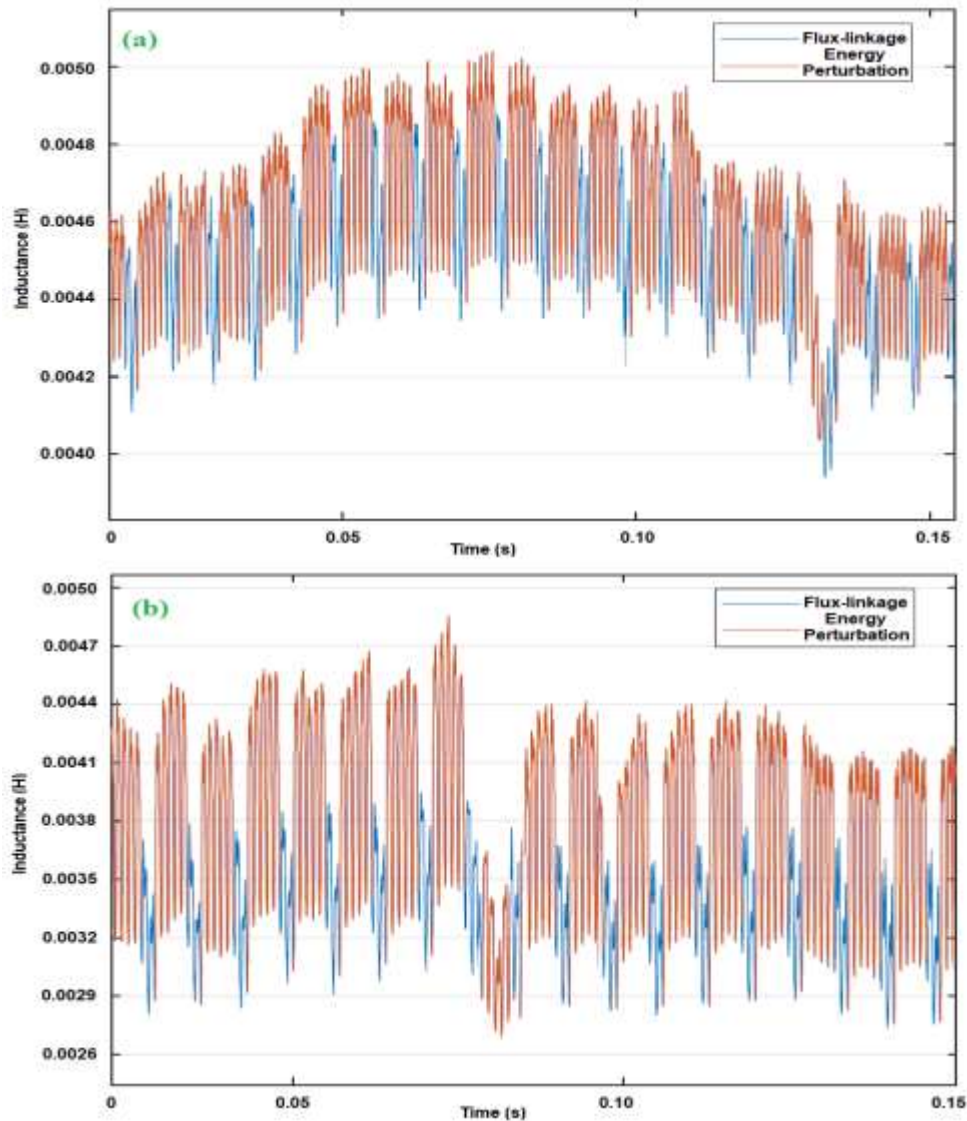


Figure 2. Time-dependent self-inductance variation in power transformer core windings (a) for d-axis, (b) for q-axis.

It has been shown that both methods produce values that are essentially identical. The d and q axis self-inductances determined using the EP approach, however, exhibit spikes. They manifest while the regular currents are still several orders of magnitude less than the modestly sized d or q -axis currents. The extremely small difference between the perturbed energy results in numerical issues. It should be noted that this issue can be solved by selecting larger current increments to increase the disparity between energies.

The field power transformer core winding self-inductance variation graph is shown in Figure 3. The power transformer core bilateral inductance between both the field and the d -axis winding variation graph is shown in Figure 4.

This challenge is not present when calculating the self and bilateral inductance of the field winding since the field current never gets close to null during the fault current time. The four inductance values presented here were obtained using the EP approach, which needed ten linear replacements or backward substitutions for each

time unit. The FL approach simply needed three step. The EP approach will require a significantly greater number of calculations if there are more power transformer core windings.

4. Conclusion

In regards to computational costs and numerical instabilities, two approaches for calculating the inductance of practically achievable power transformer core windings were compared. They provide comparable inductance values for an abnormally performing power transformer. This is hardly remarkable because both approaches are predicated on the same ideas. The EP approach is computationally expensive, though, and if increment currents are not properly selected, numerical issues may arise. Therefore, when using 2D-FE solutions, the FL approach must be chosen as the optimal method for calculating the inductances of electricity transformer core windings since it offers a great deal of simplicity and lower computing costs.

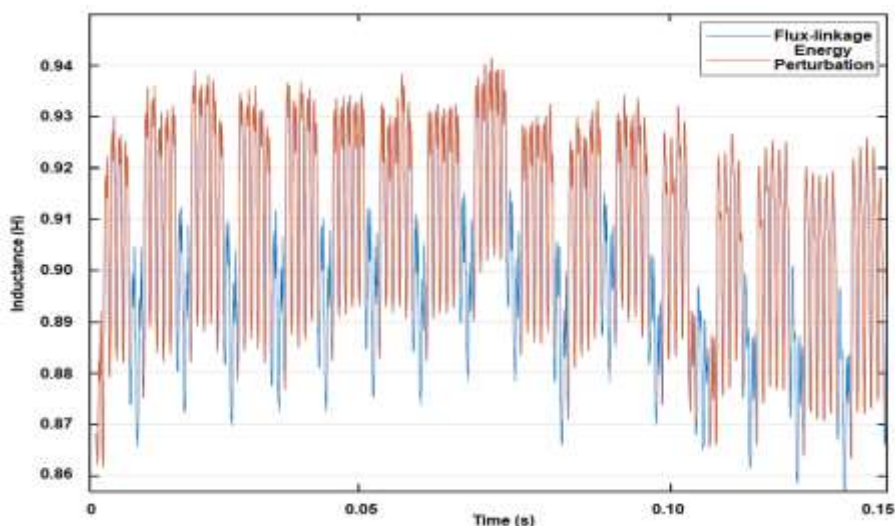


Figure 3. The field power transformer core winding self-inductance.

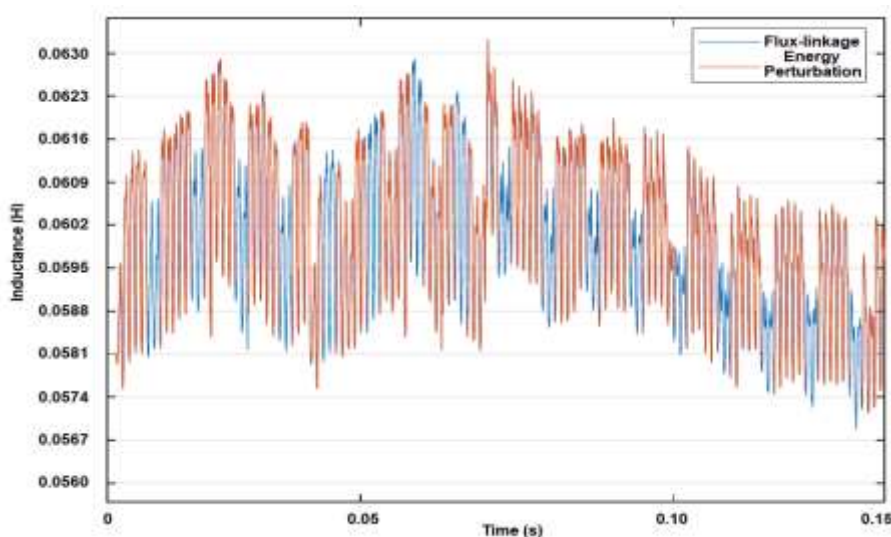


Figure 4. Power transformer core bilateral inductance between both the field and the d-axis windings.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is present below. The author reviewed and approved final version of the manuscript.

	N.P.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References

Awadallah SKE, Milanović JV, Jarman PN. 2014. The influence of modeling transformer age related failures on system reliability. *IEEE Transact Power Syst*, 30(2): 970-979. doi:10.1109/TPWRS.2014.2331103.

Božidar FG, Franc B, Uglešić I, Pavić I, Keitoue S, Murat I, Ivanković I. 2017. Monitoring of transient overvoltages on the power transformers and shunt reactors–field experience in the Croatian power transmission system. *Procedia Eng*, 202: 29-42. doi:10.1016/j.proeng.2017.09.692.

Delghavi MB, Yazdani A, Alizadeh A. 2021. Iterative learning control of dispatchable grid-connected distributed energy resources for compensation of grid current harmonic distortions. *Int J Electrical Power Energy Syst*, 131: 107064. doi:10.1016/j.ijepes.2021.107064.

Ding X, Ning W. 2012. Analysis of the dry-type transformer temperature field based on fluid-solid coupling. *Second International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control*, December 8-10, 2012, Harbin City, Heilongjiang, China, pp: 520-523.

- Emiroglu S, Uyaroglu Y, Gumus TE. 2021. Recursive backstepping control of ferroresonant chaotic oscillations consisting between grading capacitor with nonlinear inductance of voltage transformer. *European Physical J*, 230: 1829-1837. doi:10.1140/epjs/s11734-021-00150-9.
- Ertl M, Landes H. 2007. Investigation of load noise generation of large power transformer by means of coupled 3D FEM analysis. *Int J Comput Math Electr Electron Eng*, 26(3): 788-799. doi:10.1108/03321640710751226.
- Fornasiero E, Bianchi N, Soong WL. 2014. Analysis of torque versus current capability of reluctance and interior pm machines under limited current and flux-linkage operation. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, September 14-18, 2014, Pittsburgh, Pennsylvania, US, pp: 4162-4169. doi:10.1109/ECCE.2014.6953968.
- Hashemnia N, Abu-Siada A, Islam S. 2015. Improved power transformer winding fault detection using FRA diagnostics-part 2: radial deformation simulation, *IEEE Transact Dielectrics Electr Insulation*, 22(1): 564-570. doi:10.1109/TDEI.2014.004592.
- He JH. 2003. Homotopy perturbation method: a new nonlinear analytical technique. *Appl Math Comput*, 135(1): 73-79. doi:10.1016/S0096-3003(01)00312-5.
- Jia X, Lin M, Su S, Wang Q, Yang J. 2022. Numerical study on temperature rise and mechanical properties of winding in oil-immersed transformer. *Energy*, 239(A): 121788. doi:10.1016/j.energy.2021.121788.
- Johnson A, Wang X, Xue M, Kong F, Zhao G, Wang Y, Thomas KW, Brewster KA, Gao J. 2014. Multiscale characteristics and evolution of perturbations for warm season convection-allowing precipitation forecasts: Dependence on background flow and method of perturbation. *Monthly Weather Rev*, 142(3): 1053-1073. doi:10.1175/MWR-D-13-00204.1.
- Kunicki M, Borucki S, Zmarzły D, Frymus J. 2020. Data acquisition system for on-line temperature monitoring in power transformers. *Measurement*, 161: 107909. doi:10.1016/j.measurement.2020.107909.
- Kwon YW, Bang H. 2018. *The finite element method using MATLAB*, 2nd Edition. CRC Press, London, UK, pp: 622.
- Lee M, Abdullah HA, Jofriet JC, Patel D. 2010. Thermal modeling of disc-type winding for ventilated dry-type transformers. *Electr Power Syst Res*, 80(1): 121-129. doi:10.1016/j.epsr.2009.08.007.
- Liu C, Ruan J, Wen W, Gong R, Liao C. 2016. Temperature rise of a dry-type transformer with quasi-3D coupled-field method. *IET Electric Power Appl*, 10(7): 598-603. doi:10.1049/iet-epa.2015.0491.
- Mariprasath T, Ravindaran M. 2022. An experimental study of partial discharge analysis on environmental friendly insulating oil as alternate insulating material for transformer. *Sādhanā*, 47: 204. doi:10.1007/s12046-022-01946-8.
- Mejia-Barron A, Valtierra-Rodriguez M, Granados-Lieberman D, Olivares-Galvan JC, Escarela-Perez R. 2018. The application of EMD-based methods for diagnosis of winding faults in a transformer using transient and steady state currents. *Measurement*, 117: 371-379. doi:10.1016/j.measurement.2017.12.003.
- Metwally IA. 2011. Failures, monitoring and new trends of power transformers. *IEEE Potentials*, 30(3): 36-43. doi:10.1109/MPOT.2011.940233.
- Oliveira LMR, Cardoso AJM. 2014. Leakage inductances calculation for power transformers interturn fault studies. *IEEE Transact Power Deliv*, 30(3): 1213-1220. doi:10.1109/TPWRD.2014.2371877.
- Oliveira MO, Ferreira GD, García FH, Bretas AS, Perrone OE, Reversat JH. 2012. Adaptive differential protection for power transformer based on transient signal analysis. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, July 22-26, 2012, San Diego, CA, US, pp: 1-7. doi:10.1109/PESGM.2012.6344824.
- Pamuk N. 2017. Identification of critical values based on natural ester oils as potential insulating liquid for high voltage power transformers. *J Polytech*, 20(4): 869-877. doi:10.2339/politeknik.369050.
- Shadab S, Revati G, Wagh SR, Singh NM. 2023. Finite-time parameter estimation for an online monitoring of transformer: A system identification perspective. *Int J Elect Power Energy Syst*, 145: 108639. doi:10.1016/j.ijepes.2022.108639.
- Shirakawa T, Yamasaki G, Umetani K, Hiraki E. 2016. Copper loss analysis based on extremum co-energy principle for high frequency forward transformers with parallel-connected windings. *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, October 23-26, 2016, Florence, Italy, pp: 1099-1105.



CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN DELMESİNDE TAKIM ÇAPININ İTME KUVVETİ VE TİTREŞİM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Burak ÖZDEMİR^{1*}, Erkan BAHÇE², Mehmet Sami GÜLER³

¹Malatya Turgut Özal University, Hekimhan Mehmet Emin Sungur Vocational School, 44400, Hekimhan, Malatya, Türkiye

²İnönü University, Faculty of Engineering, Department of Machinery, 44280, Malatya, Türkiye

³Ordu University, Technical Science Vocational School, 52200, Altınordu, Ordu, Türkiye

Özet: Bu çalışmada, CETP (Cam Elyaf Takviyeli Polimer) kompozit malzemenin delinmesinde takım çapının oluşan itme kuvveti ve titreşim üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla CETP plaka diğer delme parametreleri sabit tutularak 5, 7,5 ve 10 mm çapında takımlarla delinmiştir. Delme süresince itme kuvveti ve titreşim ölçümü yapılmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel analizi sonucunda takım çapının artışı ile itme kuvvetinin arttığı ve titreşimin azaldığı görülmüştür. Ayrıca daha yüksek çaplarda takımın daha düşük salınım gösterdiği ve kararlı bir delme işlemi yaptığı tespit edilmiştir. Çalışmanın, CETP kompozit malzemelerde uygun delik kalitesini sağlayacak takım çapı seçimi için yol gösterici olması beklenmektedir. Bununla birlikte itme kuvveti ve titreşimin olumsuz etkilerini tespit noktasında araştırmacılara destek sunacaktır.

Anahtar kelimeler: : Delme, Takım çapı, İtme kuvveti, Titreşim


Investigation of the Effect of Tool Diameter on Thrust Force and Vibration in Drilling Glass Fiber Reinforced Polymer Composites


Abstract: In this study, the effects of tool diameter on thrust force and vibration in drilling of GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) composite material were investigated. For this purpose, GFRP composite plate was drilled with 5, 7.5 and 10 mm diameter tools while keeping other drilling parameters constant. During drilling, thrust force and vibration measurements were made. As a result of the statistical analysis of the obtained data, it was seen that the thrust force increased and the vibration decreased with the increase in the tool diameter. In addition, it was determined that the tool showed lower oscillation at higher diameters and made a stable drilling process. It is expected that the study will guide the selection of the tool diameter that will provide the appropriate hole quality in GFRP composite materials. In addition, it will provide support to researchers in detecting the negative effects of thrust force and vibration.


Keywords: Drilling, Tool diameter, Thrust force, Vibration

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Malatya Turgut Özal University, Hekimhan Mehmet Emin Sungur Vocational School, 44400, Hekimhan, Malatya, Türkiye

E mail: burak.ozdemir@ozal.edu.tr (B. ÖZDEMİR)

Burak ÖZDEMİR  <https://orcid.org/0000-0002-5870-0398>

Erkan BAHÇE  <https://orcid.org/0000-0001-5389-5571>

Mehmet Sami GÜLER  <https://orcid.org/0000-0003-0414-7707>

Gönderi: 23 Ocak 2023

Kabul: 23 Şubat 2023

Yayınlanma: 01 Nisan 2023

Received: January 23, 2023

Accepted: February 23, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Özdemir B, Bahçe E, Güler MS. 2023. Investigation of the effect of tool diameter on thrust force and vibration in drilling glass fiber reinforced polymer composites. BSJ Eng Sci, 6(2): 68-73.

1. Giriş

Kompozit malzemeler, yüksek dayanım, düşük ağırlık, esneklik gibi özellikleri nedeniyle çeşitli endüstride kullanımı artan ve üzerinde yoğun bir şekilde araştırma yapılan malzemelerdendir (Karaca, 2016). Kullanım alanının çeşitliliği beraberinde aşılması gereken yeni problemler doğurmuştur. Özellikle üretilen kompozit malzemelerin birleştirme veya montaj işlemlerinde katmanlı yapının getirdiği bazı sorunlarla karşılaşmaktadır (Başar ve ark., 2020). İçeriğindeki reçine ve lifli yapı nedeniyle sıcak birleştirme işlemlerinden ziyade çoğunlukla yapıştırma veya aparatlı birleştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Özellikle otomotiv ve havacılık gibi alanlarda sökülebilir birleştirme türleri daha ön plana çıkmaktadır (Kırhasanoğlu ve Turgut, 2021). Bu birleştirme türünde cıvata, pim, perçin bağlantıları kullanımı yaygın olmakla

birlikte delik delme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Özellikle delme işleminde delik çevresinde ve katmanlar arasında ciddi deformasyonlar olmaktadır. Tabakalar arası ayrılma, elyaf çekmesi, delik giriş ve çıkışında oluşan delaminasyon gibi deformasyonlar kompozit yapının dayanım ve işletme ömrünü etkilediği görülmektedir (Çelik ve Kılıçkap, 2012; Okay ve Islak, 2021; Yenigun ve Kılıçkap, 2021). Bu kapsamda deliklerin iç pürüzlülüğü, giriş ve çıkış çapak oluşumu, delaminasyon ve geometrik hassasiyet delme sürecinde kontrol edilebilir faktörler olarak ortaya çıkmaktadır (Bilge ve Motorcu, 2017; Bilge ve ark., 2017a; Bilge ve ark., 2017b). Bu faktörlerin ortaya çıkmasını sağlayan işleme parametreleri ve bunların sonucu olan itme kuvveti ve titreşim kontrol altına alınması gereken bileşenlerdir. Delmedeki itme kuvveti ve titreşim farklı matkap çaplarından etkilenmektedir (Kalidas ve ark., 2022). Bu aşamada,



uygulanacak montajın mekanik ihtiyaçları göz önünde bulundurularak yapılan takım çapı seçimine, delme kalitesini bozan itme kuvveti ve titreşim değerlerini de dahil etmek gerekmektedir. Optimum bağlantı elemanı sınırları içerisinde delik kalitesini en iyileyen çap seçimi, malzemenin mekanik dayanımını artırırken işleme maliyetlerini düşürmesi beklenmektedir.

Kompozitlerin delinmesi ile ilgili yapılan çalışmalar cam fiber, karbon fiber ve doğal kompozitler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çalışmalarda farklı delme parametreleri ile yapılan delme sonucunda itme kuvveti, titreşim veya her iki faktörün delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, delik geometrisi ve takım aşınması üzerine etkileri incelenmiştir (Bayraktar, 2018). KETP (karbon elyaf takviyeli polimer) ve CETP kompozit malzemelerin delinmesinde, delme esnasında oluşan itme kuvveti ve titreşim kompozit malzemelerin delik giriş ve çıkışında delaminasyona neden olmaktadır (Kavad ve Ark., 2014; Yardımeden ve ark., 2014; Seeholzer ve ark., 2019). Özellikle düşük ilerleme ve devirde giriş bölgelerindeki delaminasyon ve çapağın azaldığı tespit edilmiştir. İlerleme genel olarak titreşim üzerinde daha fazla etkiye sahiptir (Hussein ve ark., 2018). Titreşim ve yüksek devirin sıcaklığı artırması çapak oluşumunu artırmaktadır. KETP delinme sürecinde takım aşınması ile titreşimin artmakta, delik kalitesi olumsuz etkilenmektedir (Hussein ve ark., 2019). Artan titreşim takımın kesme yeteneğini azaltmaktadır. Bu durum ilerlemenin etkisi ile itme kuvvetini artırıcı etki göstermektedir (Li ve ark., 2019; Svinth ve ark., 2022). Daha düşük dayanıma sahip doğal kompozitlerde titreşim ve itme kuvveti delme süreci içerisinde farklı davranışlar gösterebilmektedir. Özellikle ilerlemenin artması ile zayıf olan liflerin kesilmeden kopması titreşim ve itme kuvvetinde ani değişikliklere neden olmaktadır (Özdemir ve ark., 2023). Farklı çaplarda takım kullanılarak KETP malzemenin delinmesinde, takım çapının artması ile itme kuvvetinin arttığı görülmüştür (Basmacı ve Yörük, 2020). Takımın kesme ağızının artması ise itme kuvvetini azaltmıştır (Gaga ve Dilibal, 2020). Literatürde genellikle delme parametrelerinin titreşim ve itme kuvveti odaklı delik kalitesine etkileri incelenmiştir. Bu çalışma literatürden farklı olarak takım çapındaki değişimin titreşim ve itme kuvveti üzerine etkilerine odaklanmıştır.

Çalışmada CETP malzeme üzerinde üç farklı çapta takım kullanılarak delik açılmıştır. Delme süresince titreşim ve itme kuvveti ölçülmüştür. Tekrarlı yapılan deney sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve takım çapının titreşim ve itme kuvveti üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

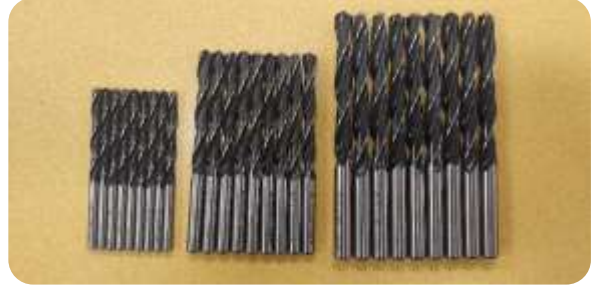
2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada 45-45 elyaf yönelim açısına sahip, sık örgülü, epoksi reçine esaslı ticari CETP plaka kullanılmıştır. Plaka 400x140x10 mm boyutlarındadır (Şekil 1). Deneylerde 5 mm, 7,5 mm ve 10 mm çap, 118° uç açısına sahip HSS matkaplar kullanılmıştır (Şekil 2). Delikler

her deney için 0,2 mm/dev ilerleme ve 1250 dev/dak devir parametreleri ile delinmiştir. Sonuçların doğruluğu açısından her bir delik 9 defa tekrarlanmıştır. Aşınma etkisi dikkate alınarak her delikte yeni bir takım kullanılmıştır. Delme işlemi Taksan marka dik işleme merkezli CNC tezgahında yapılmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan CETP kompozit malzeme.



Şekil 2. Deneyde kullanılan 5mm, 7,5 mm ve 10mm HSS takımlar.

Deney sırasında itme kuvvetinin belirlenmesi için Kistler 9257B tipi 8 bileşenli piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreden elde edilen sinyallerin verilere dönüştürülmesi için Kistler 5070 çok kanallı amplifikatör kullanılmıştır. Elde edilen sinyallerin işlenmesi Kistler Dynoware 2825A-02-01 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Titreşim ölçümlerinde, düşük empedansa sahip Kistler 8702B500 tipi ivme ölçer kullanılmıştır (Şekil 3). İvme ölçer, NI9234 DAQ kart ile bilgisayar bağlantısı sağlanmıştır. Deneyler esnasında oluşan titreşim verilerini bilgisayar ortamına almak için Labview paket programı kullanılmıştır.

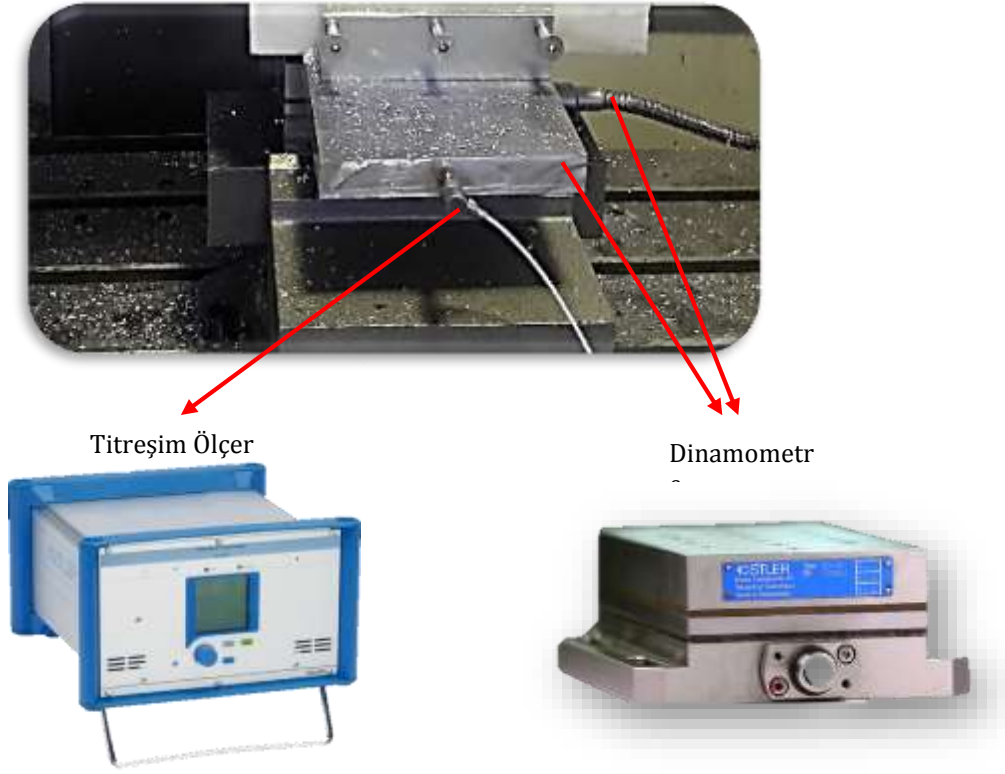
Deney sonuçlarının değerlendirilmesi için SPSS 22 paket programında istatistiksel analiz yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

CETP kompozit malzeme her bir takım çapı için 9 defa delinmiş, ortalama titreşim ve itme kuvveti değerleri alınmıştır. Titreşim ve kuvvet sinyallerinin 0,0002 sn'de bir alınması nedeni ile tek bir deliğin yaklaşık 25.600 verisi bulunmaktadır. Bu sebeple özet istatistik tablolar (Tablo 1 ve Tablo 2) ve grafikler sunularak sonuçlar yorumlanmıştır.

Takım çapına göre maksimum titreşim değerleri 5, 7,5, 10 mm için sırasıyla 5,8612, 5,3924, 4,9563 mm/sn² olarak gerçekleşmiştir (Tablo 2). Takım çapı artışı ile titreşim azalmıştır.

İtme kuvveti değerleri incelendiğinde, 5, 7,5 ve 10 mm takımlar için sırasıyla maksimum 113,586, 153,641, 172,03 N şeklinde artarak değişmektedir (Tablo 1).



Şekil 3. Dinamometre ve titreşim ölçer cihazları.

Tablo 1. İtme kuvveti değerleri

Takım Çapı	Maksimum	İtme Kuvveti (N)	
		Minimum	Ortalama
5	113,596	10,1776	29,3101
7,5	153,641	13,6544	36,1672
10	172,03	14,9752	38,5494

Tablo 2. Titreşim değerleri

Takım Çapı	Maksimum	Titreşim (m/sn ²)		
		Minimum	Ortalama	Genlik
5	5,8612	-3,9229	4,3759	9,7841
7,5	5,3924	-3,6264	4,3003	9,0188
10	4,9563	-3,5714	3,6707	8,5277

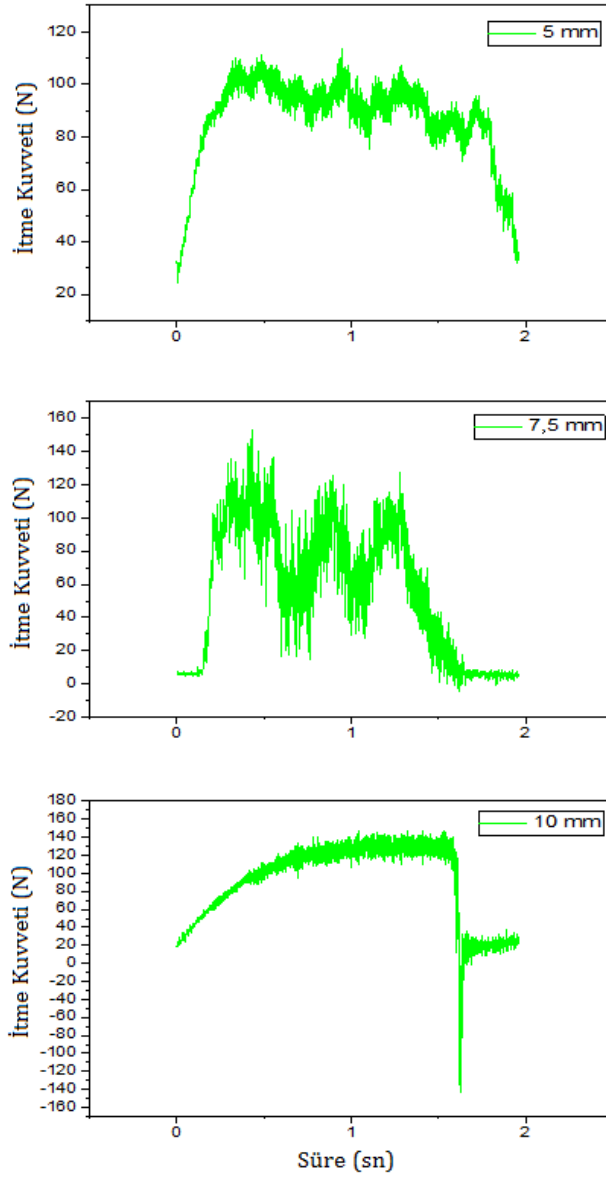
Takım çapı itme kuvveti arasında $r=0,032$; $P<0,05$ olması sebebi ile anlamlı bir korelasyon vardır.

Takım çapının artması ile itme kuvvetinin artmasının temel sebebi takımın temas noktasının daha fazla alandan talaş kaldırmak zorunda olmasıdır (Meral ve ark., 2011). Aynı ilerleme ve devirde takım daha fazla alanı taramak zorunda kalmakta ve bu durum iş parçasının takım hareketinin zıt yönünde baskı yapmasına neden olmaktadır.

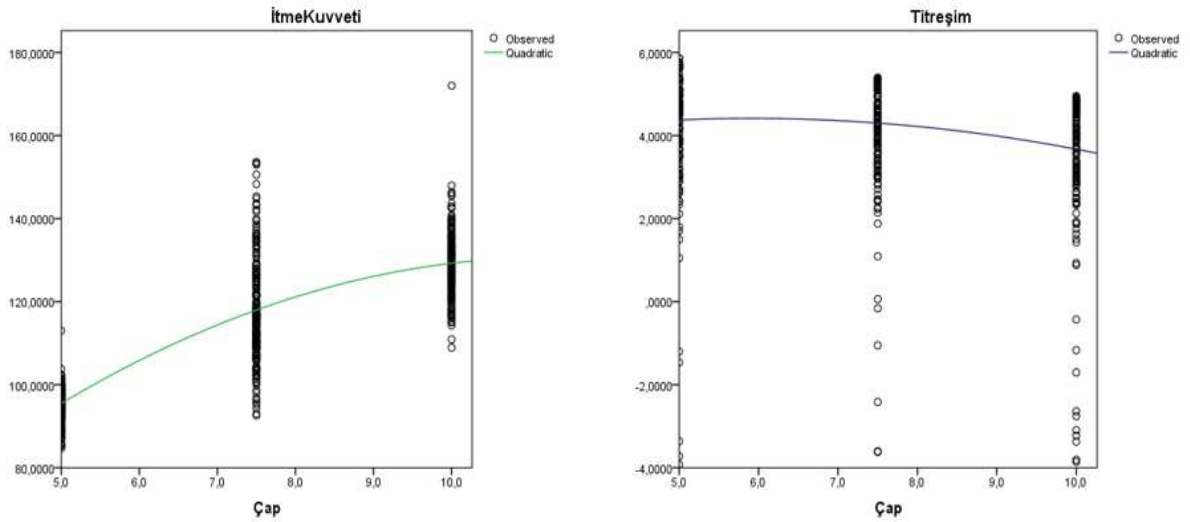
Şekil 4'de takım çapına göre itme kuvveti grafiği sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere takım çapının artışı itme kuvvetini artırmakta fakat kuvvet stabilitesi artmaktadır. 5 mm takım çapında itme kuvveti daha dağınık seyretmekte, 7,5 mm çapta bölge bölge dağınıklık azalmakta, 10 mm çapta ise daha stabil bir trend görülmektedir. Bunun sebebi takımın malzemeye temas

yüzey alanının artmasıdır

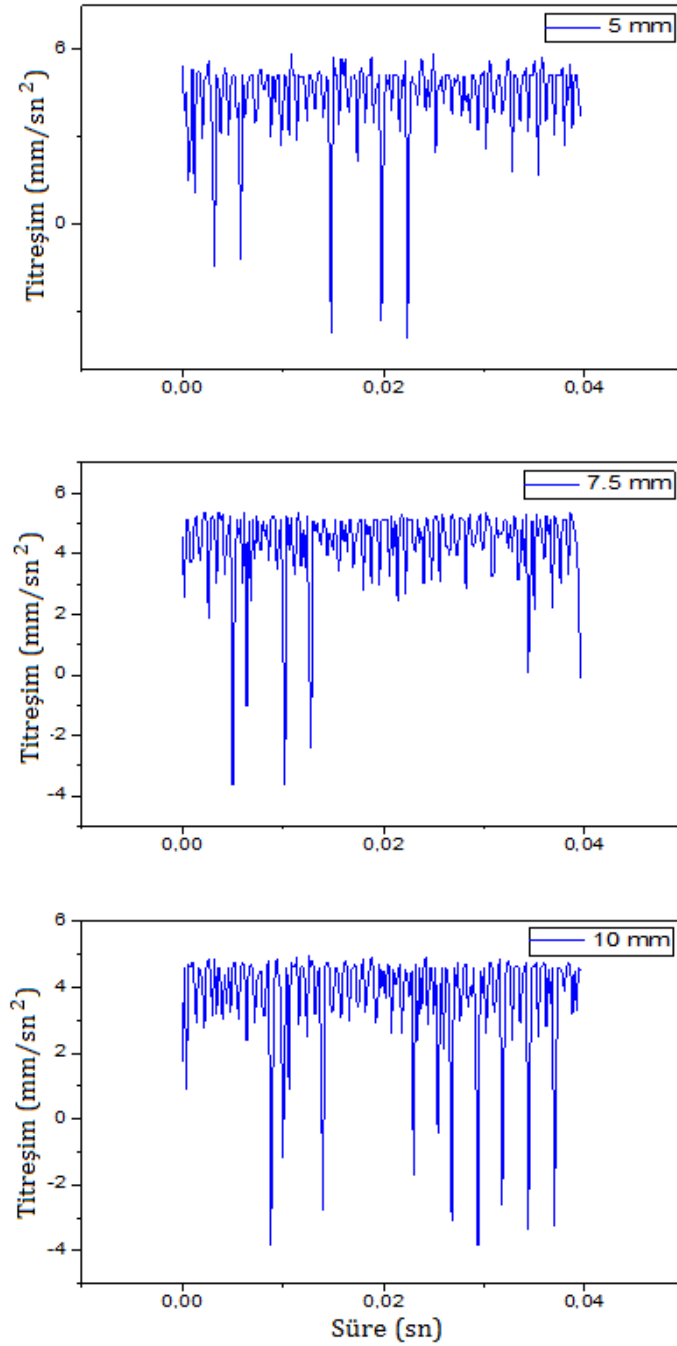
Delme işleminde kesit kalınlığının artması takımın daha rijit olmasını sağlamaktadır. Rijit takımların bağlama noktası ile uç kısmı arasındaki salınımları daha düşük olmaktadır. Ayrıca itme kuvvetinin artışı ile takım malzeme ile daha sağlam bir temas kurmakta ve bu durum titreşimi azaltmaktadır (Guibert ve ark. 2008). Diğer parametreler sabitken takım çapının değişmesi durumunda itme kuvveti ve titreşim zıt yönde etki göstermektedir (Şekil 5). Takım çapı ile titreşim arasındaki korelasyon $r=-0,183$; $P<0,05$ olması nedeniyle anlamlı ve negatif yönlüdür. Şekil 6'da titreşim grafikleri görülmektedir. Titreşim dağılımı tüm takımlar için birbirine yakın seyretmektedir. Verilen genlik değerleri takım çapı arttıkça azalmaktadır. Bu titreşimin daha kararlı hale geldiğini göstermektedir.



Şekil 4. Takım çapına göre kuvvet grafiği.



Şekil 5. İtme Kuvveti ve titreşimin takım çapına göre değişimi.



Şekil 6. Takım çapına göre titreşim grafiği.

4. Sonuç

Bu çalışmada diğer delme parametreleri sabitken farklı takım çapları kullanılarak CETP malzeme delinmiştir. Delme süresince itme kuvveti ve titreşim ölçümü yapılmıştır. Takım çapının itme kuvveti ve titreşim üzerindeki etkisi istatistiksel olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- İtme kuvveti 5, 7,5 ve 10 mm takımlar için sırasıyla maksimum 113,586, 153,641, 172,03 N şeklinde gerçekleşmiştir. Takım çapı arttıkça itme kuvveti artmıştır.
- Titreşim 5, 7,5, 10 mm için sırasıyla 5,8612, 5,3924, 4,9563 mm/sn² olarak gerçekleşmiştir. Takım çapı

arttıkça titreşim azalmıştır.

- Kesit kalınlığının artışı takımın rijitliğini artırmış ve itme kuvvetinin artışı ile takım malzeme ile daha sağlam bir temas kurmuştur. Bu durum titreşimi azaltıcı etki göstermiştir.
- Takım çapı arttıkça takımın stabil olma durumu artmış, salınımı azalmış ve kararlılığı artmıştır.
- Takım çapı, itme kuvveti ve titreşim değerlerinin birbirlerine olan etkileri istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar CETP malzemelerin delinmesinde, delik kalitesini artırıcı takım çapı seçiminde yol gösterici olacaktır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	B.Ö.	E.B.	M.S.G.
K	20	80	20
T		100	
Y	100		
VTI	80	10	10
VAY	20	70	10
KT	100		
YZ	90	10	
KI		20	80
GR	100		
PY			100
FA	33	33	34

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

Basmacı G, Yörük AS. 2020. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin kuru ve kriyojenik şartlarda delinebilirliğinin deneysel araştırılması. Mehmet Akif Ersoy Üniv Fen Bil Enst Derg, 11(2): 164-175.

Başar G, Fedai Y, Akın HK. 2020. Kompozit malzemelerin delme işleminde itme kuvvetinin taguchi metodu ile optimizasyonu ve regresyon analizi ile tahmini. Çukurova Üniv Müh-Mim Fak Derg, 35(4) 969-982.

Bayraktar S. 2018. Assessment of cutting performance on drilling with different drilling methods of fiber reinforced polymer composites: A literature review. J Fac Eng Arch Gazi Univ, 33(2): 609-626.

Bilge T, Motorcu AR, Ivanov A. 2017a. Kompakt laminant kompozit malzemenin tungsten karbür takımlarla delinmesinde delaminasyon faktörünün değerlendirilmesi. Pamukkale Üniv Müh Bil Derg, 23(4): 427-436.

Bilge T, Motorcu AR, Ivanov A. 2017b. Kompakt laminatın delinmesinde boyutsal tamlık için delme parametrelerinin gri ilişkisel analiz ile optimizasyonu. Uluslararası Teknoloji Bil Derg, 9(2): 1-22.

Bilge T, Motorcu AR. 2017. Kompakt laminat kompozitlerin parmak freze ile delinmesinde takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal tamlık üzerine etkileri. İleri Teknoloji Bil Derg, 6(3): 180-192.

Çelik YH, Kılıçkap E. 2012. G10 Epgc 201 kompozit malzemenin delinmesinde oluşan deformasyona etki eden parametrelerin araştırılması. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye, pp: 206-211.

Gaga LA, Dilibal S. 2020. Havacılık alanında kullanılan karbon prepreg kompozit malzemelerin talaşlı imalatını etkileyen parametrelerin incelenmesi. Int J 3D Print Technol Digital Industry, 4 (3): 225-238. DOI: 10.46519/ij3dptdi.817343.

Guibert N, Paris H, Rech J. 2008. A numerical simulator to predict the dynamical behavior of the self-vibratory drilling head. Int J Machine Tools Manufact, 48(6): 644-655.

Hussein R, Sadek A, Elbestawi MA, Attia MH. 2018. Low-frequency vibration-assisted drilling of hybrid KETP/Ti6Al4V stacked material. Int J Adv Manufact Technol, 98(9): 2801-2817.

Hussein R, Sadek A, Elbestawi MA, Attia MH. 2019. An investigation into tool wear and hole quality during low-frequency vibration-assisted drilling of KETP/Ti6Al4V stack. J Manufact Mater Proces, 3(3): 63.

Kalidas VK, Abu Hassan SB, Chadalavala H. 2022. A Comparative study on drill tool effect on vibration and delamination characteristics of FRPs. J Nat Fibers, 19(16): 13943-13957.

Karaca F. 2016. Cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerde delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkisinin araştırılması. Fırat Üniv Müh Bil Derg, 28(2): 23-27.

Kavad BV, Pandey AB, Tadavi MV, Jakharia HC. 2014. A review paper on effects of drilling on glass fiber reinforced plastic. Procedia Technol, 14: 457-464.

Kırhasanoğlu EÖ, Turgut Y. 2021. Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin istifli delinmesinde delik çıkış hasarının deneysel araştırılması. Gazi Müh Bil Derg, 7(2): 152-159.

Li C, Xu J, Chen M, An Q, El Mansori M, Ren F. 2019. Tool wear processes in low frequency vibration assisted drilling of KETP/Ti6Al4V stacks with forced air-cooling. Wear, 426: 1616-1623.

Meral G, Dilipak H, Sarıkaya M. 2011. Aısı 1050 malzemenin delinmesinde ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün regresyon metoduyla modellenmesi. TÜBAP Bil Derg, 4(1): 31-41.

Okay F, Islak S. 2021. Alüminyum matrisli bor karbür takviyeli kompozit malzemeye uygulanan delik delme işleminde kesme parametrelerinin etkileri. İmalat Teknoloji Uyg, 2(1): 14-22.

Özdemir B, Yardımeden A, Bahce E, Kilickap E, Emir E. 2023. Analysis of drilling behaviour in jute fibres reinforced natural composites. J Nat Fibers, 20(1): 2159608.

Seeholzer L, Voss R, Marchetti L, Wegener K. 2019. Experimental study: comparison of conventional and low-frequency vibration-assisted drilling (LF-VAD) of KETP/aluminium stacks. Int J Adv Manufact Technol, 104(1): 433-449.

Svinth CN, Wallace S, Stephenson DB, Kim D, Shin K, Kim HY, Kim TG. 2022. Identifying abnormal KETP holes using both unsupervised and supervised learning techniques on in-process force, current, and vibration signals. Int J Prec Eng Manufact, 23(6): 609-625.

Yardımeden A, Kilickap E, Celik YH. 2014. Effects of cutting parameters and point angle on thrust force and delamination in drilling of CFRP. Mater Test, 56(11-12): 1042-1048.

Yenigun B, Kilickap E. 2021. Influence of hole quality on fatigue life of drilled CFRP with the different ply orientation angle. J Brazilian Soc Mechanical Sci Eng, 43: 1-14.



POLİMER KOMPOZİTLERİN SAVUNMA AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLEMESİ İÇİN HAFİF SİLAHLARLA ATIŞ DENEMELERİ

Ergun ATEŞ^{1*}

¹Balıkesir University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 10100, Altıeylül, Balıkesir, Türkiye

Özet: Bu çalışmada, matris yapı malzemesi olarak genel kullanım amaçlı doymamış polyester reçine ile yapı oluşumu için gerekli bileşenler ve takviye malzemesi olarak dokuma E-cam elyaf kullanılmıştır. Kare ve daire kesitli olarak hazırlanan hedef kompozit plakaların üretiminde, elyaf tabaka sayısı ile birlikte kompozit plakaların kalınlıkları değişken olarak kullanılmıştır. Hedef kompozit plakalara, poligonunda 10 m mesafeden, sırasıyla 22 kalibre ve 9 mm mermi atan iki farklı silah kullanılarak atışlar yapılmıştır. Atışlar sonucunda, dokuma elyaf tabaka sayısının 9, plaka kalınlığının 12 mm'den daha fazla olması halinde, 9 mm mermi'ye karşı hedef kompozitin başarılı olduğu belirlenmiştir. Kompozit plakalar için koruma seviyesinin NIJ Standard-0101.06'ya göre IIA olduğu belirlenmiştir. Silahla atışlarda hedef hayati önem taşımaktadır ve bu çalışmada, merminin geçmesine engel olan hedef kompozit plaka özellikleri, belirlenen üretim çalışma parametrelerine göre sonuçlar vermiştir. Artan mermi kalibreleri için hedef kompozit üretim parametrelerinin dikkatli bir şekilde planlanması ve mutlaka saha atış deneylerinin yapılması gerekir.

Anahtar kelimeler: Savunma sanayi, Balistik, Balistik kompozitler, Zırh malzemeleri, Kompozit malzemeler


Shooting Trials with Light Weapons to Determine the Defensive Usability of Polymer Composites

Abstract: In this study, unsaturated polyester resin for general use and woven E-glass fiber were used as the components required for structure formation and as the reinforcement material. In the production of target composite plates prepared as square and circular sections, the thickness of the composite plates was variable, together with the number of fiber layers. The shots were fired on target composite plates from a distance of 10 m at the range, using two different weapons that fired 22-caliber and 9-mm rounds, respectively. As a result of the shots, it was determined that if the number of woven fiber layers was 9 and the plate thickness was greater than 12 mm, the target composite was successful against 22 caliber and 9 mm bullets. The level of protection for composite plates has been determined to be IIA according to NIJ Standard-0101.06. The target is of vital importance in shooting with a gun, and in this study, the characteristics of the target composite plate that prevent the bullet from passing gave results according to the determined production operating parameters. For increased shell calibers, it is necessary to carefully plan the target composite production parameters and necessarily conduct field shooting experiments.

Keywords: Defense industry, Ballistic, Ballistic composites, Armor materials, Composite materials

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Balıkesir University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 10100, Altıeylül, Balıkesir, Türkiye

E mail: ergunates@gmail.com (E. ATEŞ)

Ergun ATEŞ  <https://orcid.org/0000-0001-7611-4854>

Gönderi: 23 Ocak 2023

Kabul: 10 Mart 2023

Yayınlanma: 01 Nisan 2023

Received: January 23, 2023

Accepted: March 10, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Ateş E. 2023. Shooting trials with light weapons to determine the defensive usability of polymer composites. BSJ Eng Sci, 6(2): 74-86.

1. Giriş

Balistik tehditlere karşı koruma sağlamak için ultra yüksek moleküler ağırlıklı polimer (UHMWPE) lifleri ile şerit ve bantları, aramid lifler, balistik cam elyafı (E-cam, S-cam), karbon lifleri gibi ürünler kullanılmaktadır. Artan performans ihtiyacında ise yüksek modüllü propilen lifler (HMPP), balistik seramik lifler tercih edilmektedir. Üretilen kompozitler, kişisel esnek veya kalıplanmış vücut zırhı (kasklar, kurşun koruyucu plakalar, patlayıcı mühimmat imha kıyafetleri (EOD), balistik koruyucu kalkanlar) ve araç zırhı (kara, hava, deniz) olarak belirtilmiştir. Yüksek hızlı (tüfek; namlu çıkış hızları sırasıyla 920 ± 15 ve 830 ± 15 m/s olan tipik olarak 5,56 ve 7,62 mm kalibreli mühimmat) mermi koruması genellikle seramik yüzü ve kompozit destekli ürünlerle yapılır. Koruma seviyeleri ülkelere göre farklılık gösterir, ancak

tipik askeri muharebe miğferlerinin 450 ile 600 m/s arasında 1 g çelik mermiye karşı koruma sağlaması istenir. Kompozit içeren araç zırhı tipik olarak küçük ve orta kalibreli silahlardan (12,7 mm) koruma sağlamayı amaçlar, bu tür bir koruma, seramik yüzeyli kompozit destekli veya seramik yüzü metalik destekli birleşimlerin kullanılmasını gerektirir. Hafif araçlarda 7,62 mm kalibreli mermilerden ve/veya patlamadan koruma sağlamak için % 100 kompozitler kullanılabilir (Tam ve Bhatnagar, 2016; Carr ve Crawford, 2016). Bir çalışmada, dikişli laminatın hasar toleransının, kırılan epoksi matrisli bir prepreg laminattan çok daha iyi, sertleştirilmiş epoksi matrisli bir laminattan daha iyi ve çok sert bir termoplastik matrise sahip bir laminatinkine eşit olduğu bulunmuştur (Larsson, 1997). Kompozitlerin hafiflik, korozyon direnci, iyi



mukavemet/ağırlık oranı gibi mükemmel özellikleri sebebiyle savunma uygulamalarında kullanımlarında, sinyal işleme uygulamalı tahribatsız muayene yöntemiyle kontrolleri sonucunda hataların önenebileceği açıklanmıştır (Dragan ve Leski, 2012). Polimer kompozitlerin enerji absorpsiyonunu hesaplamak için bir model geliştirilmiştir. Balistik çarpma anında merminin kaybettiği enerjiye katkısı olan üç ana bileşenin, çekme kırılmasında emilen enerji, elastik deformasyonuna dönüştürülen enerji ve kinetik enerjiye dönüştürülen enerji olduğu açıklanmıştır. Kompozitin arka yüzünde kesme deformasyonu yoluyla oluşturulan deforme olmuş bölgenin boyutunun, malzemenin düzlem içi kesme modülü ile doğrudan ilişkili olduğu bulunmuştur (Morye ve ark., 2000). Hafif zırh yapımı için karbon ve organik liflere dayalı hibrit kompozit malzemelerin özellikleri incelenmiştir. Üretilen laminatların incelenmesinden, balistik özelliklerin geliştirilmesi için organik liflerin yararlı olduğu, basınç dayanımının azalması ve balistik özelliklerin artması için elyaf tipleri ve dağılımının optimizasyonunun yapılması gereği açıklanmıştır (Larsson ve Svensson, 2002). Yapısal olmayan kompozitler, otomobil parçaları, havacılık bileşenleri ve balistik malzemeler gibi birçok uygulama için lignoselülozik malzemelerden doğal lifler kullanılarak dokuma bir formda yeşil malzemelerin geliştirilmesine artan bir ilgi vardır. Bu dokuma malzemeler esnek, özel ihtiyaçlara göre uyarlanabilir ve dokuma yapıları nedeniyle daha iyi mekanik özelliklere sahiptir (Aisyah ve ark., 2021). Aramid elyaf kumaş epoksi ve polipropilen bazlı hazırlanmış kompozit laminatların, balistik darbe performansı 7,62 mm zırh delici mermilerle incelenmiştir. Farklı kalınlıktaki kompozitlerdeki matrisin hasar paterni incelenmiştir. Mermilerin vuruş hızları ve artık hız korelasyonu ilişkisi kurulmuştur. Balistik limitin laminat kalınlığı ile lineer olarak değiştiği bulunmuştur. Polipropilen kompozitler, epoksi kompozitlerin eşdeğer kalınlığına kıyasla daha yüksek balistik limit göstermiştir (Nayak ve ark., 2012). Matris kesme kuvvetinin dinamik tepki üzerindeki etkisini araştırmak için, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ve UHMWPE laminatların, balistik performansları ölçülmüş ve monolitik 304 paslanmaz çelik plakalarla karşılaştırılmıştır. Kürlenmiş CFRP plakası düşük hızlarda koni çatlağı oluşumuyla ve yüksek hızlarda ise koni oluşumuyla birlikte merminin altındaki katların birleşmesiyle başarısız olmuştur. Düşük kesme mukavemetli UHMWPE levhası en yüksek balistik limite sahip olmuştur. Fiber kompozit plakaların balistik limiti, matris kesme kuvveti azaldıkça artmıştır (Karthikeyan ve ark., 2013). Balistik direncin gerekli olduğu hafif yapılarda fiber kompozitlerin kullanılması öngörülen bir çalışmada, altı tip kompozit incelenmiştir. Düzlem dışı sıkıştırma testleri yapılmıştır. Kompozit yerleşimi 0/90° şeklindedir. Pik dayanımın, artan düzlem içi numune boyutları ile fiber ve matris mukavemetiyle artarken, artan katman kalınlığıyla azalacağı belirtilmiştir (Attwood ve ark., 2014). Bir çalışmada, dokuma kenaf-

keklar hibrit kompozitler, hacimsel olarak %5,40 ila %14,99 arasında dokuma kenaf içeriğiyle hazırlanmış ve balistik ölçüm testleri farklı darbe ve kalıntı izlerinde parça simülasyon mermileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, 14 kat keklar ve 2 kat kenaf hibrit kompozitlerin diğerlerine göre üstün balistik performans verdiği açıklanmıştır (Yahaya ve ark., 2016). Grafen nanoplateletlerin (GnP'ler) keklar/cocos nucifera kılıfla güçlendirilmiş epoksi kompozitlerin balistik performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Balistik testler, 8 mm yarı küresel paslanmaz çelik mermi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, GnP'lerin eklenmesinin enerji emilimini ve balistik sınırı keklar/epoksiye göre sırasıyla 9 kat ve 12 kat iyileştirdiği, ancak diğer lamine kompozitlerde ise GnP'lerin eklenmesinin enerji emilimini ve balistik limiti azalttığı belirlenmiştir (Naveen ve ark., 2019). Yumuşak çelik merminin çeşitli kalınlıklardaki düz dokuma E-cam/epoksi kompozit malzeme üzerindeki balistik etkisinin sayısal simülasyonları yapılmıştır. Kompozit malzemenin artık hızı ve balistik limiti sayısal olarak belirlenmiş ve sonuçların iyi bir uyum içinde olduğu belirlenmiştir. Hedef malzemenin 10 mm'den küçük kalınlıkta bir çukurlaşma, büyüğünde ise önce girinti ardından bir çukurlaşma şeklinde iki aşamalı hasar mekanizması gözlenmiştir (Bodepati ve ark., 2020). Seramik polimer kompozit zırhlar, yüksek enerji absorpsiyon kabiliyeti ile yüksek mukavemeti ve hafifliği nedeniyle önemlidir. Seramiğin işlevi balistik darbe penetrasyonunu geciktirmek iken, polimer panel, yayılan elastik/stres dalgalarından üretilen yüksek enerjiyi emer. Çalışmada, polimer bazlı bir malzeme kullanımıyla enerji absorpsiyonunun önemli ölçüde artırılacağı gösterilmiştir (Varma ve Sarkar, 2021). Cam elyafı, poliamid 6 ve aramid kumaş kullanılarak üretilen kompozit vücut zırhının, balistik etkinliği araştırılmıştır. Ateşli silahlarla balistik ortam testleri yapılmış, üretilen vücut zırhının NIJ-Standard-0101.04'e göre kentsel zırh seviyesi III-A olarak potansiyel kullanımını sağlayan 9 mm'lik bir merminin nüfuziyetini engellendiği belirlenmiştir. Ancak, 9 mm'den büyük kalibreli silahlarla testlerde deformasyon olmuştur. Bu yüzden seviye IV tavsiye edilmemiştir (Farias-Aguilar ve ark., 2021). Çalışmada, şeffaf zırh sistemleri içinde Halloosite (HNT) ile güçlendirilmiş poliüretan bazlı şeffaf nanokompozit ara katmanların potansiyeli araştırılmıştır. Balistik testler, poliüretan ara katmanından nanokompozite geçişle balistik limite 457'den 491 m/s değerine artış göstermiştir. Dinamik simülasyon sonuçları; nanokompozit ara katmanların balistik performansındaki önemli gelişmenin, basit takviye fazı olarak hareket eden küçük HNT konsantrasyonundan değil, matris polimerinin mikro yapısının oluşumundaki etkilerinden kaynaklandığını göstermektedir (Aguilar ve ark., 2022). Bir çalışmada, zırh uygulamaları için takviyeli fiber kompozit alanında gelecekteki çalışmaların bir değerlendirmesi yapılmıştır. Kevlar elyafıyla güçlendirilmiş kompozitlerin balistik uygulamalarının

araştırılması önemli bir araştırma alanıdır (Deora ve ark., 2022). Bu çalışmanın amacı, grafen bazlı nanomalzemelerin kişisel vücut zırhı uygulamaları için penetrasyon enerjisi, tokluk ve balistik sınır açısından potansiyeli araştırılmıştır. Balistik performansındaki en son araştırmalar teorik, deneysel ve simülasyonlar yoluyla ele alınmıştır (Naveen ve ark., 2021). Nanomalzemeler kullanılarak yapılan modifikasyonlar sayesinde (cam, karbon ve aramid elyaf türleri için) eğilme mukavemeti, çekme mukavemeti veya kayma mukavemeti gibi parametrelerin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Değerlendirmede, en yüksek enerji emme kapasitelerinin bir kesme kalınlaştırma sıvısı veya kesme kalınlaştırma jeli ve uygun bir fiber takviye yapısı kullanılarak elde edildiği açıklanmıştır (Czech ve ark., 2021). Verdi ve Bulut 2022 yılında yaptıkları bir derleme çalışmasında, NIJ-Standardı Seviye-IV en üst koruma düzeyine sahip plakalar hakkında bilgiler vermişlerdir. Çalışmalarda, kişisel veya araç koruma kapsamında, üst düzey malzemelerin ve elemanların bir araya getirilmesiyle ortaya çıkan ürünler olduğu görülmektedir. Korunma ihtiyacının askeri amaçlı olmasıyla herkes tarafından kabul gören standartların oluştuğu ve bu kapsamda üretilmiş olan ürünlerin kullanımında, önceden belirlenmiş olan güvenlikle ilgili beklentilerin karşılanacağından da emin olunur. Bu standartlara ulaşmak ve üst düzey korumaya sahip olmanın bedeli yüksektir. Bu çalışmada, savunma sanayisinde çalışmakta olan firmalar, bunların yüksek maliyetli ürünleri, patentleri, standartları dışında, piyasada kolaylıkla bulunabilen temininde zorluk olmayan, yapısal olarak bu alanda çalışmaya uygun malzemeler kullanarak hedef kompozitlerin üretimi planlanmıştır. Bu şekilde üretilen hedef kompozitlerin, çalışma kapsamında 22 kalibre ve 9 mm mermi tipleri kullanılarak yapılan silahlı atışlara karşı koruma görevlerini yerine getirebilirliğinin incelenmesi hedeflenmiştir.

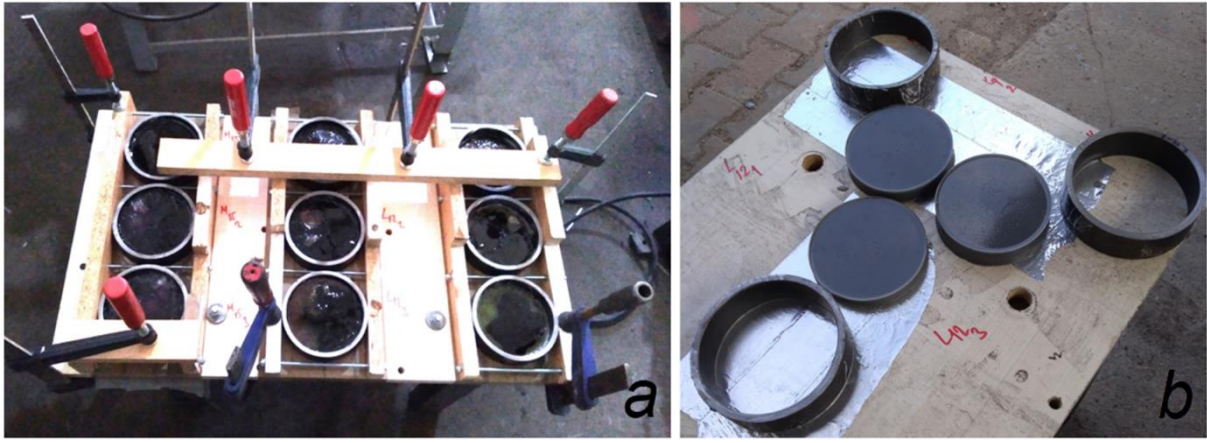
2. Materyal ve Yöntem

Kompozit malzeme matris yapısını oluşturmak için reçine olarak doymamış polyester (UHMWPE), sertleştirici olarak Metiletilketon-Peroksit (MEK-P) ve hızlandırıcı olarak Kobalt (%6) kullanılmıştır. Kobalt ve MEK-P kimyasalları bir araya geldiklerinde tehlike oluşturacaklarından, kullanım miktarlarının belirlenme aşamalarında daima ayrı plastik kaplar ve metal olmayan karıştırma elemanları kullanılmıştır. Bu kimyasalların karışıma katılan miktarları düşük olduğundan 0.05 g hassasiyette bir tartı kullanılmıştır. Sigara içilmeyen ve iyi havalandırılmış bir laboratuvarda, eldiven ve koruyucu gözlük kullanılarak işlemler tamamlanmıştır. Takviye malzemesi olarak dokuma tipi E-cam elyaf (500 g/m²) kullanılmıştır. Döküm anında kompozit malzemede hava kabarcıklarının hapsolmesini önlemek amacıyla, kalıpların bağlanabildiği bir tablası olan ve titreşim uygulayabilen, masa tipi bir titreşim makinası

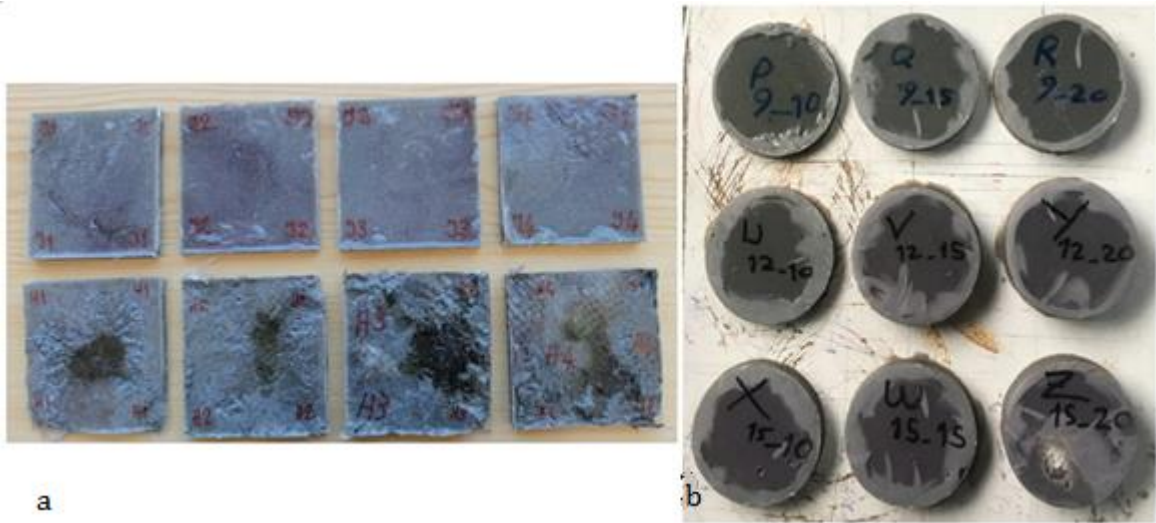
kullanılmıştır. Makine 3000 devir/dakika ile tahrik edilmektedir.

Döküm için kullanılacak kalıplar 2 şekilde hazırlanmıştır. Bunlardan birincisi; ahşap malzemeden kare yüzeyli 100x100 mm ve 20 mm bir kalınlık geometrisiyle hazırlanan kalıplardır. İkincisi ise; etli çelik boru malzemelerin tornada işlenmesiyle iç çapı 104 mm ve kalınlığı 25 mm ölçülerinde hazırlanmış olan silindirik kalıplardır. Kalıplanan matris yapı malzemesi polyester reçinedir ve döküm işlemi sürecinde kalıplanan ürün kompozitte bir hacimsel çekme görülmektedir. Bu yüzden kalıplardan alınan kompozit numuneler birebir kalıp ölçülerinde değil, o anki döküm geometrisi ve ortam şartlarına göre küçük sapmalarla değişken geometrik ölçülerde elde edilmektedir. Bu düşük çekme miktarı silah atışlarında hedef olacak kompozit malzeme yeterli görünürükte olduğundan, çalışma için bir sorun oluşturmamıştır. Hesaplamalarda ise kompozit ürünün ölçüleri kullanılmıştır. Kalıpların içerisine yerleştirilen E-cam elyaflar, kalıplara uygun geometrilerde hazırlandıktan sonra 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° gibi açılarda yerleştirilmiştir. Açısal yerleşim olarak bahsedilen uygulamada belirli bir başlangıçtan sonra (her bir açı karşılığı bir dokuma elyaf tabaka olacak şekilde) 8-tabaka sonrası yine rutin 45° farklar ile yerleşimdeki dokuma elyaf tabaka sayısı artmaktadır. Dokuma elyaf yerleşiminde daima bir önceki dokuma elyaf tabakaya göre 45° açısına özen gösterilmiştir. Döküm işleminde polyester oda sıcaklığında, ağırlığının %0,2'si oranında Kobalt eklenerek, 2 dakika süresince karışım homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Devamında karışıma %2 oranında MEK-P ilave edilmiş ve yine homojen hale gelinceye kadar 2 dakika süreyle karıştırılmıştır. Malzeme bu haliyle kullanıma hazırdır. Döküm için hazırlanmış olan karışımın kış mevsiminde 8+2 dakika ve yaz mevsiminde ise 12+2 dakika jelleşme süresine sahip olduğu üretici firma tarafından verilmektedir. Dolayısıyla belirtilen süre dolmadan döküm işleminin ve titreşim uygulamasının tamamlanmış olması zorunludur. Bu doğrultuda, hazırlanmış olan kompozit karışım, masa tipi titreşimli makinanın tablasında bağlı olan kalıpların içerisinde 45° açılı düzene göre yerleştirilmiş olan E cam elyaflar olduğu halde, titreşim uygulanmakta iken, kalıpların içerisine 6 dakika süre içerisinde dökülerek döküm işlemi tamamlanmıştır. Döküm sonrası, titreşimli masa tablasında, sırasıyla silindirik kalıplarda kürlenmeyi bekleyen ve kalıptan alınmış kompozit numuneler Şekil 1, a, b'de verilmiştir.

Doymamış polyester reçinenin kürlenme süresi firma tarafından en fazla 30 dakika olarak verilmiş olsa da, döküm sonrası kompozit numunelere 24 saat herhangi bir işlem yapılmamıştır. Bir gün sonra, kompozit numuneler kalıplardan alınmış, geometrik ve ağırlık ölçümleri yapılarak kodlanmışlardır. Kalıplarından alınmış ve yapılarına göre kodlanmış, kare ve silindirik kompozitler Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Döküm sonrası (a) silindirik kalıplarda kürlenene ve (b) kalıptan çıkarılmış kompozitler.



Şekil 2. Kalıplarından alınmış kompozit numunelerin kodlanması ve atışa hazır hale getirilmesi a) kare b) silindirik.



Şekil 3. Atışlarda kullanılan silahlar, a) Sarsılmaz-B6CLR ve 22 kalibre mermi, b) Canik-TP9 Elite S Combat ve 9x19 mm FMJ RN mermi.

Üretilen kompozit malzemelere mermi atış uygulamalarında iki silah kullanılmıştır. Bunlardan birincisi; "Sarsılmaz-B6CLR, 22 kalibre" (Şekil 3a) olup teknik özellikleri olarak 10 mermi kapasiteli, toplam boyu 185 mm, toplam genişliği 28 mm, namlu boyu 107 mm, toplam yüksekliği 128 mm, ağırlığı 580 g, tetik

systemi çift hareketli, değişebilir arpacık, iğne kilidi, ergonomik horoz ve tetik korkuluğu olan bir silahtır. Meminin çekirdek ağırlığı 2,59 g, namlu hızı 330,7 m/s ve namlu enerjisi 142,4 Joule olarak verilmiştir (Bitlisli, 2019).

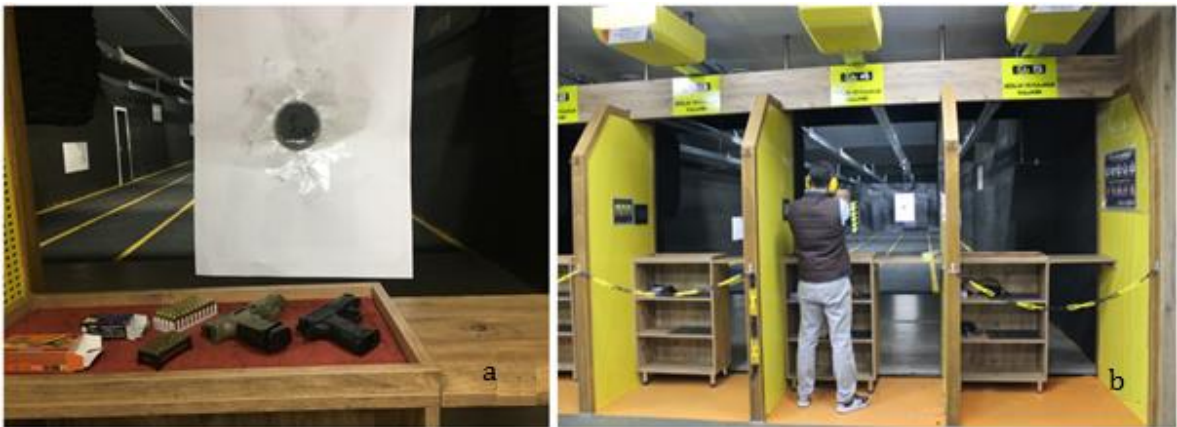
İkinci silah ise; "Canik, TP9 Elite-S Combat, 9x19 mm"

(Şekil 3b) olup teknik özellikleri olarak, uzunluğu 185 mm, genişliği 38 mm, yüksekliği 151,5 mm, namlu boyu 106,5 mm, ağırlığı 830 g olan bir silahtır. Silahın tetik korkuluğu üzerinde tetiğin çekilmesini engelleyen bir emniyet mandalı bulunmaktadır. Şarjör 2 seçenekli olup, 1 adet 15 kapasiteli ve 1 adet de alüminyum uzatmalı 18 mermi kapasitelidir. Hem şarjör kilidi hem de arka kabza farklı ebatlarda sunulmuştur. Tabancada polimer gövde, iğne ateşleme mekanizması ve holografik optiklerin silaha montajını sağlayan 4 ayrı tip ara yüz bulunmaktadır. Silahın atış kontrol parçalarının tamamı nikel ile kaplanmıştır. 9x19 mm Parabellum mermisiyle ilgili standartlar STANAG 4090'da belirtilmiştir. STANAG 4090'da 9x19 mm Parabellum fişeginin mermi çekirdeğinin 16. metredeki hızı 370 ± 10 m/s olarak belirlenmiştir (NATO, 2004). Merminin çekirdek ağırlığı 7,45 gram ve namlu enerjisi ise 462,3 Joule olarak verilmiştir (Bitlisli, 2019).

Bu çalışma kapsamında belirtilen tüm silahla atışların yapıldığı yer bir poligondur ve poligonlar, emniyet teşkilatı tarafından denetlenen birimler olduğundan, silahla atışlar ve patlayıcı malzemeler hakkında istenen tüm güvenlikle ilgili tedbirlerin sağlanmasının zorunlu olduğu yerlerdir. Poligonda atış prosedürlerine uygun olarak deneysel çalışmadaki tüm atışlar tamamlanmıştır. Şekil 4a'da, atıcının atış yapacağı yerde hazır mermileri ve silahlarıyla hedef olarak belirlenen kompozit numunenin standart hedef kağıdına tespit edildiği durum görülmektedir. Şekil 4b'de ise hedefin 10 m uzağa (otomatik olarak) gönderilmesi sonrası atıcı tarafından atış anı görülmektedir. Hazırlanan tüm kompozitler 10 m uzakta olacak şekilde atışlar tamamlanmıştır. Atış anında hedef bölgesine girişler tamamen yasaklanmış ve atıcı EN-352 standardına sahip kulaklıklarını her atışta kullanmıştır.

Kompozit hedef malzemelerin üretilmesinde, farklı ihtimallerin denenebilmesi amacıyla toplam 5 grup olarak yapılan planlama Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'de verilmiştir. Bunlardan A, B, C, D, E, F, G, H, J sembolleriyle tanımlanmış olanların tümü (100x100 mm) kare kesitli numunelerdir. Kalıplar ahşap olup kalınlığı 25 mm'dir. A'dan D'ye her bir sembol için dört

hedef kompozit olmak üzere toplamda 16 adet üretilmiştir. Fakat silahla atış denemelerinde başarısızlığı kesinleşen hedef kompozitler için atışlara devam edilmemiştir. Tablo 1'de yer alan A'dan D'ye sekiz hedef kompozitin tümüne silahla atış yapılmıştır. Tablo 1'de yer alan kompozit hedefler için sütunlarda öncelikle hesaplanmış olan, kalınlık, hacim, ağırlık ve yoğunluk bilgileri verilmiştir. "Elyaf bilgisi" başlığı altında "Düzen_Adet" sütununda kalıp içerisinde yer alan takviye malzemesi elyaf ile ilgili yerleşim ve adet bilgisi yer almaktadır. Buradaki "0/45°_2" bilgisinde; "0/45°" ile dokuma elyaf tabakaların kalıplara yerleşiminde, ilk tabaka pozisyonu 0° kabul edilerek, devamında her bir yerleştirilenin, bir öncekine göre daima aralarında 45° bir açı olması kastedilmektedir. Bilgideki "2" gösterimi kalıp içerisinde 2 tabaka elyaf olduğunu göstermektedir. "Düzen_Adet" sütunundaki "N_1" olarak yazılmış bilgide; "N" sembolü ile dokuma elyaf tabaka tek olduğunda, yerleştirildiği haliyle anlamına gelmektedir. Sembol "1" rakamı ile kompozitte orta bölgede yer alan bir elyaf tabaka olduğu bilgisi kastedilmektedir. "Ağırlık" sütununda ise numunelerin ağırlıkları verilmiştir. "Atış bilgisi" olarak tanımlanmış olan sütunda, atış yapılan "Mermi" bilgisi mm veya kalibre (kal.) olarak, "Başarı" sütunu altındaki gösterimlerde; "B" ve "X" sembolleri sırasıyla, hedef kompozitten merminin geçmemiş ve geçmiş olmasıdır. Tablo 1'de verilmiş olan tüm sütun tanımlamaları, ilerideki Tablolarda da aynı şekilde kullanılmıştır. Hedef kompozitler için yapılan uzunluk ölçümlerinde 0,01 hassasiyette kumpas kullanılmıştır. Tablo 2'de verilen hedef kompozitler; E, F ve G sembolleriyle tanımlanmıştır ve her birinden üçer olmak üzere toplamda 9 adet hedef kompozit üretilmiştir. Hedef kompozitler silahla atışlarda başarısız olduğundan her bir grubun sadece ikisine atışlar gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden, Tablo 2'de sadece silahla atış yapılan kompozitlere yer verilmiştir. Bu hedef kompozitlerin tamamı tek elyaf tabakasından oluşmaktadır. Kalınlık olarak ise küçükten-büyükçe bir ölçüde olup (5,28 mm'den 10,50 mm'ye) hedef kompozitin silahla atışlarda durumunun gözlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4. Poligonda, a) atış öncesi mermiler, silahlar ve kompozit hedef, b) atıcının 10 m uzaktaki kompozit hedefe atış anı.

Tablo 1. A, B, C, D hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Alan (mm ²)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
A1	10198,980	8,46	86,589	102,90	1,118	0/45°_2	9,05	9 mm	X
A2	10170,723	8,66	88,078	105,75	1,201	0/45°_2	9,35	9 mm	X
A3	10304,280	8,32	85,732	101,85	1,188	0/45°_2	9,00	22 kal., 9 mm	X, X
A4	10312,403	9,88	101,887	123,00	1,207	0/45°_2	9,05	22 kal.	B
B	10154,593	10,04	101,952	128,35	1,259	0/45°_2	9,10	22 kal., 22 kal.	X, X
C1	9793,082	9,20	90,096	140,80	1,563	0/45°_2	9,40	22 kal.	X
C2	9747,613	10,38	101,180	151,45	1,497	0/45°_2	9,60	22 kal., 9 mm	X, X
D	9007,908	10,49	94,493	120,35	1,274	N_1	3,35	22 kal., 9 mm	X, X

Tablo 2. E, F, G hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Alan (mm ²)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
E1	9765,392	5,28	51,562	62,55	1,213	N_1	4,50	22 kal., 9 mm	X, X
E2	10489,856	4,61	48,358	60,15	1,244	N_1	4,50	22 kal., 9 mm	X, X
F1	10064,102	7,23	74,956	91,20	1,217	N_1	4,50	22 kal.	X
F2	10893,097	7,26	79,084	98,00	1,239	N_1	4,50	22 kal., 22 kal.	X, X
G1	10395,842	8,77	91,172	114,70	1,258	N_1	4,50	22 kal.	X
G2	10304,280	10,50	108,195	133,45	1,233	N_1	4,50	22 kal., 22 kal.	X, X

Tablo 3. H hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Alan (mm ²)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
H1	10654,368	9,17	97,67	112,00	1,147	0/45°_4	18,10	22 kal., 9 mm	B, X
H2	10594,585	8,37	88,74	112,60	1,269	0/45°_6	26,15	22 kal., 9 mm	B, X
H3	10493,954	10,96	115,0	144,15	1,253	0/45°_8	35,05	22 kal., 9 mm	B, B
H4	10485,760	10,88	114,1	126,05	1,104	0/45°_10	43,15	22 kal., 9 mm, 9 mm	B, X, X

Tablo 4. J hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Alan (mm ²)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf-keçe bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
J1	10102,260	9,82	99,234	115,60	1,165	N_1	4,20	22 kal.	X
J2	10008,002	8,70	87,070	102,40	1,176	N_2	8,00	22 kal.	X
J3	9984,006	9,42	94,070	108,70	1,156	N_3	11,80	22 kal.	X
J4	9938,096	9,32	92,584	107,90	1,165	N_4	16,00	22 kal., 22 kal.	X, X

Tablo 5. P, Q, R, U, V, Y, X, W, Z hedef kompozit malzemelerin hesapları ve atış bilgisi

Kompozit sembolü	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elyaf bilgisi		Atış bilgisi	
						Düzen_Adet	Ağırlık (g)	Mermi	Başarı
P	102,86	7,03	58,417	78,75	1,348	0/45°_9	37,75	9 mm, 9 mm	X, X
Q	102,40	11,92	98,167	126,80	1,292	0/45°_9	37,75	9 mm, 9 mm	B, B
R	102,61	15,85	131,069	165,60	1,263	0/45°_9	37,75	9 mm, 9 mm	B, B
U	102,99	10,49	87,389	115,90	1,326	0/45°_12	44,65	9 mm, 9 mm	B, B
V	102,25	17,31	142,139	178,25	1,254	0/45°_12	44,65	9 mm, 9 mm	B, B
Y	102,28	19,71	161,941	206,05	1,272	0/45°_12	44,65	9 mm, 9 mm	B, B
X	102,56	13,64	113,723	150,45	1,323	0/45°_15	55,65	9 mm, 9 mm	B, B
W	102,45	16,79	138,409	181,95	1,315	0/45°_15	55,65	9 mm, 9 mm	B, B
Z	102,08	22,08	180,705	227,50	1,259	0/45°_15	55,65	9 mm, 9 mm	B, B

Tablo 3’de verilen hedef kompozitler H sembolüyle tanımlanmıştır. Bunlar 4 adet üretilmiştir. Tablo 3’deki hedef kompozitlerde elyaf tabaka sayısı sırasıyla, H1’de 4, H2’de 6, H3’de 8 ve H4’de ise 10 adet olarak kullanılmıştır. Elyaf dokuma yine kalıp içerisine bir öncesine göre daima 45° açı ile yerleştirilmiştir.

Tablo 4’de verilen hedef kompozitler J sembolüyle tanımlanmıştır. Bunlar 4 adet üretilmiştir. Tablo 4’deki hedef kompozitlerin diğerlerinde en önemli farkı takviye malzemesi olarak elyaf-keçe (450 g/cm²) kullanılmış olmasıdır. Hedef kompozit malzeme içyapısında sırasıyla J1’de 1, J2’de 2, J3’de 3 ve J4’de ise 4 tabaka keçe-elyaf yerleştirilmiştir.

Tablo 5’de verilen hedef kompozitler P, Q, R, U, V, Y, X, W, Z olarak toplam 9 adet üretilmiştir. Bu hedef kompozitler daire kesitlidir. Kompozitler, içyapıda aynı elyaf tabaka sayılı (9, 12 ve 15) üç grup için, küçükten büyüğe artan farklı kalınlıklarda (7,03 mm’den 22,08 mm’ye kadar) hazırlanmışlardır. Ölçülen kalınlıklar “kalınlık” sütununda verilmiştir.

NIJ Standart-0101.06 ateşli silahlara karşı kişisel

zırhlarda balistik dayanım için minimum performans gerekenleri ve deney yöntemleri açıklamıştır. Bu standartta balistik performans parametreleri mermi kalibresi, tipi, hızı ve ağırlığıdır. Standart’da IIA, II, IIIA, III, IV olarak 5 farklı koruma seviyesi, gerekli mermi özellikleri ve deney koşulları tanımlanmıştır. Standarta göre 5 m mesafeden yapılan atışlarda, hedef ve silah arasında, hedeften 2,5 m mesafede bir hız ölçer olması istenir. Atış denemelerinde ölçülen farklı mermi hızlarıyla birlikte oluşan deformasyonun, çöküntü miktarı olarak ölçülmesiyle bir değerlendirme yapılmaktadır (NIJ, 2008). Bu çalışmada atışlarda 22 kalibre ve 9 mm mermiler kullanılmıştır. NIJ Standart-0108.01’de 22 kalibre için “koruma seviyesi I” olarak açıklanmıştır (NIJ, 1985). NIJ Standart-0101.06’da yeralan 9 mm mermilerle ilgili detaylar Tablo 6’da verilmiştir (NIJ, 2008). Bu çalışmada üretilmiş olan hedef kompozitlerin, kullanılan 9 mm mermi tipine de bağlı olarak atışlarında başarılı olması halinde, IIA veya II koruma seviyesine sahip oldukları söylenebilir.

Tablo 6. NIJ Standart 0101.06’ya göre 9 mm mermi için balistik test kriterleri (NIJ, 2008)

Zırh tipi	Test atışı	Mermi kalibresi	Mermi ağırlığı (g)	Şartlı mermi hızı (m/s)	Yeni mermi hızı (m/s)	Panel başına 0° açı ile atış	Panel başına 30° veya 45° açı ile atış	Panel başına atış (adet)	Max. arka yüzey def. (mm)
IIA	1	9 mm FMJ RN	8,0 124 grain	355	373	4	2	6	44
II	1	9 mm FMJ RN	8,0 124 grain	379	398	4	2	6	44
Özel				Zırh performansı ve atış gerekenleri zırh tipine bağlı olmalıdır.					

3. Bulgular ve Tartışma

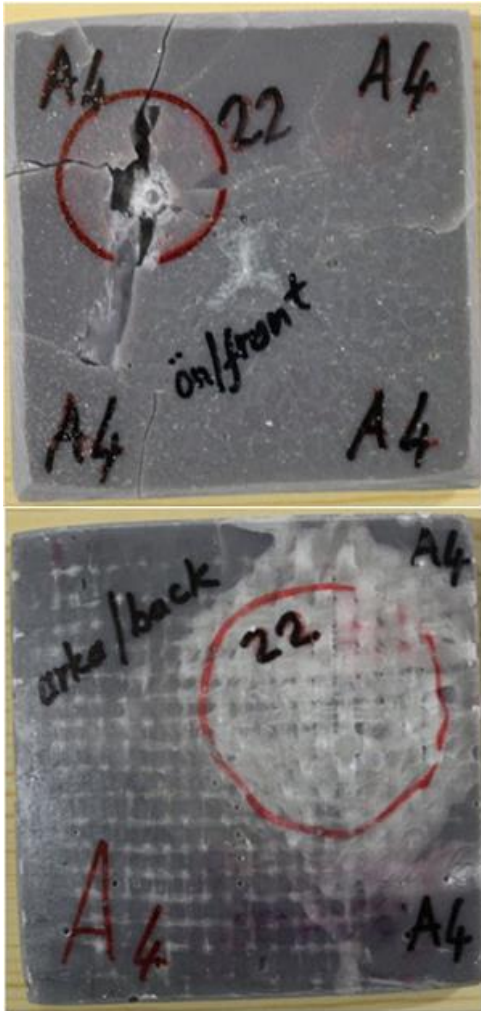
Tablo 1’den Tablo 5’e kadar olan tüm hedef kompozitlerin boyutlarından hacim değerlerinin hesaplanması, devamında hassas tartım ile birlikte yoğunluk hesabının yapılmasıyla fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu bilgiler ve dokuma elyaf tabaka sayısı ile birlikte, kalınlığın da dikkate alınarak, hedef kompozitlerin silahla atışa karşı dayanımının belirlenebilmesi hedeflenmiştir.

İlk silahla atış denemeleri, Tablo 1’de A1, A2, A3, A4, B, C1, C2 ve D olarak verilen hedef kompozitlere yapılmıştır. Bu kompozitlerin içyapıları benzerdir ve dokuma elyaf 2 adet 0/45° olarak yerleştirilmiştir. A1’den C2’ye kadar olan kompozitler de sırasıyla en küçük ve en büyük kalınlık değeri (A3) 8,32 mm ve (C2) 10,38 mm olarak ölçülmüştür ve bunlar arasındaki fark aynı zamanda bu gruptaki tüm kompozitlerin kalınlıkları arasındaki en büyük fark olan 2,06 mm’dir. Kalınlık parametresi kompozitin kalınlığı olup, kompozit yüzeyine dik olarak gelen merminin sahip olduğu enerjiyle, aşmaya çalıştığı uzunluk ölçüsüdür. Merminin hareket doğrultusuna paralel bir düzlem tanımlanırsa, kompozitin kalınlık ölçüsü ve bu ölçü de yapı içerisinde var olan ilave katkı malzemeleri, mermiye direnç gösteren elemanlar

olacaktır. Kalınlık ölçüsü, hacim hesabı ve devamında ağırlık ölçüm değeriyle birlikte yoğunluk hesabında da kullanılmıştır. Yoğunluk hesabı ile birim hacimdeki ağırlık belirlenmiş olacağından, kompozitin mermiyi yakalaması veya merminin kompoziti aşması hallerinde ağırlık parametresiyle de bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir. Tablo 1 ve devamındaki tablolar da dahil, “kalınlık” ve “yoğunluk” parametreleriyle birlikte “Atış bilgisi” kapsamında “mermi-hedef kompozit” olarak atış sonrası durum incelenecektir. Bu gruptaki hedef kompozitlerin yoğunlukları olarak sırasıyla en küçük ve en büyük değerler, (A1) 1,118 g/cm³ ve (C1) 1,563 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. D hedef kompozit ise kalınlığı grubun en büyüğü ve içyapıda ise tek bir dokuma elyaf tabaka haliyle hazırlanmıştır. Yoğunluk değeri olarak Tablo 1’in ortalaması bir değere sahiptir.

Tablo 1’deki tüm hedef kompozitlere, “Atış bilgisi” ile verilen, 7 adet 22 kalibre ve 5 adet 9 mm mermiler kullanılarak silahlı atışlar yapılmıştır. Tabloda verilen 12 atıştan sadece bir tanesi (A4 ve 22 kalibre) başarılı olarak merminin geçmesine izin vermemiş fakat 11 atışta ise mermiler hedefleri aşmış ve hedef kompozitler başarısız olmuştur. Atış sonuçları bu grubun tamamının, mermiyi önleme adına başarısız olduğunu göstermiştir.

D hedef kompozitte kalınlık artsa da tek bir elyaf tabakası mermiyi yakalamak için yeterli olamamıştır. A1'den C2'ye kadar olan hedef kompozitler de, 0/45° yerleşimin ve mevcut kalınlıklarının, mermiyi önlemek için yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Atışlarda sadece 12 atıştan 1'inin, (A4) 22 kalibre için, başarılı demek, hayati önem taşıyan bu tür olaylarda, 12 atışın 11'inin başarısızlığı sebebiyle, kabul edilebilir bir sonuç olarak değerlendirilmemelidir. Şekil 5'de A4 hedef kompozit plakanın atış sonrası ön ve arka yüzü verilmiştir. Ön yüzde, daireyle işaret edilen yer merkezi atışta merminin isabet ettiği noktayı ve darbe etkisiyle kompozitte oluşan hasar görülmektedir. Arka yüzde, daire dışındaki bölge orijinal dokuma elyaf tabakası yapıda belirgin şekilde görünür iken, daire olarak işaretli bölge diğer tarafa göre küçük bir bombe formunu almıştır. Fakat hedef kompozit merminin geçmesine izin vermemiştir.



Şekil 5. A4 Kompozitin atış sonrası ön ve arka yüzü.

Tablo 2'de verilen E, F, G hedef kompozitler içyapıda tek bir elyaf tabaka yerleşimiyle, özellikle farklı kalınlıklarda olacak şekilde üretilmiştir. Kompozitlerin kalınlıklarının sırasıyla en küçük ve en büyük değerleri olarak (E2) 4,61 mm ve (G2) 10,50 mm olarak ölçülmüştür. Yoğunluklar sırasıyla en küçük ve en büyük değerler olarak (E1) 1,213 g/cm³ ve (G1) 1,258 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.

Yoğunluk değerleri birbirlerine oldukça yakındır ve sadece ondalık kısımda değişkenlik görülmüştür. Silahlı atış sayısı toplam 10 olup, 8'i 22 kalibre ve 2'si 9 mm olarak tamamlanmıştır. Bu grupta yer alan tüm hedef kompozitler silahlı atışlara karşı mermiyi engel olamamıştır.

Şekil 6'da F2 hedef kompozitin silahla atış sonrası durumu görülmektedir. F2 kompozite 22 kalibre silahla 2 atış yapılmıştır. Hedef kompozitin ön yüzeyinde daire içerisinde işaretlenen bölgelere mermi isabetiyle matris ve elyaf yapı deforme olmuş ve mermi arka yüzden çıkmıştır. Arka yüzey görüntüsünde hasar görerek açıklık oluşmuş dokuma elyaf tabakaları görülmektedir. Merminin isabet ettiği noktalarda matris yapı ve elyaf tabakasında büyük hasar oluşmuştur. İçyapıdaki tek elyaf tabakası ve hedef kompozitin kalınlığı mermiyi engellemek için yeterli olmamıştır.



Şekil 6. F2 Kompozitin atış sonrası ön ve arka yüzeyleri.

Tablo 3'de H hedef kompozitlerin içyapısında dokuma elyaflar 0/45° ve sırasıyla 4, 6, 8, 10 adet olarak yerleştirilmiştir. Kalınlık olarak ise sırasıyla en küçük değer ve en büyük değerler olarak (H2) 8,37 mm ve (H3) 10,96 mm olarak ölçülmüştür. Artan dokuma elyaf sayısının ve artan yükseklik ölçülerinin, silahla atış sonucuna etkilerini gözlemek hedeflenmiştir. Üretilen H

hedef kompozitlerin yoğunlukları incelendiğinde sırasıyla en küçük ve en büyük değerler olarak, (H4) 1,104 g/cm³ ve (H2) 1,269 g/cm³ hesaplanmıştır. Yoğunluk değerleri elyaf tabaka sayısındaki artışla azalmıştır.

Şekil 7'de H4 hedef kompozitin silahla atış sonrası ön ve arka yüzeylerinin görüntüsü verilmiştir. H4 kompozitte, ön yüzde, 9 mm iki atış, şekilde üst ve merkezdeki daire işaretleriyle verilmiştir. Hedef bu iki noktada 9 mm merminin geçmesine engel olamamıştır. Ön yüzdeki alta görülen daire işaretli nokta ise 22 kalibre merminin isabet ettiği noktadır. Hedef malzeme 22 kalibre merminin geçmesine engel olmuştur. Şekilde arka yüz görüntüsünde üst ve ortada yer alan daire işaretlerinde, 9 mm'lik iki mermi ile atış sonucu hasar görmüş dokuma elyaflar görülmektedir. Şekilde arka yüzün olduğu görüntüde alt kısımda işaretli dairede ise elyaflar da 22 kalibre'lik atışa rağmen herhangi bir hasar oluşmadığı görülmektedir. H4 kompozit 22 kalibre mermiyi engellemiştir. H4 kompozitin atış sonrası kesilmiş hali Şekil 8'de verilmiştir. Kompozitin kesilmiş yüzeyinin görüntüsü incelendiğinde, 22 kalibre merminin engellendiği alt bölgenin, 9 mm mermilerin geçtiği orta ve üst bölgeye göre üretim sonrası orijinal kalınlığını koruduğu görülmektedir. Mermilerin 9 mm delici hasar oluşturarak geçtiği orta ve üst bölge ise elyaf hasarları etkisiyle büyümüş bir ölçü olarak görülmektedir.



Şekil 7. H4 Kompozitin atış sonrası ön ve arka yüzeyleri.

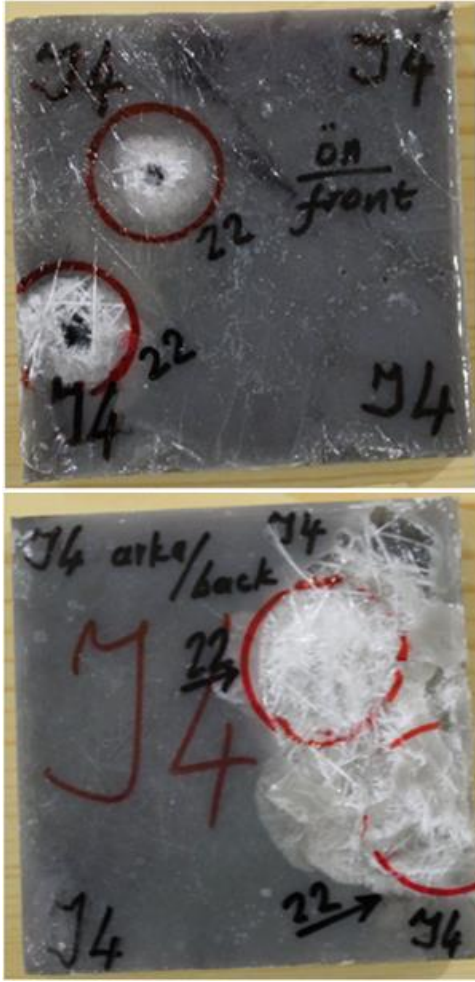


Şekil 8. H4 Kompozitin atış sonrası kesilmiş hali.

H grubunun tümünde, 22 kalibre 4 atış, 9 mm 5 atış ve toplamda 9 atış yapılmış ve bunlardan 22 kalibrelerin tümü hedef kompozit adına başarılı olmuş ve merminin geçmesine engel olmuştur. Hedef kompozitler 9 mm tüm atışlarda başarısız olmuş ve mermiler hedefi delerek geçerken, hedef kompozit hasar görmüştür.

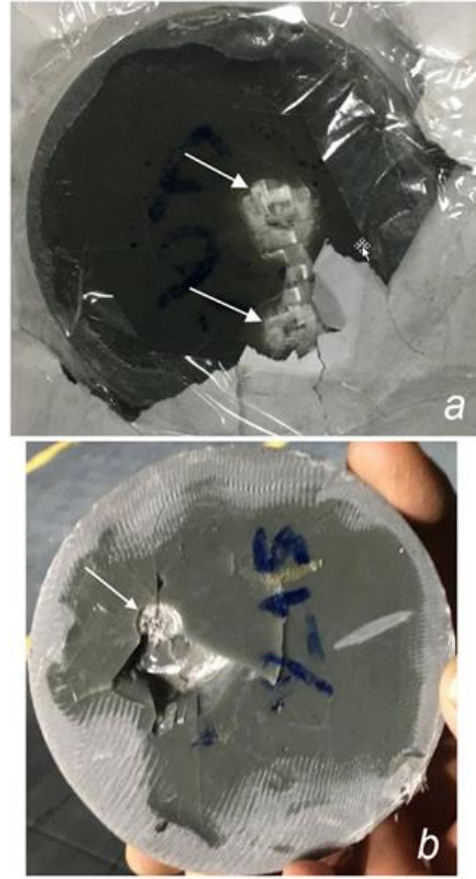
Tablo 4'de J sembolüyle verilen hedef kompozitler içyapısında dokuma-elyaf yerine keçe-elyaf (1, 2, 3 ve 4 tabaka olarak) kullanılmıştır. Burada gözlenmek istenen, dokuma elyaf yerine keçe elyaf olması halinde silahla atışlarda hedef kompozitin durumunu belirlemektir. Kompozitler içerisinde kalınlık olarak sırasıyla en küçük ve en büyük değerler (J2) 8,70 mm ve (J1) 9,82 mm olarak ölçülmüştür. Yoğunluk değerleri sırasıyla en küçük ve en büyük değerleri ise (J3) 1,156 g/cm³ ve (J2) 1,176 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Kompozitlerin kalınlık ve yoğunluklarının birbirlerine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Keçe elyaf hedef kompozitlere 22 kalibre 5 adet mermi ile atış yapılmış ve atışların tümü başarısız olmuştur. Bu yüzden, çalışmadaki denemeler kapsamında, keçe-elyaf kompozitlerin savunma için yetersiz olduğu belirlenmiştir. Şekil 9'da atış yapılan J4 kompozitin ön ve arka yüzeyleri verilmiştir. Ön yüzeyde belirgin olan 22 kalibre mermi ile 2 atışta arka yüzeyden geçmişlerdir. Atışlarda gözlenen diğer bir konu ise dokuma elyaf hedef kompozitlerin keçe elyaf kompozitlere nazaran daha dirençli olduklarıdır.

Tablo 5'de P'den Z'ye kadar verilen hedef kompozitlerde ortak özellikler, içyapıdaki dokuma elyafların 9, 12, 15 adet (0/45° dizilimde) yerleştirilmesi ve farklı kalınlıklara sahip silindirik disk olarak üretilmeleridir. Kompozitlerden alınan çap, kalınlık ölçüleriyle hacimleri ve ağırlık ölçümleri sonrası da yoğunlukları hesaplanmıştır. Yapılan kalınlık ölçümlerinde sırasıyla en küçük ve en büyük değerler (P) 7,03 mm ve (Z) 22,08 mm'dir. Sırasıyla en küçük ve en büyük yoğunluk değerleri ise (V) 1,254 g/cm³ ve (P) 1,348 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Silahla, tek tip 9 mm mermi kullanılarak, her bir hedefe 2 olmak üzere toplamda 18 atış yapılmıştır.



Şekil 9. J4 Kompozitlerin atış sonrası ön ve arka yüzeyleri.

Şekil 10a'da, atış sonrası P kompozit görülmektedir. Kompozitin oklarla işaretlenmiş noktalarına (9 mm) mermi isabet ettiğinde, ikinci mermi sonrası ikiye ayrılmış ve her iki atışta da mermiler kompozitten geçmiş ve hedef başarısız olmuştur. Tablo 5'de, verilen disk P kompozitin kalınlığı 7,03 mm'dir ve bu kalınlık 9 mm merminin geçmesi için 9 tabaka dokuma elyafa rağmen yeterli olamamıştır. Kalınlığında önemli bir parametre olduğu ve bu ölçüye dikkat edilmesi gereği açıktır. Şekil 10b'de, ok ile işaretlenmiş noktaya mermi isabet etmiş fakat olduğu yerden ileriye gidemeyerek geriye sekmıştır. Q kompozit kalınlığı 11,92 mm'dir ve bu kalınlık ve buradaki 9 kat dokuma elyaf ile oluşan yapı merminin geçmesine izin vermeyerek başarılı olmuştur. Şekil 11a'da, R kompozitin durumu görülmektedir. Şekilde ok ile işaretlenmiş noktaya mermi isabet ettiği halde yapı merminin geçmesine engel olmuş ve başarılı olmuştur. Şekil 11b'de, ilk atışlar sonrası (Şekil 2b'de görülen dizilimle aynı) kompozitler verilmiştir. Kompozitlerin üzerinde oklarla işaretlenmiş noktalarda, kompozite isabet ettiği halde, geçmesine engel olunmuş (saplanmış) mermiler görülmektedir. P numunesi hariç geri kalan tüm hedef kompozitler Tablo 5'de görüldüğü gibi 9 mm merminin geçmesine engel olarak başarılı olmuştur.



Şekil 10. Atış sonrası P (a) ve Q (b) kompozitler.



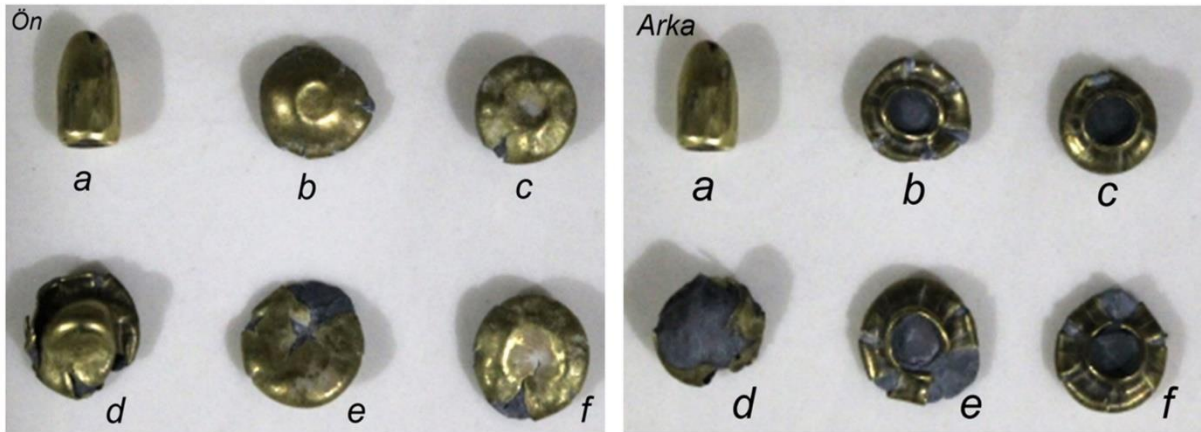
Şekil 11. Atışlar sonrası numuneler a)R silindirik kompozit b)Tüm silindirik kompozitler.

Şekil 12’de “ön” ve “arka” olarak verilenler, atışlar sonrası mermi çekirdeklerinin sırasıyla ön ve arka yüzeyinden görünüşleri olup, Şekil üzerinde b’den f’ye kadar harf sembolleriyle tanımlanmıştır. Bu mermi çekirdekleri, Şekil 11b’de başarılı olmuş kompozitlerin üzerinde oklarla işaretlenmiş olan mermi çekirdekleridir. Şekil 12.ön.a ve Şekil 12.arka.a’da verilmiş olan mermi çekirdeği, hasara uğramamış, hedefi bulamayan veya hedefi geçen mermilerden biri olup orijinal boyutlara en yakın haldedir. Şekil 12.ön ve arka görünüşlerdeki b’den f’ye kadar olan mermi çekirdekleri incelendiğinde, mermi çekirdeklerinin tümüne bir basma deneyi uygulanmış gibi görünmektedir. Hedef kompozitleri geçememiş mermi çekirdekleriyle ilgili ağırlık, çap ve uzunluk ölçümleri yapılmış ve bunlar Tablo 7’de verilmiştir. Atış sonrası namludan çıkıp deformasyona uğramamış mermi çekirdeğinin ağırlık, çap ve uzunluk parametreleri referans olarak alınmıştır. Deformasyona uğrayan mermi çekirdeklerinde (ağırlık, çap ve uzunlukta) değişkenlikler olsa da en büyük ölçüm değerleri dikkate alınmıştır. Tablo 7’de, b’den f’ye kadar olan mermi çekirdekleri için ağırlık değişimi, çapta büyüme ve uzunlukta küçülme değerleri (oran olarak) verilmiştir.

Ağırlıklar olarak hasara uğramamış mermi çekirdeği 8,00 g iken, atış sonrası tüm mermi çekirdekleri bu değer in altında değerler olarak oran olarak sırasıyla en küçük ve en büyük değerler 1,08 ve 1,10 olmuştur. Hesaplama sonuçlarına göre mermi çekirdeğinin “çapta büyüme” değerleri oran olarak sırasıyla en az ve en çok olarak 1,64

ve 1,96 olmuştur. Hesaplama sonuçlarına göre mermi çekirdeğinin “uzunlukta küçülme” değerleri oran olarak sırasıyla en az ve en çok olarak 1,48 ve 2,35 olmuştur. Atış sonrası mermi çekirdeğinin hedef kompozite temasında, mermi çekirdeği hedefi aşamadığında, çarpışma gerçekleşerek, oluşan darbe etkisiyle hedef kompozite itme kuvveti uygularken mermi çekirdeği form değişikliğine uğramış ve deformasyon özellikle çap ve uzunlukta belirginleşmiştir.

Çalışmada öncelikle kare şeklinde hedefler hazırlanmasının sebebi, özellikle kişisel koruma kapsamında bir güvenlik yeleğinde hazırlanmış olan küçük ceplere yerleştirilebilecek plakalar olarak düşünülmesindedir. Uygulamada NIJ Standart-0101.06’da öngörülen 5 m atışlara göre mesafenin 10 m veya daha uzun mesafelere artması, atışı uzman atıcının yapıyor olmasına rağmen hedefe isabet zorlaşabilmektedir. “Uluslararası Atıcılık Sporları Federasyonu (ISSF)”, “kurallar ve genel mevzuat” yayınında hedeflerle ilgili açıklamasında; ISSF şampiyonalarında kullanılan hedefler; tüfek ve tabanca yarışmaları için elektronik puanlama hedefleri veya kâğıt hedef, yivsiz tüfek yarışmaları için plaklar olarak verilmiştir. Tüm hedefler, bu kurallarda verilen puanlama halkası boyutları veya diğer özelliklerle uyumlu olmalıdır şeklinde açıklanmıştır (ISSF 2017). Silah tipleri ve atış mesafesine göre hedefler de değişiklik göstermektedir.



Şekil 12. Atışlar sonrası (a hariç) başarılı kompozit hedefleri geçemeyen mermi çekirdeklerinin ön ve arka yüzeyleri.

Tablo 7. Atış sonrası hedef kompozit malzemelerden geçememiş mermi çekirdeklerinin ağırlık, çap ve uzunluk değişimi

Mermi sembolü	Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi	Çap (mm)	Çapta büyüme	Uzunluk (mm)	Uzunlukta küçülme
a	8,00	1	9	1	15,72	1
b	7,40	1,08	15,64	1,74	6,77	2,32
c	7,35	1,09	14,80	1,64	8,04	1,95
d	7,25	1,10	17,35	1,93	10,61	1,48
e	7,35	1,09	17,65	1,96	8,09	1,94
f	7,30	1,10	16,54	1,84	6,68	2,35

Çalışmanın devamında dairesel geometri hedefler üretilebilmesinin nedeni ise genellikle hedeflerde var olan bir halka formu ve kare numunelere göre daha büyük ölçüdeki daire geometrisinin isabet alma kolaylığı da etkili olmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmada, bu alana uygun özel geliştirilmiş malzemeler dışında, temininde zorluk olmayan, kolay bulunabilir ve kompozit matris yapı oluşturabilen bileşenler kullanılarak, farklı katmanlara sahip dokuma cam elyaf takviyeli, düşük ağırlıklı, hedef kompozitler üretilebilmiştir. Üretilmiş kompozitlerden belirli bir yapıya, 22 kalibre ve 9 mm mermi kullanarak atış poligonunda silahla atışlar yapıldığında, koruma seviyesinin IIA olarak tanımlanabileceği belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında belirlenen önemli parametrelerden birincisi, mermi hareket yönündeki düzlemde plaka hedef kompozitin kalınlık ölçüsü, ikincisi ise, yapı içerisinde bulunan dokuma elyaf tabakalarının sayısı olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, yapılan silahla atışların sonuçlarına göre plaka hedef kompozitin kalınlık ölçüsünün 12 mm'den büyük ve içyapıda yerleştirilecek dokuma elyaf tabaka sayısının 9'dan büyük olması gerekmektedir. Elyaf tabakalar ağırlık olarak düşük değerlerdedir ve matris yapıyı oluşturacak malzeme kullanımıyla karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek miktarlardadır. Buna karşılık oluşan malzemenin mermiye karşı dayanımı açısından büyük katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla daha büyük kalibreli mermilere karşı koruma istenen kompozitler için yerleşimi (0°/45° gibi) önemseyerek elyaf tabaka sayısı daha da artırılmalıdır.

Çalışmada hedef kompozitin başarılı olduğu ve mermi çekirdeğinin geçmesine izin vermediği durumlarda, mermi çekirdeğinin atış öncesi ve atış sonrası ağırlığında azalma, çapında büyüme ve uzunluğunda küçülme tespit edilmiştir. Mermi çekirdeğinin atış öncesi ve sonrası özellikleri oranlanarak durum değişiklikleri açıklanmıştır. Buna göre; ağırlıktaki azalmanın değişimler ortalaması 1,09 g olarak hesaplanmıştır. Ağırlıktaki bu değişimin sebebi olarak mermi çekirdeğinin hedef kompozit ile temasında oluşan darbe sonrası yapısal kayıplar olması şeklinde değerlendirilmiştir. Mermi çekirdeğinin çapında ise bir büyüme belirlenmiştir. Çaptaki büyümenin değişimler ortalaması 1,82 mm olarak hesaplanmıştır. Mermi çekirdeğinin uzunluğunda ise bir küçülme olduğu belirlenmiştir. Uzunluktaki küçülmenin değişimler ortalaması ise 2,01 mm olarak hesaplanmıştır. Mermi çekirdeğinin çapının büyümesi ve uzunluğunun kısalmış olması merminin kütlesi ve büyük hızı sebebiyle kendisinden daha büyük bir kütle ile esnek olmayan bir çarpışma sonrası, yapısal olarak çarptığı yüzeye yığılmasıyla gerçekleştiği düşünülmektedir.

Çalışmada belirlenmiş olan sınır değerlerin üzerinde bir kompozit plaka üretimi ile 22 kalibre ve 9 mm mermilerin, hedefe dik geldikleri halde

engellenebilecekleri belirlenmiştir. Hayati önemi olan koruma isteği için bu çalışmada belirlenmiş olan değerlerin üzerinde değerler dikkate alınması yerinde olacaktır. Çünkü koruma sistemiyle ilgili üretim tekniği, kullanılan mermiler ve silahlar, ortam şartları gibi etkenler ürünün hedeflenen balistik özellikleri adına etkili olmaktadır. Tasarlanacak ve üretimi yapılacak koruma sistemlerinin, hedeflenen koruma seviyelerini yakalayabilmesi için, mutlaka saha deneylerinin % 100 başarıyla yapılması çok önemlidir.

Çalışmada üretilen plaka hedef kompozitler, sadece çalışma kapsamındaki mermi kalibrelerine karşı bir kişisel koruma amaçlı yelek olarak değerlendirilebilir. Fakat saldırı daha büyük kalibreli silahlarla yapılırsa, bu durumda korumanın geçersiz kalacağı bir gerçektir. Tasarım şartları önemli olduğundan, ancak kesin bilinen bir tehdide karşı koruma önlemi yeterli olabilir. Kişisel korunma dışında bir araç uygulaması olarak, belirlenecek kalibreler için plaka hedef kompozitlerin koruyuculuğu çalışmaları yapılabilir.

Çalışmada doymamış polyester reçine tek tip olarak çokça kullanılan ve kolay bulunabilirliğe göre seçilmiştir. Çalışma kapsamı farklı reçine tipleriyle genişletilebilir. Farklı yapı oluşturabilecek yapı bileşenleri yanında takviye malzemeleri de değiştirilebilir. Çalışmada silahla atışlarda tek bir mesafeye (10 m) ait denemeler yapılmıştır. Atış mesafeleri değiştirilerek, merminin daha yakın veya daha uzak mesafelerden atılması sonucu, plaka hedef kompozitler üzerindeki etkileri incelenebilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.A.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

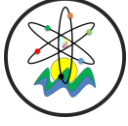
Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışmada, silahla tüm atışlar Balıkesir Poligon'da, Uzman Atıcı Ayhan Baştürk tarafından yapılmış ve çalışma süresince desteğini esirgememiştir, bunun için

kendisine ve tüm gülyüzlü poligon çalışanlarına teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Aguiar R, Petel OE, Miller RE. 2022. Effect of a Halloysite-polyurethane nanocomposite interlayer on the ballistic performance of laminate transparent armour. *Composites Part C*, 7: 100231.
- Aisyah HA, Paridah MT, Sapuan SM. 2021. A Comprehensive review on advanced sustainable woven natural fibre polymer composites. *Polymers*, 13: 471.
- Attwood JP, Khaderi SN, Karthikeyan K. 2014. The out-of-plane compressive response of Dyneemas composites. *J Mechan Physics Solids*, 70: 200-226.
- Bitlisli B. 2019. Zırlı araçlarda kullanılan kompozit zırh malzemelerinin balistik performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği ABD, Bursa, Türkiye, pp: 89.
- Bodepati VR, Reddy CJ, Vemuri M. 2020. Numerical prediction of damage mechanisms of E-Glass/epoxy composite material against ballistic impact of 7.62 MS projectile. *Int J Protective Struct*, 12(2): 206-225.
- Carr DJ, Crawford C. 2016. High performance fabrics and 3D materials, Cranfield University at The Defence Academy of the UK, Shrivenham, United Kingdom. *Lightweight Ballistic Composites*, 2nd Ed., Military and Law-Enforcement Applications. Woodhead Publishing, London, UK, pp: 41-53.
- Czech K, Oliwa R, Krajewski D. 2021. Hybrid polymer composites used in the arms industry: A review. *Materials*, 14: 3047.
- Deora PS, Khurana M, Priya Muhal RA. 2022. A review on fibrous materials for body armor application. *Materials Today*, 60: 2230-2235.
- Dragan K, Leski A. 2012. Failure of polymer matrix composites in defence applications. In: Robinson P, Greenhalgh E, Pinho S, editors. *Failure mechanisms in polymer matrix composites: Criteria, testing and industrial applications*. Woodhead Publishing, London, UK, pp: 272-299.
- Farias-Aguilar JC, Ramırez-Moreno MJ, Gonzalez-Garcıa DM. 2021. Evaluation of the ballistic protection level of (glass-fiber reinforced polyamide 6)-aramid fabric sandwich composite panels. *J Mater Technol*, 12: 1606-1614.
- ISSF. 2017. International Shooting Sport Federation, ISSF Headquarters, Bavariaring 21, D-80336 München-Germany. Kurallar ve Genel Mevzuat. URL: <https://www.issf-sports.org/> (erişim tarihi: 12 Ekim 2022).
- Karthikeyan K, Russell BP, Fleck NA. 2013. The effect of shear strength on the ballistic response of laminated composite plates. *European J Mechanics A/Solids*, 42: 35-53.
- Larsson F. 1997. Damage tolerance of a stitched carbon/epoxy laminate. *Composites Part A, App Sci Manufact*, 28(11): 923-934.
- Larsson F, Svensson L. 2002. Carbon, polyethylene and PBO hybrid fibre composites for structural lightweight armour. *Composites Part A, Applied Sci Manufact*, 33(2): 221-231.
- Morye SS, Hine PJ, Duckett RA. 2000. Modelling of the energy absorption by polymer composites upon ballistic impact. *Composites Sci Technol*, 60: 2631-2642.
- NATO. 2004. NATO Standard. AEP-97. Multi Calibre Manual of Proof and Inspection (M-CMOPI) for NATO Small Arms Ammunition. URL: <https://diweb.hq.nato.int/naag/Public%20Release%20Documents/AEP-97%20EDA%20V1%20E.pdf> (erişim tarihi: 01 Aralık 2022).
- Naveen J, Jawaid M, Goh KL, Reddy DM, Muthukumar C, Loganathan TM, Reshwanth KNGL. 2021. Advancement in graphene-based materials and their nacre inspired composites for armour applications-A review. *Nanomaterials*, 11: 1239.
- Naveen J, Jawaid M, Zainudin ES, Yahaya R. 2019. Effect of graphene nanoplatelets on the ballistic performance of hybrid Kevlar/Cocos nucifera sheath-reinforced epoxy composites. *Textile Res J*, 89 (21-22): 4349-4362.
- Nayak N, Sivaraman P, Banerjee A. 2012. Effect of matrix on the ballistic impact of aramid fabric composite laminates by armor piercing projectiles. *Polymer Composit*, 33(3): 443-450.
- NIJ. 2008. NIJ Standard-0101.06. Ballistic Resistance of Body Armor. July.
- NIJ. 1985. NIJ Standard-0108.01. Ballistic Resistant Protective Materials. September.
- Tam T, Bhatnagar A. 2016. High-performance ballistic fibers and tapes. Honeywell International Inc., U. S. *Lightweight Ballistic Composites, Military and Law-Enforcement Applications*, 2nd Ed. Woodhead Publishing, London, UK, pp: 1-39.
- Varma TV, Sarkar S. 2021. Designing polymer metamaterial for protective armor: A coarse-grained formulation. *Meccanica*, 56: 383-392.
- Verdi A, Bulut MO. 2022. NIJ Standardı Seviye-IV korumalı zırh bileşenlerinin incelenmesi ve balistik koruma standartları. *Teknik Bil Derg*, 12(1): 69-81.
- Yahaya R, Sapuan SM, Jawaid M, Leman Z, Zainudin ES. 2016. Measurement of ballistic impact properties of woven kenaf-aramid hybrid composites. *Measurement*, 77: 335-343.



A HYBRID ALGORITHM FOR ADAPTIVE NEURO-CONTROLLERS

Mustafa DEMİRTAŞ^{1*}


¹Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 16059, Bursa, Türkiye

Abstract: In this study, a novel hybrid algorithm consisting of the least mean square and backpropagation neural network is proposed to auto-adjust adaptive proportional integral derivative (PID) controller gains for improving the transient response of linear systems. The hybrid approach comprises the scheme of the two algorithms running in parallel and updates PID gains simultaneously. All algorithms are implemented on the same linear system and present a general framework for different scenarios such as initial PID gains, learning rates, and target functions. The results show that the presented hybrid algorithm has better accuracy, precision, F1-score, adaptability, and robustness than origin algorithms, and significantly improves the controllability in most of the system scenarios. It also exhibits better performance in periodic incremental and decremental targets compared to origin algorithms. Different hybridization levels are also simulated and are highlighted as significant features of their performance. This work can be expanded to the combination of other well-known algorithms, paving the way to significant improvements in control system applications.

Keywords: Parallel algorithms, Neuro-controllers, Hybrid intelligent systems, Artificial neural networks, Automatic control

*Corresponding author: Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 16059, Bursa, Türkiye

E mail: mustafademirtas@uludag.edu.tr (M. DEMİRTAŞ)

Mustafa DEMİRTAŞ  <https://orcid.org/0000-0001-6832-4341>

Received: January 18, 2023

Accepted: March 11, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Demirtaş M. 2023. A hybrid algorithm for adaptive neuro-controllers. BSJ Eng Sci, 6(2): 87-97.

1. Introduction

Proportional integral derivative (PID) control which depends on a common feedback form is one of the earlier control types (Ang et al., 2005). The first usage of the PID controller was pneumatic devices and solid-state electronics where the traces are found in the 1940s, before arriving at today's implementation of computer structures (Verma and Padhy, 2020). It is very popular in control system theory and applications because of its simple control structure, algorithm, good robustness, and stability. However, the PID controller has disadvantages in that it is not suitable for non-linear and long-time-delay systems since the arrangement and investigation of suitable P, I, and D parameters and their combination is a cumbersome process. In the last few decades, by evolving computer technology and control theories, it was possible to incorporate the innovations of estimation algorithms and neural networks into the area of control problems (Guo et al., 2009; Hernández-Alvarado et al., 2016; Adar, 2021).

Adaptive algorithms, which can globally stabilize systems having spike noises, bounded external disturbances, and time-varying parameters with no limitation on signals in the closed-loop system, still exist in many commercial control systems (Huo and Xiong, 2019). Among them, the adaptive PID controllers are the most popular (Bolton, 2015). An adaptive PID controller adapts to the process conditions on-line by making necessary changes in the values of K_p and K_i (Conker and Baltacıoğlu, 2020). This type of controller benefits from several advantages, such as the ability to ensure system stability, not excessively

relying on models, achieving a given system target asymptotically, and improving itself in response to changes in system dynamics.

Backpropagation neural network (BPN) is one of the most well-known and common methods which is used to minimize the error of possible objective functions (Oztekin and Ozgan, 2012; Chen and Gu, 2020). Although this approach seems suitable for control system identification problems, however, it has some drawbacks in real-time applications because of long training time and slow performance issues (Orozco-Tupacyupanqui et al., 2016). Another well-known approach in literature for minimizing the error is the LMS algorithm. This algorithm is generally used in detection and estimation theory (Antony Dhas and Chandrasekaran, 2019; Zayyani and Javaheri, 2021). It is also possible to use this algorithm for minimizing the error of the objective function (Akhyar and Omatu, 1993; Guo et al., 2009; Hernández-Alvarado et al., 2016). One of the main drawbacks of LMS is that it is sensitive to the input function, and this leads very difficultly to determine the learning rate that guarantees stability (Haykin, 2005). Further normalization of input power solves this problem (Haykin and Widrow, 2003). The adaptive neural network PID controller and adaptive least mean square PID controller, which are new kinds of controller have been offered and developed in order to get rid of the above-mentioned problems (Guo et al., 2009; Bai and Zhang, 2018).

The integration of more than one algorithm has also demonstrated promising results in many adaptive



control problems, and further research is required in this direction. Different types and combinations of hybrid algorithms have been developed in many papers (Qiao et al., 2017; Mahmoodabadi et al., 2018; Moayedi et al., 2019; Pandey et al., 2021; Carvalho et al., 2021; Tamer et al., 2021; Alkrwy et al., 2021, El-Nagar et al., 2022) to find gains of different controller types to enhance the system transient response as well as to ensure the robustness and stability of the system. Text detection and character recognition are successfully achieved by weighted naïve Bayes classifier and deep neural network (DNN)-based adaptive galactic swarm optimization (GSO) (Pandey et al., 2021). A hybrid neuro particle-based optimization (PSO) of the artificial neural network (ANN) is investigated for slope stability calculation (Moayedi et al., 2019). A control optimization system based on hybrid intelligent technology is proposed to obtain the minimum energy consumption in the wastewater treatment process (Qiao et al., 2017). Compared to the traditional PID and data-driven adaptive optimal controller (DDAOC) methods, the simulation results of the proposed method show better performance. Another hybrid controller based on the robust decoupled sliding mode and adaptive feedback linearization is being studied (Mahmoodabadi et al., 2018). A control algorithm based on the weighting sum of the feedback linearization (FBL) and decoupled sliding mode control (DSMC) methods is proposed, as the main idea of this is to enhance efficiency and robustness against uncertainties. The results show that the dynamic responses obtained from the proposed hybrid controller are much faster than those obtained from the FBL, DSMC, and other approaches considered in the literature. In (Alkrwy et al., 2021), a new method for adjustment of the PID parameters to improve the tracking performance of DC motors also provides optimal stability by creating a hybrid PID - Crow search algorithm (CSA) predictive model for tuning parameters of the PID controller of DC motors. The presented results proved that the proposed hybrid system provides the best set of transient responses (rise time, stability time, and minimization in settling time and eliminating steady-

state error) specifications compared to four different CSA releases based on various performance response indicators. Moreover, it is compared with other tuning methods such as PSO-based console, and Ziegler Nichols tuning method. To handle a nonlinear system, a new hybrid deep learning neural network controller (HDLNNC) is proposed based on a self-organizing map of the Kohonen procedure and Hebbian learning (El-Nagar et al., 2022). It can be concluded that the robustness of the proposed hybrid controller has better performance and faster recovery ability from parameter variations and disturbance signals as compared to multilayer feed-forward neural network controllers. In (Carvalho et al., 2021), the development of a Fuzzy-PID hybrid controller to control a quadrotor Unmanned Aerial Vehicles' (UAV) height stability is discussed. The performances of traditional PID and the proposed hybrid controller are also given. From the results, both PID and Fuzzy-PID controllers could perform the attitude control of the UAV. However, the hybrid control strategy obtained some advantages, such as self-adjustment through system variations. The PSO algorithm is implemented to optimize and tune PI controller parameters of DC bus voltage control of the shunt active power filter (Tamer et al., 2021). The reference current is obtained using an adaptive linear neuron. These networks are trained online using the LMS algorithm. The proposed hybrid control algorithm presents higher efficiency in terms of harmonic current mitigation, power factor correction, and DC-link voltage regulation. The comparison of hybrid algorithms compared to their origin algorithms is summarized in Table 1.

The aim of this paper is the presentation of a novel hybrid scheme for the adaptive PID controller by combining two traditional algorithms which are BPN and LMS, to take advantage of both. These algorithms have not been previously combined in the literature not only for optimization but also for control problems. Generally, the proposed hybrid algorithm improves the transient response and has a much higher probability of convergence than that of BPN and it is faster than LMS

Table 1. Performance of hybrid algorithms compared to their origin algorithms

Hybridized Methods	Performance comparisons
DNN-GSO (Pandey et al. 2021)	Improved precision, accuracy, and F1-score
ANN-PSO (Moayedi et al. 2019)	Improved R2 and lower RMSE
PID-DDAOC (Qiao et al. 2017)	Energy consumption decreased by 13.6%
DMSC-FBL (Mahmoodabadi et al. 2018)	Improved robustness and effectiveness
CSA-PID (Alkrwy et al. 2021)	Improved the steady-state error, step response stability, overshoot, rising time, and settling time
HDLNNC (El-Nagar et al. 2022)	Fast learning, stable controller, reduced system uncertainties
Fuzzy-PID (Carvalho et al. 2021)	Reduced overshoots and undershoots
PSO-LMS-PI (Tamer et al. 2021)	Higher efficiency, improved power factor

It differs in a certain way from the aforementioned studies by using simultaneous weight vector updates to assign new PID gains. The performance metrics of the

proposed method are found superior to the origin algorithms. The results also verify that this methodology provides a better response in periodic incremental and

decremental systems. However, it is difficult to guarantee its effectiveness in the first step response of some scenarios, because the hybrid algorithm essentially depends on the success of origin algorithms.

To summarize, the main contributions of this paper are:

- A hybrid framework is proposed, consisting of BPN and LMS algorithms, for improving the transient response of a linear system.
- The performance of each algorithm and comparison with the hybrid algorithm is identified.
- Different scenarios are tested to figure out the sensitivity of the hybrid algorithm.
- A weighting coefficient is assigned to adjust the hybridization level, and the performances of different hybridizations are compared.

2. Material and Methods

2.1. System Structure and PID Controller

The PID controller which combines the parallel connection of P, I, and D types of the controller is an essential element of a feedback control system. Even though different combinations of these control types exist such as P, I, D, PI, PD, and PID controllers, pure I and D controller are not recommended. The PID controllers are given relatively better results compared to the other type of controllers for a linear system (Jaleel and Thanvy, 2013).

The structure which is shown in Figure 1 is a closed loop of the discrete-time system. In this system, $r(n)$ is input, $e(n)$ is error signal, $u(n)$ is control input, $y(n)$ is output, and the plant is a controllable process. In our system, all variables are in the discrete-time domain.

The equation (1) of the digital incremental PID controller is given as follows (Guo et al., 2009):

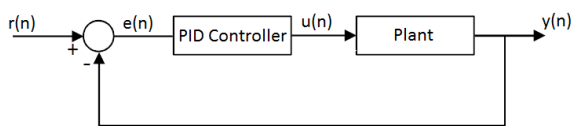


Figure 1. Structure of the discrete-time system.

$$u(n) = u(n - 1) + K_p(e(n) - e(n - 1)) + K_i e(n) + K_d(e(n) - 2e(n - 1) + e(n - 2)) \quad (1)$$

where K_p is proportional, K_i is integral, and K_d is the derivative gains of the PID controller. These parameters should be auto-adjusted. Three parameters describe the whole system adjustment, in this work, it will be mentioned how those should be adjusted in three different approaches.

The implementation is applied to the linear system using MATLAB. The linear model of the system was given in equation 2:

$$y(n + 1) = 0.998y(n) + 0.232u(n) \quad (2)$$

Where the system is a single input single output of a temperature control process for a water bath. The details of the plant and results of experiments on a physical system can be found in (Akhyar and Omatu, 1993). The experiments were carried out when the volume of a water bath was 7 liters, the power of the electric heater was 600 W, the references were 40 °C, and the sampling time was 30 seconds. The control input was limited to between 0 and 5 volts. They used a pure BPN-based adaptive PID controller and reported successful results for both simulation and implementation.

This work adds a parallel running LMS algorithm to the previous version of the work (Akhyar and Omatu, 1993), providing efficient improvements in weight updates. To investigate the sensitivity of the hybrid algorithm, the simulations are repeated for different initial PID gains, learning rates, targets, and hybridization levels. It is important to note that the initial settings of PID are determined to make the system stable. The PID gains are not limited, because it is difficult and time-consuming, sometimes impossible to converge, for the proposed learning algorithms.

2.2. Back Propagation Neural Network Algorithm

A Back-Propagation neural network (BPN) is a multilayer feed-forward neural network algorithm. It is called a multilayer network since, in addition to the input layer and output layer, the model contains a hidden layer with a definitive amount of processing elements heavily connected to both layers. This hidden layer provides adaptivity between input and output in a nonlinear fashion. The feed-forward structure explains the learning scheme which feeds the signal from the input to the output layer through the hidden layer and provides a possible output signal. The difference between the output and the expected signal is fed backwardly through the network in order to arrange the weight parameters using the gradient descent algorithm (Dogo et al., 2018). In this paper, the neural net consists of an input layer of 3 inputs and 3 outputs at the output layer where the PID parameters are obtained.

The algorithm of BPN is shown as follows: w_{ij} is the hidden layer's weight value, x_j ($j=1,2,\dots,m$) is the input of the network. Equations 3 and 4 are described as the hidden layer's input and output relations.

$$net_h(n) = \sum_{j=1}^m w_{ji}x_j \quad (3)$$

$$Outo_h(n) = f(net_h(n)) \quad h = 1,2,\dots,m \quad (4)$$

The activation function of the hidden layer and the output layer is the sigmoid function. The equations of the neural network were given in equations 5, 6, and 7 (Guo et al., 2009):

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (5)$$

$$net_o(n) = \sum_{k=1}^m w_{ik} Out_o_h \quad h = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$Out_o(n) = g(net_o(n)) \quad (7)$$

One of the BPN approaches for adapting the system parameters in different control structures has been described in (Akhyar and Omatu, 1993). In this approach, the plant is controlled and adapted using a BPN algorithm as it has been shown in Figure 2. Inputs of the neural network are time-delay added PID controller output, time-delay added plant output, and reference input. Three inputs of the PID controller are BPN outputs which are K_p , K_i , and K_d parameters, the other is a system error. In order to calculate the system error, reference input minus output is required.

Normalized input data is used in the BPN algorithm. The numbers of reference nodes and neurons are 300 and 10, respectively. The learning parameter (μ) and momentum parameter are set as a variable. A sigmoidal function is used as an activation function for both the hidden layer and the output layer.

2.3. Least Mean Square Algorithm

The least mean square (LMS) algorithm is an adaptive algorithm based on the steepest descent method. It is a search algorithm which uses for estimating the gradient

vector of the data. LMS algorithm has an iterative procedure for updating the weight vector which leads to determining the minimum mean square error. It is widely used in various applications of adaptive filtering, detection, and estimation (Bai and Zhang, 2018; Spelta and Martins, 2020; Karchi and Kulkarni, 2021).

LMS algorithm was given in equations 8, 9, and 10:

$$w(n + 1) = w(n) + \Delta w(n) \quad (8)$$

$$\Delta w(n) = \mu e(n)x(n) \quad (9)$$

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (10)$$

where x_k is an input vector, w_k is weight vector ($k=0,1,\dots,N-1$), $e(n)$ is error signal, $y(n)$ and $d(n)$ are output and desired signal, respectively (Hernández-Alvarado et al., 2016, Huo and Xiong, 2019). Equations 8, 9, and 10 describe the process of the LMS algorithm. The μ is the learning rate and $\Delta w(n)$ is the updating difference of the weight vector which is produced in every cycle of the algorithm. The structure of PID based on the LMS controller was given in Figure 3. Every new weight vector multiplies with the PID parameters K_p , K_i , and K_d .

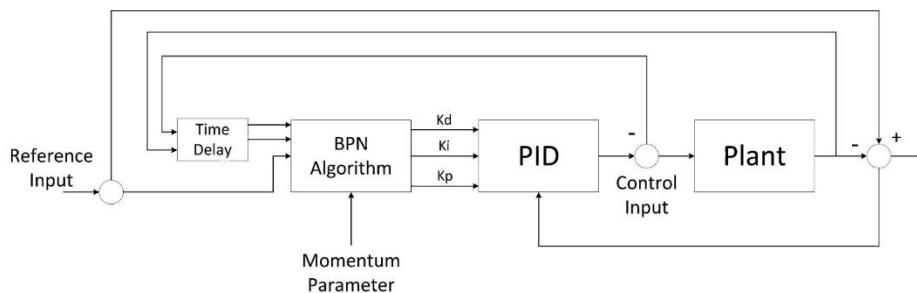


Figure 2. System schematic of BPN-based PID.

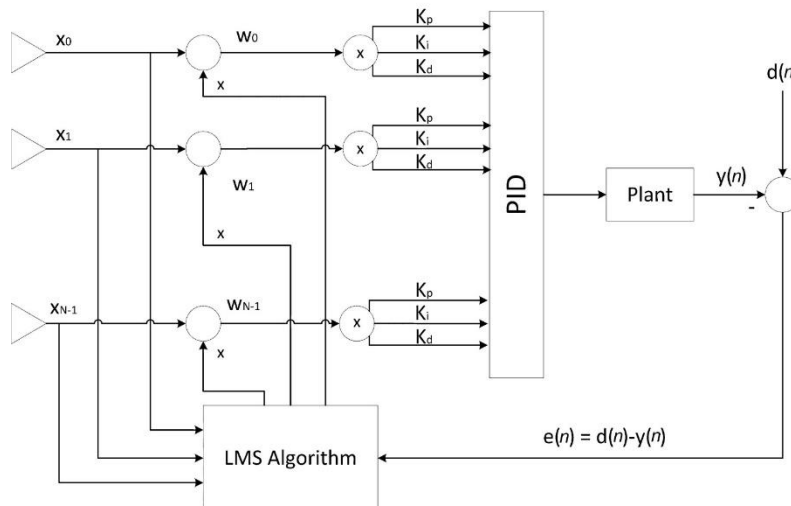


Figure 3. Structure of adaptive LMS-based PID controller.

2.4. Hybrid Algorithm

A hybrid algorithm is based on the parallel connection of the LMS and BPN algorithms. Each algorithm runs simultaneously and calculates its weight update value, then each result is multiplied with PID parameters K_p , K_i , and K_d at the same time. The structure of the hybrid adaptive PID (HAPID) algorithm was given in Figure. 4.

The hybrid algorithm continues to run until the absolute value error is reduced to $1E-4$. The resulting closed-loop system is necessarily stable for any randomly chosen initial weights in the range of $[0, 1]$ and arbitrary PID gains within a specified range. However, with different system scenarios, the closed-loop system again must be stable, but the closed-loop performance is expected to vary within this entire stability region. In the hybrid update scheme, while the LMS weight update value is the same for each PID controller gain, BPN produces different update values for each PID controller gain.

The updating algorithm (equations 11-16) of the hybrid scheme is given by:

$$K_p(n) = P, K_i(n) = i, K_d(n) = d \quad \text{for } n = 0 \quad (11)$$

$$LMS_{update} = wc * w(n + 1) \quad (12)$$

$$BPN_{update,i} = wc * Out_{o_i}(i), \quad i = 1 \text{ to } 3 \quad (13)$$

$$K_p(n + 1) = K_p(n) * LMS_{update} * BPN_{update,1} \quad (14)$$

$$K_i(n + 1) = K_i(n) * LMS_{update} * BPN_{update,2} \quad (15)$$

$$K_d(n + 1) = K_d(n) * LMS_{update} * BPN_{update,3} \quad (16)$$

where P, I, and D are initial values of PID gains, K_p , K_i , and K_d are adaptively updated PID gains in every cycle, wc is the weighting coefficient used to determine the hybridization level of HAPID, LMS_{update} and BPN_{update} are update vectors obtained because of LMS and BPN runs.

The others parameters described in previous sections.

3. Results and Discussion

The response of all algorithms was systematically investigated using different parameters. Firstly, the learning rate of all algorithms was changed. In this case, the number of neurons, inputs, and momentum parameters that affect the BPN-based PID algorithm was kept constant. Thus, the learning rate effect was analyzed for each scenario. Moreover, the effect of the different initial system parameters for K_p , K_i , and K_d was observed for the learning rate at 0.9. Furthermore, different inputs are also implemented in Scenario 4. In scenarios 1 through 4, the full effect (100%) of the LMS and BPN algorithm is used. Other scenarios (between Scenarios 5 and 12) are created to test the first four scenarios with different hybridization levels. Two different levels of hybridization which are "50% BPN+50% LMS" and "25% BPN+75% LMS" are implemented. The variables of all scenarios are given in Table 2.

The algorithm needs to have a good initial PID parameter set to start with in order to exhibit satisfactory performance. Thus, the PID parameters used in Scenario 1 are initially determined by the Ziegler–Nichols tuning method (Patel, 2020). In other words, the current values of the K_p , K_i , and K_d gains are increased or decreased utilizing the proposed algorithms. Initial system parameters are then changed to show the effectiveness of the algorithm within stability limits.

All algorithms have improved responses when the learning rate increases. In particular, the improvement of the LMS-based PID and the HAPID algorithm responses is more compared to BPN-based PID. Figure 5 shows the overall system and step response of all proposed algorithms for Scenario 1, respectively. The LMS-based PID and HAPID algorithm responses have an under-damped response. The BPN-based PID algorithm has a deadbeat response. The rise of the LMS-based PID and HAPID algorithms is almost the same and is less compared to the BPN-based PID algorithm.

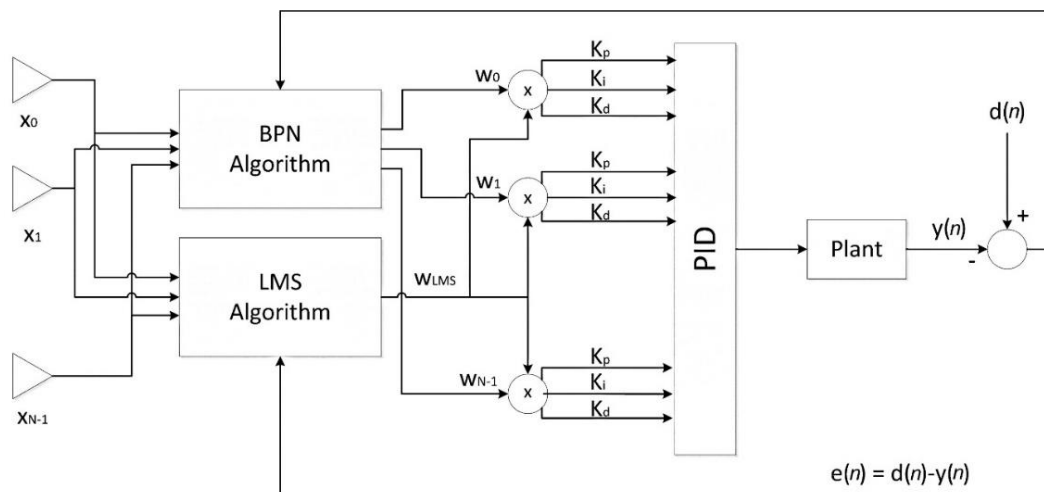


Figure 4. Structure of the HAPID algorithm.

Table 2. The system parameters for performance analysis

		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
K_p		1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
K_i		0.05	0.05	0.5	0.5	0.05	0.05
K_d		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
μ		0.5	0.9	0.9	0.9	0.5	0.5
Inputs		1,2,3	1,2,3	1,2,3	2,4,3	1,2,3	1,2,3
Hybrid	LMS	%100	%100	%100	%100	%50	%75
Level	BPN	%100	%100	%100	%100	%50	%25
		Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9	Scenario 10	Scenario 11	Scenario 12
K_p		1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
K_i		0.05	0.05	0.5	0.5	0.5	0.5
K_d		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
μ		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Inputs		1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	2,4,3	2,4,3
Hybrid	LMS	%50	%75	%50	%75	%50	%75
Level	BPN	%50	%25	%50	%25	%50	%25

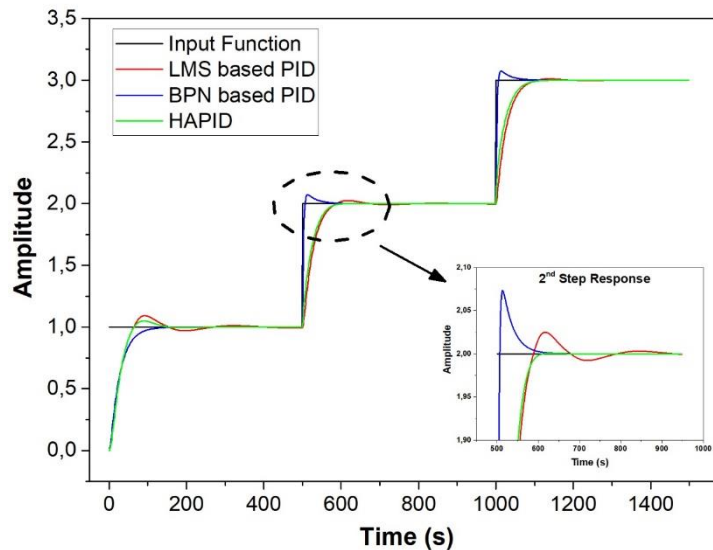


Figure 5. Overall system response of scenario 1 (inset: 2nd-step response).

The steady-state time of HAPID and BPN-based PID is almost equal, however, HAPID is faster than BPN-based PID. Considering the 2nd and 3rd-step responses, the BPN-based PID has almost the same overshoot and steady-state time. The LMS-based PID algorithm exhibits under-damped responses with lower overshoot and longer steady-state time than the BPN-based PID. The HAPID has a deadbeat response and less steady-state time compared to other algorithms.

Overall system response and 2nd-step response for increased learning rate (Scenario 2) are shown in Figure 6. When the learning rate is increased, the step response of HAPID turns from an under-damped response to a dead-beat response and a faster algorithm compared to others. The overshoot of LMS-based PID reduces but steady-state time is longer compared to others. The response of the BPN-based PID algorithm does not affect by the change in the learning rate. Figure 7 shows the overall system, 1st, and 3rd-step responses of Scenario 3. In Scenario 3, we change the initial integral parameter of

the PID controller. Step and magnitudes of inputs are the same as in Scenarios 1 and 2. An interesting result was observed. The BPN based PID controller has a good 1st-step response compared to others, however, when the step number increases the LMS-based PID and HAPID responses suppress the oscillations and get better compared to the BPN-based PID. Particularly, the HAPID algorithm has the best response to the 3rd-step.

Similarly, Figure 8 shows the overall system, 1st, and 3rd-step response, respectively. Initial parameters, learning rate, and the number of inputs in Scenario 4 are the same as in Scenario 3. Initial input magnitudes are increased to two and decreased step input is added, thus we can observe the change in initial response and both increased and decreased step inputs. The HAPID improves the 1st-step response for increased initial input. Overall results for Scenario 4 show that the HAPID has the best response for all step responses, especially for a decreased step input. All algorithms have under-damped response, but the HAPID exhibits less overshoot and steady-state time.

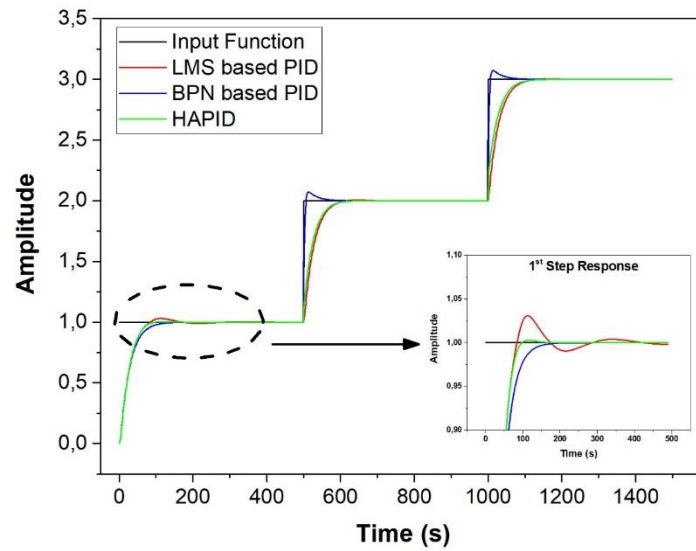


Figure 6. Overall system response of scenario 2 (inset:1st-step response).

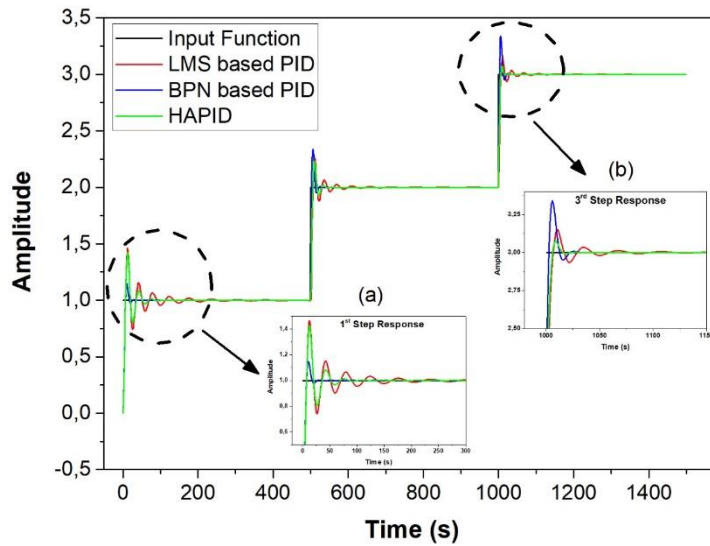


Figure 7. Overall system response of scenario 3 (inset (a): 1st-step response, inset (b):3rd-step response).

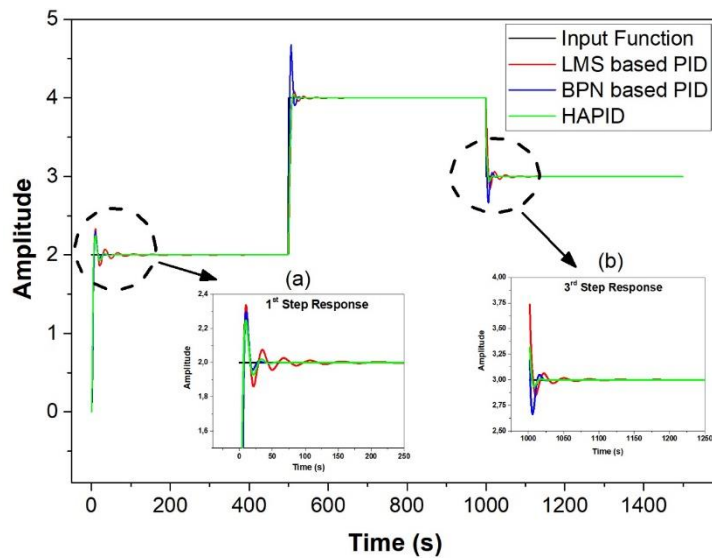


Figure 8. Overall system response of scenario 4 (inset (a):1st-step response, inset (b):3rd-step response).

Apart from the individual performance of algorithms, change in the hybridization level of algorithms with different scenarios are shown in Figures 9-12. Results obtained with Scenarios 1, 5, and 6 are compared in Figure 9. The HAPID, which has a full effect on all step inputs, gives better results in all aspects i.e. in terms of undershoot, overshoot, and settling time. Although the HAPID with full effect at the 1st-step input makes a little overshoot, it has improved the response to the dead-beat after the 2nd-step input. Other hybrid levels tended to improve their response at each step input, respectively. Scenario 5 exhibits a better result than Scenario 6. This result supports that the LMS algorithm affects more than the BPN algorithm for given system parameters.

Figure 10 shows the performance comparison of Scenarios 2, 7, and 9. It is seen that the proposed HAPID with full effect does not yield better performance in all step inputs compared to the different hybridization levels. In the first two-step inputs, Scenario 2 showed the best response, while in the 3rd-step, Scenario 7 showed a better performance than the others. Scenario 2 does not show any improvement depending on the number of step inputs, while the other two scenarios exhibit a noticeable improvement. It is proof that performance can be improved with different hybridization according to the input signal.

Convergence characteristics for Scenarios 3, 9, and 10 are shown in Figure 11. It is noted in simulation results that Scenario 3 performs better as compared to others, and only Scenario 3 can reach the zero steady-state error in the 1st-step response. As the effect of the algorithms decreases, fluctuations in their response increase. When the effect of the LMS and BPN algorithms is halved, the controller's response slows down, and the amount of overshoot and undershoot increases. Moreover,

controller performance worsens when the effect of the BPN is increased and the LMS is decreased. The system with the same parameter has been simulated in the case of increased step amplitude and decremental input. The corresponding responses of Scenarios 4, 11, and 12 are given in Figure 12. In line with the results in Figure 11, Scenario 4 gives a very good response to suppress fluctuations.

The performance comparison of HAPID is discussed below. However, hybridization based on LMS and BPN papers is found rare. Therefore, five different efficient and well-known optimization algorithms are implemented to test the effectiveness of this proposed algorithm. The results obtained by the proposed approach and existing LMS, BPN, GSO, CSA, and PSO-based adaptive algorithms are shown in Table 3. The accuracy, precision, and F1-score of the proposed HAPID are found superior to the other five conventional optimization algorithms.

The trade-off between computational complexity and accuracy is an important consideration for the LMS, BPN, and HAPID algorithms. The LMS algorithm has a lower computational complexity than the BPN algorithm. While it may be less powerful than the BPN algorithm, it is computationally efficient and suitable for applications with a large number of data samples. In contrast, the BPN algorithm is more computationally intensive than the LMS algorithm, but it is more powerful and versatile. The BPN algorithm can be used for various applications, which require higher accuracy and more complex decision-making. The HAPID algorithm, on the other hand, comes with a computational burden, as it adds more steps and parameters that increase the overall complexity of the algorithm.

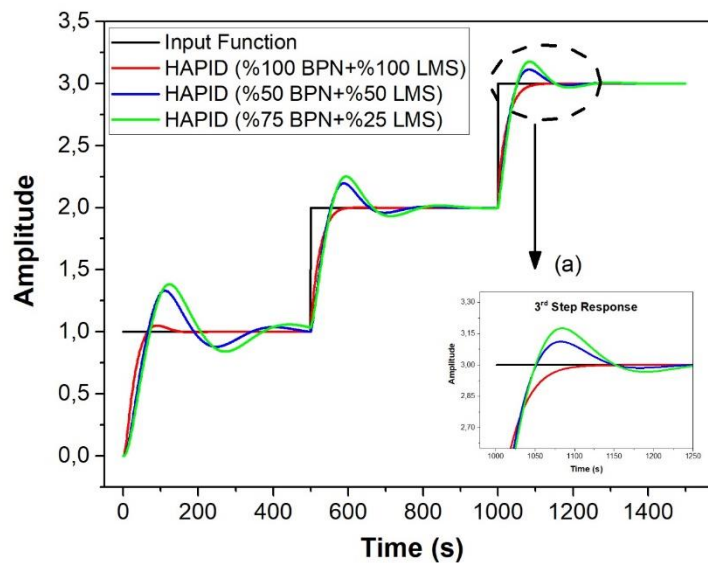


Figure 9. Performance comparison between different hybridization levels for scenario 1, scenario 5, and scenario 6 (inset (a):3rd-step response).

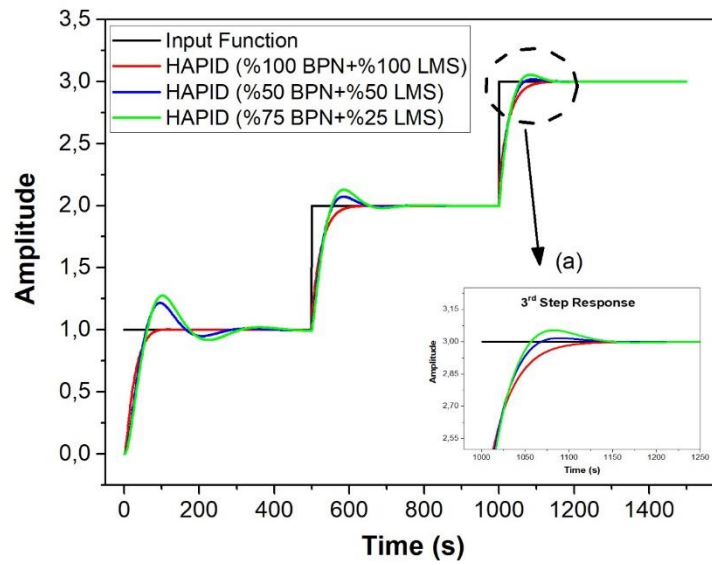


Figure 10. Performance comparison between different hybridization levels for scenario 2, scenario 7, and scenario 8 (inset (a):3rd-step response).

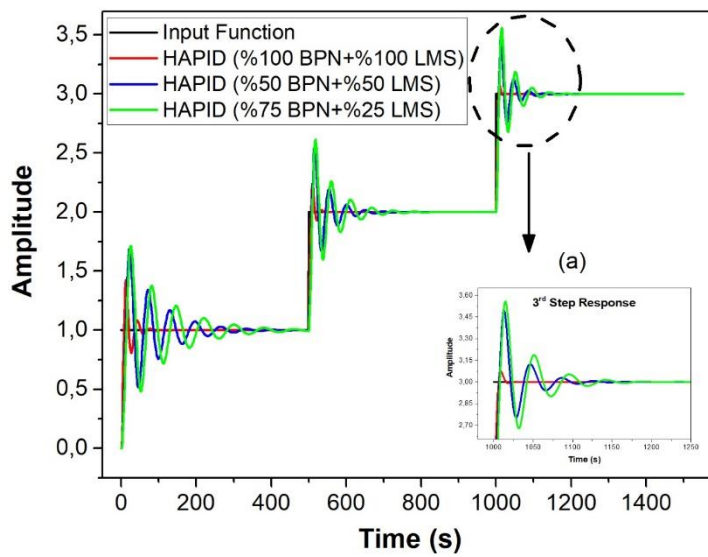


Figure 11. Performance comparison between different hybridization levels for scenario 3, scenario 9, and scenario 10 (inset (a):3rd-step response).

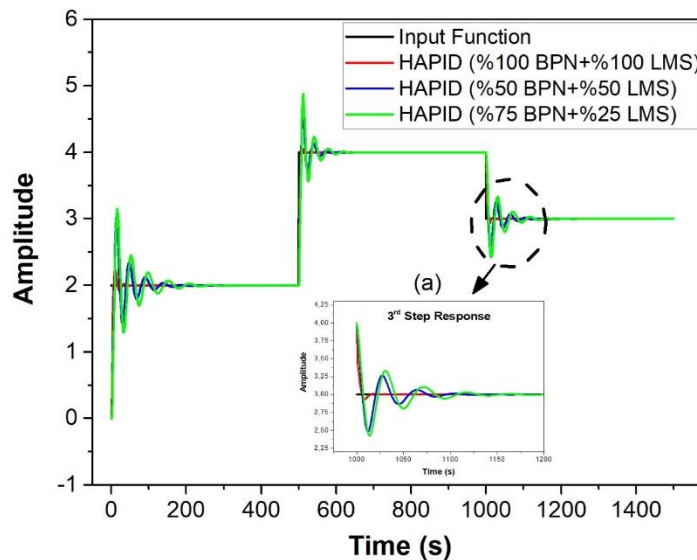


Figure 12. Performance comparison between different hybridization levels for scenario 4, scenario 11, and scenario 12 (inset (a):3rd-step response).

Table 3. Performance comparison of different optimization algorithms with HAPID

	Accuracy (%)	Precision (%)	F1-score (%)
HAPID	97.2	93.6	94.0
LMS	85.2	86.1	86.7
BPN	90.3	91.3	86.9
GSO	95.1	92.2	89.2
CSA	94.0	92.4	91.7
PSO	88.3	87.1	84.4

The trade-off between computational complexity and accuracy for LMS, BPN, and HAPID depends on the specific application in question. For applications with a small number of data samples, the LMS algorithm may be more suitable due to its lower computational complexity. In contrast, for applications requiring high accuracy and complex decision-making, the BPN or HAPID algorithm may be necessary, even though they come with higher computational complexity. To summarize, balancing the trade-off between computational complexity and accuracy is critical when designing and evaluating LMS, BPN, and HAPID. A thorough evaluation of the algorithm's performance on benchmark datasets, including assessments of its accuracy, precision, speed, and scalability, can help determine whether the added complexity is justified in practice.

4. Conclusion

In this study, a novel hybrid approach for adaptively adjusting the K_p , K_i , and K_d parameters of the PID controller using parallel hybridization of LMS and BPN has been proposed for a linear system. Moreover, the effect of the learning rate, initial input, and decreased step has been investigated for overall system responses. Compared to other well-known algorithms, the accuracy, precision, and F1-score are efficiently improved by the proposed approach. The hybrid approach has shown better control performance for a high learning rate with less time than origin algorithms. The response of the hybrid approach is also better for a decreased step input. More comparisons between the different hybridization levels are also figured out. Overall, the HAPID is more adaptable in improving the steady-state error, the controller step response stability, overshoot, rising time, and settling time. Better performance can be obtained by defining a weighting coefficient to decide the contribution of algorithms for each step input. It can also experiment with running algorithms sequentially, such as first BPN then LMS, or by changing this order. One another idea for increasing the performance is the embedding of deep learning in such parallel hybridization. Other implementations and modifications of the BPN/LMS method are under investigation.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is present below. The author reviewed and approved final version of the manuscript.

	M.D.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

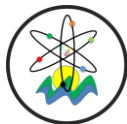
Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References

- Adar NG. 2021. Real time control application of the robotic arm using neural network based inverse kinematics solution. *Sakarya Univ J Sci*, 25(3): 849-857.
- Akhyar S, Omatu S. 1993. Self-tuning PID control by neural networks. *IJCNN '93-Nagoya: Proceedings of 1993 International Joint Conference on Neural Networks*, October 25-29, 1993, New York, US, pp: 2749-2752.
- Alkrwy A, Hussein AA, Atyia TH, Khamees M. 2021. Adaptive tuning of PID controller using crow search algorithm for DC motor. *Mater Sci Eng*, 1076: 012001.
- Ang K. H., Chong G., Li Y. 2005. PID control system analysis, design, and technology, *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp: 559-576.
- Antony Dhas MM, Chandrasekara S. 2019. Particle swarm intelligence based univariate parameter tuning of recursive least square algorithm for optimal heart sound signal filtering. *Gazi Univ J Sci*, 32(3): 928-943.
- Bai C, Zhang Z. 2018. A least mean square based active disturbance rejection control for an inertially stabilized platform. *Optik*, 174: 609-622.
- Bolton W. 2015. *Instrumentation and Control Systems*. Newness-Elsevier, New York, US, pp: 99-121.
- Carvalho G, Guedes I, Pinto M, Zachi A, Almeida L, Andrade F, Melo AG. 2021. Hybrid PID-Fuzzy controller for autonomous UAV stabilization. *14th IEEE International Conference on*

- Industry Applications, August 15-18, 2021, São Paulo, Brazil, pp: 1296-1302.
- Chen C, Gu GX. 2020. Generative deep neural networks for inverse materials design using backpropagation and active learning. *Adv Sci*, 7(5): 1-10.
- Conker C, Baltacıoglu MK. 2020. Fuzzy self-adaptive PID control technique for driving HHO dry cell systems. *Int J Hydrogen Ener*, 45(49): 26059-26069.
- Dogo EM, Afolabi OJ, Nwulu NI, Twala B, Aigbavboa CO. 2018. A comparative analysis of gradient descent-based optimization algorithms on convolutional neural networks. *International Conference on Computational Techniques, Electronics and Mechanical Systems (CTEMS)*, December 21-22, 2018, Belagavi, India, pp: 92-99.
- El-Nagar AM, Zaki AM, Soliman FAS, El-Bardini M. 2022. Hybrid deep learning controller for nonlinear systems based on adaptive learning rates. *Int J Control*, DOI: 10.1080/00207179.2022.2067080.
- Guo B, Liu H, Luo Z, Wang F. 2009. Adaptive PID controller based on BP neural network. *First IITA International Joint Conference on Artificial Intelligence*, April 25-26, 2009, Hainan Island, China, pp: 148.
- Haykin S, Widrow B. 2003. *Least-mean-square adaptive filters*. John Wiley & Sons, New York, US, pp: 175-241.
- Haykin S. 2005. *Adaptive filter theory*. Pearson Education, Lahor, India, pp: 365-438.
- Hernández-Alvarado R, García-Valdovinos LG, Salgado-Jiménez T, Gómez-Espinosa A, Fonseca-Navarro F. 2016. Neural network-based self-tuning PID control for underwater vehicles. *Sensors*, 16: 1429.
- Hou Z, Xiong S. 2019. On model-free adaptive control and its stability analysis. *IEEE Transact Auto Control*, 64(11): 4555-4569.
- Jaleel JA, Thanvy N. 2013. A comparative study between PI, PD, PID and lead-lag controllers for power system stabilizer. *International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies*, March 20-21 2013, New York, US, pp: 456-460.
- Karchi N, Kulkarni DB. 2021. Development and analysis of adaptive PID controller using LMS algorithm for distribution generation-inverter. *Fourth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*, September 15-17, 2021, Tamil Nadu, India, pp: 1-7.
- Mahmoodabadi MJ, Soleimani T, Sahnehsaraei MA. 2018. A hybrid optimal controller based on the robust decoupled sliding mode and adaptive feedback linearization. *J Info Tech Control*, 47(2): 295-309.
- Moayedi H, Bui DT, Gör M, Pradhan B, Jaafari A. 2019. The feasibility of three prediction techniques of the artificial neural network, adaptive neuro-fuzzy inference system, and hybrid particle swarm optimization for assessing the safety factor of cohesive slopes. *ISPRS Int J Geo-Inf*, 8(9): 391.
- Orozco-Tupacyupanqui W, Nakano-Miyatake M, Perez-Meana H. 2016. A new step-size searching algorithm based on fuzzy logic and neural networks for LMS adaptive beamforming systems. *Turk J Electr Eng Comput Sci*, 24(5): 4322-4338.
- Öztekin E, Ozgan K. 2012. Analysis of thick plates on elastic foundation by back-propagation artificial neural network using one parameter foundation model. *Int J Eng Appl Sci*, 4(1): 67-76.
- Pandey D, Pandey BK, Wairya S. 2021. Hybrid deep neural network with adaptive galactic swarm optimization for text extraction from scene images. *Soft Comput*, 25: 1563-1580.
- Patel VV. 2020. Ziegler-Nichols tuning method. *Resonance*, 25: 1385-1397.
- Qiao J, Han G, Han H, Yang C, Li W. 2017. A hybrid intelligent optimal control system design for wastewater treatment process. *J Info Tech Control*, 46(3): 382-394.
- Spelta MJM, Martins WA. 2020. Normalized LMS algorithm and data-selective strategies for adaptive graph signal estimation. *Signal Proces*, 167: 107326.
- Tamer A, Zellouma L, Benchouia MT, Krama A. 2021. Adaptive linear neuron control of three-phase shunt active power filter with anti-windup PI controller optimized by particle swarm optimization. *Comput Elect Eng*, 96: 107471.
- Verma B, Padhy PK. 2020. Robust fine tuning of optimal PID controller with guaranteed robustness. *IEEE Transact Indust Electr*, 67(6): 4911-4920.
- Zayyani H, Javaheri A. 2021. A robust generalized proportionate diffusion LMS algorithm for distributed estimation. *IEEE Transact Circuits Syst II*, 68(4): 1552-1556.



VAJDA'S IDENTITIES FOR DUAL FIBONACCI AND DUAL LUCAS SEDENIONS

Zafer ÜNAL^{1*}

¹Kastamonu University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, 37100, Kastamonu, Türkiye

Abstract: Fibonacci and Lucas numbers have been the most popular integer sequences since they were defined. These integer sequences have many uses, from nature to computer science, from art to financial analysis. Many researchers have worked on this subject. Sedenions form a 16-dimensional algebra on the field of real numbers. Various systems can be constructed by using the terms of special integer sequences instead of terms in sedenions. In this study, we define dual Fibonacci (DFS) and dual Lucas sedenions (DLS) with the help of Fibonacci and Lucas termed sedenions. Then we calculate some special identities for DFS and DLS such as Vajda's, Catalan's, d'Ocagne's, Cassini's.

Keywords: Fibonacci and Lucas numbers, Dual numbers, Sedenions, Vajda's identity, Binet-like formula

*Corresponding author: Kastamonu University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, 37100, Kastamonu, Türkiye

E mail: zunal@kastamonu.edu.tr (Z. ÜNAL)

Zafer ÜNAL <https://orcid.org/0000-0003-2445-1028>

Received: February 20, 2023

Accepted: March 11, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Ünal Z. 2023. Vajda's identities for dual fibonacci and dual lucas sedenions. BSJ Eng Sci, 6(2): 98-101.

1. Introduction

Fibonacci numbers are the most famous integer sequence in mathematics. For $n > 1$, Fibonacci numbers have $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ recurrence relation with the initial conditions, $F_0 = 0, F_1 = 1$. Lucas numbers have same recurrence relation $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$, but initial conditions are $L_0 = 2, L_1 = 1$. Binet-like formulas of Fibonacci and Lucas numbers are $F_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}$ and $L_n = \alpha^n + \beta^n$, respectively. $\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ and $\beta = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$ are roots of the second order equation $x^2 - x - 1 = 0$ (Koshy, 2001). For more details about Fibonacci and Lucas numbers, one can see following studies (Horadam, 1961; Wilcox, 1986; Muskat, 1993; Yayenie, 2011; Bilgici, 2014). Clifford (1871), extended real numbers to dual numbers with a structure similar to that of complex numbers. For any real numbers, a and a^* , a dual number d can be expressed as $d = a + \varepsilon a^*$, where, ε is the dual unit that satisfies. $\varepsilon \neq 0, \varepsilon^2 = 0$ The set of all dual numbers

$$D = \{d = a + \varepsilon a^* : a, a^* \in \mathbb{R}, \varepsilon \neq 0, \varepsilon^2 = 0\}$$

is a commutative ring with unity with respect to the following binary operations: For any dual numbers

$$d_1 = a_1 + \varepsilon a_1^*, d_2 = a_2 + \varepsilon a_2^* \in D$$

$$d_1 + d_2 = a_1 + a_2 + \varepsilon(a_1^* + a_2^*)$$

$$d_1 d_2 = a_1 a_2 + \varepsilon(a_1 a_2^* + a_1^* a_2)$$

But since has zero divisors, dual numbers ring is not a field.

Ünal et al. (2017), gave some properties of dual Fibonacci and Lucas octonions. Tokeşer et al. (2022), studied on split dual Fibonacci and Lucas octonions, recently.

Sedenions, defined by Imaeda and Imaeda (2000) and denoted by S , is a 16-dimensional algebra over real numbers. Since sedenions have zero divisors, it is not a division algebra. Also, sedenions form a non-commutative and non-associative algebra. Any sedenion s is $s = \sum_{i=0}^{15} a_i e_i$, where, coefficients a_i are reals and $\{e_0, \dots, e_{15}\}$ is the basis elements of S . The multiplication table of basis elements of sedenions is given by Cawagas (2004) as follows (Table 1):

Bilgici et al. (2017), defined Fibonacci and Lucas sedenions as

$$FS_n = \sum_{i=0}^{15} F_{n+i} e_i \text{ and } LS_n = \sum_{i=0}^{15} L_{n+i} e_i$$

Binet's formulas for Fibonacci and Lucas sedenions are given in Equation 1;

$$FS_n = \frac{\alpha^n \alpha^* - \beta^n \beta^*}{\alpha - \beta} \text{ and } LS_n = \alpha^n \alpha^* + \beta^n \beta^* \quad (1)$$

where, $\alpha^* = \sum_{i=0}^{15} \alpha^i e_i$ and $\beta^* = \sum_{i=0}^{15} \beta^i e_i$. In the same study, they gave some special identities such as Catalan, Cassini, etc.



Table 1. The multiplication table for basis of sedenions by setting $i = e_i$ ($0 \leq i \leq 15$).

.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	-0	3	-2	5	-4	-7	6	9	-8	-11	10	-13	12	15	-14
2	2	-3	-0	1	6	7	-4	-5	10	11	-8	-9	-14	-15	12	13
3	3	2	-1	-0	7	-6	5	-4	11	-10	9	-8	-15	14	-13	12
4	4	-5	-6	-7	-0	1	2	3	12	13	14	15	-8	-9	-10	-11
5	5	4	-7	6	-1	-0	-3	2	13	-12	15	-14	9	-8	11	-10
6	6	7	4	-5	-2	3	-0	-1	14	-15	-12	13	10	-11	-8	9
7	7	-6	5	4	-3	-2	1	-0	15	14	-13	-12	11	10	-9	-8
8	8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-0	1	2	3	4	5	6	7
9	9	8	-11	10	-13	12	15	-14	-1	-0	-3	2	-5	4	7	-6
10	10	11	8	-9	-14	-15	12	13	-2	3	-0	-1	-6	-7	4	5
11	11	-10	9	8	-15	14	-13	12	-3	-2	1	-0	-7	6	-5	4
12	12	13	14	15	8	-9	-10	-11	-4	5	6	7	-0	-1	-2	-3
13	13	-12	15	-14	9	8	11	-10	-5	-4	7	-6	1	-0	3	-2
14	14	-15	-12	13	10	-11	8	9	-6	-7	-4	5	2	-3	-0	1
15	15	14	-13	-12	11	10	-9	8	-7	6	-5	-4	3	2	-1	-0

2. Material and Methods

In this part, we will define dual Fibonacci and Lucas sedenions and give the Binet-like formulas.

Definition 1 For $n > 1$, n -th dual Fibonacci and dual Lucas sedenions are

$$DFS_n = FS_n + \varepsilon FS_{n+1},$$

$$DLS_n = LS_n + \varepsilon LS_{n+1}.$$

Instead of these recursive definitions we can use Binet-like formulas.

Theorem 2 (Binet-like Formula) For $n > 1$, Binet formulas of n -th dual Fibonacci and dual Lucas sedenions are

$$DFS_n = \frac{\alpha^n \alpha' - \beta^n \beta'}{\alpha - \beta} \text{ and } DLS_n = \alpha^n \alpha' + \beta^n \beta'$$

where,

$$\alpha' = (1 + \varepsilon \alpha) \sum_{i=0}^{15} \alpha^i e_i = (1 + \varepsilon \alpha) \alpha^*$$

and

$$\beta' = (1 + \varepsilon \beta) \sum_{i=0}^{15} \beta^i e_i = (1 + \varepsilon \beta) \beta^*.$$

Proof Using the Equation (1), the proof is completed. ■

$$DFS_{n+r} DFS_{n+s} - DFS_n DFS_{n+r+s} = (-1)^n F_r [F_s LS_0 + (FS_0 - K)L_s] (1 + \varepsilon) \tag{2}$$

$$DLS_{n+r} DLS_{n+s} - DLS_n DLS_{n+r+s} = 5(-1)^{n+1} F_r [F_s LS_0 + (FS_0 - K)L_s] (1 + \varepsilon) \tag{3}$$

where, F_r, F_s, L_s, FS_0 and LS_0 are r -th, s -th Fibonacci, s -th Lucas numbers, 0 -th Fibonacci and Lucas sedenions, respectively, and

$$K = 94e_9 + 94e_{10} + 188e_{11} + 282e_{12} - 188e_{13} + 94e_{14} + 893e_{15}.$$

3. Results and Discussion

In this section, we will give the Vajda's identities for dual Fibonacci and dual Lucas sedenions. First of all, let us consider the following lemma that has useful results for calculations.

Lemma 3 For α^* and β^* we have

- (i) $\alpha^* \beta^* = LS_0 - \sqrt{5}(FS_0 - K)$,
- (ii) $\beta^* \alpha^* = LS_0 + \sqrt{5}(FS_0 - K)$,
- (iii) $(\alpha^*)^2 = -\xi_1 + LS_0 + \sqrt{5}(FS_0 - \xi_2)$,
- (iv) $(\beta^*)^2 = -\xi_1 + LS_0 - \sqrt{5}(FS_0 - \xi_2)$,

where, FS_0 and LS_0 are 0 -th Fibonacci and Lucas sedenions, respectively, and, $\xi_1 = 1505175$, $\xi_2 = 673134$ and $K = 94e_9 + 94e_{10} + 188e_{11} + 282e_{12} - 188e_{13} + 94e_{14} + 893e_{15}$ (Bilgili et al., 2017).

Theorem 4 (Vajda's Identity) For any integers n, r , and s , followings are hold in Equations 2 and 3:

Proof We will prove the first equation. From the definition of dual Fibonacci sedenions, we get

$$\begin{aligned}
 DFS_{n+r}DFS_{n+s} - DFS_nDFS_{n+r+s} &= (FS_{n+r} + \varepsilon FS_{n+r+1})(FS_{n+s} + \varepsilon FS_{n+s+1}) \\
 &\quad - (FS_n + \varepsilon FS_{n+1})(FS_{n+r+s} + \varepsilon FS_{n+r+s+1}) \\
 &= FS_{n+r}FS_{n+s} - FS_nFS_{n+r+s} + \varepsilon(FS_{n+r}FS_{n+s+1} \\
 &\quad - FS_nFS_{n+r+s+1} + FS_{n+r+1}FS_{n+s} - FS_{n+1}FS_{n+r+s})
 \end{aligned} \tag{4}$$

Let us consider the real part of the Equation (4). From Equation (1)

$$\begin{aligned}
 FS_{n+r}FS_{n+s} - FS_nFS_{n+r+s} &= \frac{\alpha^{n+r}\alpha^s - \beta^{n+r}\beta^s}{\alpha - \beta} \frac{\alpha^{n+s}\alpha^s - \beta^{n+s}\beta^s}{\alpha - \beta} - \frac{\alpha^n\alpha^s - \beta^n\beta^s}{\alpha - \beta} \frac{\alpha^{n+r+s}\alpha^s - \beta^{n+r+s}\beta^s}{\alpha - \beta} \\
 &= \frac{1}{(\alpha - \beta)^2} [-\alpha^{n+r}\beta^{n+s}\alpha^s\beta^s - \alpha^{n+s}\beta^{n+r}\beta^s\alpha^s + \alpha^n\beta^{n+r+s}\alpha^s\beta^s + \alpha^{n+r+s}\beta^n\beta^s\alpha^s] \\
 &= \frac{(-1)^n}{(\alpha - \beta)^2} [(-\alpha^r + \beta^r)\beta^s\alpha^s\beta^s + (\alpha^r - \beta^r)\alpha^s\beta^s\alpha^s] \\
 &= \frac{(-1)^n F_r}{\alpha - \beta} [\alpha^s(LS_0 + \sqrt{5}(FS_0 - K)) - \beta^s(LS_0 - \sqrt{5}(FS_0 - K))] \\
 &= (-1)^n F_r \{F_s LS_0 + (FS_0 - K)L_s\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Now we will calculate the dual part in two steps: In Equation (5), replacing s to s+1, we get

$$FS_{n+r}FS_{n+s+1} - FS_nFS_{n+r+s+1} = (-1)^n F_r \{F_{s+1}LS_0 + (FS_0 - K)L_{s+1}\} \tag{6}$$

and replacing n to n+1 and s to s-1, we find

$$FS_{n+r+1}FS_{n+s} - FS_{n+1}FS_{n+r+s} = (-1)^{n+1} F_r \{F_{s-1}LS_0 + (FS_0 - K)L_{s-1}\}. \tag{7}$$

From Equations (6) and (7) and using the relations $F_s = F_{s+1} - F_{s-1}$ and $L_s = L_{s+1} - L_{s-1}$ we have

$$FS_{n+r}FS_{n+s+1} - FS_nFS_{n+r+s+1} + FS_{n+r+1}FS_{n+s} - FS_{n+1}FS_{n+r+s} = (-1)^n F_r \{F_s LS_0 + (FS_0 - K)L_s\} \tag{8}$$

Finally, from Equations (4) and (8) we get

$$\begin{aligned}
 DFS_{n+r}DFS_{n+s} - DFS_nDFS_{n+r+s} \\
 = (-1)^n F_r [F_s LS_0 + (FS_0 - K)L_s](1 + \varepsilon)
 \end{aligned}$$

In a similar way, the second part of the proof can be done easily. ■

Now, we will give following corollaries without proof as a consequence of the Theorem 4.

Corollary 5 (Catalan-like Identity) For any integers n and r , Catalan's identities of dual Fibonacci and dual Lucas sedenions are as follows:

$$\begin{aligned}
 DFS_{n+r}DFS_{n-r} - DFS_n^2 &= (-1)^{n+r+1} [F_r^2 LS_0 - (FS_0 - K)F_{2r}] (1 + \varepsilon) \\
 DLS_{n+r}DLS_{n-r} - DLS_n^2 &= 5(-1)^{n+r} [F_r^2 LS_0 - (FS_0 - K)F_{2r}] (1 + \varepsilon)
 \end{aligned}$$

Where F_r , F_{2r} , FS_0 and LS_0 are r -th, $(2r)$ -th Fibonacci numbers, 0 -th Fibonacci and Lucas sedenions, respectively, and

$$K = 94e_9 + 94e_{10} + 188e_{11} + 282e_{12} - 188e_{13} + 94e_{14} + 893e_{15}.$$

Proof In Equations (2) and (3), if we write $-r$ instead of s and use the identities $F_{-r} = (-1)^{r+1}F_r$, $L_{-r} = (-1)^{r+1}L_r$ and $F_{2r} = F_r L_r$, the proof is completed. ■

Corollary 6 (Cassini-like Identity) Let n be any integer. Then Cassini's identities of dual Fibonacci and dual Lucas sedenions are

$$\begin{aligned}
 DFS_{n+1}DFS_{n-1} - DFS_n^2 &= (-1)^n [2FS_{-1} + K](1 + \varepsilon) \\
 DLS_{n+1}DLS_{n-1} - DLS_n^2 &= -5(-1)^n [2FS_{-1} + K](1 + \varepsilon)
 \end{aligned}$$

where, FS_{-1} (-1) -th Fibonacci sedenion and $K = 94e_9 + 94e_{10} + 188e_{11} + 282e_{12} - 188e_{13} + 94e_{14} + 893e_{15}$.

Proof In Equations (2) and (3), if we write $s = -r = -1$ and use the relation $LS_0 - FS_0 = 2FS_{-1}$; it is completed. ■

Corollary 7 (d'Ocagne-like Identity) Let m and n are any integer numbers. Then d'Ocagne identities of dual Fibonacci and dual Lucas sedenions are as follows:

$$\begin{aligned}
 DFS_{n+1}DFS_m - DFS_nDFS_{m+1} &= (-1)^n [F_{m-n}LS_0 + (FS_0 - K)L_{m-n}] (1 + \varepsilon) \\
 DLS_{n+1}DLS_m - DLS_nDLS_{m+1} &= -5(-1)^n [F_{m-n}LS_0 + (FS_0 - K)L_{m-n}] (1 + \varepsilon)
 \end{aligned}$$

where, F_{m-n} , L_{m-n} , LS_0 and FS_0 are $(m-n)$ -th Fibonacci and Lucas numbers, 0 -th Fibonacci and Lucas sedenions, respectively, and

$$K = 94e_9 + 94e_{10} + 188e_{11} + 282e_{12} - 188e_{13} + 94e_{14} + 893e_{15}.$$

Proof If we write $s = m - n$ and $r = 1$ in Equations (2) and (3), we get the result. ■

Some identities of DFS and DLS are given without proof in the next theorem.

Theorem 8 Following identities for dual Fibonacci and Lucas sedenions are valid.

$$DLS_{n+r}DFS_{n+s} - DLS_{n+s}DFS_{n+r} = 2(-1)^{n+r}LS_0FS_{s-r}(1 + \varepsilon),$$

$$DFS_{m+n} + (-1)^n DFS_{m-n} = DFS_m L_n,$$

$$DFS_m DLS_n - DLS_n DFS_m = 2(-1)^{m+1} L_0 F_{n-m}(1 + \varepsilon).$$

4. Conclusion

In this study, dual Fibonacci and dual Lucas sedenions are defined. Then we calculated Vajda's identities for DFS and DLS. By using this identity some classical identities are given for example, Catalan, Cassini and d'Ocagne etc.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is present below. The author reviewed and approved final version of the manuscript.

	Z.Ü.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References

- Bilgici G. 2014. New generalizations of Fibonacci and Lucas sequences. *Appl Math Sci*, 8(29): 1429-1437.
- Bilgici G, Tokeşer Ü, Ünal Z. 2017. Fibonacci and Lucas Sedenions. *J Integer Seq*, 20: 17.1.8.
- Cawagas RE. 2004. On the structure and zero divisors of the Cayley-Dickson sedenion algebra. *Discuss Math Gen Algebra Appl*, 24: 251-265.
- Clifford WK. 1871. Preliminary sketch of bi-quaternions. *Proc Lond Math Soc*, 4(1): 381-395.
- Horadam AF. 1961. A generalized Fibonacci sequence. *The American Math Monthly*, 68(5): 455-459.
- Imaeda K, Imaeda M, 2000. Sedenions: algebra and analysis. *Appl Math Comput*, 115: 77-88.
- Koshy T. 2001. Fibonacci and lucas numbers with applications. Wiley-Interscience Publication, Quebec, Canada, pp: 77-78.
- Muskat JB. 1993. Generalized Fibonacci and Lucas sequences and rootfinding methods. *Math Comput*, 61(203): 365-372.
- Tokeşer Ü, Mert T, Dündar Y. 2022. Some properties and Vajda theorems of split dual Fibonacci and split dual Lucas octonions. *AIMS Math*, 7(5): 8645-8653.
- Ünal Z, Tokeşer Ü, Bilgici G. 2017. Some properties of dual Fibonacci and dual Lucas octonions. *Adv Appl Clifford Algebras*, 27: 1907-1916.
- Wilcox HJ. 1986. Fibonacci sequences of period n in groups. *Fibonacci Quart*, 24(4): 356-361.
- Yayenie O. 2011. A note on generalized Fibonacci sequences. *Appl Math Comput*, 217(12): 5603-5611.



BİLECİK MERKEZ BÖLGESİNDEKİ MERMER OCAKLARININ ARAZİ DEĞİŞİMİ VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİMİNİN DESTEK VEKTÖR MAKİNE YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Can ALTUĞER^{1*}, Koray ULAMIŞ²

¹Ankara University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 06110, Ankara, Türkiye

²Ankara University, Faculty of Engineering, Geological Engineering, 06830, Ankara, Türkiye

Özet: Bilecik ili Türkiye'nin en önemli doğaltaş alanlarından birisidir. Son yıllarda, Bilecik çevresinde yeni mermer ocaklarının açılmasıyla birlikte bölgede doğaltaş üretimi giderek artmıştır. Sakarya kıtasının batısında bulunan çalışma alanında birçok mermer ocağı bulunmaktadır. Bu kıtaya ait birimler, mavişist metamorfizması geçirmiştir. Metamorfik birimlerin üzerine uyumsuzlukla örten Geç Jura-Erken Kretase yaşlı birimler, transgresyona uğramıştır. Mermer ocaklarının yer aldığı Geç Jura-Erken Kretase yaşlı birimler, Bilecik Formasyonu'ndan oluşmaktadır. Bu birimlerde; beyaz-pembe, kahverengi-gri ve bej renkli mermerler bulunmaktadır. Arazi kullanımı/arazi değişimi (LULC) sınıflaması kullanılarak uzaktan algılama yöntemi ile bölgedeki mermer ocaklarının 5 er yıllık (2006, 2011, 2016 ve 2021) arazi değişimi gösterilmiştir. Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI multispektral uydu görüntüleri makine öğrenme yöntemlerinden Destek Vektör Makineleri (DVM) metoduyla sınıflandırılmıştır. LULC doğruluğunu ispat etmek için doğruluk matrisi ve Kappa indisi oluşturulmuştur. Tematik haritaların doğruluğu sırasıyla %95,75 , %92,00, %93,60, %95,20, Kappa katsayısı değerleri de; 0,92, 0,86, 0,89, 0,91 olarak belirlenmiştir. Mermer ocak sayısının artması, katı atık miktarındaki artışı beraberinde getirmektedir. Bu durum, katı atık depolama sahalarının yetersiz kalması nedeniyle gelecekte kenti olumsuz olarak etkileyebilecektir.

Anahtar kelimeler: Doğaltaş, Bilecik, Mermer ocağı, LULC, Uzaktan algılama, Destek Vektör Makineleri


Determination of Land Change and Land Cover Change of Marble Quarries in Bilecik Central Region by Support Vector Machine Method


Abstract: Bilecik province is one of Türkiye's most important natural stone areas. In recent years, with the opening of new marble quarries around Bilecik, natural stone production has gradually increased in the region. There are many marble quarries in the study area located in the west of the Sakarya continent. The units belonging to this continent have undergone blueschist metamorphism. The Late Jurassic-Early Cretaceous units have undergone a transgression, which unconformably overlies the metamorphic units. Late Jurassic-Early Cretaceous aged units with marble quarries consisting of the Bilecik Formation. There are white-pink, brown-grey, and beige-colored marbles in these units. Using the land use/land change (LULC) classification, the land change of the marble quarries in the region for every 5 years (2006, 2011, 2016, and 2021) has been shown by the remote sensing method. Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI multispectral satellite images were classified by the Support Vector Machines (SVM) method, one of the machine learning methods. To prove the accuracy of LULC, an accuracy matrix, and Kappa index were created. The accuracy of the thematic maps was 95.75%, 92.00%, 93.60%, 95.20% and Kappa index values were 0.92, 0.86, 0.89, and 0.91, respectively. As a result of the increase in marble quarries, it brings an increase in the amount of solid waste. This situation can be will negatively affect the city in the future with the inadequacy of solid waste storage areas.

Keywords: Natural stone, Bilecik, Marble quarry, LULC, Remote sensing, Support Vector Machine

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ankara University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 06110, Ankara, Türkiye

E mail: canaltuger2@gmail.com (C. ALTUĞER)

Can ALTUĞER  <https://orcid.org/0000-0001-7261-0623>

Koray ULAMIŞ  <https://orcid.org/0000-0002-1808-8077>

Gönderi: 01 Şubat 2023

Kabul: 09 Mart 2023

Yayınlanma: 01 Nisan 2023

Received: February 01, 2023

Accepted: March 09, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Altuğer C, Ulaşım K. 2023. Determination of land change and land cover change of marble quarries in Bilecik central region by support vector machine method. BSJ Eng Sci, 6(2): 102-110.

1. Giriş

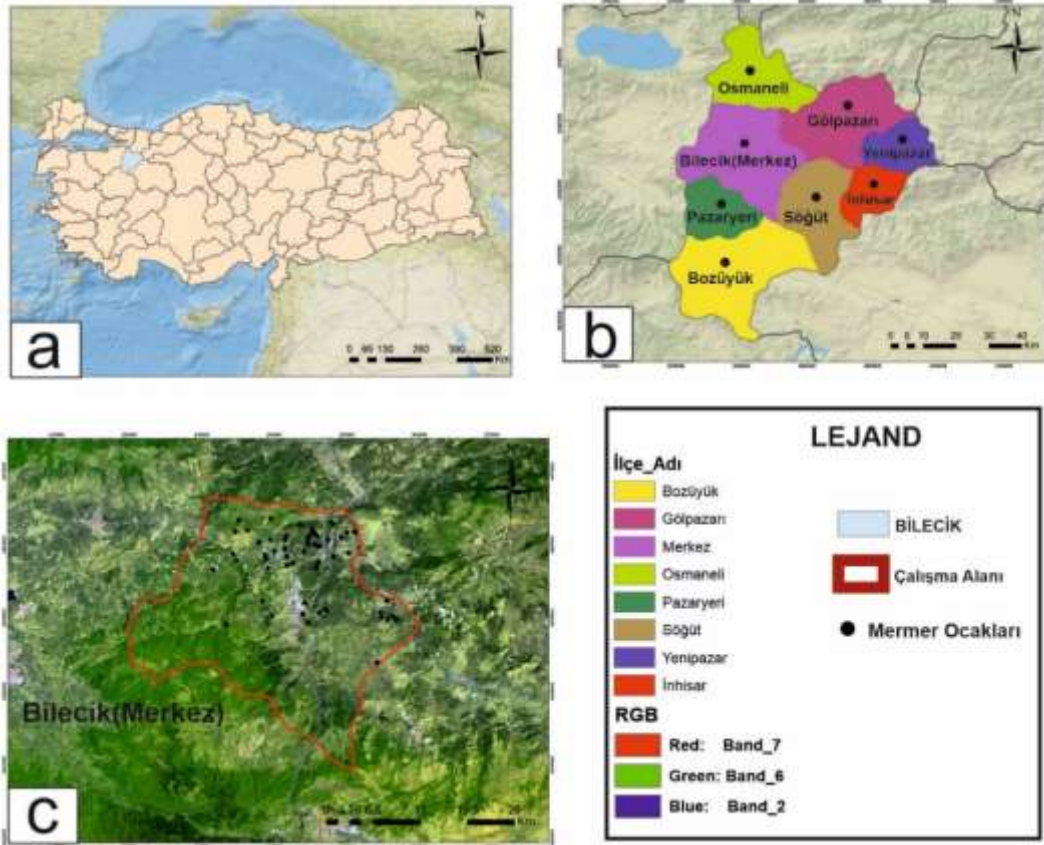
Bilecik çevresindeki mermer ocaklarının, Google Earth görüntülerinde geçmiş yıllara nazaran günümüzde artan bir şekilde üretim faaliyetlerini sürdürdüğü görülmektedir. Bilecik'te mermer endüstrisinin bilinçsiz bir şekilde gelişmesiyle birlikte, tarım arazileri, endüstriyel alanlar, bitki örtüsü ve yerleşim alanları da zarar görmektedir. Kent gelişiminin düzenli bir şekilde olabilmesi için arazi kullanımında zamansal değişimler belirlenmeli, sürdürülebilir kent anlayışında kentleşme

planı, çevre, mermer ocakları ve kişiler arasında bir denge kurulması gerekmektedir. Bu nedenle uzaktan algılama, şehirdeki kontrollü planlama için gerekli olan verilerin elde edilmesi bakımından kullanışlı bir yöntemdir. Türkiye mermer üretiminin yaklaşık %10'u Bilecik ilinden yapılmaktadır (Kacı, 2017). Bilecik'te mermercilik faaliyetleri, çok eski dönemlerden beri devam etmektedir. Antik dönemden bugüne Bilecik ve çevresinde, taş ocaklarının yaygın olduğu, özellikle Osmanlı Dönemi'nde başta İstanbul olmak üzere, birçok il'e de mermer



gönderildiği bilinmektedir. 1950'li yıllardan günümüze dek mevcut sahalardaki üretim miktarının artmasıyla mermercilik sektörü oldukça gelişmiştir (Uncu ve Karakoca, 2021). Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı (BEBKA) tarafından "2014-2023" yılları arasında hazırlanan raporda Bilecik bej mermerinin uluslararası piyasada en çok tanınan mermer çeşitleri arasında yer aldığını belirtmiştir (BEBKA, 2014). Bilecik ilinin mermer endüstrisinin dünya çapında yer edinmesinin nedeni, jeolojik yapısıdır. Bölgedeki Bilecik Formasyonu'nda bulunan kireçtaşları, endüstriyel hammadde olma yönünden elverişli bir yapıya sahiptir. Mermer ocak üretiminin de jeolojik yapı farklılığından dolayı, 3 farklı ticari isimle, 10 farklı seleksiyonda doğaltaş üretimi gerçekleştirilmektedir. Ocaktan çıkarılan doğaltaş ve isimleri Cappucino, Golden Tobacco, Golden Primrose olarak adlandırılmıştır (Yurdakul, 2020). Bilecik (Gölpazarı) güneydoğusunda mermer ocakları faaliyetlerinin artarak devam ettiği, Sakarya nehri beslenme alanlarının korunması adına, nehir boyunca bir bariyer konulması gerektiği belirtilmiştir (Güneş ve Uyguçgil, 2022). Son yıllarda uzaktan algılama ve coğrafi bilgi teknolojileri, arazi kullanımı ve arazi örtüsündeki değişiklikleri izlemek için önemli bir fayda sağlamıştır. Gelişen kentleşmeyle birlikte, kentlerin izlenmesi, sürdürülebilir kalkınma bağlamında oldukça zorlaşmaktadır (Masser, 2001).

Özellikle uzaktan algılama teknolojisi, arazi tahmininde küresel ölçekte güvenilir bilgi sağlamaktadır (Lillesand ve Kiefer, 1999). Bu teknolojiler, nispeten hızlı ve uygun maliyetli olması nedeniyle arazi örtüsündeki değişimleri ve arazi kullanımını (LULC) tespit etmek için önemli ve etkili bir araçtır (Yang ve Lo, 2002; Lo ve Choi, 2004; Xian ve Crane, 2005; Xiao ve ark., 2006; Jensen, 2007; Kaiser, 2009; Ikiel ve ark., 2012; Curebal ve ark., 2014; Corner ve ark., 2014; Rawat ve Kumar, 2015; Hassan ve ark., 2015; Wu ve ark., 2016; Atay ve Kut, 2020). Arazi örtüsü değişimi ve arazi kullanımı, modern bilimde farklı anlamları olan terimlerdir. Arazi kullanımı, insan ile ilgili faaliyetleri ifade ederken arazi örtüsü, arazi üzerindeki doğal örtüyü ifade etmektedir (Burley, 1961; Lo, 1986). Bu çalışmanın amacı, makine öğrenme yöntemlerinden olan Destek Vektör Makineleri (DVM) algoritması kullanarak, 2006-2021 yılları arasındaki Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI multispektral uydu görüntüleri ile birlikte Bilecik ilinin merkez bölgesindeki mermer alanlarındaki arazi kullanımı ve arazi örtü değişimini tespit etmektir (Şekil 1). Böylece, uydu görüntülerinden elde edilen zamansal ve mekânsal değişimlerle geçmiş 15 yıldaki süreç zarfında görsel ve istatistiksel değişimlerle birlikte, bölgede gün geçtikçe artış gösteren mermer ocaklarındaki değişim anlaşılmasına çalışılmıştır.

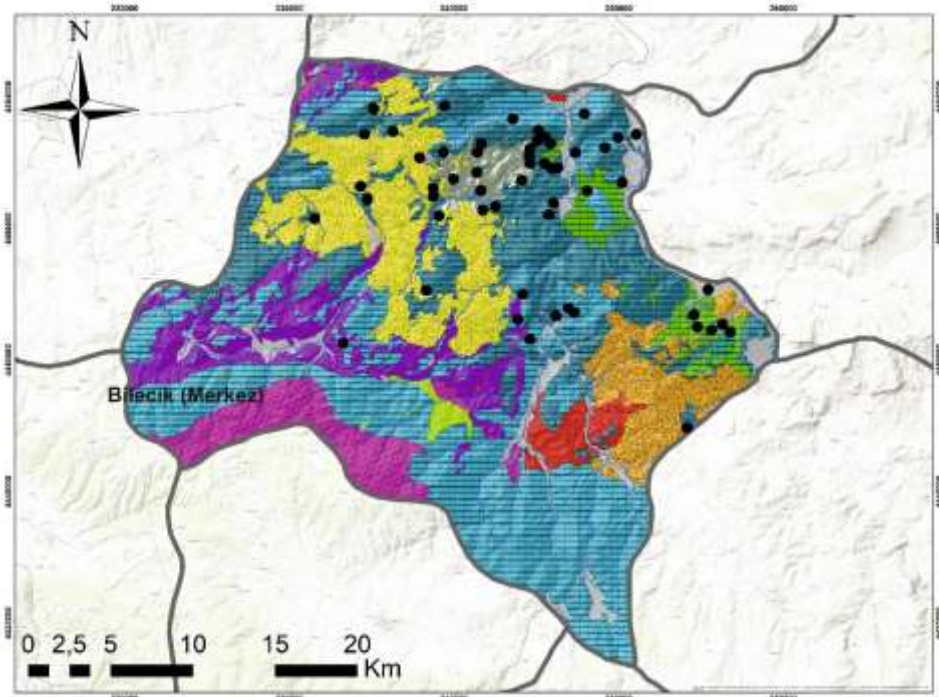


Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası. a) Bilecik ilinin Türkiye'deki konumu, b) Bilecik ilindeki ilçeler, c) Mermer ocaklarının 2021 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsünün yalancı renk kombinasyonu.

2. Bölgesel Jeoloji

Bilecik ve çevresinde, Paleozoyik zamandan günümüze kadar çeşitli yaştaki kayaçlar yüzlek vermektedir. Bu kayaç türleri ile birlikte volfram (W), antimuan (Sb), manganez (Mn), molibden (Mo), bakır (Cu), altın (Au) gibi metalik maden yatakları, kaolen, kil, manyezit, feldispat ve mermer gibi endüstriyel hammadde yatakları bulunmaktadır (MTA, 2010). Bölgedeki en yaşlı litoloji topluluğu Sakarya kıtasının temel birimlerini oluşturan, Karakaya karmaşığında meydana gelmektedir (Tüysüz ve Yiğitbaş, 1994) (Şekil 2). Bu birim Metelav, Metatüf ardalanmasını içermektedir. Permiyen yaşlı kireçtaşı bloklarından oluşmakla birlikte mavişist veya yeşilşist metamorfizmasından etkilenmiştir (Akyazı ve ark., 2001). Çalışma alanının güneyinde görülen Karbonifer yaşlı granitler, tipik ayrışım şekilleri ile sahada kolay ayırtedilir (Demirkol, 1977). Batı bölgesinde Triyas yaşlı bazaltik birimler yüzeylenirken, bu birimlerin üzerine Jura yaşlı kayaçlar gelmektedir. Jura yaşlı birimler, Jura transgresyonunun ilk ürünleri olup, çakıltası ve

kumtaşından oluşmaktadır (Görür ve ark., 1983). Bölgedeki Jura- Kretase yaşlı kayaçlar, Bilecik Kireçtaşı olarak adlandırılmaktadır. Gittikçe derinleşen bir ortamda çökelen bu kayaçlar alt düzeyleri beyaz, pembe tabakalı kireçtaşlarından oluşurken, üst düzeyi ise sütlü kahverengi, sert dokulu yer yer marn ara katkılı kireçtaşından oluşmaktadır (Akyazı ve ark., 2001). Bilecik kireçtaşına tedrici olarak geçiş yapan ince neritik kireçtaşı, yeşilden gri renge kadar değişen şeyl ve kumtaşı araldanmasından oluşmuştur (Eroskay, 1965). Bilecik Kireçtaşının üzerine uyumsuz olarak gelen birimler, krem-sarı renkli, orta kalın tabakalı, orta sert dokulu bol fosilli kireçtaşlarından oluşmuştur (Akyazı ve ark., 2001). Kretase yaşlı ofiyolitik birimler ise çalışma alanının güneybatı bölgesinde yüzeylenmektedir. Eosen'de filiş karakterindeki çökel birimler git gide sığlaşarak Miyosen zamanında kapanan deniz, yerini kara ortamına bırakmıştır (Akyazı ve ark., 2001). İlk olarak çapraz tabakalı kumtaşları gibi örtü kayaçlar çökelmiştir. Bölgedeki en genç birimler ise, açılal uyumsuz olarak gelen Kuvaterner yaşlı alüvyondan oluşmaktadır (Şekil 2).



Açıklamalar

Kuvaterner	Alüvyon	Kretase	Ofiyolit	● Mermer Ocağı
Miyosen	Kumtaşı	Jura	Kireçtaşı	— Drenaj
Eosen	Çakıltası	Triyas	Bazalt	□ Türkiye İlçeleri
Eosen	Çakıltası	Permiyen	Kireçtaşı	
Kretase	Kireçtaşı	Karbonifer	Granit	
Kretase	Kireçtaşı	Paleozoyik	Mermer	
Kretase	Şeyl	Paleozoyik	Mermer	

Şekil 2. Bilecik merkezinin jeolojisi (Yanılmaz, 1980; Erendil ve Kuşçu, 1985)

3. Materyal ve Yöntem

Görüntü sınıflama yöntemleri, bir görüntüdeki tüm piksellerin arazi veya temaya göre otomatik olarak sınıflandırılmasıdır. Spektral yansıma değerlerinin benzer bileşimini paylaşan pikseller, yüzey özelliklerin temsilcisi olan özel sınıflarla birlikte gruplanır (Lillesand ve ark., 2015). Görüntü sınıflandırma yöntemi, kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Kontrollü sınıflandırma yöntemi, uydu görüntülerinin sınıflandırmasında eğitim alanlarının sınıflandırma sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliği bakımından, en çok tercih edilen yöntemdir (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010). Destek vektör makineleri (DVM), regresyon ve sınıflandırma analizlerinde kullanılan makine öğrenme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, son yıllarda uzaktan algılama alanındaki sınıflama süreçlerinde birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Mondal ve ark., 2012; Awad ve Khanna, 2015; Kumar ve ark., 2015; Thanh ve Kappas, 2017; Aliyazicioglu ve ark., 2021). Özellikle, yerbilimleri ve çevre bilimlerinde zamansal ve mekânsal modelleme işlemleri içinde kullanılmaktadır (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010). DVM, regresyon ve sınıflandırma sorunlarını çözmek için kontrollü sınıflama yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, veriyi daha yüksek bir boyuta dönüştürmek için hiper düzlem kullanılır. Düzlem, iki sınıfı birbirinden ayırma prensibine dayanır (Cortes ve Vapnik, 1995; Vapnik, 2000). Doğrusal olmayan veri kümesinde, doğrusal bir hiper düzlem çizilemez (Demirci, 2019). DVM, diğer sınıflama yöntemlerine göre bazı avantajlar sağlar. Kompleks verilerle, iyi sınıflandırılmış sonuç vermektedir. Daha önce öngörülmemiş verilerin yanlış sınıflama olasılığını en aza indirmek için risk minimizasyon ilkesi kullanılır (Vapnik, 1998).

Bu çalışmada, Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI mültspektral uydu görüntüleri ve Google Earth uydu görüntüsüyle, Bilecik merkez bölgesindeki mermer ocaklarındaki değişim analiz edilmiştir. Bu analizlerde, bölgedeki arazi değişimini ortaya koymak için 5 yıllık periyotlarla arasındaki uydu görüntüleri kullanılmıştır. 2006 ile 2011 yıllarına ait Landsat 5 TM ve 2016 ile 2021

yıllarına ait Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır (Tablo 1). Landsat uydu görüntüleri, Amerikan Jeoloji Kurumu'nun (USGS) <http://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden temin edilmiştir. Landsat görüntüleri, 30 m çözünürlükte ve Google Earth görüntüleri ise 0.50 m çözünürlüktedir. Uydu fotoğrafları, WGS 1984 UTM 36 Zon koordinat sistemine göre sayısallaştırılmıştır. Uydu görüntülerinin indirilirken % 10'dan az bulutlu olmasına dikkat edilmiştir. LULC sınıflaması ile birlikte su, tarım, bitki örtüsü ve mermer ocakları tanımlanmıştır (Tablo 2). Uydu görüntüleri çalışma alanına göre kesildikten sonra, Landsat uydu görüntülerinde görüntü analizini yapabilmek için ArcGIS 10.6 ve QGIS 3.26.3 programları kullanılmıştır. QGIS eklentilerinden biri olan Semi Automatic Classification Plugin yardımıyla Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI mültspektral uydu görüntüsü, radyometrik ve atmosferik düzeltme görüntü ön işleme yapılmıştır. Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI 30m*30m çözünürlüğünde pixel bazlı analizler gerçekleştirilmiştir. Bant oranlamasıyla spektral imzalar toplandıktan sonra, makine öğrenme yöntemlerinden biri olan DVM algoritması kullanılarak her yıl için kontrollü sınıflama yapılmıştır (Şekil 3).

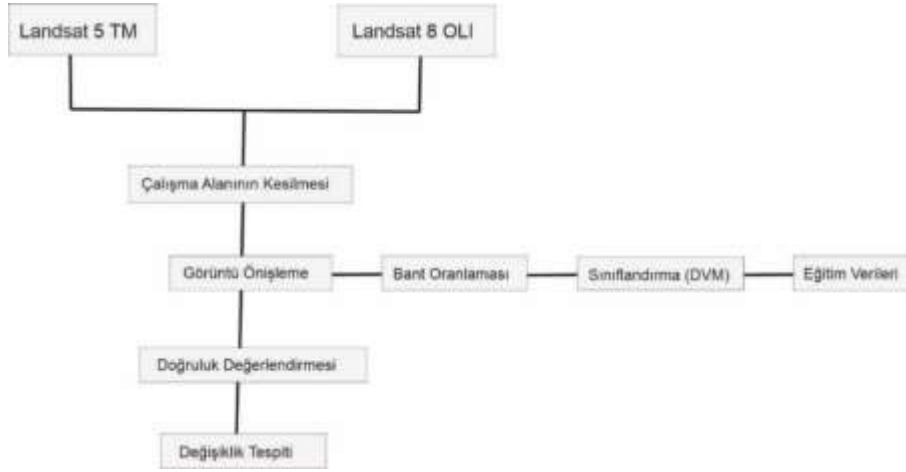
Kontrollü sınıflama yapıldıktan sonra LULC sınıfları, poligon'a dönüştürülmüştür. LULC sınıflama işleminde, Landsat 5 ve Landsat 8 mültspektral uydu görüntüleri doğruluğunu kontrol etmek için 250 tane rastgele nokta yerleştirilmiştir. Sınıflandırma doğruluğunu ifade etmek için karmaşa matrisi veya olasılık tablosu olarak da adlandırılan hata matrisi hesaplanmaktadır. Yer doğrulaması ve kendi kendine yapılmış sınıflandırmanın ilişkili sonuçları arasında hata matrisleri karşılaştırılır. Bu yer doğrulaması, piksel noktalarında arazide temsil edilen güncel arazi örtüsü hakkında bilgi sağlamaktadır (Lillesand ve ark., 2015). Elde edilen matrise göre her yıl için kullanıcı doğruluğu (K.D) "Eşitlik 1", üretici doğruluğu (Ü.D) "Eşitlik 2", genel doğruluk (G.D) "Eşitlik 3" ve Kappa katsayısı (K.K) "Eşitlik 4" hesaplanarak doğruluk analizi hesaplanmıştır (Jenness ve Wynne, 2005; Lillesand ve ark., 2015). 2006 ile 2021 yılları arasında Bilecik (Merkez) bölgesinin arazi değişimi tespit edilmiştir.

Tablo 1. Uydu tanımlaması

Uydu/Sensör	Tarih	Mekansal Çözünürlük	Projeksiyon
Landsat 8 OLI	2021-07-13	30m	WGS 84 UTM 36N
Landsat 8 OLI	2016-07-15	30m	WGS 84 UTM 36N
Landsat 5 TM	2011-07-18	30m	WGS 84 UTM 36N
Landsat 5 TM	2006-06-02	30m	WGS 84 UTM 36N

Tablo 2. LU/LC tanımlaması

No	Sınıf	Tanımlama
1	Su	Dere, Göl, Baraj
2	Tarım	Ekilebilir Arazi, Üzüm Bağları, Meyve Bahçeleri
3	Bitki	Doğal Bitki Örtüsü
4	Mermer Ocakları	Mermer Kayaları
5	Bina	Apartment, Sanayi Sitesi, Park, Yol



Şekil 3. Arazi kullanımı arazi sınıflandırması (LU/LC) akış şeması.

$$K. D = \frac{n_{ii}}{n_i} \quad (1) \quad n_{i=} \text{ i sütunundaki gözlemlerin toplamı}$$

$n =$ matrise eklenmiş gözlemlerin toplam sayısı

$$Ü. D = \frac{n_{jj}}{n_j} \quad (2)$$

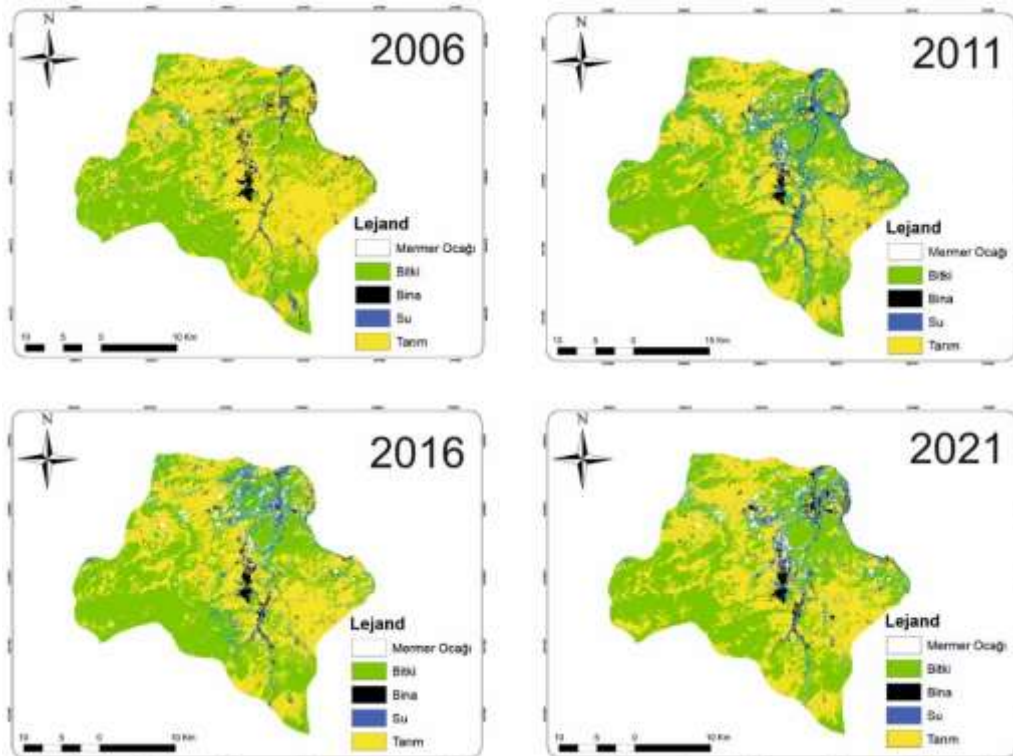
$$G. D = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad (3)$$

$$K. K = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_i \cdot n_i}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_i \cdot n_i} \quad (4)$$

Denklemlerde verilen değerler aşağıda açıklanmıştır;
 k = hata matrisindeki sıra sayısı
 n_{ii} = i satır sayısı ve i sütunundaki gözlemlerin sayısı
 n_{jj} = j satır sayısı ve j sütunundaki gözlemlerin sayısı
 $n_{i.}$ = i satırındaki gözlemlerin toplamı

4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma, Bilecik (Merkez) bölgesindeki 2006-2021 arasındaki LU/LC araştırılmıştır. Her yıl için uydu görüntüleri, 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar; Mermer Ocakları, Bitki, Bina, Su ve Tarım şeklindedir (Şekil 4). Doğruluk değerlendirmesi, LU/LC haritaları elde edildikten sonra test edilmiştir. Doğruluk değerlendirmesi sırasında 250 rastgele nokta atılmıştır. Bu noktalar ile refere edilen noktalar karşılaştırılmıştır. Doğruluk değerlendirmesi yapmak için, Üretici doğruluğu, Kullanıcı doğruluğu, Kappa katsayısı ve Hata matrisi her yıl için hesaplanmıştır (Tablo 3).



Şekil 4. Bilecik Merkez bölgesindeki mermer ocaklarının LU/LC değişimi (2006-2021).

Tablo 3. LU/LC sınıflarının doğruluk analizi

LU/LC Sınıfları	2006		2011		2016		2021	
	K.D.	Ü.D.	K.D.	Ü.D.	K.D.	Ü.D.	K.D.	Ü.D.
Mermer Ocağı	100	100	66,66	100	100	92,85	80	100
Bitki	99,01	93	98,95	87,96	98,27	90,47	99,11	94,91
Bina	70	100	55,55	100	100	87,50	100	100
Su	70	100	53,57	100	29,41	100	50	100
Tarım	96,87	96,87	99,12	94,16	97,93	97,93	98,11	94,54
G.D. (%)	95,75		92,00		93,60		95,20	
K.K.	0,92		0,86		0,89		0,91	

Elde edilen sonuçlara göre, 2006, 2011, 2016 ve 2021 yılları için haritalardaki doğruluk oranları sırasıyla %95,75, %92,00, %93,60 ve %95,20'dir. Kappa katsayısı değerleri de, 0,92, 0,86, 0,89 ve 0,91'dir.

Her LULC sınıfının kapladığı alan Tablo 4' de verilmiştir. Mermer ocakları 2006 yılında 6,68 km² alan kaplamaktadır. 2006-2021 yılları arasındaki 15 yıllık periyotta mermer ocakları 20,52 km² alan artış göstermektedir. Mermer ocaklarının artışı aynı zamanda tarım arazilerinin 75,3 km² alan azalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Sulak alanlar, özellikle 2006-2011 yılları arasında önemli bir artış gösterirken, diğer LU/LC sınıflarında ise önemli bir değişim gözlenmemiştir. 2006-2021 yılları arasında LU/LC alanlarının yüzdelik dilime

vurulduğunda (Şekil 5), mermer ocakları %2 artış gösterirken, bitki alanları % 4 artış ve su alanları ise % 3 artış göstermektedir. Tarım alanları, % 11 azalmıştır. Bina alanları ise, yüzde olarak değişim göstermemektedir.

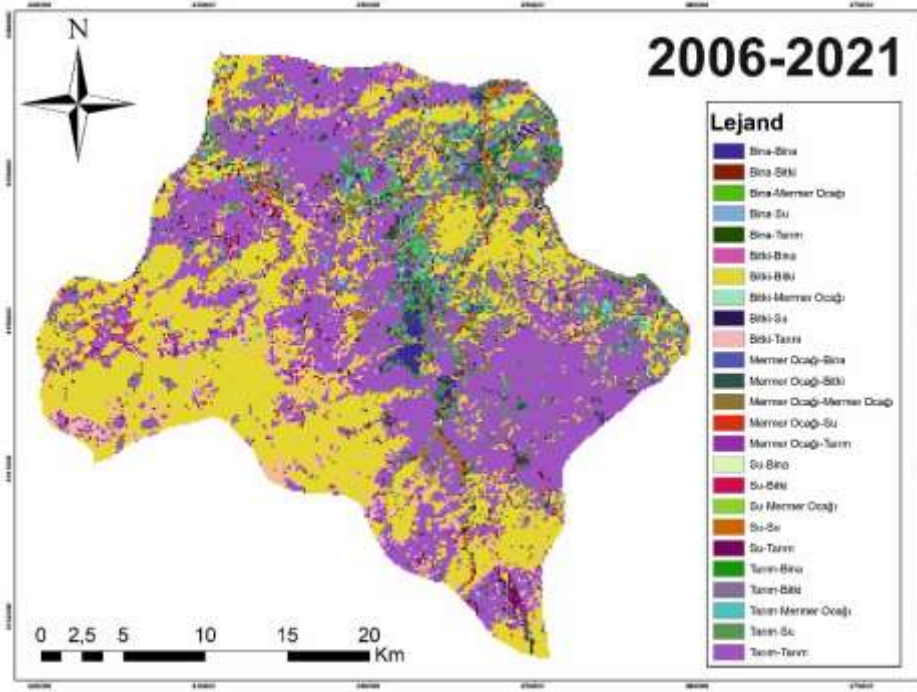
2006-2021 yılları arasındaki değişim haritasında, KB yönünde değişim dikkat çekmektedir. Ayrıca, haritanın KD, B ve D bölgelerinde değişim gösterdiği söylenebilir. Mermer ocaklarının artması, tarım alanlarının azalmasına neden olmaktadır (Şekil 6). Google Earth görüntülerinde görüldüğü üzere, yakın gelecekte Sorgun Deresi ile Karasu Kanyonu, mermer atıklarının olumsuz etkileriyle karşılaşabilecektir (Şekil 7). Mermer alanlarının hızla artması gelecekte şehirleşme ile ilgili önemli bir sorun oluşturabilecektir.

Tablo 4. LU/LC sınıflarının alanları

LU/LC	2006	2011	2016	2021
Bina	25,53	21,29	14,99	20,93
Bitki	323,388	341,661	359,935	357,75
MermerOcağı	6,68	15,18	22,25	27,20
Su	30,79	85,21	68,34	55,80
Tarım	407,609	330,66	328,479	332,309



Şekil 5. 2006-2021 yılı arasındaki LU/LC sınıflarının değişim yüzdesi.



Şekil 6. 2006-2021 yılları arasındaki LU/LC değişimi.



Şekil 7. Sorgun Nehri ve Karasu Kanyonu'nun Google Earth görüntüsü.

5. Sonuç

Bu çalışmada, Bilecik merkez bölgesinde yer alan mermer ocaklarının, 2006-2021 yılları arasında LULC değişimi araştırılmıştır. Uydu görüntüleri, her yıl için DVM algoritması ile sınıflandırılmıştır. Mermer ocaklarının değişimi haritalar ve grafikler yardımıyla ortaya çıkarılmıştır. Bilecik merkez bölgesinde 15 yıllık dönemde mermer ocakları %2 artış göstermiştir. Mermer işletmelerinin artmasıyla birlikte, ocaklardan çıkan katı atıklar genellikle mermer çamuru ve kırık mermer şeklinde olmaktadır. Doğadan çıkarılan mermerlerin çevreye tahribatı hiçbir zaman ekolojik dengeyi

bozmamasına rağmen, ÇED Ön Araştırması'na göre tabii metal içermeyen maddeler sınıfında yer almaktadır. Bu durum, gelecekte katı atık depolama sahalarının yetersiz kalması ile kenti olumsuz anlamda etkileyebilecektir. Sürdürülebilir kent anlayışında, mermer ocaklarının çevreye zarar vermemesi için yerel yönetimler tarafınca katı atık depolama sahası planlaması yapılmalıdır. Böylelikle, çıkan katı atıkların sanayide agrega yapımında değerlendirilmesi durumunda ülke ekonomisine katkı sağlamakla birlikte çevre kirliliğini azaltıcı bir sonuç doğurabilecektir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	C.A.	K.U.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

Akyazı M, Toprak Ö, Erdoğan T, Karabaşoğlu A, Ursavaş TŞ. 2001. Bilecik yöresi'nin mezozoyik stratigrafisi. Cumhuriyet Üniv Müh Fak Derg, 18(1): 27-48.

Aliyazıcıoğlu K, Beker F, Topaloğlu RH, Bilgilioğlu BB, Çömert R. 2021. Temporal monitoring of land use/land cover change in Kahramanmaraş city. Turkish J Eng, 5(3): 134-140.

Atay Kaya İ, Kut Görgün E. 2020. Land use and land cover change monitoring in Bandırma (Turkey) using remote sensing and geographic information systems. Environ Monit Asses, 192(7): 430.

Awad M, Khanna R. 2015. Support vector machines for classification. Efficient Learning Machines: Theories, Concepts, and Applications for Engineers and System Designers. Apress Berkeley, Online, pp: 39-66.

BEBKA. 2014. TR 41 Bursa Eskişehir Bilecik Bölge Planı 2014-2023 Mevcut Durum Analizi, Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı, Bursa, Türkiye.

Burley TM. 1961. Land use or land utilization? Professional Geographer, 13(6): 18-20.

Corner RJ, Dewan AM, Chakma S. 2014. Monitoring and prediction of land-use and land-cover (LULC) change. Springer, Dordrecht, The Netherland, pp: 75-97.

Cortes C, Vapnik V. 1995. Support vector networks. Mach Learn, 20(3): 273-297. <https://doi.org/10.1023/A:1022627411411> (erişim tarihi: 15 Ocak 2023).

Curebal I, Efe R, Soykan A, Sonmez S. 2014. Monitoring and assessment of hydrological and ecological changes in Lake Manyas. EGU General Assembly Conference, April 27- May 2, 2014, Vienna, Austria, pp: 8910.

Demirci M. 2019. Destek vektör makineleri ve M5 karar ağacı yöntemleri kullanılarak yağış akış ilişkisinin tahmini. Dicle Üniv Müh Fak Derg, 10(3): 1113-1124.

Demirkol C. 1977. Üzümlü-Tuzaklı (Bilecik) dolayının jeolojisi. Türkiye Jeol Bült, 20(1): 9-16.

Erendil M, Kuşçu İ. 1985. 1/100000 Ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Bursa, H-23 paftası. Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etüdüleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel

Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

Eroskay SO. 1965. Pasalar Bogazi-Golpazari sahasının jeolojisi. IU Fen Fak Mecm, 1965: 3-4.

Görür N, Şengör AMC, Akkök R, Yılmaz Y. 1983. Pontidlerde Neotetisin kuzey kolunun açılmasına ilişkin sedimentolojik veriler. Türkiye Jeol Kurumu Bült, 26(1): 11-20.

Güneş C, Uyguçgil H. 2022. Sakarya Nehri'nin İnhisar (Bilecik) çevresindeki 6 yıllık arazi kullanımı değişiminin uzaktan algılama tabanında incelenmesi. Turkish J Remote Sens GIS, 3(2): 112-125.

Hassan ZU, Shah JA, Kanth TA, Pandit AK. 2015. Influence of land use/land cover on the water chemistry of Wular Lake in Kashmir Himalaya (India). Ecol Proces, 4(1): 1-11.

Ikiel C, Dutucu AA, Ustaoglu B, Kilic DE. 2012. Land use and land cover (LULC) classification using Spot-5 image in the Adapazari Plain and its surroundings, Turkey. Tojsat, 2(2): 37-42.

Jenness J, Wynne JJ. 2005. Cohen's Kappa and classification table metrics 2.0: An ArcView 3. x extension for accuracy assessment of spatially explicit models. Open-File Report OF 2005-1363. Flagstaff, AZ: US Geological Survey. Southwest Biological Science Center, Seattle, WA, US, pp: 86.

Jensen JR. 2007. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. Prentice-Hall, Upper Saddle River, Seattle, WA, US, pp: 97.

Kacır S. 2017. Bilecik mermer sektörü raporu. Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı (BEBKA). URL: <https://bebka.org.tr/> (erişim tarihi: 03 Ocak 2023).

Kaiser MF. 2009. Environmental changes, remote sensing, and infrastructure development: the case of Egypt's East Port Said harbour. Appl Geogr, 29(2): 280-288. DOI: 10.1016/j.apgeog.2008.09.008.

Kavzoğlu T, Çölkesen İ. 2010. Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. Harita Derg, 144(7): 73-82.

Kumar KS, Bhaskar PU, Padmakumari K. 2015. Application of land change modeler for prediction of future land use land cover: a case study of Vijayawada City. Int J Adv Technol Eng Sci, 3(1): 773-783.

Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J. 2015. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York, NY, US, pp: 736.

Lillesand TM, Kiefer RW. 1999. Remote sensing and image interpretation. Wiley, New York, NY, US, pp: 760.

Lo CP, Choi J. 2004. A hybrid approach to urban land use/cover mapping using Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) images. Int J Remote Sens, 25(14): 2687-2700.

Lo CP. 1986. Applied remote sensing. Longman, London, UK, pp: 393.

Masser I. 2001. Managing our urban future: the role of remote sensing and geographic information systems. Habitat int, 25(4): 503-512.

Mondal A, Kundu S, Chandniha SK, Shukla R, Mishra PK. 2012. Comparison of support vector machine and maximum likelihood classification technique using satellite imagery. Int J Remote Sens GIS, 1(2): 116-123.

MTA. 2010. Bilecik İli Maden haritası. URL: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_otansiyel_2010/Bilecik_Madenler.pdf (erişim tarihi: 15 Ocak 2023).

Rawat JS, Kumar M. 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. Egyptian J Remote Sens Space Sci, 18(1): 77-84.

Thanh Noi P, Kappas M. 2017. Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for

- land cover classification using Sentinel-2 imagery. *Sensors*, 18(1): 18.
- Tüysüz O, Yiğitbaş E. 1994. The Karakaya basin: a Palaeo-Tethyan marginal basin and its age of opening. *Acta Geol Hungarica*, 37(3-4): 327-350.
- Uncu L, Karakoca E. 2021. Antropo-jeomorfolojik bir yaklaşımla Bilecik (Merkez ilçe) taş ocaklarının mekânsal ve zamansal değişimi. *Türk Coğrafya Derg*, (77): 119-130.
- Vapnik V. 1998. The support vector method of function estimation. Springer, Boston, MA, US, pp: 55-85.
- Vapnik V. 2000. SVM method of estimating density, conditional probability, and conditional density. *IEEE ISCAS*, 2: 749-752.
- Wu J, Zhang C, Xue T, Freeman B, Tenenbaum J. 2016. Learning a probabilistic latent space of object shapes via 3D generative-adversarial modeling. In *Proceeding of 29th Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2016)*, December 5-10, Barcelona, Spain, pp: 1-11.
- Xian G, Crane M. 2005. Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data. *Remote Sens Environ*, 97(2): 203-215.
- Xiao X, Boles S, Froking S, Li C, Babu JY, Salas W, Moore B. 2006. Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images. *Remote Sens Environ*, 100(1): 95-113.
- Yang X, Lo CP. 2002. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *Int J Remote Sens*, 23: 1775-1798.
- Yanılmaz E. 1980. 1/100.000 Ölçekli Türkiye sayısal jeoloji haritası, Adapazarı, H-24 paftası. Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etüdüleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Yurdakul M. 2020. Natural stone waste generation from the perspective of natural stone processing plants: An industrial-scale case study in the province of Bilecik, Turkey. *J Cleaner Prod*, 276: 123339.



THE EFFECTS OF BLADE COATINGS ON FORCE DEMAND WHEN PRUNING GRAPE

Kemal Çağatay SELVİ^{1*}


¹Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies 55139, Samsun, Türkiye

Abstract: The effects of different blade coating materials on force demands were examined in the present study. The force demands when cutting grape branches with St-52 steel, polytetrafluoroethylene (PTFE)-coated and Soft Teflon (STP)-coated lopper blades were measured. A universal testing machine was used as the simulated cutting task together with a force cell in the laboratory. Grape branches were the testing material. The differences between the force demands of blades were significant ($P < 0.01$). The PTFE-coated blade resulted in a 30.69% and 25.63% lower average force compared to the STP-coated blade and ST52 steel-surfaced blades for the 6-9 mm diameter sample group respectively. When the other diameter group is examined for the same materials, the PTFE-coated blade resulted in a 17.76% and 13.82% lower average force respectively. Also, a PTFE-coated blade was obtained for both diameter groups at the smallest energy value. The differences between the energy demands of lopper blades were significant ($P < 0.05$).

Keywords: Blade coatings, Teflon, Grape pruning

*Corresponding author: Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies 55139, Samsun, Türkiye

E mail: kselvi@omu.edu.tr (K. Ç. SELVİ)

Kemal Çağatay SELVİ  <https://orcid.org/0000-0002-9133-5046>

Received: February 24, 2023

Accepted: March 28, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Selvi KÇ. 2023. The effects of blade coatings on force demand when pruning grape. *BSJ Eng Sci*, 6(2): 111-116.

1. Introduction

Vineyards in Türkiye constitute 1.06 % (400997 ha) of the total utilized agricultural land (TUIK, 2022). Only in the 2020 production season, over 200 000 tons of raisins were exported from Türkiye to the whole world (EIB, 2021). Viticulture is an agricultural activity that requires labor-intensive throughout the entire production season (Dougherty, 2012). Moreover, the fact that it is a production activity with it been going on for many years makes the workforce constantly in need. Although Türkiye has such a large production potential, even the existing mechanization facilities cannot be utilized sufficiently. The use of hand-held pruning shears for trimming trees and plants is an important work of landscape management. In countries such as Italy and the United States (especially the California region), while the use of mechanics in this area is increasing day by day (Poni et al., 2016), many manufacturers are still using human labor for production and in this context, manual pruning is still prevalent in Türkiye.

Pruning is mainly a time-consuming cutting process and the most important task in the annual cycle of vineyard management (Zabadal et al., 2002). Especially, winter pruning of grapevines is a time-consuming operation, as it requires ~60 to 120 workers hr/ha depending on vine vigor, trellis type and design, equipment, and skilled labor (an increasingly short commodity in many viticultural areas worldwide) (Gatti et al., 2011). As a result, the force required for pruning works to be carried out in such labor-intensive work is also important for the

employees.

The shear force required to cut vegetative materials depends on the physico-mechanical properties of the material and on the structure of the blade used. It required performing proper cutting operation changes depending on various factors. The most important of these factors are; the shear stress properties of the material, the structure and the usage of the blade. In addition, the shear force is significantly influenced by factors such as the amount of dry matter, material diameter and also cutting speed of the material (Beyhan, 1996). The value of the force P (N), which creates the sharp edge press of the invention, is expressed by the equation 1 given below so that a proper cutting operation can be carried out;

$$P > Rc + Rcr + T1 + T2 \quad (1)$$

here;

Rc : Cutting resistance of the material (N),

Rcr : Crushing resistance of the material (N),

$T1, T2$: The friction resistance between the edges of the blade and cutting material (N) (Kanafojski and Karwowski, 1976).

The resistance of the material against cuts is determined by $Rc = \Delta \sigma c$ equality and this equality refers to the useful force required to provide an appropriate cut. Here is l ; length of the blade edge (mm), Δ ; thickness of the blade edge (sharpness) (mm), and σc (N/mm²) is the shear stress of the material. The shear stress value can only be



determined by experiments for each shoot. The other components inequality (R_{cr} , T_1 , T_2) are variable resistances depending on the material thickness, the blade parameters and the way the blade is used and are determined by the actual cutting tests (Kanafojski and Karwowski, 1976; Beyhan, 1996).

Therefore, the frictional resistance between the material to be cut and the blade must be reduced to reduce the cutting force. It should also be noted that shear energy, which depends on the shear force in pruning operations, is one of the main parameters in the design of the equipment to be used for this purpose (Alizadeh et al., 2011). When the previous studies on this subject are examined in detail, it is seen that there is one of the main criteria in the coefficients of blade materials besides main design parameters such as whole hand tool, grasp surfaces, handles, locking mechanism, force transmission mechanism, returning mechanism, blade and guide. Accordingly, reducing the frictional resistance between the cut material and the blade will reduce the required shear force and as a result shear energy. When the construction materials of cutting tools are examined in agricultural activities such as pruning, it is generally seen that high-carbon steels are used. Therefore, the friction coefficients of the materials to be used are important. For example, Paivinen and Heinimaa (2003), reported that the friction coefficients of steel and teflon versus dry wood are 0.5 and 0.1, respectively. For these reasons, it is important to consider applications that reduce the coefficient of friction between the pruning blades and the material to be cut. One of these applications is the coating of the blade surface with Teflon (PTFE). The polymer polytetrafluoroethylene (PTFE) has been used widely as a lubricating coating in engineering applications due to its chemical inertness, very low friction, and high thermal stability (Lu et al., 2006).

These factors are particularly important in the ergonomic design of pruning shears. Hence, if the pruning process is examined in terms of ergonomics, it will be seen that hand pruning shears increase discomfort such as musculoskeletal disorders of hand and wrist disorders (Özdemir et al., 2015). Therefore, an interdisciplinary approach is necessary for hand tool evaluation, not only as regards the methodological set-up, but also as regards the actual evaluation process (Kardborn, 1998). Related to this issue, Parish conducted a study in 1998 on the determination of the forces required by hand-operated pruning shears and stated that the shears with different designs showed differences in terms of their shear force requirements. Similarly, Aytan (2012) demonstrated that by changing the coating materials of pruning shears it is possible to decrease the requirement of cutting force. Also, numerous studies have been assigned to the effects of hand-operated instruments on muscle and skeletal structure. Hagberg and Wegman (1987) determined that material handling and force/torque working with the aid of human-powered hand tools explain roughly 45% of all industrial overexertion injuries in the USA.

By implementing ergonomics and usability issues in product design, the user's well-being can be improved by decreasing e.g., the risk of musculoskeletal disorders (Paivinen and Heinimaa, 2003). Thus, reducing the shear force required by hand pruning shears; it will help to reduce the inconveniences that may arise while increasing job success and working comfort. When the studies on this subject are examined, it is seen that the majority of the studies are based on the effect of blade angle and cutting speed (Johnson et al., 2012; Mathanker et al., 2015) and also the determination of the shear forces and shear energy needed by the selected agricultural materials (Prasada and Gupta, 1975; Ghahraei et al., 2011; Hoseinzadeh and Shirneshan, 2012; Özdemir, et al., 2016; Selvi and Kabaş, 2016).

Currently, we have no reported data on the effect of blade material effects on force demand when pruning grapes. The aim of this study is to determine the force requirements of the blades used in pruning processes, which require intensive labor in viticulture. In accordance with this purpose, this study also was to investigate how different coating materials on hand tool blades affect force demands during simulated cutting. The force demands in cutting grape branches with St-52 steel, PTFE and STP-coated hand tool blades were measured with a materials testing system (LLOYD). One type of lopper blade with two different coatings and a St-52 steel blade were compared in terms of mean and max forces.

2. Materials and Methods

2.1. Sample Preparation and Material Testing System

This study was carried out in the Department of Agricultural Machinery and Technologies, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye. The grape variety, namely Narince, was selected in 2013 from Tokat province for cutting tests in the experiment. For doing the cutting test, samples of grape branches were obtained from a farmer's vineyard in Tokat province (40° 16' 57 N; 36° 24' 20 E. The experiment tests were performed during the grape pruning season.

To determine the average moisture contents of the grape branches on the date of the test, the specimens were weighed and dried at 105°C for 24 h in the oven. The experiments were conducted at moisture contents of 50.33 w.b. The weights were determined by means of a digital electronic balance having an accuracy of 0.001 g (Selvi and Kabaş, 2016).

The force required to cut grape branches with different coated blades was measured by a Lloyd Instrument Universal Testing Machines (Lloyd Instrument LRX Plus, Lloyd Instruments Ltd, An AMATEK Company). The device has three main parts: moving head, driving unit and data acquisition system (load cell, notebook and connections and NEXYGEN Plus software). The device was equipped with a load cell of 500 N and the measurement accuracy of the load cell was 0.5%. The load cell was fixed to the moving head (Figure 1).

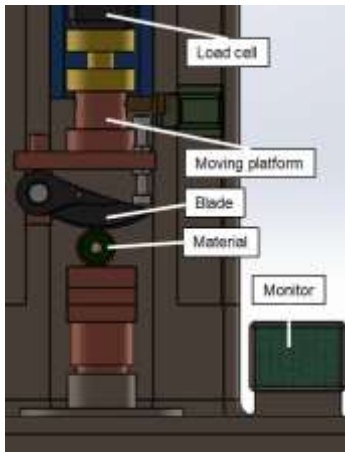


Figure 1. Lloyd Instrument universal testing machine.

2.2. Lopper Blades

In this study, there were nine similar blades with the same measurements, three of which had a PTFE (Polytetrafluoroethylene) coated surface, three an STP (soft teflon) coated surface, and finally, three a St-52 steel. The properties and pictures of the materials used in the construction of blades are given in Table 1 and Figure 2, respectively. St-52 is one of the materials generally used as the basic material for the blades on the market. All blades were new and from the same manufacturer. Teflon coated blade is coated to 20-25 μm thickness. With the lopper blades, ten measurements with each blade were made for groups between 6-9 mm and 9-12 mm branch diameters, totaling 60 measurements with all blade types.

Table 1. The properties of the PTFE, STP coated and ST52 steel lopper blade.

	Unit	St-52 (ave)	PTFE - STP (ave.)
Tensile Strength	MPa	630	13-333
Tensile Elongation	%	20	150-550
Modulus of Elasticity	N/mm ²	199	575
Hardness Brinell	MPa	180	29-40



Figure 2. The pictures of the materials used in the construction of blades.

To minimize the effects of quality differences of natural grape branches, the measurements were organized so that each cutting branch from the same vineyard was used for all lopper blades. With the lopper blades fresh grape branches were cut between 6-9 mm and 9-12 mm diameters (Figure 3). The branch-cutting diameters were measured before the test using a caliper. Testing was completed as rapidly as possible in order to reduce the effects of drying. The lopper blades were pressed down on branches with a constant velocity of 200 mmmin^{-1} . All tests were done at normal room temperature. Each variety's required measurements were performed on the same day with applied perpendicular force (90°) to the material reference plane.

The cutting force was automatically calculated by Lloyd Instrument universal testing machine. A computer data acquisition system recorded all the force during the

cutting process. It is also example of force-time graphs for three different blades were given in figure 4.

2.3. Statistical Analysis

In this study, descriptive statistical methods such as average and standard error of mean were used. Kolmogorov Smirnov test showed that the data has normally distributed ($P=0.742$) and Levene test showed that variances were homogeneous ($P=0.074$), in this case, one-way ANOVA was used to analyze the data (Önder, 2018). The power of the test was found 1.000, which showed that the sample size was adequate. To compare the means Duncan multiple comparison tests were used (Genç and Soysal, 2018).



Figure 3. The testing system for the lopper blades (left view).

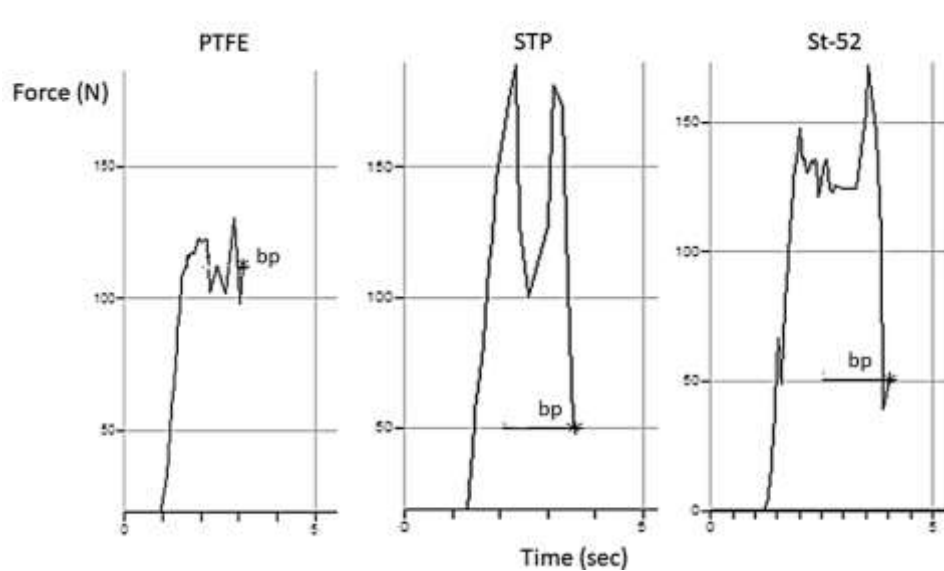


Figure 4. Variation of cutting force with time.

3. Results

The results were analyzed as the average force (N) needed for the branch of grape cutting and as the maximum values obtained during the measurements. The average and maximum shear force and energy and the standard deviation values are given in Table 2 and Table 3 respectively.

The PTFE-coated blade resulted in a 30.69% and 25.63%

lower average force and a 25.6% and 23.8% lower maximum force compared to the STP-coated blade and ST52 steel-surfaced blades for 6-9 mm diameter sample group respectively. When the other diameter group is examined for the same materials, the PTFE-coated blade resulted in a 17.76% and 13.82% lower average force respectively. The differences between the force demands of blades were significant (P<0.05).

Table 2. The average and maximum force results of the lopper blades for different samples diameter groups for data corrected with humidity

Blade velocity (mm/min)	Diameter of sample groups (mm)	PTFE-coated blade (N)			STP-coated blade (N)			St-52 (N)		
		Average	Max.	Min.	Average	Max.	Min.	Average	Max.	Min.
200	6-9	133.7 ± 3.6 ^d	155.6	121.6	179.8 ± 5.8 ^c	204.4	160.1	191.9 ± 3.8 ^c	208.0	172.1
	9-12	233.7 ± 17.7 ^b	305.4	203.5	271.2 ± 5.1 ^a	297.6	249.5	284.2 ± 11.7 ^a	359.0	241.3

(N) (n_{cuts=blade}= 10), ^{a,b} Different letters show statistical difference at 0.05 statistical significance.

Table 3. The average and maximum energy results of the lopper blades for different samples diameter groups for data corrected with humidity

Blade velocity (mm/min)	Diameter of sample groups (mm)	PTFE-coated blade (J)		STP-coated blade (J)		St-52 (J)	
		Average	Max.	Average	Max.	Average	Max.
200	6-9	0.66±0.05 ^b	0.87	0.92±0.06 ^b	1.36	0.99±0.06 ^b	1.19
	9-12	1.85±0.10 ^a	2.37	1.88±0.14 ^a	2.27	1.97±0.08 ^a	2.17

^{a,b} Different letters show statistical difference at 0.05 statistical significance.

4. Discussion

This study is more of a comparative study in line with the needs in practice rather than the acquisition of constituting a database. Therefore, it can be deliberated over whether or not the method used in this study was suitable for usability evaluation.

In general, the materials testing system is used and accepted methods e.g., for force measurements and comparison in materials science. In this experience regulation, the system’s ability to measure forces was

used. In fact, it has been envisaged that, if the required strength of the blades coated with some different materials can be reduced, there is less force needed for the actual use of hand tools. Thus, in the evaluation of different coated materials the St-52 steel blades were chosen as reference blades as they are commonly used in these types of blades and it was possible to obtain similarly shaped PTFE-coated blades. PTFE or STP (Soft politetrafloroetilen) coating is used widely as a surface material in different industrial areas and also in agricultural machinery recently. Thus, it is interesting to

note that the work on the advantages of the use of materials suitable for coating, such as Teflon, in the design of such devices is extremely limited. The repeatability of the tests was improved by using several repetitions. Also, the compared blades were of the same shape. The results correspond to the relative differences between the products studied. The results do not represent the actual force demand values when the tool is used in a real setting.

It should not be forgotten that such a work could be developed using much more blades and much more repetition in the same way.

Many different researchers have stated that the manual pruning work method may place severe pressure on the workers' tendons, related bones and nerves of the hand, wrist, and elbow (Lakshmi and Kumari, 2015). In particular, repetitive work (such as pruning) in a work-intensive area such as viticulture affects the production process significantly. Because pruning directly affects the yield of the product, it can cause distraction due to the negative situations that may occur in the hands of the employees who will perform the pruning work in this regard. Thus, the yield quality may decrease and affect the efficiency negatively. For this reason, some limited values for human health have been reported for manual repetitive work, such as in the field of viticulture. According to the EN-1005-3 standard, it is desirable that the force to be applied by the hand is not above 300 N and that it is possible to be within the 150-200 N band if possible.

According to the results, it seems that PTFE coating lowers the force demands if compared with St-52 steel blades. Statistically significant differences in the force demands of PTFE-coated and other blades were found. Similar results from Paivinen and Heinimaa's study support these results. On the other hand, there was no statistically significant difference in force between St 52 steel blades and STP-coated blades. This can be explained by the fact that the STP exhibits low friction coefficients (0.05–0.10) to the PTFE but exhibit easy wear characteristics (Lu et al., 2006).

Also, blade optimization has an important role in tool usability (Niemela and Paivinen, 2001). It should be also noted that it is possible that the cutting velocity has an influence on the results. For example, Aytan's emphasized master thesis work the importance of reducing the cutting force by increasing the cutting speed in the coated and uncoated blades used during the pruning of the apple branches. In this study, the aim was to investigate the effect of the coating material on the cutting force during simulated cutting rather than the effect of the blade speed and cutting angle on the cutting force, and a relatively low-speed value was chosen as the constant value.

As also mentioned in the introduction, it can be said that it is possible that reduced force demands could also have a positive effect on the prevention of musculoskeletal disorders, at least in long-lasting work tasks. It may also

be advisable to conduct studies on coating rates for subsequent similar work.

5. Conclusion

It was found that the force demands of cutting hand tool blades can be reduced by using PTFE coating instead of St-52 steel blade. This situation can prevent the carelessness that may occur due to fatigue over time. In addition, pruning operations with lower forces can be completed in less time and can support the protection of human health during pruning with an important place among the factors affecting the yield. Also, more useful products such as pruning blade material can be introduced to the consumer market.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is present below. The author reviewed and approved final version of the manuscript.

	K.C.S.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

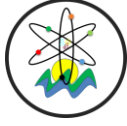
Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References

- Alizadeh MR, Ajdadi FR, Dabbaghi A. 2011. Cutting energy of rice stem as influenced by internode position and dimensional characteristics of different varieties. *Aust J Crop Sci*, 5: 681-687.
- Aytan S. 2012. Variation of cutting force depending on some physical properties of the branch and cutting speed in cutting branches of some fruit trees with teflon (ptfe) coated and noncoated pruning scissors. MSc Thesis, Ondokuz Mayıs University, Institute of Science, Samsun, Türkiye, pp: 71.
- Beyhan MA. 1996. Determination of shear strength of hazelnut sucker. *J Agric Fac*, 11: 167-181.
- Dougherty PH. 2012. Sommer BJ. *The geography of wine. Regions, terroir and techniques*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp: 256.
- EİB. 2021. Ege ihracatçı birlikleri. bültenler. URL: https://www.eib.org.tr/tr/Sayfa.Asp?Sl_Id=5A02DF31AF&HID=5CD180FB635D416197376E4934CE4089 (access date: September 12, 2022).

- Gatti M, Civardi S, Bernizzoni F, Poni S. 2011. Long-term effects of mechanical winter pruning on growth, yield, and grape composition of barbera grapevines. *Am J Enol Vitic*, 62: 199-206.
- Genç S, Soysal MI. 2018. Parametric and nonparametric post hoc tests. *BSJ Eng Sci*, 1: 18-27.
- Ghahraei OD, Ahmad A, Khalina H, Othman J. 2011. Cutting tests of kenaf stems. *Transactions of the ASABE*, 54: 51-56.
- Hagberg M, Wegman DH. 1987. Prevalence rates and odds ratios of shoulder-neck diseases in different occupational groups. *Br J Ind Med*, 44: 602-610.
- Hoseinzadeh B, Shirneshan A. 2012. Bending and shearing characteristics of canola stem. *American-Eurasian J Agric Environ Sci*, 12: 275-281.
- Johnson PC, Clementson CL, Mathanker SK, Grif TE, Hansen AC. 2012. Cutting energy characteristics of miscanthus x giganteus stems with varying oblique angle and cutting speed. *Biosyst Eng*, 112: 42-48.
- Kanafojski C, Karwowski T. 1976. *Agricultural Machines, Theory and Constructions - Crop-Harvesting Machines*. National Center for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland, pp: 1062.
- Kardborn A. 1998. Inter-organizational participation and user focus in a large-scale product development programme: the Swedish hand tool project. *Int J Ind Ergon*, 21: 369-381.
- Lakshmi PR, Kumari DR. 2016. Ergonomics of bread making tools – A Review. *IJSR*, 5: 185-191.
- Lu X, Wong KC, Wong PC, Mitchell KAR, Cotter J, Eadie DT. 2006. Surface characterization of polytetrafluoroethylene (PTFE) transfer films during rolling-sliding tribology tests using X-ray photoelectron spectroscopy. *Wear*, 261: 1155-1162.
- Mathanker SK, Grif TE, Hansen AC. 2015. Effect of blade oblique angle and cutting speed on cutting energy for energy cane stems. *Biosyst Eng*, 133: 64-70.
- Niemela T, Paivinen M. 2001. Usability testing method for splitting axes. *Proceedings of NES. Promotion of health through ergonomic working and living conditions. 33rd Congress of the Nordic Ergonomics Society, September 2-5, 2001, Tampere, Finland*, pp: 161-165.
- Önder H. 2018. Nonparametric statistical methods used in biological experiments. *BSJ Eng Sci*, 1: 1-6.
- Özdemir G, Eliçin AK, Pekitkan FG. 2016. Cutting properties of different grape varieties. *Agric For*, 61: 211-216.
- Özdemir G, Sessiz A, Esgici R, Eliçin AK. 2015. Cutting properties of wine grape cultivars. *Sci Papers Series B, Horticulture*, 5: 151-158.
- Paivinen M, Heinimaa T. 2003. The effects of different hand tool blade coatings on force demands when cutting wood. *Int J Ind Ergon*, 32: 139-146.
- Poni S, Tombesia S, Palliotti A, Ughinia V, Gattia M. 2016. Mechanical winter pruning of grapevine: Physiological bases and Applications. *Sci Horticulturae*, 204: 88-98.
- Prasada J, Gupta CB. 1975. Mechanical properties of maize stalks as related to harvesting. *J Agric Eng Res*, 20: 79-87.
- Selvi KÇ, Kabaş Ö. 2016. Bending and shearing properties of some standard carnation (*dianthus caryophyllus* L.) varieties stem. *Acta Technica Corviniensis*, 4: 133-136.
- TUIK. 2022. Türkiye İstatistik Kurumu. URL: <https://www.tuik.gov.tr/> (access date: September 12, 2022).
- Zabadal TJ, Vanee GR, Dittmer TW, Ledebuhr RL. 2002. Evaluation of strategies for pruning and crop control of concord grapevines in southwest Michigan. *Am J Enol Vitic*, 53: 204-209.



FINDIK ÜRETİMİ İÇİN ÖĞRENME TABANLI VERİM TAHMİNİ

Doğan YILDIZ^{1*}, Gülcan YILDIZ², Sercan DEMİRCİ²

¹Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 55239, Samsun, Türkiye

²Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 55239, Samsun, Türkiye

Özet: Artan nüfus yoğunluğunun ve küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişikliklerinin tarımsal üretimin miktarı ve kalitesi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle dünya, gıda kıtlığı gibi ciddi problemlerle karşı karşıyadır. Dolayısıyla tarım, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma programlarında bulunan hayati bir faaliyettir. Sert kabuklu meyveler kategorisinde dünyada bademden sonra üretimi en fazla yapılan ürün fındıktır. Üretimi Türkiye, İtalya, İspanya, ABD gibi ülkelerde yoğunlaşmış olan fındığın dünyadaki talebinin yaklaşık %70'ini Türkiye karşılamaktadır. Bu nedenle, fındık üretiminde verime etki eden parametrelerin tespit edilmesi ve bu parametrelere bağlı olarak verimin tahmin edilmesi çok büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Sakarya, Düzce, Samsun, Giresun, Trabzon illerindeki ve bu illerin fındık üretimi yapılan ilçelerindeki, fındık üretimine etki eden parametreler incelenerek bir sonraki adımda elde edilecek verim tahmini yapılmıştır. Tahmin işlemi için gereken özniteliklerin eldesi için ham veri setine bazı ön işleme adımları uygulanmış, temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis, PCA) ile öznitelik sayısı azaltılmıştır. Ön işlemeden geçen bu veriler girdi olarak, XGBoost algoritması, Yalın Uzun-Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory, LSTM) modeli, Yığılmış LSTM modeli, Konvolüsyonel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network, CNN) modeli ve CNN-LSTM hibrit modeline verilerek tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak bu yöntemlerin her biri için Ortalama Hataların Karekökü (Root Mean Square Error, RMSE) ile tahmin hatası elde edilmiş ve yöntem kıyaslamaları için kullanılmıştır. Bu sonuçlara göre, en düşük RMSE=1,32 değeriyle en iyi performans CNN-LSTM hibrit modeli ile elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fındık verim tahmini, CNN, LSTM, XGBoost algoritması, Temel bileşenler analizi

Learning Based Yield Forecasting for Hazelnut Production

Abstract: Increasing population density and climate changes resulting from global warming have significant effects on the amount and quality of agricultural production. Therefore, the world is facing severe problems, such as food shortages. Therefore, agriculture is a vital activity in countries' economic and social development programs. In the category of hard-shelled fruits, hazelnut is the most produced product in the world after almonds. Turkey meets approximately 70% of the world's demand for hazelnut, which is concentrated in countries such as Turkey, Italy, Spain, and the USA. For this reason, it is essential to determine the parameters affecting the yield in hazelnut production and to estimate the yield depending on these parameters. In this study, the parameters affecting the hazelnut production in the provinces of Sakarya, Düzce, Samsun, Giresun, Trabzon and the districts of these provinces where hazelnut production is made were examined, and the yield estimation to be obtained in the next step was made. In order to get the features required for the forecasting process, some pre-processing steps were applied to the raw data set, and the number of features was reduced by Principal Components Analysis (PCA). These pre-processed data were given as input to the XGBoost algorithm, Lean (Long Short-Term Memory, LSTM) model, Stacked LSTM model, (Convolutional Neural Network, CNN) model and CNN-LSTM hybrid model, and estimation was carried out. Finally, (Root Mean Square Error, RMSE) estimation error was obtained for each method and used for comparison. According to these results, the best performance with the lowest RMSE=1.32 value was obtained with the CNN-LSTM hybrid model.

Keywords: Hazelnut yield forecasting, CNN, LSTM, XGBoost algorithm, Principal component analysis

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 55239, Samsun, Türkiye

E mail: dogan.yildiz@omu.edu.tr (D. YILDIZ)

Doğan YILDIZ <https://orcid.org/0000-0001-9670-4173>

Gülcan YILDIZ <https://orcid.org/0000-0001-8631-8383>

Sercan DEMİRCİ <https://orcid.org/0000-0001-6739-7653>

Gönderi: 27 Şubat 2023

Kabul: 29 Mart 2023

Yayınlanma: 01 Nisan 2023

Received: February 27, 2023

Accepted: March 29, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Yıldız D, Yıldız G, Demirci S. 2023. Learning based yield forecasting for hazelnut production. BSJ Eng Sci, 6(2): 117-126.

1. Giriş

Bilişim teknolojileri ve haberleşme gibi alanlardaki ilerlemeler, çevremizdeki verilerin toplanıp, saklanması ve sonrasında da bu verilerin işlenebilmesi konularında önümüze değerli bir fırsat sunmaktadır. Son zamanlarda yapay öğrenme tekniklerinde yaşanan gelişmeler, günümüz problemlerine yaklaşımımızı değiştirmeye başlamıştır. Ayrıca, gelişmekte olan bulut teknolojileri kompleks problemlere karşı her geçen gün daha basit ve

erişilebilir çözümler sunmaktadır. Bu çerçevede farklı rekolte tahmin uygulamalarında da yapay öğrenme yöntemleri bir süredir kullanılmaktadır (Cioffi ve ark., 2020).

Tahmin, temel olarak var olan bilgiler üzerinden çıkarım yapma işlemidir. Bu tahmin, bir nicel kavram için yapıyorsa genellikle kestirim adını alır. Kestirimde, bağımsız değişkenlerin yani gözlenmiş veya ölçülmüş değerlerin oluşturduğu veri kümesine dayanarak belirli bir bağımlı değişken kestirilmeye çalışılır. Bu doğrultuda,



tarım ürünlerinin rekolte tahmini için kullanılan yöntemlerin sınırlamaları da, tahmin yöntemlerinde kullanılan, ölçülebilen ve gözlenebilen bağımsız değişkenlerin ortaya koyacağı sınırlar çerçevesinde şekillenmektedir (Liu ve ark., 2001; Kent, 2020).

Tarım ürünlerinin rekolte tahmini, ülkelerin doğru ve etkili tarım politikaları belirlemelerinde önemli rol oynar. Böylece, üreticilerin elindeki kısıtlı kaynakların doğru kullanılması sağlanarak kazanç optimize edilmiş olur (Marko ve ark., 2016; Liliane ve Charles, 2020). Bunun yanı sıra, tedarik zincirinin sağlıklı bir şekilde inşa edilebilmesi, ilgilenilen ürünün ihracat ve ithalatının belirlenip planlanması da bu tahminlerden yararlanılarak yapılmaktadır. Sert kabuklu meyveler kategorisinde bademden sonra üretimi en yoğun yapılan ürün fındıktır. Fındık kültür çeşitlerinin yetiştiriciliği Türkiye, İtalya, İspanya ve ABD gibi ülkelerde yoğunlaşmıştır. Ülkemiz 600 bin tonu geçen üretim miktarıyla dünya fındık talebinin %70'ini karşılamaktadır. Türkiye'nin pazardaki bu payı doğru rekolte tahminlemelerinin önemini artırmaktadır (Romero ve ark., 2013; Üstün ve Karaosmanoğlu, 2017).

Fındık bitkisi, *Corylus* cinsinin *Betulaceae* familyası içindeki çok yıllık bitkilerden birisidir. Fındığın çıkış noktaları Orta Asya, Kafkasya ve Anadolu'dur. Anadolu'da fındık üretiminin yapıldığı bölge ise Orta ve Doğu Karadeniz bölgeleridir. Dünyanın en kaliteli fındık çeşitleri Anadolu'da üretilmektedir (Köksal, 2002). Fındık, ılıman ve nemli bölgelerde oldukça iyi bir gelişim göstermekte ve bol ürün vermektedir. Karadeniz bölgesi, bu sayede dünyanın en uygun fındık yetiştirme bölgelerinden biridir. 13 °C ile 16 °C ortalama sıcaklık aralığı, fındık için en uygun yetiştirme sıcaklık aralığıdır. Fındık için hava sıcaklığı -8 °C - 10 °C sıcaklık değerlerinin altına inmemeli ve 36 °C - 37 °C 'nin de üstüne çıkmamalıdır. Ayrıca, yıllık yağış toplamının 700 mm'nin altında olmaması ve yağışın yıl boyunca dengeli bir şekilde dağılım göstermesi gerekmektedir. Haziran ve Temmuz aylarındaki bağıl nemin %60'ın altına düşmemesi gereklidir (Tuncer ve ark., 2020). Fındığın oluşumuna etki eden en önemli faktörlerden biri de rüzgârdır. Rüzgâr, fındığın döllenmesini sağlar. Bitkilerde optimum rüzgâr hızı 3-5 m/sn' dir. Rüzgârın hızının daha fazla olması bitki gelişimine olumsuz yönde etki edebilmektedir (Asar ve ark., 2007). Fındık oluşumuna etki eden bir başka faktör, toprağın pH değeridir. Fındık, 6-6,5 pH değerlerinde çok iyi derecede gelişim göstermektedir (Ali, 2010). Bir diğer önemli faktör ise yüksekliktir. Fındık yetiştirmek için en ideal olan yükseklik deniz seviyesinden 700-800 metre yükseklikleridir. 1500 metre civarları fındık yetiştiriciliği için elverişsiz yüksekliklerdir (Zaman, 2004).

(Şimşek ve ark., 2014) çalışmasındaki Türkiye Fenoloji Atlasında fenolojik dönemlerin ayrıştırılmasının kültür bitkisi yetiştiriciliğinde büyük öneme sahip olduğu belirtilmiş ve bu fenolojik dönemler çiçeklenme, meyve oluşumu ve olgunlaşma-hasat dönemi olarak üç ana

başlık altında ele alınmıştır. İl bazında minör farklılıklar bulunmasına rağmen, fındık bitkisi için şubat-mart-nisan ayları çiçeklenme, mayıs-haziran ayları meyve oluşumu, temmuz-ağustos ayları ise olgunlaşma ve hasat dönemi şeklinde ifade edilir. Yapılan araştırmalarda, mevsimsel ortalama değerlerin ve özellikle fenolojik dönem başlangıçlarının rekolte üzerine önemli etkilerinin olduğu görülmüştür. Fındık verimliliği, özellikle kış ve ilkbahar dönemlerinde düşük sıcaklıklardan önemli ölçüde etkilenmektedir. Yani, fenolojik dönemler ile sıcaklık ilişkisinin doğrudan verimi etkilediği söylenebilir. Böylece, bağıl nem, yağış ve ortalama sıcaklık gibi faktörler fındığın kış ve ilkbahar gelişme dönemlerini çeşitli yollarla etkileyerek fındık veriminin gözlemlenebilmesine olanak vermektedir (Beyhan ve Odabaş, 1996). Örneğin, İrdem (2021) çalışmasının araştırma alanında fındık verimi ile aylık ortalama sıcaklıkların korelasyon ve regresyon değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık ile verim arasında Düzce ve Giresun illerinde negatif bir ilişki bulunmaktadır. Diğer üç ilde ise çok zayıf bir pozitif ilişki görülmektedir. Verim tahmininin, görüntü işleme tabanlı yapıldığı çalışmalar da mevcuttur (Zhao ve ark., 2019; Yadav ve ark., 2021).

Hasattan önce mahsul veriminin doğru ve zamanında tahmin edilmesi son derece önemlidir. Ancak araştırmacılar için verimi doğru bir şekilde tahmin etmek, farklı nitelikteki birçok faktörden dolayı her zaman zor olmuştur. Makine öğrenmesi alanındaki gelişmeler, bu alanda umut verici bir gelecek vaat etmektedir (Bali ve Singla, 2022). Bu nedenle, son yıllarda makine öğrenmesi temelli tahmin çalışmaları öne çıkmaktadır (Cedric ve ark., 2022; Fei ve ark., 2022; Paudel ve ark., 2022; Desloires ve ark., 2023). Kim ve Lee (2016) çalışmalarında, dört makine öğrenme tekniği, yani, destek vektör makinesi (SVM (Support Vector Machine), RF (Random Forest), ERT (Extremely Randomized Trees) and DL (Deep Learning)) kullanarak ve uzaktan algılama verilerini inceleyerek Iowa Eyaletindeki mısır mahsulünün verimini tahmin etmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde, özellikle derin öğrenmenin verimi tahmin etme aracı olarak diğer yöntemlere göre daha kararlı sonuçlar ürettiği görülmüştür (Kim ve Lee, 2016). Villanueva ve Salenga (2018) tarafından yapılan çalışmada, CNN yöntemi kullanılarak acı kavun veya acı kabak mahsulünün meyve verme yeteneği incelenmiştir. İyi ve kötü olarak sınıflandırılan yaprak görüntülerinin eğitimi; Keras, Tensor Flow ve Python aracılığıyla yapılmıştır. Sonuç olarak, tahmin için modele sunulan fazla sayıda görüntü, bir makinenin iyi ve kötü bir Ampalaya bitkisi arasındaki farkı öğrenmesini sağlayabilmektedir (Villanueva ve Salenga, 2018). Fei vd. (2022), insansız hava aracı (İHA) kaynaklı çoklu sensör verilerinin birleştirilmesi için makine öğrenmesi (Machine Learning, ML) yöntemlerinin kullanılmasının, mahsul veriminin tahmin doğruluğunu artırabileceğini savunmuşlardır.

Tablo 1. Araştırma alanında fındık verimi ile aylık ortalama sıcaklıkların korelasyon ve regresyon değerleri (İrdem, 2021)

İller	İstatistik Unsurlar	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Yıllık
Sakarya	Korelasyon	-0,16	-0,28	-0,22	0,11	-0,26	-0,02	0,20	0,25	-0,13	0,04	0,31	0,13	0,09
	Anlamlılık	0,41	0,16	0,27	0,58	0,19	0,94	0,32	0,21	0,51	0,84	0,12	0,52	0,64
	R ²	0,03	0,08	0,05	0,01	0,07	0,00	0,04	0,06	0,02	0,00	0,09	0,02	0,00
Düzce	Korelasyon	-0,46*	-0,18	-0,36	0,08	0,05	-0,16	-0,04	0,22	-0,06	0,08	0,06	0,23	-0,10
	Anlamlılık	0,02	0,36	0,07	0,67	0,79	0,43	0,85	0,28	0,76	0,69	0,78	0,25	0,63
	R ²	0,21	0,03	0,13	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01
Samsun	Korelasyon	-0,01	-0,11	-0,16	0,14	-0,21	-0,08	0,18	0,36	-0,16	0,07	0,20	0,40*	0,02
	Anlamlılık	0,95	0,59	0,42	0,48	0,29	0,71	0,38	0,06	0,43	0,73	0,32	0,04	0,92
	R ²	0,00	0,01	0,03	0,02	0,04	0,00	0,03	0,13	0,03	0,00	0,04	0,16	0,00
Ordu	Korelasyon	0,05	0,07	-0,27	0,08	-0,18	-0,15	0,15	0,21	-0,14	-0,18	0,16	0,11	-0,02
	Anlamlılık	0,83	0,77	0,21	0,72	0,40	0,50	0,49	0,33	0,52	0,42	0,46	0,60	0,92
	R ²	0,00	0,00	0,07	0,00	0,03	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00
Giresun	Korelasyon	-0,24	-0,26	-0,35	-0,01	-0,36	-0,34	-0,01	0,06	-0,28	-0,30	0,06	-0,13	-0,32
	Anlamlılık	0,22	0,18	0,07	0,96	0,07	0,08	0,96	0,75	0,15	0,12	0,75	0,52	0,10
	R ²	0,06	0,07	0,13	0,00	0,13	0,12	0,00	0,00	0,08	0,09	0,00	0,02	0,10
Trabzon	Korelasyon	0,03	-0,27	-0,05	0,02	-0,13	0,10	0,38*	0,31	-0,07	-0,09	0,18	0,12	0,16
	Anlamlılık	-0,16	-0,28	-0,22	0,11	-0,26	-0,02	0,20	0,25	-0,13	0,04	0,31	0,13	0,09
	R ²	0,00	0,08	0,00	0,00	0,02	0,01	0,14	0,09	0,00	0,01	0,03	0,01	0,03

Bunun için Kübist, SVM, derin sinir ağı (Deep Neural Network, DNN), ridge regresyon (RR) ve rastgele orman (Random Forest, RF) gibi beş ML algoritması, çoklu sensör veri birleştirme ve buğdayda tahıl verimi tahmininde topluluk öğrenmesi için kullanılmıştır. Sonuçlar, düşük irtifalı İHA tabanlı çoklu sensör verilerinin, veri füzyonu ve yüksek doğrulukta bir topluluk öğrenme çerçevesi kullanılarak erken tahıl verimi tahmini için kullanılabileceğini kanıtlamıştır (Fei ve ark., 2022).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla fındık ürünü dışındaki ürünlerin verilerinden yararlandığı görülmektedir. Fındık verisi özelinde yapılan örnek bir çalışma An ve ark. tarafından 2020 yılında yapılmıştır. Çalışmalarında RCP8.5 (The Representative Concentration Pathway) kapsamında, bölgesel iklim modeli RegCM4.4'ten 10 km yatay çözünürlüklü ızgaralı iklim verilerine dayanarak, 2021–2050 dönemi için verim değişimini araştırmak amacıyla çoklu regresyon analizi yapmışlardır. Toplam 88 farklı lokasyon ve üç fenolojik büyüme aşaması incelenmiştir. Nemli-ılıman Karadeniz ve yarı-nemli Marmara bölgelerinde fındık veriminin fenolojik, alt bölge ve mikro iklim koşullarına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir (An ve ark., 2020). Fakat bu çalışmada DL temelli yaklaşımlar kullanılmamıştır.

Bu çalışmada ise, Sakarya, Düzce, Samsun, Giresun, Trabzon illerindeki ve bu illerin fındık üretimi yapılan ilçelerindeki, fındık üretimine etki eden parametreler incelenerek bir sonraki adımda elde edilecek verim tahmini ML ve DL modelleri üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmanın geri kalanı ise şu şekilde organize edilmiştir:

Bölüm 2'de, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlere değinilmiştir. Bölüm 3'te tasarlanan modeller ile elde edilen tahmin sonuçlarından bulgular verilmiştir. Dördüncü bölümde ise, elde edilen sonuçlar tartışılmış ve gelecekte yapılabilecek muhtemel çalışmalar özetlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti yapısı, Türkiye'deki fındık üretimine en çok katkıda bulunan Sakarya, Düzce, Samsun, Giresun, Trabzon gibi illerdeki ve bu illerin fındık üretimi yapılan ilçelerindeki yıllık rekolte verilerinden oluşturulmuştur. Bu veriler, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) görevlileri tarafından ilgili yerlerde fındık verimliliğine etki eden faktörlerin gözlemlenmesi ile oluşturulmuş, TÜİK/Biruni platformunda erişilebilir verilerdir. Model eğitiminde kullanılacak veri setinde toplam 34 değişken belirlenmiştir. 5 ile ve ayrı ayrı ilçelerine ait iklimsel veriler ise bölgesel olarak Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) Power platformu aracılığıyla elde edilmiştir. İklimsel verilerin elde edilmesine ait örnek görüntü Şekil 1'de gösterilmiştir.

NASA Power platformu üzerinden sunulan agro-klimatoloji verileri arasından seçilen 7 temel parametre şunlardır:

1. Yağış (mm)
2. Dünya yüzeyinden 2 metre yükseklikte günlük ortalama sıcaklık (°C).

3. Dünya yüzeyinden 2 metre yükseklikte günlük ortalama rüzgâr hızı (m/s).
4. Dünya yüzeyinden 2 metre yükseklikte günlük ortalama bağıl nem (%).
5. Dünya yüzeyinden 2 metre yükseklikte günlük ortalama çiğ/işba noktası (°C).
6. Dünya yüzeyinde yatay bir yüzeye gelen toplam güneş ışınımının günlük ortalama miktarı. (MJ/m²/gün)
7. Dünya yüzey sıcaklığının günlük ortalaması (°C).

Günlük olarak toplanmış bu verilerin yıllık aralıklarla ifade edilebilmesi amacıyla, ilgili yıla ait bütün verilerin mevsimsel ortalamaları alınmıştır. Yağış değişkenine ait mevsimsel ortalama değerleri değişken olarak veri setinde yer almıştır.

TÜİK üzerinden elde edilen verilerde, meyve veren yaştaki ağaç sayısı verisi ve meyve vermeyen yaştaki ağaç sayısı verisi bulunmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde, sadece meyve veren yaştaki ağaç sayısı bir değişken olarak kullanılmış ve verim hesaplanırken kg/ağaç yerine kg/dekar birimi dikkate alınmıştır. TÜİK platformunda kırılım seçimine ait görüntü Şekil 2 ile verilmiştir.

Veri setinin genel yapısı, TÜİK ve NASA Power platformlarından sağlanan verilerle ücretsiz bir şekilde oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmada LSTM tabanlı bir

model kullanılması öngörüldüğünden veri setine bir değişken olarak zaman damgası da eklenmiştir.

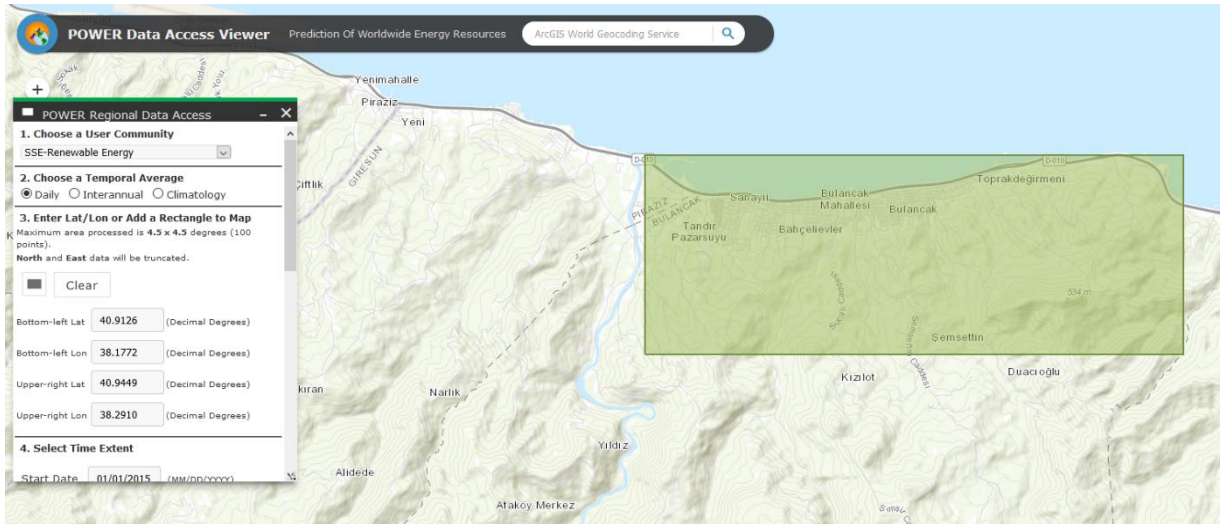
2.2. Veri Ön İşleme

TÜİK veri tabanı üzerinden elde edilen en eski tarihli veri 2004 yılına aittir. Veri ön işleme aşamasında, veri setine temel olarak bütün ilçelere ait kaydedilen verilerde tutarlılığı gözetmek adına, 2004-2020 yılları arasında eksik veri bulunan ilçeler dahil edilmemiştir. Sakarya'nın Adapazarı ilçesine ait eksik veri örneği bu duruma örnek olarak Şekil 3 ile verilmiştir. Burada 2004-2007 arasındaki verilerin işlenmediği görülmektedir.

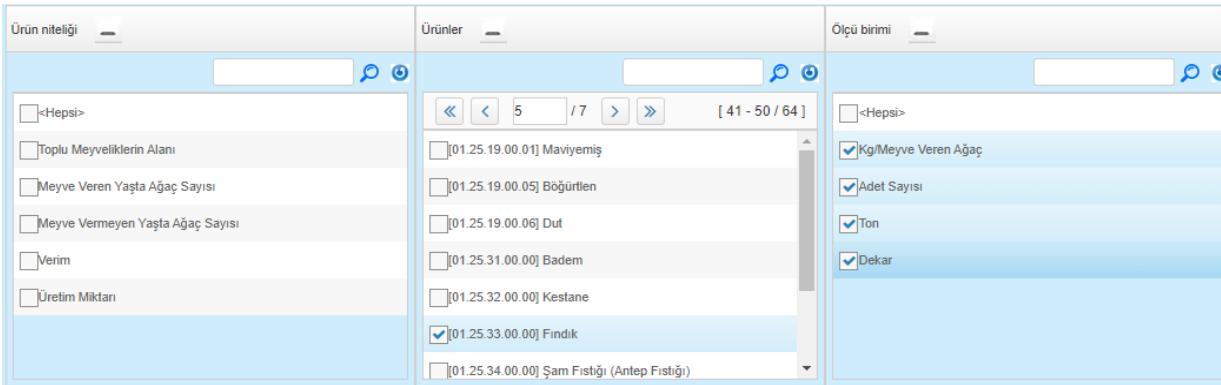
TÜİK/Biruni platformu üzerinden elde edilen parametreler aşağıda sıralanmıştır:

1. Meyve veren yaştaki ağaç sayısı
2. Toplu Meyveliklerin Alanı (Dekar)
3. Üretim Miktarı (Kg)
4. Verim (Kg/Dekar)

Burada üretim miktarı sadece verim hesaplamasında kullanılmış olup modelin girdisi olarak kullanılmamıştır. İlk veri ön işleme aşamasına ilk olarak verimin kg/dekar şeklinde hesaplanmasıyla başlanmıştır. Tespit edilen aykırı gözlem değerleri o ilçeye ait ortalama değerlerle tekrar düzenlenmiştir ve başka bir ön işleme yapılmamıştır.



Şekil 1. Giresun Bulancak ilçesine ait iklimsel verilerin elde edilmesi.



Şekil 2. TÜİK platformu kırılım seçilimi.

2008	503320	7583	1856000	3687.5149	244.7580113
2009	303320	7583	1213000	3999.0769	159.9630753
2010	303320	7580	910000	3000.1319	120.0527704
2011	303320	7580	607000	2001.1869	80.07915567
2012	298000	7450	745000	2500.0000	100
2013	177500	3550	516000	2907.0423	145.3521127
2014	177500	3550	710000	4000.0000	200
2015	177550	3550	568000	3199.0988	160
2016	190000	4500	632000	3326.3158	140.4444444
2017	213750	4750	737000	3447.9532	155.1578947
2018	236250	5250	336000	1422.2222	64
2019	238600	5300	452000	1894.3839	85.28301887
2020	280000	6220	513000	1832.1429	82.47588424

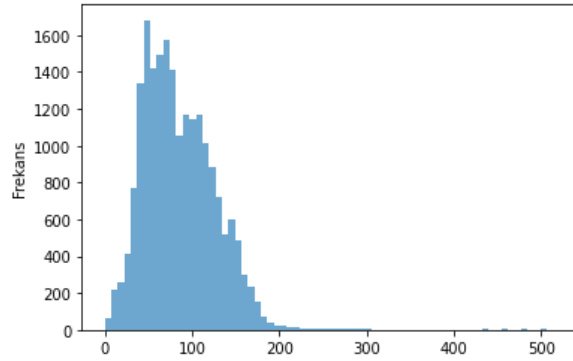
Şekil 3. Veri setine dahil edilmeyen ilçe bazında eksik veri örneği.

2.3. Sentetik Veri Üretimi

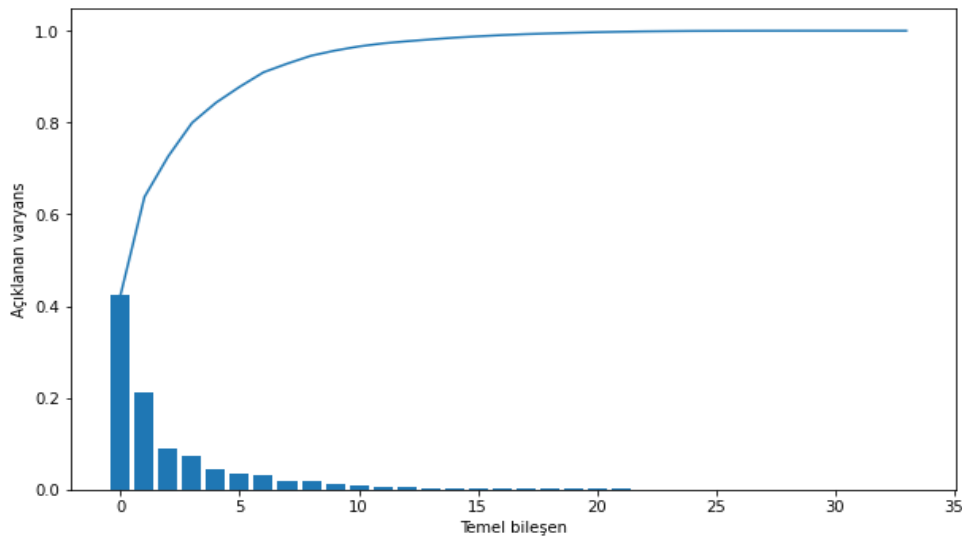
Rekoltenin yıllık olarak elde edilmesi nispeten kısıtlı bir veri seti oluşturulmasına neden olmaktadır. Bu sorunun çözümü için lineer interpolasyon yöntemine başvurulmuştur. Kısaca bu yöntem, lineer polinomlar yardımıyla bilinen veri noktalarından yeni verilerin üretilebilmesine olanak sağlayan bir yöntemdir (Box ve ark., 2015). Lineer interpolasyon yöntemi ile yeni veriler oluşturulmuş ve bu sayede derin öğrenme modeli için yeterli seviyede örnek sayısına ulaşılmıştır. Daha sonra bu işlemin doğru bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol etmek amacıyla tanımsız değerler ve yinelenen satırlar aranmıştır. İşlem sonucunda elde edilen final verisinin verim parametresi dağılımı Şekil 4'te verilmiştir.

2.4. Temel Bileşenler Analizi

Temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis, PCA), veri seti boyutunu sıkıştırarak hesaplama maliyetini düşüren, bağımlı değişken kümesindeki varyansın büyük çoğunluğunu açıklayabilecek değişkenlerin seçilmesini sağlayan ve model performansını iyileştirerek daha iyi tahminleme sonuçlarının elde edilmesine yardımcı olan bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Temel bileşenlerdeki birim değişimin varyans üzerindeki açıklayıcılık dağılımı Şekil 5'te görülmektedir. Bu analiz sonucunda en yüksek açıklayıcılığa sahip beş değişken belirlenmiş ve model girdisinde bu beş temel bileşen etkili olmuştur.



Şekil 4. Verim parametresinin histogram grafiği.



Şekil 5. Temel bileşenler analizi açıklanan varyans grafiği.

3. Bulgular ve Tartışma

Veri setinde bulunan 34 değişken, PCA ile 5 temel bileşene indirilmiş ve öznelik olarak kullanılmıştır. Zaman serisi olarak geçmiş tarih uzunluğu 24 olarak seçilmiştir. Elde edilen veri setinin %60'ı eğitim, %20'si validasyon ve geriye kalan %20'si de test aşamasında kullanılmak üzere ayrılmıştır.

3.1. Model Tasarımı

Bu çalışma doğrultusunda, birisi denek model olmak üzere toplamda 5 yapay öğrenme modeli geliştirilmiş ve belirlenen metrikler üzerinden bu modellere ait kıyaslamalar yapılmıştır. Naive modelleme, XGBoost yapısı ile gerçekleştirilmiş ve bu modelin denek model olarak temel kıyaslamada kullanılması öngörülmüştür. Bunun yanı sıra, geliştirilen modeller CNN veya LSTM yapısını kullanmaktadır. Ayrıca, bu iki ağı hibrit şekilde tasarımıyla elde edilen model de eğitilmiştir. Temel kıyaslamada ise belirlenen metrik, tahminleyicinin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerleri arasındaki uzaklığın bulunmasında sıklıkla kullanılan, hatanın büyüklüğünü ölçen kuadratik bir metrik olan kök ortalama kare hata (Root Mean Square Error, RMSE)'dir. Temelde tahmin hatalarının (kalıntıların) standart sapmasına işaret etmektedir. Bunun dışında başarımlarını sağlamak ve hesaplama maliyetini azaltmak adına *Eğitimi Erken Durdurma (Early Stopping)* yöntemi kullanılmıştır. Buna ek olarak Dropout işlemi de bu doğrultuda kullanılan bir diğer yöntemdir.

3.2. Deneysel Sonuçlar

3.2.1. XGBoost yapısı

Bu yöntem, 2015 yılında Chen ve arkadaşları tarafından yapılan araştırmadaki (Chen ve ark., 2015) gradient boosting algoritmasının optimize edilmiş bir versiyonu olarak ifade edilebilir. Çok hızlı olması ve yüksek doğruluklu tahminlemelere olanak sağlaması nedeniyle çoğu tahminleme probleminde ilk başvuru yöntemlerinden birisi olarak kabul edilebilmektedir. Bu doğrultuda model, maksimum derinlik 180 olacak şekilde eğitilmiştir. Bir adım sonraki verim tahminine ait RMSE değeri 8,882 kg/dekar olarak elde edilmiştir. Bu RMSE değeri, tahminlemede kullanılan modeller arasında üretilen en yüksek değer olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2.2. Yalın LSTM modeli

LSTM ağları 1997'de Hochreiter ve Schmidhuber tarafından ortaya atılan bir tekrarlayan sinir ağı (Recurrent Neural Network, RNN) olarak tasarlanmıştır (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997). LSTM'ler, uzun vadeli bağımlılık sorununa engel olmak amacıyla geliştirilmiştir. Geleneksel RNN sinir ağlarının eğitilmesi süresince yaşanan sorunlar LSTM'de tamamen giderilmiştir. LSTM, hafıza geçişli mekanizmasının

varlığından dolayı uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilir olmasıyla zaman serisi ya da sıralı problemlerde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Ahmadi ve ark., 2019).

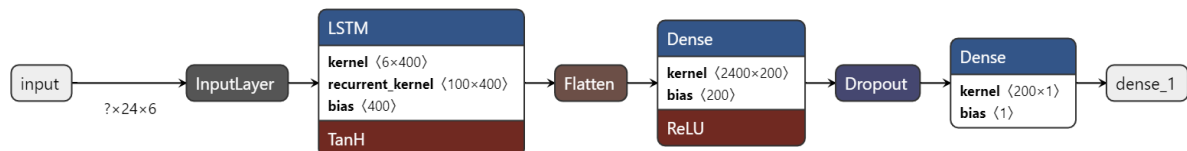
Bu çalışmada kullanılan LSTM modeli incelendiğinde, öncelikle giriş özneliklerinin LSTM katmanına verildiği söylenebilir. Daha sonra bu verilere düzleştirme katmanı uygulanarak elde edilen veriler tam bağlantılı katmana verilmiştir. Aşırı öğrenmeden kaçınmak için *Dropout* katmanı eklenmiştir. Son olarak verim tahminini ifade eden tek skaler değer için tek nörona sahip çıkış katmanı eklenmiştir. Model ayrıntıları Şekil 6'daki blok diyagram ile gösterilmiştir. Ayrıca eğitim sırasında elde edilen hata ve kayıp değerlerindeki değişime ait grafik Şekil 7'de verilmiştir. Bu grafikte, validasyon verisindeki hatanın genel anlamda eğitim verisine ait hatadan daha düşük seyrettiği görülmektedir. Modelde herhangi bir aşırı öğrenme görülmemekle birlikte, Şekil 7'den eğitim verisi üzerindeki kayıp düşüşünün validasyon verisi üzerindeki kayıp düşüşüyle paralel olduğu görülmektedir. Elde edilen RMSE skoru 4,384 kg/dekar olarak hesaplanmıştır.

3.2.3. Yığılmış LSTM modeli

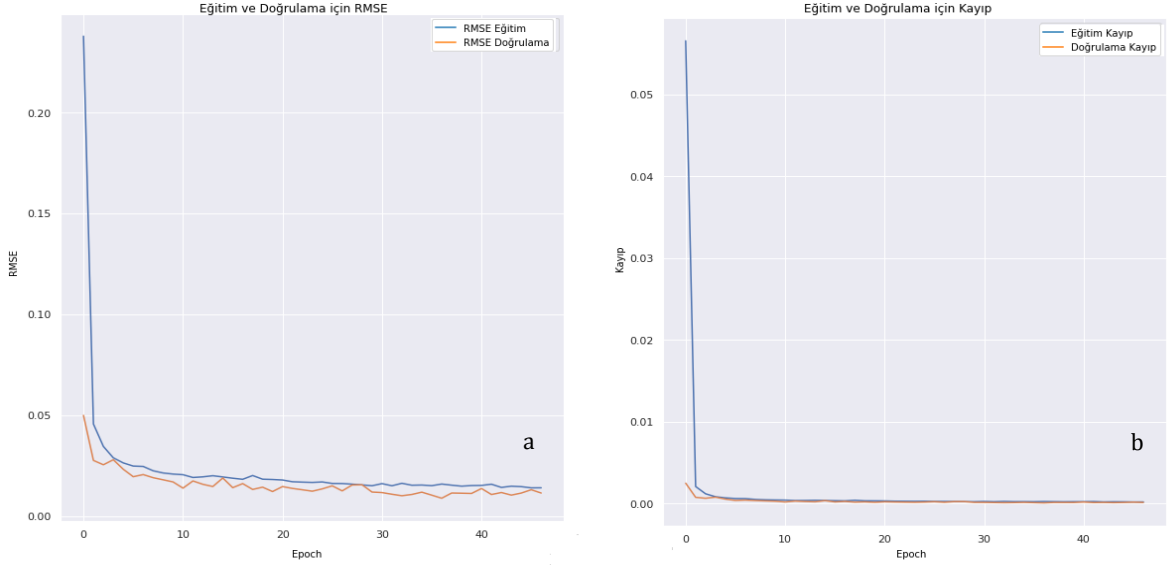
Yığılmış LSTM modelinde model, yalnız LSTM'den farklı olarak LSTM modüllerinin peşpeşe kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Model yapısı Şekil 8, hata ve kayıp grafikleri Şekil 9'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, Yığılmış LSTM modeli için de herhangi bir aşırı öğrenme durumunun söz konusu olmadığı görülebilmektedir. Modelin öğrenmesi için veri seti büyüklüğünün yeterli olduğu gözlemlenmiştir. RMSE değeri ise 2,11 kg/dekar olarak sonuçlanmıştır. RMSE değerine bakıldığında, LSTM'de modül sayısının artırılması ile hata değerinin bir önceki modele göre yarı yarıya düştüğü söylenebilir.

3.2.4. CNN modeli

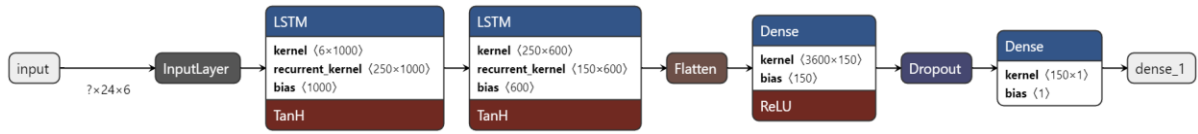
CNN modelinde, LSTM modelinde kullanılan geçmiş 24 zaman verisi girdi olarak kullanılmıştır. Model ayrıntıları Şekil 10 ile gösterilmiştir. Giriş verileri tek boyutlu konvolüsyon katmanına verilmiştir. Daha sonra LSTM modellerinde de bulunan sırasıyla düzleştirme, tam bağlantılı katman ve çıkış katmanı ile model hazır hale getirilmiştir. Eğitim sırasında erken durdurma işlemi yapıldığından tüm epochlar gerçekleştirilmeden eğitim tamamlanmıştır. Eğitime ait RMSE ve kayıp grafikleri Şekil 11 ile verilmiştir. CNN modeline ait parametre değişimleri incelendiğinde, zaman zaman doğrulama hata skoru eğitim skorunun üzerinde dalgalanmalar gösterse bile, bu durumdan aşırı öğrenme meydana geldiği sonucu çıkarılamayacaktır. CNN modeli eğitiminden sonra test verisi üzerinde elde edilen RMSE değeri 1,657 kg/dekar seviyesine gerilemiştir.



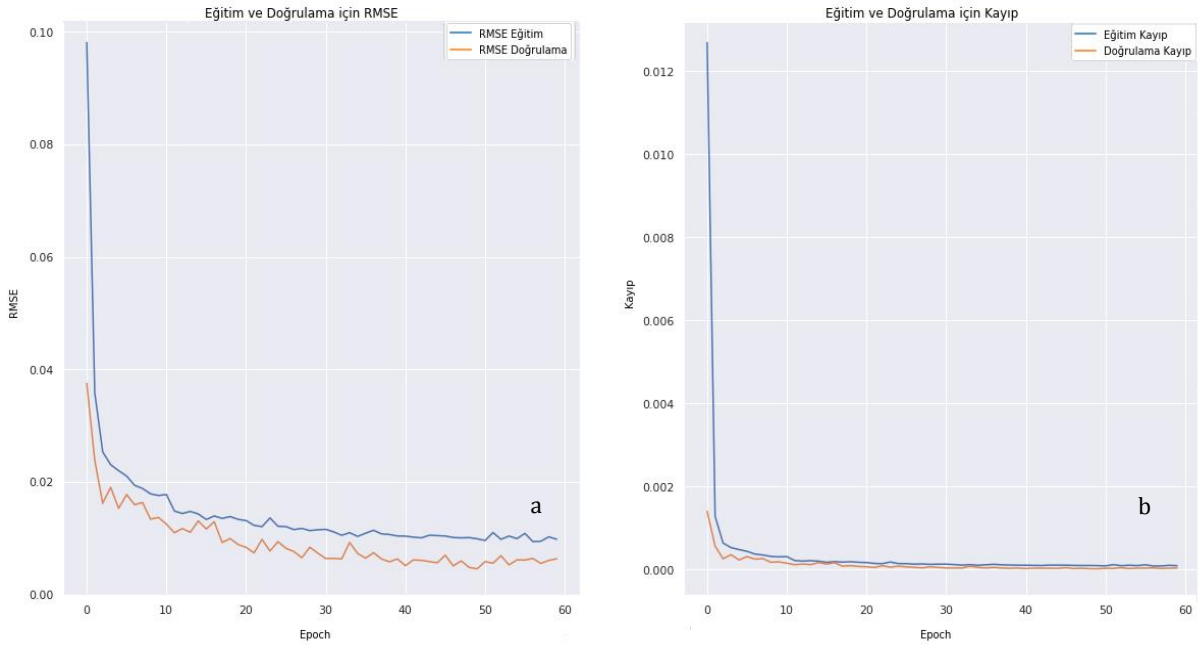
Şekil 6. Yalın LSTM yapısı.



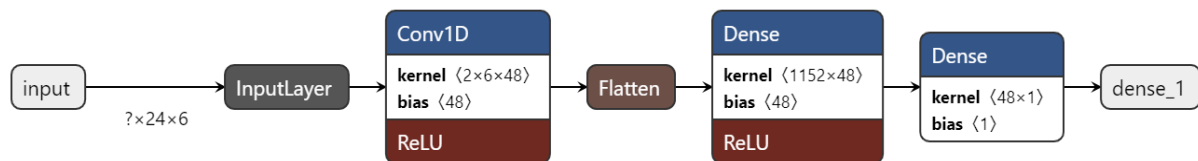
Şekil 7. Yalın LSTM modeli eğitim grafikleri (a) RMSE, (b) Kayıp.



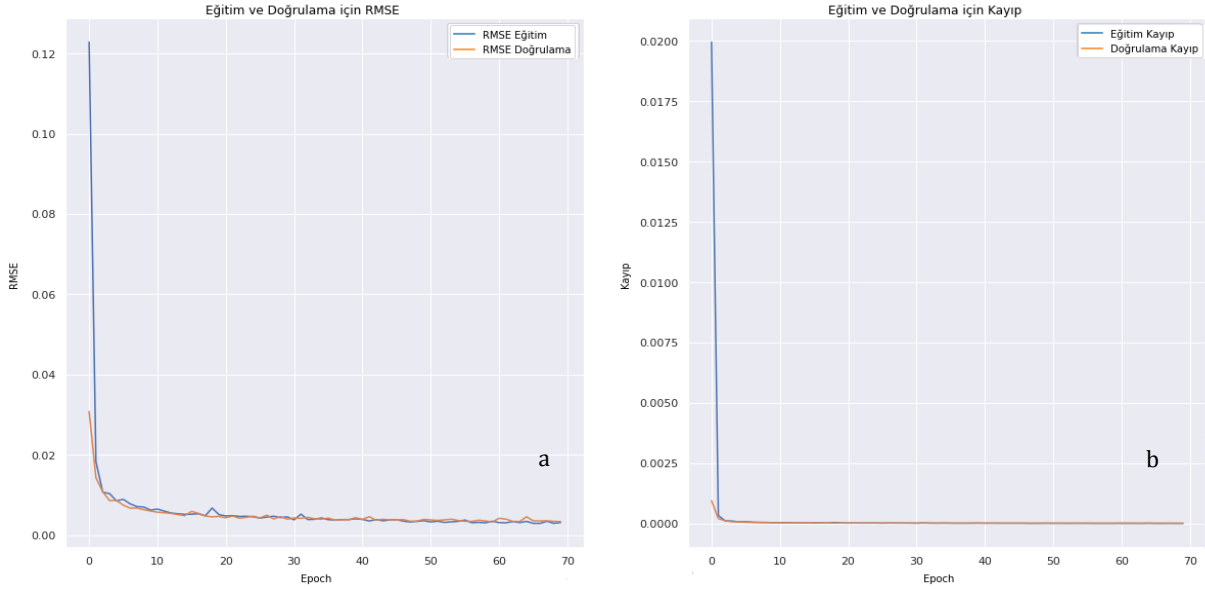
Şekil 8. Yığılmış LSTM model yapısı.



Şekil 9. Yığılmış LSTM modeli eğitim grafikleri (a) RMSE, (b) Kayıp.



Şekil 10. CNN model yapısı.

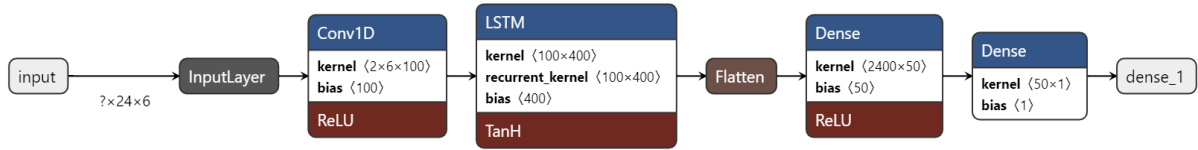


Şekil 11. CNN modeli eğitim grafikleri (a) RMSE, (b) Kayıp.

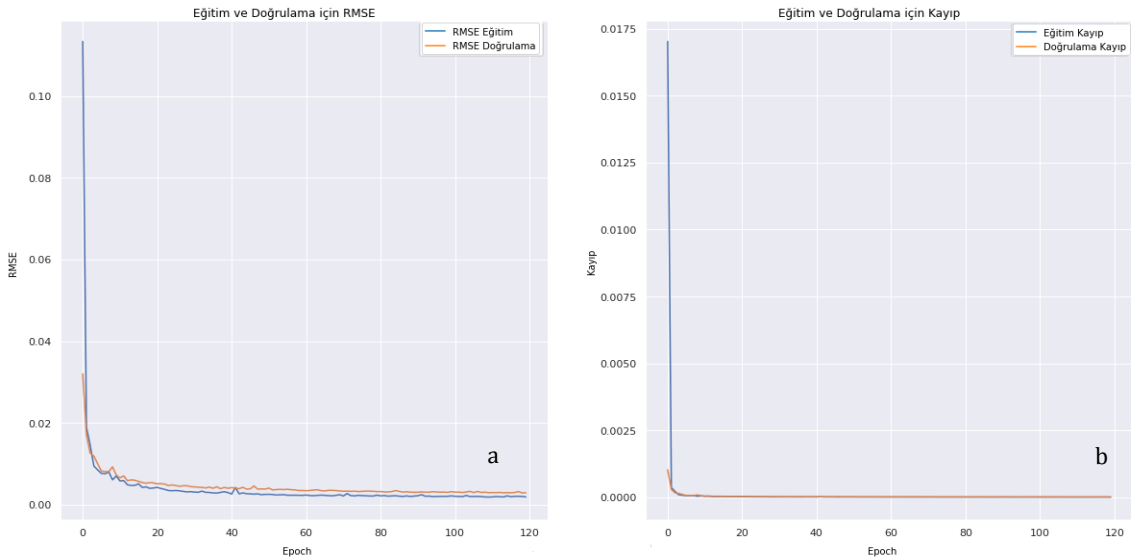
3.2.5. CNN-LSTM hibrit model

Çalışmada kullanılan son model, CNN modelindeki konvolüsyon katmanı ve LSTM katmanının sırasıyla kullanılarak hibrit edilmesiyle oluşturulan CNN-LSTM modelidir. Bu modelde, giriş verileri konvolüsyon katmanına verilmiştir ve bu katmanı LSTM katmanı takip etmiştir. Bu noktadan sonraki katmanlar CNN modeli ile benzerlik göstermektedir. Katmanlara ait parametre değerleri deneysel olarak seçilmiştir. Model ayrıntıları Şekil 12'deki blok diyagram ile verilmiştir. Ayrıca, RMSE değerinin değişim grafiği ve model eğitimi sırasındaki

kayıp değeri grafiği sırasıyla Şekil 13 (a) ve Şekil 13 (b) ile verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, doğrulama hatasının çoğu zaman eğitim hatası ile paralellik gösterdiği görülmüştür. CNN-LSTM modeli ile RMSE değeri, diğer modellerle kıyaslandığında en düşük seviyeye gerilemiştir. Modelin test verisi üzerindeki RMSE değeri 1,321 kg/dekardır. Son olarak tüm modeller ve hata değerleri karşılaştırmaları Tablo 2 ile gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en az hata değerine CNN-LSTM Hibrit modeli ile ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 12. CNN-LSTM modeli yapısı.



Şekil 13. CNN - LSTM modeli eğitim grafikleri (a) RMSE, (b) Kayıp.

Tablo 2. Kullanılan bütün modellerin RMSE performansı

Model Adı	RMSE değeri (kg/dekar)
XGBoost yapısı	8,882
Yalın LSTM model	4,384
Yığılmış LSTM model	2,11
CNN model	1,657
CNN-LSTM hibrit model	1,321

4. Sonuç

Mahsul verim tahmin çalışmalarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum, ilgili alanda çalışan kişilerin karar verme sürecini etkileyebilmektedir. Böylece, verim artımı için gerekli ön hazırlıkların sağlıklı bir şekilde yapılması sağlanabilmektedir. Literatür incelendiğinde, son zamanlarda veri tahmini amacıyla ML yöntemlerine bir eğilimin olduğu görülmektedir. Fakat fındık ürünü özelinde yapılmış DL tabanlı çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada ise, fındık verim tahmini için ML modeli, DL tabanlı yaklaşımlar ve bunlara ait hibrit modeller önerilmiştir. Modele giriş olarak fındık üretimi yapılan 5 il ve ilçelerinden elde edilen öznitelikler kullanılmıştır. Bu öznitelikler, TÜİK ve NASA Power platformu tarafından elde edilen sıcaklık, bağıl nem, yağış, rüzgar hızı, meyve veren yaştaki ağaç sayısı, alan vb. gibi 34 farklı veriden oluşmaktadır. Model eğitimi için öncelikle PCA analizi uygulanarak 34 öznitelik 5 öznitelige indirgenmiştir. XGBoost yapısı, Yalın LSTM modeli, Yığılmış LSTM modeli, CNN modeli ve CNN-LSTM hibrit modeli olmak üzere 5 farklı model kullanılmıştır. Bu modeller eğitildikten sonra test verisi üzerinde yapılan tahminler incelenmiştir. Model performans karşılaştırma işlemi, test üzerindeki RMSE değerleri üzerinden yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde, sırasıyla en iyi ve en kötü RMSE değerlerinin CNN-LSTM hibrit modeli ve XGBoost modeli ile elde edildiği görülmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	D.Y.	G.Y.	S.D.
K	30	30	40
T	25	50	25
Y			100
VTI	20	40	40
VAY	40	40	20
KT	60	20	20
YZ	60	20	20
KI	40	30	30
GR	100		
PY	50		50
FA			

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

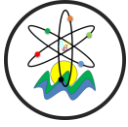
Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- Ahmadi N, Constandinou TG, Bouganis CS. 2019. Decoding hand kinematics from local field potentials using long short-term memory (LSTM) network. 9th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER), March 20-23, 2019, San Francisco, US, pp: 415-419.
- Ali I. 2010. The quest for active carbon adsorbent substitutes: inexpensive adsorbents for toxic metal ions removal from wastewater. *Separ Purificat Rev*, 39(3-4): 95-171.
- An N, Turp MT, Türkeş M, Kurnaz ML. 2020. Mid-term impact of climate change on hazelnut yield. *Agriculture*, 10: 159.
- Asar M, Yalçın S, Yücel G, Nadaroğlu Y, Erciyas H. 2007. Zirai meteoroloji. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, Türkiye, pp: 189.
- Bali N, Singla A. 2022. Emerging trends in machine learning to predict crop yield and study its influential factors: A survey. *Archives Comput Methods Eng*, 29: 95-112.
- Beyhan N, Odabaş F. 1996. İklimsel faktörlerin fındıkta verimlilik üzerine etkileri ve yetiştiricilik açısından önemi. *Ondokuz Mayıs Üniv Zir Fak Derg*, 11(1): 177-188.
- Box GE, Jenkins GM, Reinsel GC, Ljung GM. 2015. Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons, New York, US, pp: 712.
- Cedric LS, Adoni WYH, Aworka R, Zoueu JT, Mutombo FK, Krichen M, Kimpolo CLM. 2022. Crops yield prediction based on machine learning models: case of west african countries. *Smart Agri Tech*, 2: 100049.
- Chen T, He T, Benesty M, Khotilovich V, Tang Y, Cho H, Chen K, Mitchell R, Cano I, Zhou T. 2015. Xgboost: extreme gradient boosting. URL: <http://mirrors.nic.cz/R/web/packages/xgboost/xgboost.pdf> (erişim tarihi: 10 Ekim 2022).
- Cioffi R, Travaglioni M, Piscitelli G, Petrillo A, De Felice F. 2020. Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, 12(2): 492.
- Desloires J, Ienco D, Botrel A. 2023. Out-of-year corn yield prediction at field-scale using sentinel-2 satellite imagery and

- machine learning methods. Available at SSRN 4329505. DOI: 10.2139/ssrn.4329505.
- Fei S, Hassan MA, Xiao Y, Su X, Chen Z, Cheng Q, Duan F, Chen R, Ma Y. 2022. UAV-based multi-sensor data fusion and machine learning algorithm for yield prediction in wheat. *Prec Agri*, 1: 26.
- Hochreiter S, Schmidhuber J. 1997. Long short-term memory. *Neural Comput*, 9(8): 1735-1780.
- İrdem C. 2021. Türkiye fındık verimi üzerinde sıcaklık ve yağışın etkileri. *Coğrafi Bil Derg*, 19(1): 242-262.
- Kent R. 2020. Data construction and data analysis for survey research. Bloomsbury Publishing, New York, US, pp: 248.
- Kim N, Lee YW. 2016. Machine learning approaches to corn yield estimation using satellite images and climate data: a case of Iowa State. *J Korean Soc Survey Geodesy Photogrammetry Cartography*, 34(4): 383-390.
- Köksal İ. 2002. Türk fındık çeşitleri. Fındık tanıtım Grubu Yayınları, Ankara, Türkiye, pp: 136.
- Liliane TN, Charles MS. 2020. Factors affecting yield of crops. In: Amanullah Dr, editör: *Agronomy-climate change & food security*, IntechOpen, Londoni UK, pp: 9.
- Liu J, Goering C, Tian L. 2001. A neural network for setting target corn yields. *Transact ASAE*, 44(3): 705.
- Marko O, Brdar S, Panic M, Lugonja P, Crnojevic V. 2016. Soybean varieties portfolio optimisation based on yield prediction. *Comput Electron Agri*, 127: 467-474.
- Paudel D, Boogaard H, de Wit A, van der Velde M, Claverie M, Nisini L, Janssen S, Osinga S, Athanasiadis IN. 2022. Machine learning for regional crop yield forecasting in Europe. *Field Crops Res*, 276: 108377.
- Romero JR, Roncallo PF, Akkiraju PC, Ponzoni I, Echenique VC, Carballido JA. 2013. Using classification algorithms for predicting durum wheat yield in the province of Buenos Aires. *Comput Electron Agri*, 96: 173-179.
- Şimşek O, Nadaroğlu Y, Yücel G, Dokuyucu O, Gökdağ A. 2014. Türkiye fenoloji atlası. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ziraat Meteoroloji Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, pp: 104.
- Tuncer C, Özdemir İO, Kushiye R. 2019. New pest species in Turkish hazelnut orchards: *Xylosandrus germanus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), *Metcalfa pruinosa* Say (Hemiptera: Flatidae), *Croesus septentrionalis* Linnaeus (Hymenoptera: Tenthredinidae) and *Anoplophora chinensis* Forster (Coleoptera: Cerambycidae). *BSJ Agri*, 3(1): 74-81.
- Üstün NŞ, Karaosmanoğlu H. 2017. Sert kabuklu meyveler ve fonksiyonel özellikleri. *Meyve Bilimi*, 2: 142-148.
- Villanueva MB, Salenga MLM. 2018. Bitter melon crop yield prediction using machine learning algorithm. *International J Adv Comput Sci Appl*, 9: 3.
- Yadav SSP, Reddy R, Dharun D, Niveditha A, Hema N. 2021. Crop yield prediction using image processing. *Nveo-Natural Volats Essen Oils J*, 2021: 11981-11992.
- Zaman M. 2004. Geographical Distribution and Production of Hazelnut in Turkey. *Doğu Coğrafya Derg*, 9(11): 49-92.
- Zhao S, Zheng H, Chi M, Chai X, Liu Y. 2019. Rapid yield prediction in paddy fields based on 2D image modelling of rice panicles. *Comput Electron Agri*, 162: 759-766.



ÇİNKO-TRİFLAT KATALİZÖRÜ KULLANILARAK FARKLI SÜBSTİTÜYE İZOKUMARİN TÜREVLERİNİN SENTEZİ

Nesimi ULUDAĞ^{1*}

¹Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, 59030, Tekirdağ, Türkiye

Özet: Geniş bir doğal bileşik sınıfı oluşturan kumarinler, 19. yüzyıldan günümüze değin oldukça ilgi çeken ve çok sayıda pratik uygulamaya sahip olan organik bileşiklerdir. Kumarin bileşikleri, endüstride ve birçok ticari ilacın yapısında bulunan heterosiklik bileşikler olup, bu çalışmada izokumarinlerin sentezleri için farklı bir yöntem izlenerek metil 2-(feniletil) benzoat (1a-g) ve but-3-en-2-one (2)'nin çinko-triflat-katalizli tandem reaksiyonları gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yöntemde, yüksek verimli ve çevre dostu bir reaksiyon oksijensiz ortamda gerçekleştirilmiş ve yeni bir katalizör kullanılarak hedeflenen izokumarin türevleri tek basamakta sentezlenmiştir. Diğer taraftan, elektron çekici ve elektron verici yan grupların reaksiyon oluşumuna ve verimine olan etkileri de araştırılmıştır. Özet olarak bu çalışmada, paladyum(II)-katalizli yüksek oranda regioselektif but-3-en-2-one ile cascada reaksiyonu ile geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: İzokumarin, Antimikrobiyal, Lakton, İnhibitör, Biyolojik özellik, Cascada


Synthesis of Different Substituted Isocoumarin Derivatives Using Zinc Triflate Catalyst

Abstract: Coumarins, which constitute a large class of natural compounds, are organic compounds that have attracted interest since the 19th century and have numerous practical applications. Coumarin compounds are heterocyclic compounds found in industry and in the structure of many commercial drugs. In this study, zinc-triflate-catalyzed tandem reactions of methyl 2-(phenylethyl) benzoate with but-3-en-2-one were applied for the synthesis of isocoumarins by a different method. The reaction was carried out under oxygen-free conditions using a convenient and environmentally benign reaction method in high yields and synthesized the targeted isoquamarine derivatives in a single step with the help of a novel catalyst. In addition, the effect of electron-withdrawing-electron-donating side groups on the formation and percentage yield of the reaction was investigated in this study. In summary, in this study, cascada reaction with palladium (II)-catalyzed highly regioselective but-3-en-2-one was developed.

Keywords: Isocoumarin, Antimicrobial, Lactone, Inhibitor, Biological property, Cascada

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, 59030, Tekirdağ, Türkiye

E mail: nuludag@nku.edu.tr (N. ULUDAĞ)

Nesimi ULUDAĞ  <https://orcid.org/0000-0002-2819-3612>

Gönderi: 01 Mart 2023

Received: March 01, 2023

Kabul: 31 Mart 2023

Accepted: March 31, 2023

Yayınlanma: 01 Nisan 2023

Published: April 01, 2023

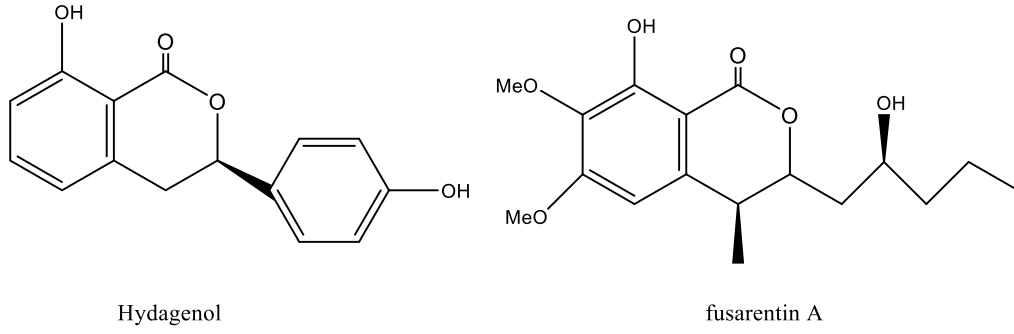
Cite as: Uludağ N. 2023. Synthesis of different substituted isocoumarin derivatives using zinc triflate catalyst. BSJ Eng Sci, 6(2): 127-131.

1. Giriş

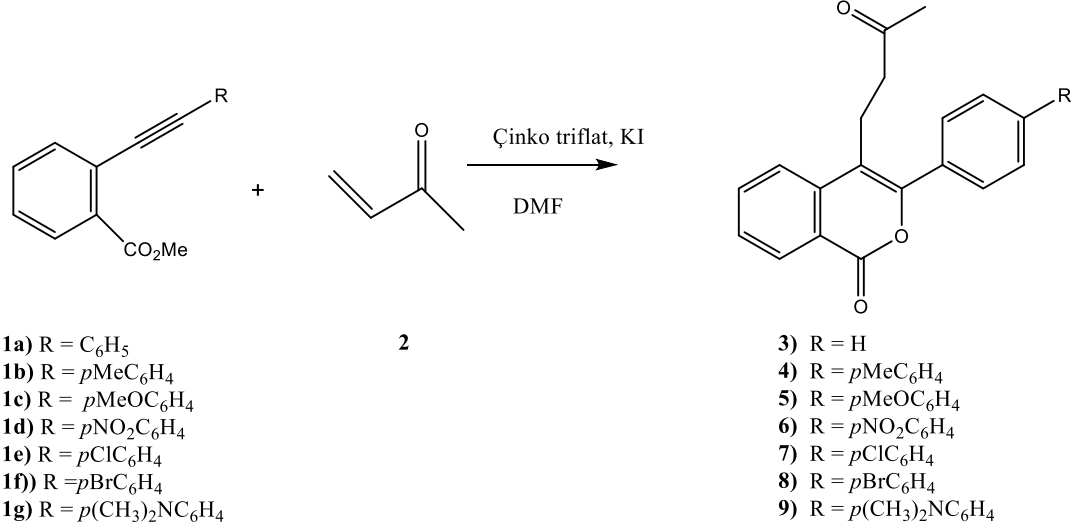
Fonksiyonel izokumarinler, önemli tıbbi özellikleri ve geniş bir biyolojik aktivite yelpazesi sergilemeleri nedeniyle, son yıllarda organik ve farmasötik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Yoshikawa ve ark., 1994; Engelmeier ve ark., 2004). Bilindiği gibi, izokumarin türevleri kanser, yangı ve mikrop önleyici ve kan basıncını düşürücü etkiler de dahil olmak üzere çok çeşitli biyolojik aktiviteler sergilemektedirler (Whyte ve ark., 1996). İzokumarinler, kanser, yangı ve mikrop önleyici ve benzeri aktiviteler dahil olmak üzere bir dizi farmakolojik özellik sergileyen doğal olarak oluşan aromatik laktonların önemli bir sınıfını oluştururlar (Pal ve ark., 2011). Örneğin, izokumarin türevi olan NM-3, insan miyolem hücrelerinin mitotik fazlarını ve apoptozunu etkileyerek kanser önleyici özellikler göstermiş (Kawano ve ark., 2007; Suman ve ark., 2018) ve antioksidan etkilerine olan ilginin devam etmesini sağlamıştır. Bu yararlı izokumarin sentezlerine rağmen, farmakolojik çalışmalar

için C-4 pozisyonunda 3-oksoetil format içeren bir izokumarin iskeletinin ve alt yapısının doğrudan inşası için yeni bir sentetik stratejinin araştırılması ayrıca önemli bir yere sahiptir. Bilinen biyolojik öneme sahip olan izokumarin örnekleri Şekil 1'de verilmiştir. Son yıllarda geçiş metali katalizli konjuge yapılarla katılma reaksiyonu, stokiyometrik miktarlarda organometalik reaktiflere ihtiyaç duymama avantajı nedeniyle, giderek daha fazla ilgi çekmektedir. Bunlar arasında paladyum en çok kullanılan geçiş metallerinden biridir ve çok sayıda örnek yaygın olarak rapor edilmiştir (Nishikata ve ark., 2003; Lin ve ark., 2010; Custar ve ark., 2010). Patir ve ark. (2009) ve Uludağ ve ark. (2018) izokumarinlerin farmasötik özelliklerinin daha önce araştırılmamış olmasından esinlenerek bu tip katalizörlerin yeni bir sentezde kullanılmasını gerçekleştirmişlerdir. Biyolojik olarak aktif bileşiklerin sentezlenmelerinin bir devamı olarak izokumarin türevleri (3- 9)'ne ulaşmak için alternatif ve farklı bir strateji geliştirmesi öngörülmüştür.





Şekil 1 Biyolojik öneme sahip olan bazı izokumarinler.



Şekil 2. Reaksiyonun sentez planı.

Ayrıca, bu yeni yöntemde paladyum (II) klorür ve potasyum iyodür katalizör olarak kullanılarak izokumarin türevlerinin sentezi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle çalışmamızda, metil 2-(feniletıl)benzoat ve türevleri (1a-g) ile but-3-en-2-one (2) reaksiyona sokulmuş ve Şekil 2'de sentez planı verilen oluşan yedi izokumarin türevi cascada reaksiyonu ile gerçekleştirilmiştir.

İzokumarinlerin çeşitli aktivitelerini göz önünde bulundurarak, bu tür bileşiklerin alkenlerin çinko katalizasyonu ile başlatılan ve konjuge enonların ilavesi ile gerçekleştirilen but-3-en-2-one çinko-triflat katalizli siklizasyonu yoluyla elde edilip edilemeyeceği bu çalışmada incelenmiştir. Çinko triflat'ın bir Lewis asidi gibi davranması ve çiftli bağa nükleofilik saldırıyı başlatması ile halkalaştığı saptanmıştır. Konjuge yapılar olan o-alkinilbenzoat ve enonların tandem siklizasyonu yoluyla çinko-triflat kompleksleri tarafından katalize edilen izokumarinlerin sentezi için literatürde sadece birkaç örnek bulunmaktadır (Zhao ve ark, 2012). Bu çalışmada ise farklı bir katalizör kullanımı yöntemi önerilmiştir. Bu sentezin planı iki aşamalı olup, birinci aşamada metil 2-(feniletıl)benzoat (1a-g) ile but-3-en-2-one (2) reaksiyona sokularak hedeflenen cascada kondenzasyonu ile izokumarin türevlerinin sentezi, ikinci aşamada ise sentezlenen bileşiklerin saflaştırılması ve spektroskopik analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de

verilen sentez planına göre farklı yan grup bileşikleri için farklı bir sentez planı uygulanmıştır. Söz konusu sentez planında, çok çeşitli süstitüye izokumarin türevlerini elde etmek için izokumarin halkasının bölge-seçici oluşumu ile çinko-triflat kullanılarak hedeflenen kumarin türevlerinin sentezi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Yan gruplar olarak elektron çekici veya elektron verici grupların reaksiyon oluşumu üzerindeki, bağlı bulunduğu halkaya olan indüktif ve rezonans etkileri incelenmiştir. Diğer taraftan, bu yöntem benzer diğer izokumarin türevlerinin sentezleri için uygulanabilecek şekilde genişletilebilir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

¹H NMR (400 MHz) ve ¹³C NMR (100 MHz) spektrumları Bruker DPX-400 MHz Yüksek Performanslı Dijital FT-NMR spektrometresinde CDCl₃ içinde uluslararası standart olarak tetrametilsilan (TMS) ile 25 °C'de kaydedilmiştir. Sentezlenen bileşiklerin FT-IR spektrumları için A Matson 10 0 0 FT-IR spektrometre cihazı ile KBr pellet tekniği uygulanmıştır. Tüm reaktifler analitik sınıfta Aldrich Chemical firmasından satın alınmıştır. Reaksiyonda kullanılan çözücüler uluslararası standartlara göre saflaştırılmıştır. Reaksiyonun kontrolü TLC (İnce Tabaka Kromatografisi) analizi ile doğrulanmıştır. Deney prosedürü aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Bileşiklerin (3-9) Hazırlanması için Genel Prosedür

Metil 2-(feniletıl)benzoat (1a-g) (0,5 g, 2,23 mmol) ve (2,3 mmol) but-3-en-2-one (2) (0,15 g), çınko-triflat (0,28 g) ve potasyum iyodür (0,34 g) karışımının her biri DMF (15 ml) içinde 4 saat boyunca azot atmosferi altında refluks edildi. Soğutulduktan sonra karışım buz/su karışımına eklendi. Elde edilen karışım etil asetat ile ekstrakte edildi. Organik katman konsantre edildi ve kolon kromatografisi ile saflaştırıldı (etil asetat). Elde edilen çözelti vakumda konsantre edildi ve çözücü uzaklaştırılıp kurutuldu ve sırasıyla 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 hedef bileşiklerini elde etmek üzere (etanol/DMF)'den kristallendirildi.

2.2. 4-(3-oxobutyl)-3-phenyl-1H-izochromen-1-one (3)

Ürün katı olarak elde edildi, yüzde verim: %79, en. 102–104 °C; IR (KBr): ν 3057, 2971, 2924, 1727, 1701, 1638, 1600, 1486, 765, 710 cm^{-1} ; ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 8,39 (d, $J=8,0$ Hz, 1H), 7,82–7,78 (m, 1H), 7,58–7,44 (m, 7H), 3,01–2,97 (m, 2H), 2,73–2,69 (m, 2H), 2,12 (s, 3H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 206,9, 162,1, 152,1, 137,2, 134,9, 133,0, 130,2, 129,6, 128,9, 128,5, 128,1, 122,9, 121,2, 112,4, 43,3, 29,8, 20,6.

$\text{C}_{19}\text{H}_{16}\text{O}_3$. Hesaplanan: C, %78,03; H, %5,50. Bulunan: C, %78,21; H, %5,38.

2.3. 4-(3-oxobutyl)-3-(p-tolyl)-1H-izochromen-1-one (4)

Ürün katı olarak elde edildi, yüzde verim: %81, en.119–120 °C; IR (KBr): ν 3031, 2991, 2918, 1714, 1711, 1621, 1511, 1104, 763, 698 cm^{-1} ; ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 8,6–8,34 (m, 1H), 7,84–7,75 (m, 1H), 7,59–7,51 (m, 2H), 7,43 (d, $J=8,2$ Hz, 2H), 7,23 (d, $J=8,2$ Hz, 2H), 3,11–2,93 (m, 2H), 2,77–2,63 (m, 2H), 2,44 (s, 3H), 2,21 (s, 3H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 208,0, 163,2, 153,2, 138,7, 136,3, 135,9, 131,1, 128,1, 128,3, 126,9, 123,8, 122,1, 111,1, 44,3, 24,9, 20,4, 20,1. MS (m/z , EI): 306 (M^+), 278, 249, 221, 178, 119, 91, 71, 65, 43 (100).

$\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{O}_3$. Hesaplanan: C, %78,40; H, %5,88. Bulunan: C, %78,37; H, %6,10.

2.4. 3-(4-metoksifenil)-4-(3-oksobütıl)-1H-izokromen-1-on (5)

Ürün katı olarak elde edildi, yüzde verim: %83, en.123–125 °C; IR (KBr): ν 3053, 2964, 2928, 2817, 1713, 1610, 1601, 1526, 1211, 1134, 1109, 846, 771, 688 cm^{-1} ; ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 8,34–8,31 (m, 1H), 7,79–7,71 (m, 1H), 7,61–7,58 (m, 2H), 7,43 (d, $J=8,4$ Hz, 2H), 7,21 (d, $J=8,4$ Hz, 2H), 3,14–2,93 (m, 2H), 2,71–2,64 (m, 2H), 2,40 (s, 3H), 2,11 (s, 3H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 208,0, 162,3, 161,5, 153,1, 138,4, 135,9, 133,4, 131,1, 126,8, 124,4, 123,8, 122,1, 112,9, 110,9, 57,3, 44,3, 26,9, 21,7;

$\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{O}_4$. Hesaplanan: C, %74,52; H, %5,63. Bulunan: C, %74,47; H, %5,69.

2.5. 3-(4-nitrophenil)-4-(3-oxobutyl)-1H-izochromen-1-one (6)

Ürün katı olarak elde edildi, yüzde verim: %67, en. 195–196 °C; IR (KBr): ν 3101, 3068, 2941, 1750, 1703, 1561, 1524, 1344, 771, 693 cm^{-1} ; ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ

8,40 (dd, $J=8,3$, 1,1 Hz, 1H), 8,2 (d, $J=8,5$ Hz, 2H), 7,81–7,79 (m, 1H), 7,76 (s, 1H), 7,71 (s, 1H), 7,68–7,62 (m, 2H), 3,12 (t, $J=8,2$ Hz, 2H), 2,73 (t, $J=8,2$ Hz, 2H), 2,13 (s, 3H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 207,3, 164,4, 143,4, 142,1, 137,1, 136,3, 134,2, 131,4, 129,1, 127,9, 124,8, 122,3, 120,4, 111,2, 44,1, 32,0, 22,4

$\text{C}_{19}\text{H}_{15}\text{NO}_5$. Hesaplanan: C, %57,65; H, %4,48. Bulunan: C, %57,58; H, %4,41.

2.6. 3-(4-klorofenil)-4-(3-oksobütıl)-1H-izokromen-1-on (7)

Ürün katı olarak elde edildi, yüzde verim: %74 en. 141–143 °C; IR (KBr): ν 3111, 2958, 1713, 1642, 1413, 1088, 771, 691 cm^{-1} ; ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 8,44–8,34 (m, 1H), 7,81–7,73 (m, 1H), 7,61–7,58 (m, 2H), 7,49–7,41 (m, 4H), 2,78 (t, $J=8,1$ Hz, 2H), 2,73 (t, $J=8,6$ Hz, 2H), 2,17 (s, 3H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 205,7, 163,9, 151,8, 136,9, 134,9, 134,0, 133,4, 131,3, 129,2, 127,8, 127,3, 124,0, 122,2, 113,8, 41,1, 28,9, 22,5.

$\text{C}_{19}\text{H}_{15}\text{ClO}_3$. Hesaplanan: C, %69,84; H, %4,63. Bulunan: C, %69,78; H, %4,57.

2.7. 3-(4-bromofenil)-4-(3-oxobutyl)-1H-izochromen-1-one (8)

Ürün katı olarak elde edildi, yüzde verim: %73, en. 147–149 °C; IR (KBr): ν 3071, 2962, 2919, 1717, 1634, 1487, 1366, 1094, 771, 697 cm^{-1} ; ^1H NMR (400 MHz, CDCl_3): δ 8,39 (d, $J=8,0$ Hz, 1H), 7,81 (t, $J=8,0$ Hz, 1H), 7,62–7,56 (m, 4H), 7,41–7,39 (m, 2H), 2,98 (t, $J=8,0$ Hz, 2H), 2,71 (t, $J=8,4$ Hz, 2H), 2,14 (d, $J=1,2$ Hz, 3H); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 206,6, 161,8, 150,9, 136,9, 135,0, 131,9, 131,8, 130,5, 130,2, 128,3, 124,0, 123,0, 121,3, 112,8, 43,1, 29,9, 20,5.

$\text{C}_{19}\text{H}_{15}\text{BrO}_3$. Hesaplanan: C, %61,47; H, %5,88. Bulunan: C, %61,59; H, %5,78.

2.8. 3-(4-(dimetilamino)fenil)-4-(3-oksobütıl)-1H-izokromen-1-on (9)

Ürün katı olarak elde edildi, yüzde verim: %92; en. 152–153 °C; R_f (Etil asetat): 0,65. IR (KBr): 3111 (C-H), 3069 (C-H), 2918(C-H), 1710 (C=O), 1703 (C=O), 1561 (C=C), 1348 (C-N), 1115 (C-O), 763, 697 cm^{-1} ; ^1H (400 MHz, CDCl_3): δ 8,28 (d, $J=8,1$ Hz, 1H, H_{Ar}), 7,81 (t, $J=8,4$ Hz, 1H, H_{Ar}), 7,63–7,56 (m, 2H, H_{Ar}), 7,41 (t, $J=8,45$ Hz, 2H, H_{Ar}), 6,83 (d, $J=8,4$ Hz, 2H, H_{Ar}), 4,117 (q, $J=7,3$ Hz, 2H, OCH_2CH_3), 3,14 and 3,11 (2s, 6H, $\text{N}(\text{CH}_3)_2$), 2,83–2,75 (m, 2H, CH_2CH_2), 2,28–2,19 (m, 2H, CH_2CH_2), 1,14 (t, $J=7,2$ Hz, 3H, OCH_2CH_3); ^{13}C NMR (100 MHz, CDCl_3): δ 209,1, 165,2, 154,7, 152,1, 141,9, 141,2, 138,4, 137,7, 134,6, 129,3, 128,4, 124,0, 123,7, 121,4, 114,2, 112,6, 64,4, 41,6, 39,1, 34,3, 21,3, 18,3.

$\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{NO}_3$. Hesaplanan: C, %75,20; H, %6,31; N, %4,18. Bulunan: C, %75,14; H, %6,39; N, %3,24.

3. Bulgular ve Tartışma

İzokumarin bileşiklerinin birçok doğal üründe ve ilaç endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle, yeni bir halkalaşma sentezinin araştırılması bu alanda literatüre katkı olarak sunulmuştur. Literatürde birçok izokumarin sentezi bulunmaktadır (Larock ve ark., 1999; Zeni ve ark., 2004; Ueura ve ark., 2007; Ueura ve ark.,

2007; Shimizu ve ark., 2009; Zhao ve ark., 2012; Chinnagolla ve ark., 2012; Ackermann ve ark., 2012; Kavala ve ark., 2012; Guo ve ark., 2013). Çinko-triflat cascada reaksiyonları, modern organik sentezde değerli araçlar olarak ortaya çıkmıştır (Uludağ, 2022). Bunun nedeni; yüksek verimlilikle tek basamaklı sentez işleminde basit başlangıç malzemeleriyle iyi tanımlanmış karmaşık sentetik hedeflerin oluşturulmasına yardımcı olmalarıdır. Bu amaçla literatüre farklı bir bakış açısı kazandırmak için, izokumarin sentezindeki halkalaşma reaksiyonunun oluşması için KI varlığında çinko-triflat tuzlarının katalizi ile (1a-g) ve but-3-en-2-one (2) reaksiyonları gerçekleştirilip incelenmiştir.

Bu çalışmadaki ilk aşamada, reaksiyonun optimize edilmesi için ilk denememizi metil 2-(feniletıl)benzoate (1a) ile but-3-en-2-one (2) tepkimeye sokularak belirlenmiş koşullarda söz konusu dönüşümün kapsamı araştırılmıştır. Deneysel bölümde gösterildiği gibi, optimum koşullar çeşitli but-3-en-2-one (2) için başarıyla uygulanmış ve karşılık gelen ürünler ile mükemmel verimlerde oluşturulmuştur. Elektron çeken ve elektron veren gruplara karşı reaksiyona etkisi araştırıldığında, test edilen (1a-g), but-3-en-2-one (2) ve çinko-triflat katalizörü varlığında mükemmel verimlerde elektron verici grupların reaksiyonu sonucu oluşan ürünleri (4,5,7,8,9) elde etmek için sorunsuz bir şekilde halkalaşma tepkimesi ile hedeflenen bileşiklerin sentezlendiği, ancak -NO₂ grubunun halkada elektron çekici özelliğinden dolayı elektron vericilere göre reaksiyon veriminin biraz daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, halo-sübstitüye benzoatlar prostenen iyi bir şekilde geçmiş ve sırasıyla %74 ve %73 verimle istenen ürünler olan 7 ve 8'e dönüştürülmüştür. İlginç bir şekilde, başka bir aril sübstitüye amin de iyi bir verimle (%93) beklenen izokumarin ürününe dönüştürülmüştür.

Daha sonra, izokumarin sentezi için metkosi (5) ve metil (4) grubu içeren bileşikler elde edilmiştir. Alkil sübstitüye ve metoksi sübstitüye bu dönüşüm için uygun substratlar olarak bulunmuş ve yüksek verimlilikle (%81 ve %83) istenilen ürünlere dönüştürülmüşlerdir. Diğer izokumarin verimleri için de elde edilen sonuçlar deneysel bölümde verilmiştir. Bu çalışmada, literatürde mevcut olmayan farklı bir yöntem kullanılarak ilk kez izokumarin sentezlenmiş ve daha sonra da farklı yan gruplar (3-9) içeren izokumarin türevlerinin sentezleri gerçekleştirilmiştir. Bu dönüşümün dikkate değer özellikleri arasında kolayca bulunabilen malzemelerin kullanımı, aktive edilmemiş alkenler ve iyi fonksiyonel grup toleransı söz konusudur. Bu protokolün doğal ürün sentezinde yer alabileceği ve tıbbi kimyada potansiyel uygulamalarının olabileceği düşünülmektedir. Sentezlenen bileşiklerin oluştuğu ¹H NMR, ¹³C NMR, IR ve element analizleri ile kanıtlanmıştır.

4. Sonuç

Özet olarak bu çalışmada, paladyum(II)-katalizli yüksek oranda regioselektif but-3-en-2-one ile cascada

reaksiyonu geliştirilmiştir. Bu metod ile yeni izokumarin türevleri (3-9) yeni bir yöntem kullanılarak ilk kez sentezlenip incelenmiştir. Bu reaksiyonun en büyük avantajı, iyi bir bölge seçiciliğine sahip olması ve sadece üç üyeli halka bileşik olan laktonların sentezini oluşturmasıdır. Bununla bağlantılı olarak izokumarin ve türevlerinin tıbbi önemleri nedeniyle, bu tür uygulamalar gelecekteki araştırmalarda kullanılabilirlerdir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	N.U.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Kimya Bölümü, Organik Kimya Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmış olup, mevcut olanakları sağlayan Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

Kaynaklar

- Ackermann L, Pospech J, Graczyk K, Rauch K. 2012. Versatile synthesis of isocoumarins and α -pyrones by ruthenium-catalyzed oxidative C-H/O-H bond cleavages. *Org Lett*, 14: 930-933.
- Chinnagolla RK, Jeganmohan M. 2012. Regioselective synthesis of isocoumarins by ruthenium-catalyzed aerobic oxidative cyclization of aromatic acids with alkynes. *Chem Commun*, 48: 2030-2032.
- Custar DW, Le H, Morken JP. 2010. Pd-catalyzed carbonylative conjugate addition of dialkylzinc reagents to unsaturated carbonyls. *Org Lett*, 12: 3760-3763.
- Engelmeier D, Hadacek F, Hofer O, Lutz-Kutschera G, Lutz-Kutschera M, Nagl M, Wurz G, Greger, H. 2004. Antifungal 3-Butylisocoumarins from Asteraceae-Anthemideae. *J Nat Prod*, 67: 19-25.
- Guo XX. 2013. Synthesis of isocoumarin derivatives by copper-catalyzed addition of o-halobenzoic acids to active internal alkynes. *J Org Chem*, 78: 1660-1664.
- Kavala V, Wang CC, Barange DK, Kuo CW, Lei PM, Yao CF. 2012. Synthesis of isocoumarin derivatives via the copper-catalyzed

- tandem sequential cyclization of 2- halo-n-phenyl benzamides and acyclic 1,3-diketones. *J Org Chem*, 77: 5022-5029.
- Kawano T, Agata N, Kharbanda S, Avigan D, Kufe D. 2007. A novel isocoumarin derivative induces mitotic phase arrest and apoptosis of human multiple myeloma cells, *Cancer Chemother Pharmacol*, 59: 329-335.
- Larock RC, Doty MJ, Han X. 1999. Synthesis of isocoumarins and α -pyrones via palladium-catalyzed annulation of internal alkynes. *J Org Chem*, 64: 8770-8779.
- Lin S, Lu X. 2010. Cationic Pd(II)/bipyridine-catalyzed conjugate addition of arylboronic acids to β,β -disubstituted enones: Construction of quaternary carbon centers. *Org Lett*, 12: 2536-2539.
- Nishikata T, Yamamoto Y, Miyuara N. 2003. Conjugate addition of Aryl boronic acids to enones catalyzed by cationic palladium(ii)-phosphane complexes. *Angew Chem Int*, 42: 2768-2770.
- Pal S, Chatare V, Pal M. 2011. Isocoumarin and its derivatives: an overview on their synthesis and applications. *Curr Org Chem*, 15: 782-800.
- Patır S, Uludağ N. 2009. A novel synthetic route for the total synthesis of (\pm)-uleine. *Tetrahedron*, 65: 115-118.
- Shimizu M, Hirano K, Satoh T, Miura, M. 2009. Waste-free synthesis of condensed heterocyclic compounds by rhodium-catalyzed oxidative coupling of substituted arene or heteroarene carboxylic acids with alkynes *J Org Chem*, 74: 3478-3483.
- Suman K, Rao KP, Anuradha V, Rao MVB, Pal M. 2018. Ultrasound assisted synthesis of 3,4-diyne substituted isocoumarin derivatives: identification of potential cytotoxic agents, *Mini-Rev Med Chem*, 18: 1064-1070.
- Ueura K, Satoh T, Miura M. 2007. Rhodium- and iridium-catalyzed oxidative coupling of benzoic acids with alkynes via regioselective C-H bond cleavage. *Org Chem*, 72: 5362-5367.
- Ueura T, Satoh T, Miura M. 2007. An efficient waste-free oxidative coupling via regioselective C-H bond cleavage: Rh/Cu-catalyzed reaction of benzoic acids with alkynes and acrylates under A. *Org Lett*, 9: 1407-1407.
- Uludag N, Serdaroğlu G. 2018. An improved synthesis, spectroscopic (FT-IR, NMR) study and DFT computational analysis (IR, NMR, UV-Vis, MEP diagrams, NBO, NLO, FMO) of the 1,5-methanoazocino[4,3-b]indole core structure. *J Mol Strct*, 1155: 548-560.
- Uludag N. 2022. A simple and efficient acylation reaction over zinc triflate as a new catalyst *Eur J Sci Technol*, 35: 295-298.
- Whyte AC, Gloer JB, Scott JA, Mallock D. 1996. Cercophorins A-C: novel antifungal and cytotoxic metabolites from the coprophilous fungus *cercophora areolata*. *J Nat Prod*, 59: 765-769.
- Yoshikawa M, Harada E, Naitoh Y, Inoue K, Matsuda H, Yamahara, HJ, Murakami N. 1994. Development of bioactive functions in *hydrangeae dulcis folium*. III. On the antiallergic and antimicrobial principles of *hydrangeae dulcis folium*. (1). Thunberginols A, B, and F. *Chem Pharm Bull*, 42: 2225-2230.
- Zeni G, Larock RC. 2004. Synthesis of heterocycles via palladium π -olefin and π -alkyne. *Chemistry Chem Rev*, 104: 2285-2310.
- Zhao P, Chen D, Song G, Han K, Li X. 2012. Palladium-catalyzed cascade cyclization-oxidative olefination of tert-butyl 2-alkynylbenzoates. *J Org Chem*, 77: 1579-1584.



GESTALT İLKELERİ BAĞLAMINDA DÖRT BAHÇE SİSTEMİ YAPILARININ ANALİZİ (TAÇ MAHAL ÖRNEĞİ)

Ümit AKAR^{1*}, Parisa DORAJ¹

¹Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, 25000, Erzurum, Türkiye

Özet: Gestalt teorisi, önce bir konunun bütünlüğünün anlaşıldığını ve sonra bileşenlerinin tanımlandığını savunur. Buradan yola çıkarak böyle bir algının görsel ilkeleri ve kuralları tanımlanabilir. Bu kavramda, tarihi bahçeleri Gestalt teorisiyle analiz etmenin mümkün olup olmadığı sorusu ortaya çıkmaktadır. Gestalt teorisinin ortaya çıkışından itibaren ve yıllar geçmesine rağmen, bu teorinin her zaman kullanıldığı ve peyzaj mimarlığı alanında kullanılabileceğini göstermektedir. Bu mantığı kanıtlamak için önce Gestalt teorisi ile Taç Mahal örneği üzerinden İran geleneksel dört bahçe sistemi incelenmiştir. Bu doğrultuda Gestalt teorisinin kavramlarının yardımıyla, İran'ın dört bahçe peyzaj mimarlığında bazı yönleri yeniden değerlendirilmiştir. Yöntem olarak Gestalt ilkelerinden yakınlık, süreklilik, kapatma, benzerlik ve iyi form kavramları ele alınarak belirtilmiş Taç Mahal bahçesinde incelenmiştir. Ayrıca Gestalt teorisinin içerdiği özellikler, algısal bir etken olarak İran bahçe tasarımını nasıl etkilediği ortaya çıkarılmıştır. Taç Mahal kompleksi bütünden parçaya doğru her tasarım aşamasında var olan çevresi ile bir bütünlük sağlamıştır. Bu bakımdan şekil ve zemin ilişkisi süslemelerden, yer döşemelerine kadar aynı kavramdan tasarlanıp yapılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada Gestalt teorisiyle peyzaj mimari ilişkisi ele alınarak, Taç Mahal yapısı üzerine incelemeler yapılmış, Gestalt kurgusunun bu tarz alanların tasarımında etken bir kavram olduğu tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Algı, Gestalt teorisi, Peyzaj mimarlığı, İran bahçesi


Analysis of Four Garden System Structures in the Context of Gestalt Principles (The Case of Taj Mahal)


Abstract: Gestalt theory argues that first the integrity of a subject is understood and then its components are recognized. From this point of view, the visual principles and rules of such a perception can be defined. In this concept, the question arises whether it is possible to analyze historical gardens with Gestalt theory. It shows that since the emergence of Gestalt theory and years have passed, this theory has always been used and can be used in the field of landscape architecture. In order to prove this logic, first of all, the Iranian traditional four garden systems were examined through the Gestalt theory and the Taj Mahal example. In this direction, with the help of the concepts of Gestalt theory, some aspects of Iran's four gardens landscape architecture were reevaluated. As a method, the concepts of proximity, continuity, closure, similarity and good form, which are among the Gestalt principles, were discussed and examined in the Taj Mahal garden. In addition, the features of the Gestalt theory and how it affects the Iranian garden design as a perceptual factor have been revealed. In this respect, the relationship between shape and ground is designed and made from the same concept, from decorations to floor coverings. In conclusion, in this study, the relationship between Gestalt theory and landscape architecture has been examined, the structure of the Taj Mahal has been examined, and it has been discussed that Gestalt fiction is an effective concept in the design of such areas.

Keywords: Perception, Gestalt theory, Landscape architecture, Iranian garden

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, 25000, Erzurum, Türkiye

E mail: o.eskandani@atauni.edu.tr (Ü. AKAR)

Ümit AKAR  <https://orcid.org/0000-0002-0218-4187>

Parisa DORAJ  <https://orcid.org/0000-0001-5954-0173>

Gönderi: 26 Ocak 2023

Kabul: 28 Mart 2023

Yayınlanma: 01 Nisan 2023

Received: January 26, 2023

Accepted: March 28, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Akar Ü, Doraj P. 2023. Analysis of four garden system structures in the context of Gestalt principles (The case of Taj Mahal). BSJ Eng Sci, 6(2): 132-142.

1. Giriş

İnsan çevresinden bilgi edinme sürecinde algılardan etkilenmektedir. Algılama, biliş ve gerçekliğin bulunduğu noktadır. Algı hakkında genellikle iki teoriden bahsedilebilir. İlk teori, duyuşal deneyimin algılanması, duyuşal verilerin nasıl saklandığı ve beyindeki korunan algılama birimleri ile ilgilenir ve ikincisi, aktif ve ilişkili sistemler olarak duyulara dayanır. Gestalt ilkeleri 20. yüzyılın ortalarında ortaya çıkan bir kavramdır. Almanca şekil ve form anlamına gelen Gestalt, algısal örgütlenme ve algı bütünlüğü kavramlarını açıklamaktadır. Ayrıca kalıp, gövde ve yapı, şekil veya desen olarak İngilizceye

çevrilmiştir. Gestalt okulu, deneysel yöntemeye dayanan ilk Alman psikoloji akımıdır. Gestalt terimiyle biçimlerin görsel algı etkisi ve insan davranışlarıyla ilgisini tanımlamak mümkündür (Bregman, 1994). Geleneksel yapıların toplumların ihtiyaçları ve yöresel sorunları göz önünde bulundurarak, genelde insan ve çevre davranışları ile tasarımsal çözümler üretilmiştir (İsmailoğlu ve Kulak Torun, 2022).

Gestalt psikolojisi bir nesnenin şekil ile bağlamı ayrıca algısal süreçlerin arasındaki karşılıklı ilişkiyi vurgular. Başka deyişle Gestalt, algı ve zihinsel süreçleri bileşenlere veya zihinsel içeriklere bölerek incelemeyi



amaçlayan bir tepkidir (Akkurt, 2019). Parçadan bütüne veya tümevarım yönteminde, genel görüntü detaylı bilgiler aracılığıyla alınır ve tüm mesaj bir dizi bileşen olarak kabul edilir. Gestalt teorisinde önce bir konunun bütünü anlaşılır (tümdengelim) ve sonra bileşenleri tanımlanır. Dolayısıyla bu yönüyle Gestalt tümevarım yönteminin tam karşı noktasında yer almaktadır (Bradley, 2021).

Gestalt algı sürecine dayalı olarak mimari çalışmaların ve çevresindeki peyzajın oranları analiz edilmektedir. Aslında şekil ve zemin ilişkisi ve morfolojik tasarım akımı bu doğrultuda ortaya çıkmıştır. Mimaride özellikle 1990'lerden itibaren çağdaş peyzaj ve çevre tasarım akımlarında, Gestalt kurgusunun etkin olması ve yapay ya da doğal ortamların inşasında biçimsel şemaların üretimindeki yeri bakımından önemlidir (Günay, 2007). Bu yaklaşımların mimaride etkin kullanımı, önümüzdeki yıllarda mimari ufuklarını ve bunların doğal çevre ile olan ilişkilerine yönelik algıları temelden değiştirebilir (Kulak Torun ve İsmailoğlu, 2022). Ayrıca bu mantıyla eski yapılar ele alınarak bu teorinin bir içsel algı olduğu ve insan oğlunun mekan tasarım anlayışında önemli etken olduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada eski kavramlardan İran geleneksel dört bahçe mantığıyla tasarlanan Taç Mahal mezar- bahçesini baz alınmış ve Gestalt ilkeleriyle ilişkisi incelenmiştir. Taç Mahal dünya harikalar listesinde yer almış, hem mimari ve hem peyzaj tasarımı ile önemli bir değere sahip yapı türüdür. Ayrıca konum ve işlevinden dolayı önemli bir değere sahiptir. Bu sebepten dolayı çalışmada bu tarz eski yapıların Gestalt teorisiyle ele alınmış, görsel algı ve bütüncül davranışlarla değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda Gestalt ilkeleri tanımlanmış ve Taç Mahal bahçesi ve yapılarında bağlantısı incelenmiştir.

2. Gestalt Algı Kuramı

Almanca'da Gestalt, düşünce veya organizasyon anlamına gelir. İngilizce'de, biçim, yapı, şekil veya kalıp olarak çevrilmiş ve deney yöntemine dayanan ilk Alman psikoloji ekolüdür. Max Wertheimer, Kurt Koffka ve Wolfgang Köhler 1910'ların başında Gestalt ekolünün öncüleridir (Henle, 1978). Bu filozoflar her psikolojik olguyu bölünmez bir bütün olarak görürler ve psikolojik deneyimlerin duyuşal unsurlardan kaynaklanmasına rağmen, unsurların bütünden farklı olduğuna inanıyorlar. Gestalt psikolojisini anlamak, Gestalt ve alan arasında adlandırılabilir temel kavramları anlamaktan geçmektedir (Koffka, 1999). Bu yaklaşımın temel vurgusu, psikolojik gerçeklerin ilgisiz statik parçacıklardan oluşmadığı ve bu nedenle çalışmaların bütüncül bir yaklaşım gerektirdiğidir. Algılama, zihindeki anlamlı kavramlarla sırayla birbirine bağlanan öğelerin örgütlenmemiş bir kombinasyonu değildir. Aksine, algı bir yapıdan (configuration) veya bir Gestalttan oluşan tutarlı bir bütün olarak görülmektedir (Koç ve Bulut, 2014).

Gestalt psikologları, çizgilerin, yüzeylerin, hacimlerin veya kütlelerin algılanmasında doğrudan ve aracsız bir

dışavurumcu kimlik deneyimi olduğu hipotezini ileri sürerler. Bu psikologlara göre, deneyimler zihinsel ilişkinin sonucu değil, biyolojik süreçlerin sonucudur. Algılamanın, zihinde anlamlı kavramlarla sırayla birbirine bağlı unsurların organize olmayan bir bileşimi olmadığına, daha ziyade bir yapıdan veya bir Gestalttan oluşan tutarlı bir bütün algısı olduğunu ifade etmektedirler. Gestalt, nesnelere yan yana yerleştirilme şeklini temsil emektedir. Gestalt maddi, psikolojik veya kurumsal özelliklere sahip bir bütündür. Gestalt teorisi, beynin algısal süreçlerini inceler ve bütüncül zihnin pratik ilkesinin paralel olduğunu ve doğası gereği kendi kendine organize olduğunu belirtmektedir (Dondero, 2020).

Bir küme veya yapının algılanmasında, tek tek bileşenler değil, tüm yapı etkilidir. Gestalt teorisinin ana fikri, genel motiflerin kendi kurucu unsurlarına göre öncelik kazanması ve bu unsurların kendisinde var olmayan özelliklere sahip olmasıdır. Bu konu, bütünün parçaların toplamından daha fazlasını ifade etmesi ile özetlenebilir (Mungan, 2020). Genel olarak, Gestalt okulu, algısal deneyimlerin sanatsal yönüne diğer psikoloji okullarından daha fazla önem vermiştir (Schulz, 1980). Bu okulun teorisyenleri, görsel kalıpların anlamının görsel algılanması ve insan organizmasının görme ve görselleştirmede nasıl çalıştığı üzerine yaptıkları araştırmalardan değerli sonuçlar çıkarmışlardır. Gestalt teorisi, çevre tasarımcılarının özellikle 20. yüzyılda mimarların fikirleri üzerine de en büyük etkiye sahip olmuştur. Bu teorinin deneysel gözlemleri, çevrenin tasarımında, çevreyi düzenlemenin çeşitli yöntemlerinde ve mimarinin estetik ve mekansal birliği gibi durumlarda hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda Gestalt teorisi, etkileşim ve ekolojiye dayalı teoriler tarafından sorgulanmaktadır. Gestalt görsel organizasyon ilkeleri, algının temeli olamasa da çevreyi düzenlemenin bir yolu olarak düşünülebilmektedir (Lang, 1998). Gestalt teorisinin temelleri, birbirini tamamlayan altı temel ilkeye dayanmaktadır. Bu ilkeler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

Yakınlık ilkesi, bu ilke birbirine yakın bulunan nesnelere birbirleriyle ilişkili, yani bir gruba ait veya daha büyük bir bütünün parçaları olarak algılanacağı fikrini açıklamaktadır. Ancak kısmen görünen gruplar ve bireysel nesnelere arasındaki mesafe farkına bağlıdır. nesnelere arasındaki mesafe ne kadar kısa olursa, grup o kadar kararlı olur. Benzerlik ilkesi, insan zihni benzer parçalar arasındaki ilişkiyi bir bütün içinde görme ve onları bir grup olarak algılama eğilimindedir. Parçalar renk, şekil veya boyuta göre gruplandırılabilir. Tamamlama ilkesi (Kapatma), bütün bir kompozisyonda birbirine gerçekten bağlı olmayan nesne grupları arasında görsel bir bağlantı veya süreklilik algısı ile ortaya çıkmaktadır. Bu ilke, görsel bilgilerin bir kısmı eksik olsa bile tam olarak görme eğiliminde olduğumuzda kendini göstermektedir. Süreklilik ilkesi, aynı yolu izleyen birimler birbirleriyle görsel olarak algılanmaktadır. Belirli bir düzen ve süreklilik gerektiren

öğrenme yaşantıları, algıdaki bütünlük kavramı ile süreklilik ilkesi bağlantılı olduğu için daha kalıcı bir şekilde algılanmaktadır. Şekil-zemin ilişkisi, bu ilke, izleyicinin neyin görüldüğünü bilmesi için gözün figürleri arka planlarından ayırma eğilimini tanımlamaktadır. İnsanlar herhangi bir kompozisyona baktığında ortaya çıkan ilk şeyler şekildir. İyi Gestalt ilkesi (prägnanz ya özlülük), insan zihninin nesnelere karmaşıklığı ve alışılmamışlığı ortadan kaldıracak şekilde en basit biçimde algılama eğiliminde olduğunu belirten iyi gestalt yasasıdır. Bu ilke, özlülük kavramını vurgular ve aynı zamanda prägnanz yasası olarak da bilinmektedir. Prägnanz, Almanca'da özlülük anlamına gelen ve kısalık, özlülük ve düzenlilik fikirlerini ifade eden bir terimdir. Literatürde Gestalt teorisini ve peyzaj mimarlığı ile ilgili bazı araştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda Yılmaz ve diğerleri (2019) tarafından yapılan araştırmada estetik deneyimi ve peyzaj estetiği ile ilgili tasarımcının nasıl yönlendirileceği tartışılmıştır. Mekanın ölçüsü, formları, dokusu ve renginin görsel kaliteyi etkilediği belirtilmiştir. Benzer şekilde Turgut (2012) tarafından yapılan araştırmada su elemanları, bitkisel tasarımlar, otopark ve tören alanları incelenmiştir. Araştırma sonucunda kentsel alan çalışmalarında kentin bir bütün olarak ele alınması gerektiği, standart bir formun yakalanması gerektiği, kullanıcıların estetik algılarına uygun

tasarımların önemli olduğu belirlenmiştir. Çınar ve Atakan (2007) Zen Bahçeleri (Ryoan-ji örneği) ile ilgili yaptığı araştırmada, Zen Bahçelerinin en önemli öğelerinin kum, kaya ve çakıl olduğu, bu maddelerin ise Gestalt teorisine göre yerleştirildiği, kayaların dağ ve gökyüzü gibi çeşitli unsurları yansıttığı, en önemli özellik olarak ise kişinin kendini bulmasına katkı sağladığı belirlenmiştir. Gestalt teorisinin temel ilkeleri dikkate alındığında, form, tek düzeylik ve zemin ilişkisi, sanatçılar ve mimarlar için üç temel kavram olarak kabul edilmektedir. Gestalt psikologları, çevrenin bileşenlerini nasıl alacakları konusunda faydalı bilgilere sahip oldukları için, çevresel tasarım teorilerinde altı hususun kullanıldığı form algısını etkileyen faktörleri formüle etmişlerdir. Konformasyon süreci, çizgilerin birleşimi, yüzeylerin ve nesnelere dinamik bir kombinasyondur. Öyle ki hareket, canlılık, süreklilik ve ağırlık ve diğer fiziksel deneyimler algısal konularla karşılaştırılabilmektedir. Bu ise sanat ve mimaride Gestalt teorisinin temeli sayılmakta ve özellikle Kübist sanatın normatif teorilerinde ve modern hareketin mimarlarında görülmektedir (Jackson ve Lockhart, 2006). Temel Gestalt ilkelerini benzerlik, bağımlılık ve şekil-zemin ilişkisi ve genel denklem oranına göre aşağıdaki (Tablo 1) gibi ayrılmaktadır (Grütter, 1987).

Tablo 1. Gestalt teorisinin görsel kavramları (Grütter, 1987)

Kavram	Açıklama
İyi Form (Prägnanz)	İyi form ilkesi, insanın psikolojik organizasyonunun eğiliminden ve mükemmelleştirilmiş biçimden türetilmiştir. Eksik formlar veya bir formun parçaları, bilinen eksiklikleri uyarlayarak veya bilinen formlara yaklaşarak biçimsel eksiklerini tamamlamaya eğilimindedir.
Yakınlık	Mekan organizasyonunun en basit halidir. Birbirine yakın nesnelere görsel olarak gruplanma eğilimindedir. Farklı konumlarda ve birbirlerinden uzak olsalar da bir grup olarak algılanmaktadır.
Benzerlik	Şekil öğeleri, boyut, doku, renk vb. bakımından eşit niteliklere sahipse birbirine benzer unsurlar olarak algılanmaktadır.
Bağımlılık	Görsel birimlerin bir bütün olarak oluştuğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, kapalı bir yüzey, açık yüzeyden daha belirgin bir form olarak algılanmaktadır.
Süreklilik	İnsan gözünün bir nesneyi izlemeye başladığında, başka bir nesneye karşılaşana kadar bu yönü takip etmeye devam edeceğini belirtir. Göz belirli bir yönde hareket ettiğinde, dikkat çekici bir şey gözlemleyene kadar hareketi o yönde tutacaktır.
Kapatma	Beynin potansiyel bir kalıbın parçası olduğu düşünülen eksik detayları sağlamasını veya bir kez kapanma sağlandığında, bir kalıp eşleşmesi oluşturmak için gereksiz detayların ortadan kaldırılmasını içermektedir.

3. Materyal ve Yöntem

Gestalt yeni kavram olmasına rağmen, ilkelerini geleneksel mimari tasarımlarında görmek mümkündür. İran dört bahçe tasarımlarında Gestalt mantığı kullanılmış ve bu doğrultuda analizler yapılmıştır (Doraj ve ark., 2022). Gestalt ilkeleri farklı yöntemlerle tasarımlarda kullanılmakta, özellikle günümüz morfolojik akımın oluşumunda etken faktörler arasında sayılmaktadır. Bu bakımdan Gestalt ilkelerinin, geleneksel tasarım mantığında da kullanıldığı ve günümüzde bunların analiz edilebilmesi mümkündür. Gestalt mantığı doğrultusunda Taç Mahal mezar- bahçesi,

İran dört bahçe tasarım kavramını tanımlayan, kendine ait tarz ve üslup oluşturması bakımından araştırmanın konusu olarak belirlenmiştir. İran bahçelerinde ana bina genellikle bahçenin ortasında veya ana eksenin uç noktasında inşa edilmektedir. Bahçenin önemli bir kısmında meyve ağaçları, merkezi alanda havuz ve onun dört hizasında su eksenleri, simetri ve dikdörtgen bahçe ve alanlar bulunmaktadır. Bahçe ortasında ve alan boyuca devam eden eksen, bahçenin ana unsuru olup, mekanı işlevsel hale getiren ve manzarayı biçimlendiren bir özelliğe sahiptir. Görme bakımından yatay ve düşey farklılıkların bulunması mekandaki objelerin yakınlığı ve

uzaklığına ilişkin algıları şekillendirmektedir. İran bahçelerinde diğer önemli unsur olarak su eksenleri, güzelliğin yanında işlevsellik bakımından da önemlidir. Bahçe suyunun temin edildiği kaynaklar ve pınarlar bulunmaktadır. Suyun miktarı ve paylaşımı, bahçelerde suyun olması, mekanın bölünerek su kanallarıyla birbirine bağlanması bahçelerin ortak özelliğini oluşturmaktadır. Ayrıca bahçede simetri kullanımı da mekanda dengenin sağlanması bakımından önemlidir. Bu simetri en iyi şekilde ana eksenlerde göze çarpmaktadır. Bu kapsamda ağaçlar, çiçekler, kanallar ve alanların simetrik özelliğinden söz etmek mümkündür. Bahçelerin önemli özelliklerinden biri de dökdörgen geometridir. Bu özellik ağaçlarla, basit bitkisel materyallerle ya da akslar ile gerçekleştirilmektedir (Pouya ve Demirel, 2016).

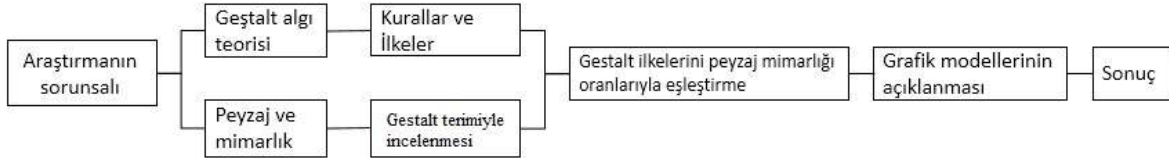
Araştırmada öncelikle, Gestalt teriminin kavramsal çerçevesi oluşturulmuş ve bu bağlamda belirlenmiş alanda analizler yapılmıştır. Geleneksel İran peyzaj mimarlığı ve bahçe tasarımı alanında araştırmalar oldukça sınırlıdır (Turgu, 2012; Hossein Eskandani ve ark., 2022). Bu nedenle araştırmada Gestalt teorisi ile Taç Mahal mezar-bahçesinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Araştırma süreci, Gestalt teorisinin temellerini, görsel ilkelerini ve kurallarını anlamayı ve sonra mimari ve peyzaj ilişkilerini kategorize etmeyi içermektedir. Ayrıca,

Taç Mahal mezar- bahçesindeki mimari eserlerinin oranları Gestalt ilkelerine göre değerlendirilmiştir (Şekil 1). Bu kapsamda Taç Mahal anıt bahçesi ve bu bahçede yer alan unsurlar iyi form, yakınlık, benzerlik, tamamlama ve süreklilik özellikleri bakımından incelenmiştir.

4. Taç Mahal Anıt-Bahçesinin Genel Özellikleri

Taç Mahal dört bahçe kavramı ile tasarlanan bir anıtsal mezar ve çevresidir. Bu mekan Cihan Şahın emriyle vefat eden eşinin anısına inşa edilmiştir (Tablo 2). Dört bahçe sistemi genel olarak yeryüzündeki cenneti temsil etmektedir (Begley, 1979). Taç Mahal sahası 300*590 metre karelik bir alanda ve Jumna nehri yakınında yapılmıştır (Şekil 2). Bu tesis toplam üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm nehrin kenarında dikdörtgen şekilde, binaların ve mezarın yer aldığı alandır. İkinci bölüm, kendi içinde su yolları ile dört alana bölünmüştür, bu özellik İran bahçelerinde dört bahçe niteliğini taşımaktadır. Üçüncü bölüm dikdörtgen şeklinde alanlardır. Bu bölüm de tam ortada birbiriyle kesişen iki yol aracılığı ile dört eşit alana bölünmektedir (Hossein Eskandani, 2020).



Şekil 1. Araştırmanın süreci.



Şekil 2. Taç Mahal'in konumu (Google Maps).

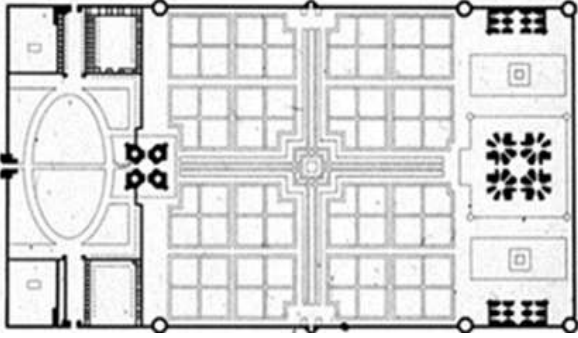
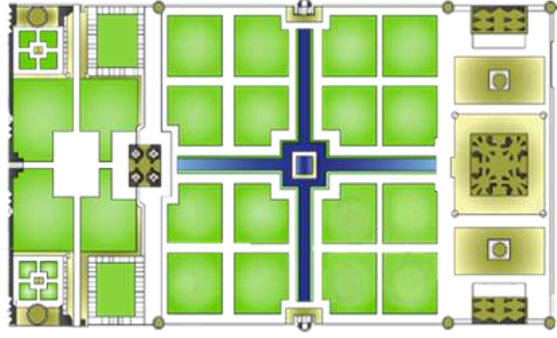
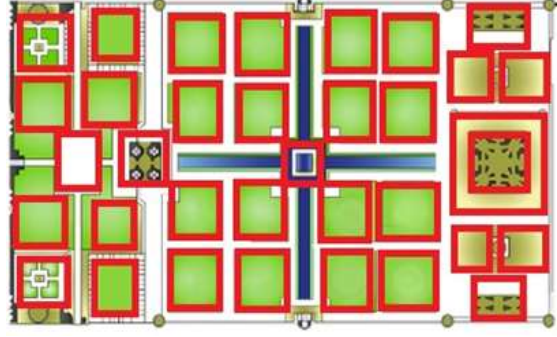
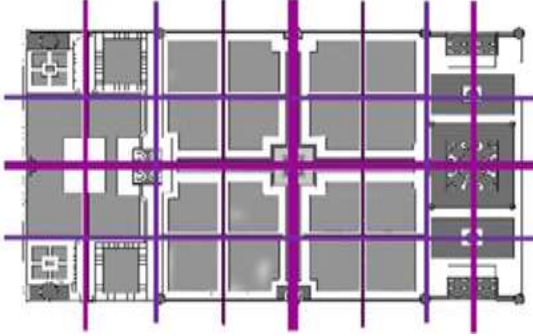
Tablo 2. Taç Mahal'in genel bakış ve konumu (Hossein Eskandani, 2020)

Bahçe Adı	Taç Mahal Anıt-Bahçesi
Konumu	Agra/Hindistan
Kuruluş yılı	1631-1653
Alan	17 Ha
Peyzaj Mimar	Usta Ahmet Lahuri
Tasarım Üslubu	Dört Bahçe

5. Taç Mahal Bahçesinin Gestalt İlkelerine Göre Değerlendirmesi

Taç Mahal bahçesindeki Gestalt, teorik temelleri ve kurallarını belirttikten sonra, şekil-zemin ilişkisi, yakınlık, benzerlik, iyi form, kapatma ve süreklilik ilkeleri yapı tasarımında incelenmiştir (Şekil 3). Bahçelerin tasarımında ilk kavram olarak şekil-zemin ilişkisi gözükmemektedir. Bahçelerin bölümleri şekil ve tüm alan zemin olarak algılanmaktadır. Yakınlık ve benzerlik, birbirine yakın veya benzer formdaki parsellerin bir grup olarak algılanmasına neden olur ve bağımlılık kuralı, yolların kesişmesi ve bahçeleri kare ve dikdörtgen (tanıdık şekiller) şeklinde görmeyi yarattığı kesikleri görmezden gelerek kendini gösterir (Tablo 3).



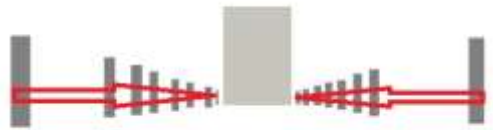
Tablo 3. Taç Mahallin bahçesinde Gestalt ilkelerin analizi

Gestalt İlkeleri	Plan Üzerine Görsel Analiz	Gestalt İlkeleri
Şekil-Zemin İlişkisi		Her algıda bir şekil ve zemin vardır. Arka planı oluşturan zeminde figür anlamlıdır. Tam düzenli geometri bir biçime sahiptir. Genel formu dikdörtgen ve karelerden oluşmuştur. Zemin döşemeleri karakteri ile orantısal bir biçim oluşturmuştur.
İyi Form		Taç Mahalde her alan dörtgen şeklinde ayrı bir bahçe sayılır. Alanı dört kareye bölen su yolları tam ortada kesişmektedir, kesişme noktası ikinci bölümün ortasında bir havuz oluşturmaktadır.
Yakınlık İlkesi		Tüm yeşil alanlar dört ve dörtün oranlarına bağlı parçalardır. Birbirine dik olan eksenler, dörtlü parseller oluşumuna sebep olmuştur. Bu eksenler dört bahçe formunu oluşturmuştur.
Benzerlik İlkesi		Parseller ve bölümler, görsel bir benzerlik sağlamıştır. Tam simetri biçimler ve bölgeler gözükmemektedir.


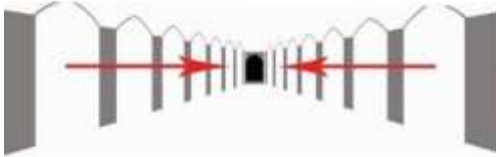
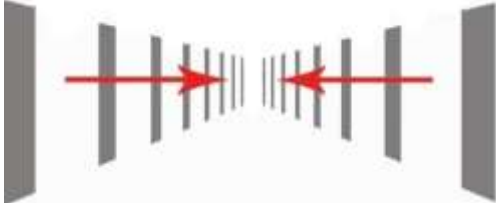
Planların Gestalt kurallarına göre algılanmasında insan zihni, yolların parsellerden geçişinin yarattığı kesikleri tam, kare veya dikdörtgen şeklinde algılar (Prägnanz ilkesi). Ayrıca süreklilik kuralına göre insan gözü, motifler değişmediği ve herhangi bir engel oluşturulmadığı sürece görsel bir yapıda öğeleri takip etme eğilimindedir. Bir patika üzerindeki ağaçlar bahçede bir eksen gibi uzanmaktadır (Şekil 4). Aşağıdaki şekillerde Gestalt ilkeleri Taç Mahal mezarbahçesinde analiz yapılmıştır (Tablo 4).

Doğu ve batı girişleri (Şekil 5) yükseltilmiş bir platform ve teras üzerine inşa edilmiştir ve ağ geçidinden yürürken her iki yanında küçük odalarla çevrilmiş ve iki tarafı güzelce süslenmiş kapılar ve yeşil çizgisel bahçeler yapılmıştır (Tablo 5).

Tablo 4. Taç Mahall'in ana eksen üzerinde Gestalt ilkelerin analizi

Gestalt İlkeleri	Bina Üzerine Görsel Analiz	Açıklama
Benzerlik İlkesi		Ağaçlar düzenli ve muntazam bir şekilde dizilmiştir. Doğal bir nesnenin müntezen olması mekanda hüzür ve sükün hissini sağlamıştır.
Tamamlama İlkesi		Düzenli dikilmiş ağaçlar bir çizgini yaratmaktadır. Art arda dizilen ağaçlar alana derinlik hissini vererek tamamlayıcı unsur olmuştur.
Süreklilik İlkesi		Ağaçları takip ederek bir görsel hareket ve yönlendirmeye işaret etmektedir. Bu durum mekanda bütünlük ve devami sağlamaktadır.



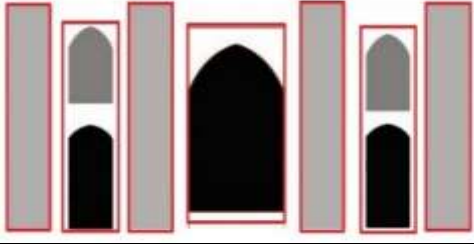
Tablo 5. Taç Mahal'in doğu ve batı giriş ekseninde Gestalt ilkelerin analizi

Gestalt İlkeleri	Bina Üzerine Görsel Analiz	Gestalt İlkeleri
Yakınlık İlkesi		Birbirine yakın unsurların orantısal modul oluşturduğu ve benzer fonksiyon üstlendiği tespit edilmiştir. Öğeler birbirine yaklaştıkça detayların arttığı ve gruplamaların oluşumuna sebep olduğu gözükmemektedir.
Benzerlik İlkesi		Tekrarlanan ve birbirine benzer revaklar benzerlik kavramını oluşturmaktadır.
Süreklilik İlkesi		Yolun iki tarafında olan sütunlar birbirine benzer ve aynı mesafede oldukları için bir güçlü eksen oluşturmaktadır. Çizgileri görüntülerken insan gözünün en düzgün yolu izleyeceğini sağlamaktadır.

Dünyanın en ünlü binalarından birinin bulunduğu Tac Mahal kompleksinin girişinde, Darvaza-i Rauza, (Mozolenin Kapısı) veya bilinen Büyük Kapı, kırmızı kumtaşından yapılmıştır (Şekil 6). Binanın köşelerinde, her biri beyaz mermer bir kubbeye sahip dört sekizgen kule yer almaktadır. Bina dört rüzgar yönüne açıktır

dolayısıyla kapalı bir bina değil, daha çok bir geçitir (Özler, 2021). Girişi tabandan çerçeveleyen, iki yüksek sütun olan güldastalar arasındaki minyatür on bir kubbe (kubbeler), girişin üzerindeki özelliklerdir (Tablo 6).

Tablo 6. Taç Mahal'in ana girişinde (büyük kapı) Gestalt ilkelerinin analizi

Gestalt İlkeleri	Bina Üzerine Görsel Analiz	Gestalt İlkeleri
Benzerlik İlkesi	 <p>Şekil 6. Taç Mahalde büyük kapı (https://brunoceros.wordpress.com/2016/05/15/the-taj-mahals-great-gate).</p>	Benzer nesnelere algısal bütünlük kazanır ve benzerliklerine göre gruplandırılır. Bu benzer gruplar genelde mikro ve makro olguları belirler ve tasarımlarda modüler çalışmayı oluşturur.
İyi Form (Pragnanz) İlkesi		Beyin, belirsiz şekilleri olabildiğince basit bir şekilde algılabilmektedir.
Yakınlık İlkesi		Birbirine yakın nesnelere aynı grup içinde algılanır. Cephe ve tasarım karakterini oluşturur ve olgusal bir değer olarak binanın okunmasına sebep olur.

Açık havada taş minareli Taç Mahal binasının dış tuğla duvarları (Şekil 7) süslü heykeller ile antik hindistan tapınak kompleksinin bir parçası olmakla birlikte, ritmik motiflerle duvardan ziyade süreklilik ve hareket kavramını ön plana çıkarmaktadır (Tablo 7).

Taç Mahal anıt-mezar binasının (Şekil 8) türbesi üzerinde bulunan mermer kubbesi en dikkat çekici özelliğidir. Yüksekliği yaklaşık 35 metre olan bina temeliyle aynı boyuttadır. Yaklaşık 7 metre yüksekliğinde silindirik bir tambur üzerine oturduğu için yüksekliği vurgulanmıştır (Tablo 8). Kaide duvarlarının kenarlarından uzanan uzun dekoratif kuleler (güldastalar), kubbe yüksekliğinin görsel olarak vurgulanmasını sağlamaktadır (Beksaç, 2010).



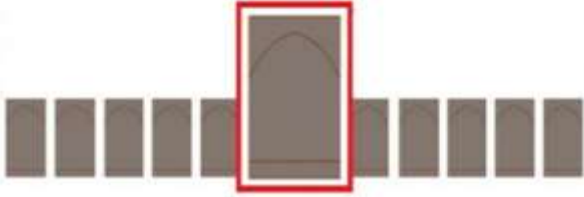
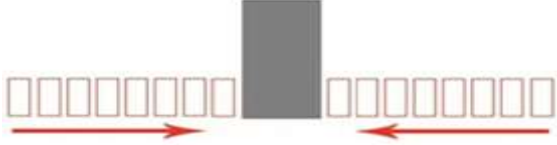
Taç Mahal'in odak noktası beyaz mermer mezardır ve temel yapı büyük, çok odalı bir yapıdır (Şekil 9). Tam simetrik olan bu alan altın oranla tasarlanmış ve duvardaki süslemeler ve motifler bu orantının bir parçası olarak ortaya çıkmıştır (Tablo 9). Ayrıca kraliyet mezar taşları, yüzeyleri meyve, çiçek ve asma desenlerini oluşturan yarı değerli taşlarla ayrıntılı olarak işlenen girift bir şekilde oyulmuş sekizgen mermer perde ile çevrelenmiştir (Volwahsen, 1994).

Eyvanlı simetrik bir bina, kemer şeklinde bir kapı, büyük bir kubbe ile yapılmıştır. Mezar kare bir kaide üzerinde


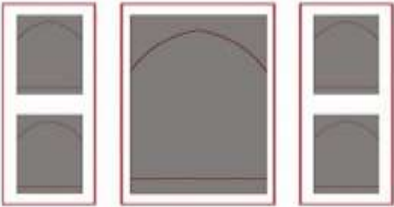

durmaktadır ve taban esasen, her iki tarafta yaklaşık 55 metre olan süslemelerle zengin olan bir küp yaratmıştır (Şekil 10). Uzun kenarlarda, büyük bir pıştaç veya tonozlu kemer, yukarıda benzer bir kemer şeklinde balkon ile eyvanı çevrelemiştir. Bu ana kemerler, entegre bir cephe kullanılarak binanın çatısının üzerine uzatılmıştır (Tablo 10). Ana kemerin her iki yanında, üstte ve altta ek pıştaçlar istiflenmiş ve bu yığılmış pıştaç motifi, süslü köşe alanlarında tekrarlanmıştır. Kaidenin her köşesinde, süslemeyle zengin köşelere bakan dört minare, türbeyi çerçevelemiştir (Sultanzade, 2011).

Taç Mahal mescidinin tavanı tonozlarla kapalıdır ve buradaki en güzel mimari unsurdur. Kırmızı desenli tavan tüm motiflerin bir araya geldiğiyle bir sarkıtın parıldadığı ve ya bir tür güneşi oluşturduğunun yansımasıdır ve bütün dengeyi, tepeye odaklanan geometrik desenlerle göstermiştir (Şekil 11). İç duvarlar yaklaşık 25 metre yüksekliğindedir ve güneş motifleriyle süslenmiş ve bir iç kubbe ile örtülmüştür (Pirnia, 2013; Doraj ve ark., 2022). Taç Mahal kubbelerinin dekoratif taçlandırma ve motifleri mistik mitolojilere göre sonsuz yaşam veya sonsuzluğu temsil eden elemanlardır. Genelde bu elemanlar simetrik bir desenin tekrarlanmasıyla fraktal geometri olgusunun benzeridir (Tablo 11).


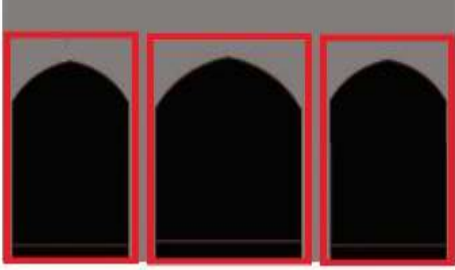
Tablo 7. Taç Mahal kompleksinin dış duvarlarında Gestalt ilkelerin analizi

Gestalt İlkeleri	Bina Üzerine Görsel Analiz	Gestalt İlkeleri
Yakınlık İlkesi	 <p>Şekil 7. Taç Mahallin dış duvarları (https://artsandculture.google.com/entity/taj-mahal/m018cb?hl=en).</p>	<p>Tasarımda figürlerin veya nesnelerin bağlantısını vurgulamaktadır. Birbirine yakın unsurlar durağan bir mekanda sürekliliğin sağlanmasına sebep olmuştur.</p>
Benzerlik İlkesi		<p>Birbirine yakın olan unsurlar birbirine benzetilerek bir gruba aitmiş gibi görülmektedir.</p>
İyi Form (Pragnanz)		<p>Aynı modülün devamı orantısız dörtgenlerin yanyana gelmesini sağlamış ve bütüncül bir form sunmuştur.</p>
Süreklilik İlkesi		<p>Göz, bu şeklin iki ucundan merkeze giden düz çizgiyi, takip etme eğilimindedir. Aynı çizgilerin devam ile ritmik ve geometri oluşumuna sebep vermiş ve bu biçimler binanın farklı yerlerinde aynı şekilde gözükmemektedir.</p>




Tablo 8. Taç Mahal anıt mezar binasının Gestalt ilkelerine göre analizi

Gestalt İlkeleri	Bina Üzerine Görsel Analiz	Gestalt İlkeleri
Süreklilik İlkesi	 <p>Şekil 8. Taç Mahal anıt-mezarı (http://www.tajmahal.gov.in/).</p>	<p>Nesneler hizalanmışsa, bir grup olarak algılandıklarını ve algısal bir bütünle bütünleştiğini belirtmektedir. Süreklilik, yapının bütüncül bir unsur olduğunu ortaya çıkarır ve egemen elemanın bu bütünün bir parçası olmasını sağlamaktadır.</p>
Yakınlık İlkesi		<p>Birbirine yakın olan nesnelerin bir grup olarak algılanmaktadır. Bu ilke, tasarımda figürlerin veya nesnelerin bağlantılılığını vurgulamak için kullanılmaktadır.</p>
İyi Form- (Pragnanz)		<p>Öğeler, mümkün olduğunca basit, dengeli, birleşik, tutarlı, düzenli anlamına gelen iyi Gestalt olan bir kalıbın parçalarıyla birlikte gruplandırılmıştır.</p>


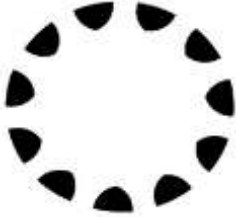
Tablo 9. Taç Mahal mezar binasında iç mekânın Gestalt ilkelerine göre analizi

Gestalt İlkeleri	Bina Üzerine Görsel Analiz	Gestalt İlkeleri
Benzerlik İlkesi	 <p>Şekil 9. Taç Mahal mezar binasının iç mekânı (https://www.smithsonianmag.com/travel/eight-secrets-taj-mahal-180962168/).</p>	<p>Buradaki kavisli çerçeve tümü eşit aralıklı ve aynı boyuttur, ancak yerleşimlerinde herhangi bir sebep olmamasına rağmen bunları genel olarak şekillerine göre gruplandırılmıştır.</p>
İyi Form- (Pragnanz)		<p>İç mekândaki orantısız dolu ve boşluklar genel anlamda dengeli bir dörtgen oluşturmuştur.</p> <p>Dış mekândaki tasarım kurgusunu devamını iç mekâna yansıtmış ve genel form karakterlerinin devamını sağlamıştır.</p>

Tablo 10. Taç Mahal mezar binasının kubbesinde Gestalt ilkelerinin analizi

Gestalt İlkeleri	Bina Üzerine Görsel Analiz	Gestalt İlkeleri
Kapatma İlkesi	 <p>Şekil 10. Taç Mahal mezar binasının kubbesi (www.bizevdeyokuz.com/en/story-of-the-taj-mahal/)</p>	<p>Kapatma ilkesi, bütünü hatırlatan bir parçacığı birbirine bağlama eğilimini tanımlamaktadır.</p> <p>Tüm nesnelere birbirine bağlayan unsur mekânda süreklilik ve bütünlüğü sağlamaktadır.</p>
Benzerlik İlkesi		<p>Cami binasında olan kavisler bir grup halinde ve cami binasında olmayan kavisler ise başka bir grup olarak okunmaktadır.</p> <p>Birbirine yakın olan unsurlar birbirine benzemese de bir gruba aitmiş gibi görülmektedir.</p>
İyi Form (Pragnanz)		<p>Kubbeye doğru düzenli ve hiyerarşik bir denge gözükmemektedir. Işık alan mekanlar ve sağık alanlar aynı oranla tasarlanmıştır.</p>

Tablo 11. Taç Mahal mescidinin künbedinde Gestalta analizi

Gestalt İlkeleri	Bina Üzerine Görsel Analiz	Gestalt İlkeleri
Benzerlik İlkesi		Birbirlerine yakınlıklarından bağımsız bir şekilde görsel olarak gruplandırılmıştır. Benzerlik bir tasarımda yan yana olmayabilecek öğeleri birbirine bağlamak için kullanılabilir.
Kapatma İlkesi		Arada boşluklar bulunan tamamlanmamış figürler, tam figür görülmesi bile tamamlanır ve bir bütün olarak algılanmaktadır. Bazı bölümleri kaldırılmış olan bir dairenin sadece anahattı olması sebep ile nesne bir tam daire olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 11. Taç Mahal mescidinin kubbesi
(<https://www.smithsonianmag.com/travel/eight-secrets-taj-mahal-180962168/>)

6. Sonuç

Gestalt teorisi çağdaş dönemin kavramlarından biri olmasına rağmen psikolojik ve algısal davranışlara bağlı olması nedeniyle uzun zamandan beri insan hayatının bir parçasıdır. Bu doğrultuda eski çağlardan günümüze yansımaları mimari yapılarda görmek mümkündür. Bu araştırmada Gestalt kavramını ele alarak İran bahçe tasarımındaki etkileri değerlendirilmiştir. İlk aşamada Gestalt teriminin kapsamı ve analiz yapılan unsurlar, çeşitli düşünürlerin araştırmaları sonucu kısıtlanmış ve önemli faktörler altı başlık altında analiz edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen bulgular ve Gestalt teriminin etkisi dört bahçe tasarımı genelinde ve Taç Mahal özelinde sınıflandırılmıştır.

Gestalt teorisi ve peyzaj mimarlığı ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde Yılmaz ve diğerleri (2019), tarafından yapılan araştırmada estetik deneyimi ve peyzaj estetiği ile ilgili tasarımcının durumu incelenmiştir. Turgut (2012), tarafından yapılan araştırmada su elemanları, bitkisel tasarımlar, otopark ve tören alanları incelenmiş, kentsel alan çalışmalarında kentin bir bütün olarak ele alınması gerektiği, belirtilmiştir. Çınar ve Atakan (2007), Zen Bahçeleri (Ryoan-Ji örneği) ile ilgili yaptıkları araştırmada, Zen bahçelerinin en önemli öğelerinin kum, kaya ve çakıl olduğu ve bu maddelerin ise Gestalt kavramına göre yerleştirildiği belirlenmiştir.

Araştırmada Taç Mahal örneği üzerinden İran bahçelerinin Gestalt ilkeleri bakımından incelenmesi ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Gestalt teorisinin içerdiği özellikler, algısal bir etken olarak dört bahçe tasarımını etkilemiş ve bu tip bahçelerde Gestalt ilkelerin etkisi ortaya çıkmıştır.
- Dört bahçe tasarım mantığında, genellikle sistematik bir geometriden hareket ederek benzerlik ve süreklilik ilkesine odaklanarak

tasarımlar geliştirildiği söylenebilir.

- Tam düzenli geometriye sahip Taç Mahal, ister mekansal veya peyzaj tasarımında iyi form ilkesini biçimlerin oluşumunda veya bahçelerin parçalanmasında kullanmıştır.
- Taç Mahal binası bütünden parçaya, tasarımın aşamalarında var olan çevresi ile bir bütünlük içerisinde tasarlanmıştır. Bu bakımdan şekil ve zemin ilişkisi süslemelerden, yer düşmesine kadar aynı kavramdan tasarlanıp yapılmıştır.
- Mimar, peyzaj ve binayı bir bütün olarak ele almış, düzen, ritim, simetri, tekrar, mükemmel düzen, denge ve oran ilkelerini tasarımına yansıtmıştır. Bu sebepten insanların algısal davranışlarını düşünerek hareket etmiş ve Gestalt'ın bütün ilkelerini değerlendirmiştir.
- Taç Mahal binasının iç tasarımında kapatma, süreklilik ve benzerlik ilkesini vurgulamakta iken dış alanda benzerlik, süreklilik ve yakınlık ilkelerinden faydalanılmıştır.
- Eski binalar özellikle İran bahçelerinde tasarım, insanların davranış ve yaşam tarzlarına bağlı bu yapılarda psikolojisi ve zihinsel algı mekanizması kullanılmıştır.
- Günümüz Gestalt ilkeleri ile eski binaların analizi ve okunuşu mümkün kılınmıştır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	Ü.A.	P.D.
K	50	50
T	30	70
Y	80	20
VTI	50	50
VAY	40	60
KT	70	30
YZ	60	40
KI	50	50
GR	60	40
PY	30	70
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- Akkurt E. 2019. Kullanıcının yapı cephelerindeki görsel algısında Gestalt Kuramı'nın etkileri: Diyarbakır'da 3 farklı bulvar değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, pp: 252.
- Begley W. 1979. The myth of the Taj Mahal and a new theory of its symbolic meaning. *Art Bul J*, 61(9): 7-37.
- Beksaç E. 2010. Taç Mahal. *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklop Derg*, 39(16): 336-401.
- Bradley S. 2021. Design principles: Visual perception and the principles of gestalt. *Smashing J*, 9(12): 48-56.
- Bregman A. 1994. *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. MIT Press, Cambridge, UK, pp: 34-531.
- Çınar H, Atakan B. 2007. Minyatür bir Dünya-Zen bahçeleri, Ryoan-ji örneği. *J Fac Forest Istanbul Univ*, 58(2): 41-51.
- Dondero MG. 2020. *The language of images: The forms and the forces*. Springer, New York, US, pp: 268.
- Doraj P, Baran M, Hossein Eskandani O. 2022. Using thermal potential of the earth to optimize energy consumption in architectural structures. *Natural Volatil Essentl Oils J*, 9(1): 7-20.
- Doraj P, Özyılmaz H, Hossein Eskandani O, Haghjou A, 2022. İran'ın soğuk ve sıcak iklim bölgelerinde geleneksel evlerin tipoloji değerlendirmesi (Tebriz ve Yazd Örneği). *Turkish Online J Design Art Commun*, 12(2): 401-419.
- Grütter JK. 1987. *Asthetik der Architektur*, Çev. Cahanşah

- Pakzad, Şehit Beheşti Yayını, Tahran, İran, pp: 52-143.
- Günay B. 2007. Gestalt theory and city planning education. *METU JFA*, 24(4): 93-113.
- Henle M. 1978. Gestalt psychology and Gestalt therapy. *History Behavioral Sci J*, 14(7): 23-32.
- Hossein Eskandani O, Aluclu I, Doraj P. 2022. A research on the reading of architectural buildings with semiotic design setup (Jewish museum example by Daniel Libeskind). *J Positive School Psychol*, 6(9): 2513-2525.
- Hossein Eskandani O. 2020. Peyzaj mimarlığı ile ilişkili göstergelerin doğu ve batı kültüründe peyzaj tasarımı üzerine etkisi. *Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Erzurum, Türkiye*, pp: 131.
- İsmailoğlu S, Kulak Torun F. 2022. Normalleşme sürecinde iç mimari tasarım stüdyolarının mekânsal organizasyonu. *Turkish Online J Design Art Commun*, 12(2): 497-514.
- Jackson P, Lockhart L. 2006. *The Cambridge History of Iran*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp: 122.
- Koç H, Bulut İ. 2014. Gestalt kuramının öğrencilerin harita okuma ve yorumlama beceri düzeyleri üzerine etkisini belirlemeye yönelik bir inceleme. *Marmara Coğrafya Derg*, 30(2): 1-19.
- Koffka K. 1999. *Perception: An Introduction to the Gestalt theorie*. Routledge Press, Abington, US, pp: 183.
- Kulak Torun F, İsmailoğlu S. 2022. İnanç turizmi kapsamında Erzurum'da yer alan dini yapılar. *J Acad Tourism Stud*, 3(2): 1-15.
- Lang J. 1998. Öğrenciler için mimarlığa giriş: Temel tasarım dersini yeniden düşünmek. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayını, Ankara, Türkiye*, pp: 80-101.
- Mungan E. 2020. Gestalt kuramı: Bir nazariyenin mazisi, akameti ve akıbeti. *Nesne Derg*, 8(18): 585-603.
- Özler F. 2021. Tac Mahal'de ağlayan gelin (Ters lale motifi), *Sanat Tarihi Derg*, 30(14): 145-168.
- Pirnia MK. 2013. *Persian architecture styles*. Sorushe Danesh Press, Tahran, İran, pp: 198-199.
- Pouya S, Demirel Ö. 2016. İran bahçe sanatının ve tasarım özelliklerinin araştırılması. *Artvin Çoruh Üniv Orman Fak Derg*, 17(1): 96-105.
- Schulz CN. 1980. *Intentions in architecture*. MIT Press, Cambridge, Cambridge, UK, pp: 54-152.
- Sultanzade H. 2011. Symbolism in the Taç Mahal. *Kent Kimliği Derg*, 9(8): 37-48.
- Turgut H. 2012. Evaluating a landscaping project based on the design principles: A case study for the front yard of the Erzurum Metropolitan Municipality Building. *Artvin Çoruh Üniv Orman Fak Derg*, 12(2): 185-198.
- Volwahsen A. 1994. *Islamic India*. Benedikt Taschen Verlag Press, Florida, US, pp: 84-85.
- Yılmaz S, Tarakçı E, Elif Merve A. 2019. Peyzaj Tasarımında Estetik. 4th International Symposium on Innovative Approaches in Architecture, Planning and Design, November 22-24, 2019, Samsun, Türkiye, pp: 61-65.



PRODUCTION OF REACTIVE ALUMINA FROM DOMESTIC SOURCES AND ITS USE IN ALUMINA-BASED SELF-FLOWING CASTABLE REFRACTORIES

Hatice Sule COBAN TETIK^{1,2,3*}, Cemile Betül EMRULLAHOGLU ABI³

¹Agri Ibrahim Cecen University, Central Research and Application Laboratory, 04100, Agri, Türkiye

²Agri Ibrahim Cecen University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 04100, Agri, Türkiye

³Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Materials Science and Engineering, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye


Abstract: High-quality alumina raw materials allow corundum-based brick and monolithics to perform to the full potential of alumina as a refractory material. Dense packing of the matrix to a submicron range and reduction of water demand of castables can be facilitated by a new family of multimodal reactive alumina. Dispersing aluminas ensure uniform mixing of dispersion and setting adjustment additives. In this study, fine reactive alumina powder production was investigated using Bayer gibbsite as a starting material. Experimental studies consist of two steps; in the first step, the soda content was reduced by means of boric acid and distilled water and then the powders obtained optimum conditions were ground in an attritor ball mill using distilled water for 8 hours. In the second step, physical characteristics such as rheological behaviours, bulk density, open porosity and thermal shock resistance, bending and compressive strength and fracture toughness in accordance with ASTM E399 standard were determined. Finally, K_{IC} values of the refractory samples which were prepared with the reactive alumina produced from Seydişehir gibbsite were higher than that of the refractory mixture containing commercial reactive alumina obtained from a refractory company.

Keywords: Seydişehir gibbsite, Reactive alumina, Self-flowing castable refractories, Fracture toughness


*Corresponding author: Agri Ibrahim Cecen University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 04100, Agri, Türkiye

E mail: h.sulecoban@gmail.com (H. S. COBAN TETIK)

Hatice Sule COBAN TETIK

 <https://orcid.org/0000-0002-4775-9706>

Cemile Betül EMRULLAHOGLU ABI

 <https://orcid.org/0000-0003-0326-6122>

Received: February 10, 2023

Accepted: March 29, 2023

Published: April 01, 2023

Cite as: Coban Tetik HS, Emrulloğlu Abi CB. 2023. Production of reactive alumina from domestic sources and its use in alumina-based self-flowing castable refractories. BSJ Eng Sci, 6(2): 143-148.

1. Introduction

Castable refractories are classified as conventional castables (CCs) ($\text{CaO} > 2.5\%$), low cement castables (LCCs) ($2.5\% > \text{CaO} > 1.0\%$), ultra-low cement castables (ULCCs) ($1.0\% > \text{CaO} > 0.2\%$) and cement free castables (CFCs) ($\text{CaO} < 0.2\%$) according to their lime content by The American Society for Testing Materials (ASTM). In recent years, traditional high cement castable refractories have been replaced by low cement and ultra-low cement castable refractories. Nevertheless, several placement issues that arose during application led to modifications in the rheology of LCCs and ULCCs systems as well as the development of self-flowing castable (SFC) materials. After mixed, these can be applied without the necessity of external energy (Lee et al. 2001). Meanwhile, in LCCs and ULCCs refractory mixtures, besides a binder such as calcium aluminate cement, refractory aggregates such as tabular alumina, alumina spinel, fine-grained matrix components such as calcined alumina, reactive alumina or microsilica, and dispersing materials contribute to the development of high performance (Buhr and Laurich 2000; Lee et al. 2001). Moreover, alumina is a significant refractory material with exceptional high temperature resistance, thermal shock resistance, and corrosion

resistance. It can be used as a furnace lining in a variety of sectors, including cement, glass, ceramics, petrochemicals, iron and steel, and glass and ceramics (Lee et al. 2001; Madono 1999). Alumina has various polymorphs such as α , γ , θ , κ , and η , of which the most thermodynamically stable phase is α -alumina, known as corundum (Lee et al. 2013; Zhu et al. 2020). α -alumina is frequently used in industrial ceramics, as well as in high strength materials, sapphire crystal growth (Akselrod and Bruni 2012), electronics and semiconductors (Fu et al. 2012). Because of this versatility, α -alumina synthesis is of great interest. Traditionally, α -alumina is obtained by the Bayer process and its conversion is completed between 1000-1400 °C (Chang et al. 2009; Xie et al. 2003). The hydrate (gibbsite) produced in the raw material calcined by the Bayer process contains 0.5% Na_2O , which is retained in the gibbsite structure. The soda content, which reduce the green density, can be removed by hydrate precipitation, water or acid leaching, or reaction by adding volatile chemicals such as boric acid. Also the use of alumina in this industry has been severely constrained because of the detrimental impact that these minute but significant levels of soda have on the refractory materials made from it (Gürel and Altun 2009; Lee et al. 2013).



The performance of castable refractories depends not only on their refractoriness, but also on their physical properties such as density, porosity and durability. Physical properties play a critical role in the desired amount of water in castable mixes. 1% increase in water content causes an increase in apparent porosity of dried and fired refractory by 3% and severely reduces slag strength (Buhr and Laurich 2000).

Additionally, in order to fully utilize the optimized particle size distribution, achieve the lowest water consumption, and provide the appropriate rheological behaviour, all matrix components must be evenly dispersed while mixing with water in low cement castables. Phosphates, such as sodium-tripolyphosphate (STPP), sodium-hexametaphosphate (SHMP), and combinations of them, are conventional dispersion agents. The most recent generation of effective dispersing additives are dispersing aluminas. They combine enhanced dispersion activity with the ability to direct castables' setting behaviour to satisfy specific needs. It is advised that the castable have a total of 1% by weight of dispersing aluminas. Dispersing aluminas have a number of benefits over conventional phosphate-based deflocculating systems, including: (i) Higher mechanical strength and abrasion resistance due to a lower water demand, (ii) Controlling working time has almost no effect on the initiation of setting (iii) Castables have a longer shelf life due to their resistance to aging (Schnabel et al. 2014).

The aim of this study is to produce reactive alumina from Seydişehir gibbsite, to use this reactive alumina in SFC refractories, characterization and to compare it's fracture toughness with the refractory mixture containing commercial reactive alumina obtained from a refractory brick company. Thus, the usability of reactive alumina obtained from domestic sources in castable refractory products is evaluated in detail.

2. Materials and Methods

2.1. Production of Reactive Alumina

Gibbsite $[Al(OH)_3]$, a commercially available powder used in this work, was produced by the Seydişehir Aluminum Company (Türkiye). The chemical composition of this gibbsite is as listed in Table 1. Additionally, boric acid (Etibor, 56.3% B_2O_3) was used to remove Na_2O . Gibbsite, 1.5 % by weight boric acid and distilled water were mixed until homogeneous, then dried at 100°C and sieved through a 1mm sieve. It was then calcined for 1 hour at 1250 °C with a heating rate of 25 °C/min. The calcined powders were ground for 8 hours in an attritor mill with 3mm alumina balls. Reactive alumina was obtained after milling, following another wash with distilled water and drying. Shimadzu brand 6000 model XRD device and scanning electron microscope (JEOL 6360 LV model, SEM) were used to characterize the obtained powders.

2.2. Optimization of SFC Binder Matrix System

ADS-1 and FS10, which has retarding qualities, provided

by the Almatix and BASF firm respectively, were chosen as dispersants. ADS-1 contains 80% Al_2O_3 , 0.10% Na_2O , 0.80% B_2O_3 and 1.80% CaO . FS 10 is a polymeric dispersant for improved refractory used. Both recommended for microsilica-free refractory materials containing CAC. Additionally, ADW-1 (80% Al_2O_3 , 0.10% Na_2O , 0.03% B_2O_3 and 1.80% CaO), which has accelerating properties from Almatix firm was added after selecting the appropriate dispersant. During this experiment, the self-flow values for each castable composition were measured using the ASTM C 1446-99 standard. Accordingly, the secondary diameter was measured after one minute after the composition was cast into a conventional cone with an upper and lower diameter of 100 mm and 70 mm, respectively. For dispersant-free and added dispersants compositions, the following equation 1 was used to measure the self-flow value (SFV):

$$Self\ flow\ value\ (\%) = \frac{(d_2 - d_1)}{d_1} \times 100 \quad (1)$$

where

d_2 = the secondary average diameter after removal of cone

d_1 = the initial diameter (100mm)

Table 1. The chemical composition of Seydişehir gibbsite

Product	Seydişehir Gibbsite*
Chemical composition (%)	Typical
Al_2O_3	65.10
Na_2O	0.325
Fe_2O_3	0.011
SiO_2	0.015
Particle size	<40µm

*Seydişehir Aluminum Company

2.3. Preparation of SFC Refractories Mix and Samples

The reactive alumina produced was added at a rate of 5 wt. % and 3wt. % dispersant to the high alumina, low cement castable refractory mix not containing reactive alumina, which was supplied from a commercial company. The refractory batches were then shaped using the slip casting technique in accordance with ASTM C862-02, after being mechanically mixed for 8 minutes with the addition of 5.5 weight percent water. The samples waited 24 h at about 20 °C, demolded and then air dried 24 hours at ambient temperature. The initial heating velocity was 10 °C/hour up to 110°C followed by 180 °C/hour up to 1000°C and 300°C/hour to the sintering temperature (1500°C). Soaking time was 5 hours. Two kinds (with reactive alumina produced and commercial reactive alumina) of refractory castables were then combined to create batches of SFC refractory to test the fracture toughness (K_{Ic}). The samples were formed in accordance with ASTM E399 requirements by casting in molds that contain razor blades on half-heights.

2.4. Characterization of SFC Samples

Several tests were performed on the samples that were obtained after drying and sintering. The samples were boiled in water for 4 hours in accordance with ASTM C20-00 before being kept in water for 12 hours to calculate water absorption, apparent porosity, and bulk density values using the Archimedes' method. In accordance with ASTM C133-97, cold modulus of rupture (3-point bending strength) at room temperature and cold compression strength tests with a loading speed of 12MPa/min were performed in a Shimadzu Universal Tester on prismatic specimens of 25x25x152 mm with and without water absorption test. Fracture toughness was measured in accordance with the ASTM E399 standard using a Shimadzu Autograpfh AG-IS model 100kN mechanical test instrument at a loading speed of 0.05mm/min, and the results were compared. The fracture toughness was calculated based on the following equation 2:

$$K_Q = \frac{P_Q \cdot L}{t \sqrt{b^3}} \cdot Y_4 \tag{2}$$

where P_Q is the load applied to the notched bar, L is the span, l is the depth of the notch, t is the thickness of the specimen, b is the width of the specimen ($[0.45.b \leq l \leq 0.55.b]$; $[L=4.b]$; $[t=b/2]$) and Y_4 is the geometric function of the ratio l/b for the three-point flexure and can be expressed by the following equation 3 (ASTM E399):

$$Y_4 = 3,494 \cdot \left[1 - 3,396 \cdot \left(\frac{l}{b}\right) + 5,839 \cdot \left(\frac{l}{b}\right)^2 \right] \tag{3}$$

3. Results and Discussion

3.1. Production of Reactive Alumina

Figure 1(a) shows the XRD pattern of the manufactured reactive alumina. With the addition of 1.5 wt. % boric acid, it is observed that about all of the Seydişehir gibbsite is transformed to alpha alumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). However, a trace of aluminum borate [$\text{Al}_{20}\text{B}_4\text{O}_{36}$ (PDF 802301)] was discovered. Gürel et al., (Gürel and Altun 2009) reported that gibbsite was completely converted to α -alumina at 1250 °C with the addition of 2 wt. % of H_3BO_3 . However, the addition of 2 wt. % boric acid for Na_2O removal may be high and it has been suggested that it may cause more aluminum borate formation. SEM image of the reactive alumina produced was given in Fig 1(b) In accordance with the image, the particle size of the obtained powder is approximately minus 1 μm .

3.2. Optimization of SFC Binder Matrix with Self Flow Values of the Compositions

One of the most crucial factors in determining how well self-flowing castables perform is self-flowing value. The effect of dispersant addition on the self-flowing values of the high alumina, low cement castable refractory mix with reactive alumina produced is shown in Figure 2. It can be seen the self-flow value increased in the

dispersant added batch. Dispersing aluminas exhibit strong attraction forces due to their high specific surface area. Previous findings indicate that the self-flowing values of the self-flow castable composition are between 80 and 110% (Otroj et al. 2010; Silva et al. 2012). As seen in Figure 2, among the values calculated according to equation 1, the batch of dispersant-free (0%) showed only 70% flow value. After adding 1% FS10 dispersant, the flow was calculated as 90%. The best flow amount was obtained from ADS1 dispersant as 110% with 1% dispersant. After selecting ADS1 as the appropriate dispersant, ADW1 dispersant was also added to accelerate drying.

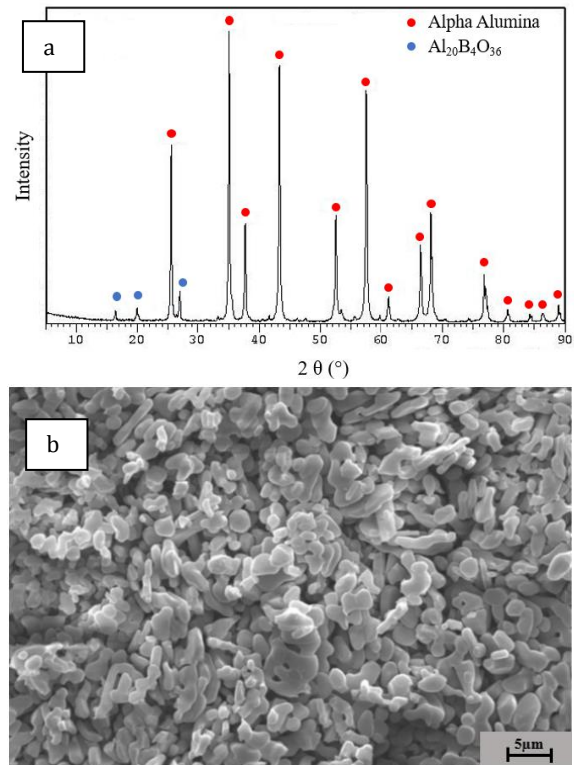


Figure 1. (a) XRD pattern (b) SEM micrograph of reactive alumina.

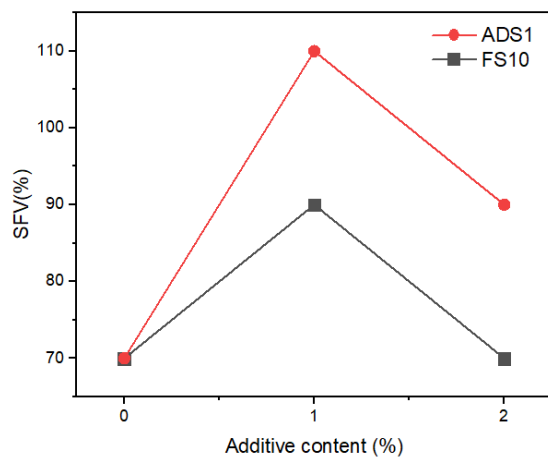


Figure 2. Self flow values as a function of dispersant content.

3.3. Water Absorption Tests

Figure 3(a) and 3(b) show the heat treated and tested samples. Figure 4(a) shows the results of the temperature-dependent water absorption test. As a result, the sample sintered at 1000°C exhibited the maximum water absorption rate.

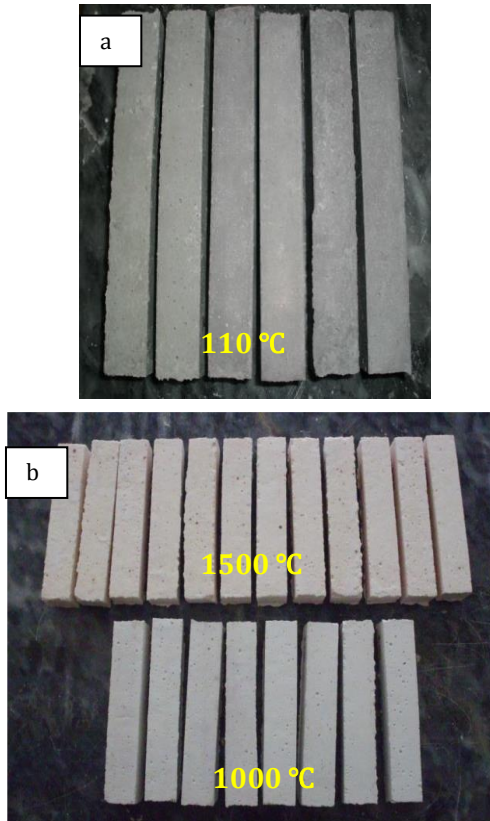


Figure 3. Photograph of (a) dried samples at 110°C (b) sintered samples at 1000°C and 1500°C.

The condensation behaviour of castable refractories as a function of temperature is shown in Figure 4(b). Hereunder, the bulk density of SFC refractory dried at 110 °C was 3.41g/cm³, and it decreased to 3.21g/cm³ in the sample sintered at 1000°C. After the refractory sample was sintered at 1500°C for 5 hours, the bulk density was calculated as 3.25g/cm³, and a slight increase was observed as a result. During the heat treatment of SFC refractories, porosity develops due to the internal evaporation of water, resulting in a drop in bulk density and an increase in apparent porosity (19.46 %) compared to the sample dried at 110°C following sintering at 1000°C. A high apparent porosity value in the castable sample sintered at 1000°C suggests that the pores formed by the evaporation of water were unable to be removed. The decrease in apparent porosity with increasing sintering temperature (1500°C) is attributed to the metastable liquid in the castable transforming into mullite and condensation (Göğtaş et al. 2010). According to a study involving alumina-based castable refractories, the apparent porosity value at 110°C is approximately 12 %, which is in good agreement with the results we obtained (Luz et al. 2018).

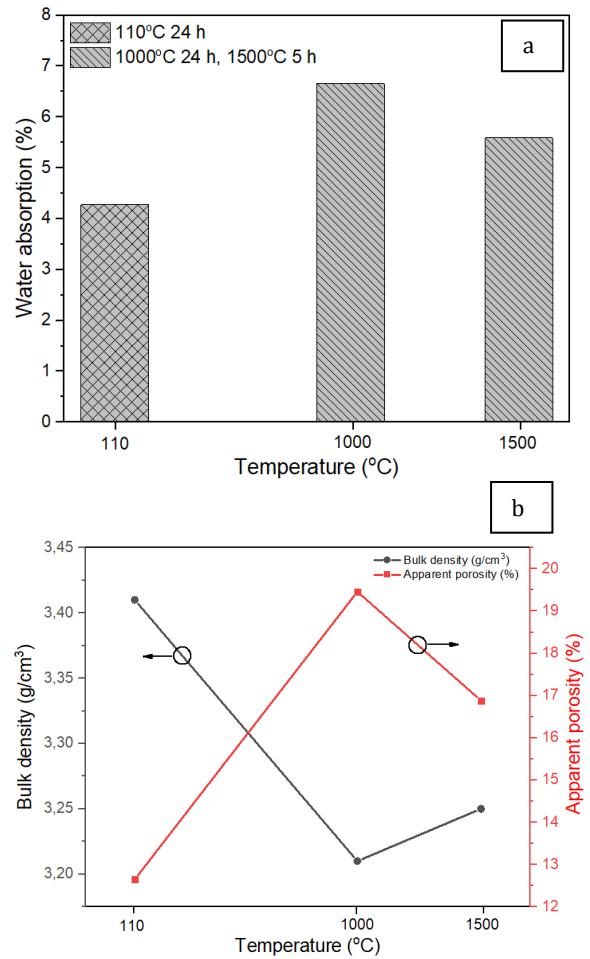


Figure 4. The effect of drying and firing temperature on the refractory's (a) water absorption and (b) bulk density.

3.4. Cold Modulus of Rupture (CMOR-3 Point Bending Strength) and Cold Compressive Strength (CCS)

Figure 5(a) shows the cold modulus of rupture (3 point bending strength) graph of the sintered samples. To analyse the behaviour of the samples before and after water absorption tests were applied and compared. The results are shown on the graph. Consequently, the highest flexural strength was obtained from the sample sintered at 1500°C after water absorption test and is approximately 16 MPa. The cold compressive strength of the samples heat treated at various temperatures, before and after water absorption tests, is shown in Figure 5(b). Accordingly, the sample sintered at 1500 °C and subjected to the water absorption test yielded the greatest cold compressive strength value, which was 173.13 MPa. The results of the three-point bending strength and cold compressive strength tests show that the samples that were subjected to the water absorption test had higher strength values. It was believed that the hydration of a minor quantity of unreacted calcium aluminate cement in the raw material contributed to the higher bending and compression strengths of with water-absorbed samples compared to without water-absorbed samples. Cement's interaction with water initiates

hydration, which is followed by an exothermic reaction. Hydration is affected by the ratio of water to cement, curing conditions, and presence of impurities. Stable hydration products consisting of the first sintered mineralogical phases and their crystal structures often emerge within three to six months at room temperature or within the first 24 hours if curing is conducted at a higher temperature. When heated above 21°C, metastable hydrates transform into stable compounds (Lee et al. 2001; Ma and Brown 1999).

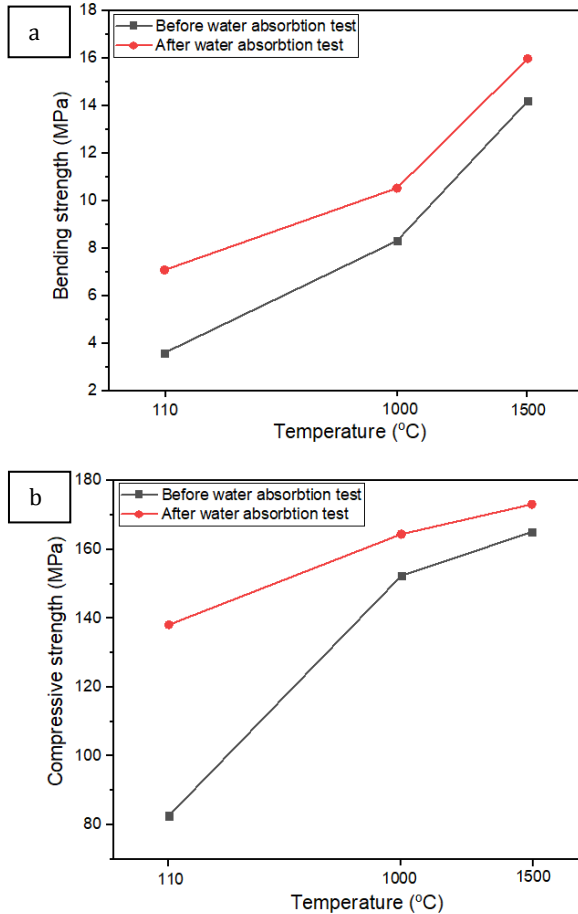


Figure 5. (a) 3 point bending and (b) compressive strength test results of the reactive alumina-added castable refractory mixture produced from Seydişehir gibbsite before and after water-absorption tests.

3.5. Fracture Toughness (K_{IC})

Figure 6 shows a graph that compares the results of an analysis of the fracture toughness of the reactive alumina-added castable refractory mixture made from Seydişehir gibbsite and the reactive alumina-added castable refractory material produced by a commercial company. As a result, the castable refractory sample containing reactive alumina produced from Seydişehir gibbsite had a higher fracture toughness value of 1.2 MPa.m^{1/2}. The castable refractory sample containing commercial reactive alumina from a commercial company has a K_{IC} value of 0.85 MPa.m^{1/2}. Typically, conventional castables have a K_{IC} in the range of 0.2-1.5 MPa.m^{1/2} (Gogtas et al. 2014). The values obtained from

both samples are within the range of values given for conventional castables in comparison to the findings of this study, but it is understood that the castable refractory samples obtained by adding Seydişehir reactive alumina are 1.5 times tougher than that of the commercially available castable refractories.

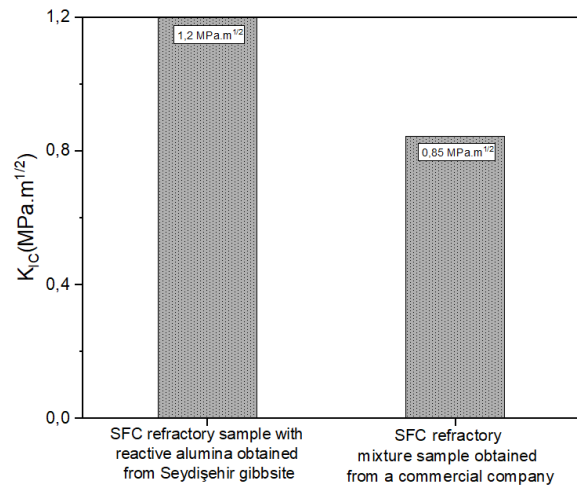


Figure 6. Fracture toughness comparison graph.

4. Conclusion

In this study, low sodium reactive alumina was produced from domestic raw material, Seydişehir/Türkiye gibbsite. This produced reactive alumina and various dispersants were added to the high alumina and low cement castable refractory mixture to optimize the binder matrix system. 110% self flow value was obtained by using 1% ADS1 dispersant. The samples shaped by casting according to the test standards were heat treated at 110°C for 24 hours, at 3°C/min at 1000°C for 24 hours and at 5°C/min at 1500°C for 5 hours. The samples obtained after heat treatment were systematically examined by applying water absorption, three-point bending strength and cold compressive strength tests. Also, the fracture toughness of the refractory mixture prepared with the reactive alumina produced from Seydişehir Gibbsite was compared with the refractory mixture containing commercial reactive alumina obtained from a refractory brick company. The best results were obtained from samples sintered at 1500°C. The apparent porosity, total water absorption rate, bulk density of the samples are 16.88 %, 5.59 % and 3.25 % respectively. The bending and compressive strengths of the samples are 16 MPa and 173.13 MPa respectively. The refractory mixture prepared with the reactive alumina produced from Seydişehir Gibbsite gave 1.5 times higher fracture toughness value than that of the refractory mixture containing commercial reactive alumina obtained from a refractory brick company. One of the parameters affecting the bulk density is the packing density of the aggregate mixture. The packing density of the aggregate mixture used in the experiments should be measured and an aggregate mixture that gives a higher packing density than this should be prepared. The second parameter is

the degree of the reactive alumina used in the binder matrix. To increase this, sintering aid additives should be tried. With this study, it has been shown that domestic raw material resources can be used more efficiently and shed light on new studies to contribute to the economy. In future studies, the economic dimension should be investigated by cooperating with the industry.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

%	H.S.C.T	C.B.E.A
C	50	50
D	100	
S		100
DCP	100	
DAI	100	
L	50	50
W	50	50
CR	50	50
SR	50	50
PM	50	50
FA	50	50

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest. Also the authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors would like to gratefully acknowledge that this study has received funding from Afyon Kocatepe University Scientific Projects Commission under the grant number of BAPK-09.MUH.10. Special appreciations are extended to Prof. Dr. Ö. Faruk Emrullahoğlu for his notable supports. We would also like to express our gratitude to Mr. İlker Bahçe from Alisan company for providing the dispersants.

References

- Akselrod MS, Bruni FJ. 2012. Modern trends in crystal growth and new applications of sapphire. *J Crystal Growth*, 360: 134-145.
- Buhr A, Laurich J O. 2000. Synthetic alumina raw materials--key elements for innovative refractories. *Metallurg Plant Technol Inter (Germany)*, 23(3): 62-64.
- Chang PL, Wu YC, Lai SJ, Yen FS. 2009. Size effects on χ -to α -Al₂O₃ phase transformation. *J European Ceramic Soc*, 29(16): 3341-3348.
- Fu X, Tang W, Ji L, Chen S. 2012. V2O5/Al₂O₃ composite photocatalyst: preparation, characterization, the role of Al₂O₃. *Chem Engin J*, 180:170-177.
- Gogtas C, Lopez HF, Sobolev K. 2014. Role of cement content on the properties of self-flowing Al₂O₃ refractory castables. *J European Ceramic Soc*, 34(5): 1365-1373.
- Göğtaş C, Ünlü N, Odabaşı A, Sezer L, Cınar F, Güner Ş, Göller G, Eruslu N. 2010. Preparation and characterisation of self-flowing refractory material containing 971U type microsilica. *Advan Applied Ceramics*, 109(1): 6-11.
- Gürel SB, Altun A. 2009. Reactive alumina production for the refractory industry. *Powder Technol*, 196(2): 115-121.
- Lee JS, Kim HS, Park NK, Lee TJ, Kang M. 2013. Low temperature synthesis of α -alumina from aluminum hydroxide hydrothermally synthesized using [Al(C₂O₄)_x(OH)_y] complexes. *Chem Engin J*, 230:351-360.
- Lee W, Vieira W, Zhang S, Ahari KG, Sarpoolaky H, Parr C. 2001. Castable refractory concretes. *Inter Materials Rev*, 46(3): 145-167.
- Luz A, Gabriel A, Consoni L, Aneziris C, Pandolfelli V. 2018. Self-reinforced high-alumina refractory castables. *Ceramics Inter*, 44(2): 2364-2375.
- Ma W, Brown PW. 1999. Mechanisms of reaction of hydratable aluminas. *J American Ceramic Soc*, 82(2): 453-456.
- Madono M. 1999. Alumina raw materials for the refractory industry. *CN-Refractories*, 6(3): 54-63.
- Otroj S, Sagueian A, Daghighi A, Nemati ZA. 2010. The effect of nano-size additives on the electrical conductivity of matrix suspension and properties of self-flowing low-cement high alumina refractory castables. *Ceramics Inter*, 36(4): 1411-1416.
- Schnabel M, Buhr A, Kockegey-Lorenz R, Schmidtmeier D, Dutton J. 2014. Benefit of matrix alumina and modern dispersing systems in low cement castables. *Interceram-Inter Ceramic Rev*, 63:281-285.
- Silva AP, Segadães AM, Pinto DG, Oliveira LA, Devezas TC. 2012. Effect of particle size distribution and calcium aluminate cement on the rheological behaviour of all-alumina refractory castables. *Powder Technol*, 226:107-113.
- Xie ZP, Lu JW, Huang Y, Cheng YB. 2003. Influence of α -alumina seed on the morphology of grain growth in alumina ceramics from Bayer aluminum hydroxide. *Materials Letters*, 57(16-17): 2501-2508.
- Zhu L, Liu L, Sun C, Zhang X, Zhang L, Gao Z, Ye G, Li H. 2020. Low temperature synthesis of polyhedral α -Al₂O₃ nanoparticles through two different modes of planetary ball milling. *Ceramics Inter*, 46(18): 28414-28421.