



e-ISSN: 2667-4165 • CİLT / VOLUME: VII • SAYI / ISSUE: I • HAZİRAN / JUNE 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALI BİLİMLER DERGİSİ

Afyon Kocatepe University
International Journal of
Engineering Technology and
Applied Sciences

www.dergipark.org.tr/tr/pub/akuumbd



AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK TEKNOLOJİLERİ ve UYGULAMALI BİLİMLER DERGİSİ
Afyon Kocatepe University
International Journal of Engineering Technology and Applied Sciences

Afyon Kocatepe University International Journal of Engineering Technology and Applied Sciences

<http://dergipark.org.tr/akuumubd>

e-ISSN:2667-4165

Afyon Kocatepe University
International Journal of Engineering Technology and
Applied Sciences (AKU-IJETAS)

Volume: VII / Number: 1 / June - 2024

Owner / Publisher: Prof. Dr. Ayhan EROL for Afyon Kocatepe University

Editor in Chief Prof. Dr. Ayhan EROL

Co- Editor in Chief Assoc. Prof. Dr. Ahmet YONETKEN

Published Afyon Kocatepe University, June 2024,

ijetas@aku.edu.tr

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned. Nothing from this publication may be translated, reproduced, stored in a computerized system or published in any form or in any manner, including, but not limited to electronic, mechanical, reprographic or photographic, without prior written permission from the Publisher Afyon Kocatepe University www.ijetas.aku.edu.tr ijetas@aku.edu.tr The individual contributions in this publication and any liabilities arising from them remain the responsibility of the authors. The publisher is not responsible for possible damages, which could be a result of content derived from this publication.

CONTACT INFORMATION

Afyon Kocatepe University International Journal of Engineering Technology and Applied Science Afyon Kocatepe University, Technology Faculty, 03200 Afyonkarahisar, TURKEY

Phone: +90-272-2281446 /ext.

Fax: +90-272 228 1449

e-mail : ijetas@aku.edu.tr, aerol@aku.edu.tr

Welcome to AKU-IJETAS

Dear Researchers;

Afyon Kocatepe University International Journal of Engineering and Applied Sciences ler has been published in Turkish and English since 2018 with 2 issues. Our journal will accept Turkish and English articles as 2 issues a year and the articles will be evaluated by at least two referees with the same system. Our magazine from December 2018; it offers many advantages to readers due to the practical and practical access to the authors as well as the process of publishing and publishing quickly and easily; The electronic journal (e-ISSN:2667-4165) accepts 2 numbers per year (June and December) in Turkish and English. The names of the judges evaluating the articles are not notified to the authors. The referees cannot see the names of the authors. The studies are evaluated as at least two referees. Our authors, who want to send articles, can register their original scientific articles online and follow the process by registering on our magazine page. Our journal is accepted as original and previously published research articles.

We are waiting for your contributions as both referee and writer. I thank you in advance for your support and I wish you success in your work.

Prof. Dr Ayhan EROL

Chief Editor

Danışma Kurulu / Editörler/ Editorial Board

Ahmet AKSOY	Akdeniz University	TURKEY
Ahmet YILDIZ	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Alexander ONUFRAC	Pavol Jozef Safarik University	SLOVAKIA
Anas Sarwar QURESHI	Agriculture University	PAKISTAN
Artay YAGCI	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Asım Gokhan YETGIN	Dumlupinar University	TURKEY
Behçet GULENC	Gazi University	TURKEY
Bojan ZLENDER	Maribor University	SLOVENIA
Cahit GURER	Afyon Kocatepe University,	TURKEY
David NOZADZE	Georgian Technical University	GEORGIA
Diñcer BURAN	Süleyman Demirel University	TURKEY
Dunja PERIC	Kansas State University, Manhattan	ABD
Dusan ORAC	Kosice Technical University	SLOVAKIA
Elena Cristina RADA	Trento University	ITALY
Gabor PAY	University College of Nyiregyhaza	HUNGARY
Gratiela BOCA DANA	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Hazizan Md AKİL	Sains Malaysia University	MALAYSIA
Huseyin Ali YALIM	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Huseyin AKBULUT	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Huseyin BAYRAKCEKEN	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Ilhan KOŞALAY	Ankara University	TURKEY
Ioan ABRUDAN	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Ivan KURIK,	Technical University Zilina	SLOVAKIA
Iveta VASKOVA	Kosice Technical University	SLOVAKIA
João Pedro SILVA	Leiria Polytechnic Institute	PORTUGAL
Lucian Ionel CIOCA	Lucian Blaga University of Sibiu	ROMANIA
Marco RAGAZZI	Trento University	ITALY
Martina HRUBOVCAKOVA	Kosice Technical University	SLOVAKIA
Matjaž ŠRAML	Maribor University	SLOVENIA
Merlinda EBIBI	Mother Teresa University	MACEDONIA
Mihai BANICA	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Mircea HORGOS	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Monica Lopez ALONSO	University of GRANADA	SPAIN
Muhammed YURUSOY	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Mustafa ERSOZ	University of Selcuk	TURKEY
Mustaque HOSSAIN	Kansas State University, Manhattan	ABD
Nadras OTHMAN	Sains University	MALAYSIA
Nicolae UNGUREANU	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Neritan TURKESHI	Mother Teresa University	MACEDONIA
Olivera PETKOVSKA	Mother Teresa University	MACEDONIA
Olga OROSOVA	Pavol Jozef Safarik University	SLOVAKIA

P. Trinatha RAO	Gitam University	INDIA
Peter MONKA	Technical University Kosice	SLOVAKIA
Prasanna RAMAKRISNAN	Neo Education Institu	MALAYSIA
Ramazan KAÇAR	Karabük University	TURKEY
Radu COTETIU	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Regita BENDIKIENĚ	Kaunas Technology University	LITVANIA
Renata PANOCOVA	Pavol Jozef Safarik Űiversity	SLOVAKIA
Rıdvan UNAL	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Robert CEP	Technical University Ostrava	CZECH
Serdar SALMAN	Marmara University	TURKEY
Serhat BASPINAR	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Sermin OZAN	Fırat University	TURKEY
Sezai TAŞKIN	Celal Bayar University	TURKEY
Snezhina ANDONOVA	Sauth-West University	BULGARIA
Suleyman GUNDUZ	Karabük University	TURKEY
Stanislaw LEGUTKO	Poznan University of Technology	POLAND
Tomasz NIZNIKOWSKI	Lomza State University Applied Science	POLAND
Tomaz TOLLAZZI	Maribor University	SLOVENIA
Ugur CALIGULU	Fırat University	TURKEY
Yılmaz YALCIN	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Yuksel OĞUZ	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Zoran TRIFUNOV	Mother Teresa University	MACEDONIA

CONTENTS

Page

Kırıkkale İli İçin Hava Kaynaklı Bir Isı Pompasının Termodinamik İncelenmesi

Hüsamettin TAN, Zühtü Onur PEHLIVANLI1-8

Sıkıştırma ile Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Piston Malzemelerinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Termal Davranışlarının İncelenmesi

Mehmet Kutay BAYRAM, Emrah KANTAROĞLU.....9-22

Akciğer Görüntülerinden Tümörlü Verilerin Derin Sinir Ağları ve Evrişimsel Sinir Ağları ile Tahmini

Volkan ÇETİN, Çiğdem BAKIR.....23-36

The Importance of GRP Composite Material in Liquid Fertilizer Tanks and Production Optimization of the Tanks

Mehmet ÇAKMAKKAYA, Mert GÜVEN.,.....37-48

Ticari Buji Ateşlemeli Bir Motorda JP8 Askeri Jet Yakıtı ve Amorf Elementel Bor Yakıtlarının Kullanımının NOx Emisyonlarına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Emrah KANTAROĞLU, Ahmet DOĞAN49-57

Akıllı Tarım Uygulamalarında Kullanılan İlaçlama Sistemlerinin Araştırılması

Beyza SUNAR, Bekir YALÇIN, Berkay ERGENE, Ali ÖNAL
.....58-72

Araştırma Makalesi / Research Article

Kırıkkale İli İçin Hava Kaynaklı Bir Isı Pompasının Termodinamik İncelenmesi

Hüsamettin Tan¹, Zühtü Onur Pehlivanlı²

^{1,2} Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yahşihan/Kırıkkale
e-posta: husamettintan@hotmail.com¹, ORCID: 0000-0003-2576-8166 pehlivanli@kku.edu.tr² ORCID: 0000-0002-3094-5174

Geliş Tarihi: 29.12.2023 ; Kabul Tarihi: 14.02.2024

Öz

Bu çalışmada, R32 soğutucu akışkanlı hava kaynaklı bir ısı pompasının, Kırıkkale ili sınırları içerisinde bulunan bir konutun, kış aylarında ısı ihtiyacını karşılamak için kullanılabilirliği araştırılarak sistemin termodinamik analizi yapılmıştır. Çalışmada Kırıkkale ilinde son on yıl içerisinde görülmüş olan en düşük hava sıcaklığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Hesaplamalar, 2022-2023 yılları arasındaki Ekim – Nisan arasındaki ısıtma sezonunu örnek alınarak yapılmıştır. Çalışmada, dış ortamdan çekilen ısı, kompresörün enerji tüketimi, sistemin performans katsayısı ve ikinci yasa verimi parametreleri açısından incelenmiştir. Dış hava sıcaklığı azaldıkça çekilen ısı miktarı yaklaşık olarak %9 değerinde azalmaktadır. Bu doğrultuda ısıtma ihtiyacını karşılamak için kompresörün enerji tüketimi yaklaşık olarak %40 artmıştır. Elde edilen sonuçlar sistem performansı Ekim ve Ocak aylarında sırasıyla 5,545 ve 3,957 olarak hesaplanmıştır. Buna karşın ikinci yasa verimi Ocak ayı için 0,3266, Ekim ayı için 0,2103 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Bulgular, hava kaynaklı ısı pompalarının iklimsel koşullara bağlı olarak değişen performansını vurgulamaktadır.

Anahtar kelimeler

Isı pompası; COP;
Termodinamik analiz,
II. yasa

Thermodynamic Analysis of an Air Source Heat Pump for Kırıkkale Province

Abstract

This study conducted a thermodynamic analysis of an air-source heat pump using R32 refrigerant to assess its effectiveness in meeting the heating needs of a residence in Kırıkkale province during winter. The air temperature in Kırıkkale was obtained from the Turkish State Meteorological Service according to the average of last ten years. Calculations were based on the heating season between October and April for the years 2022-2023. In the study, parameters such as heat gained from the environment, compressor energy consumption, the system's performance coefficient, and second-law efficiency have been examined. As the external air temperature decreases, the amount of gained heat decreases by approximately 9%. In this regard, the energy consumption of the compressor to meet heating demand has increased by approximately 40%. The results showed that the system performance was calculated as 5.545 and 3.957 for October and January, respectively. However, the second-law efficiency was observed to be 0.3266 for January and 0.2103 for October. The findings emphasize the varying performance of air-source heat pumps depending on climatic conditions.

Keywords

Heat pump; COP;
Thermodynamic
analysis, II. law.

1. Introduction

Climate change is a significant issue threatening all living beings worldwide. It is primarily caused by the emission gases arising from technological devices used for various purposes. Air-source heat pumps serve as an excellent electrical alternative to fossil fuel-based heating systems to reduce greenhouse gas emissions in residential areas. However, common temperate climate systems experience significant performance losses in regions with cold climates due to low external air temperatures. In this regard, evaluating the usage and efficiencies of air-source heat pumps for different climatic regions is crucial.

In this scope, various studies in the literature have been investigated. Congedo et al. (Congedo et al., 2023) conducted a modeling study emphasizing the comprehensiveness and robustness of the results through a multi-parameter approach to understand the climatic effects on air-source heat pumps. The study represented all Koppen climate regions for two climate systems with low and moderate operating temperatures, covering a broad spatial region worldwide. They detailedly analyzed the behavior of air-source heat pumps through seasonal performance and operating hour calculations. Naldi et al. (Naldi et al., 2015) investigated the seasonal performance of air-source heat pumps in heating of various buildings using a mathematical model in Italy. The study highlighted that there is an optimal external temperature value related to the selection of the heat pump size based on the building to increase the system's seasonal efficiency. (Yang et al., 2016) developed a simulation model for an Air Cycle Heat Pump Water Heater (ACHPWH) that considers the non-design performance of components. Then, they compared this model with experimental data in the literature. The study concluded that implementing a more efficient compressor and expander in the ACHPWH system would lead to a significant improvement in annual performance. Additionally, despite a decrease in the COP for reheating, the ACHPWH system provided substantial savings in heating time when operating at low ambient temperatures. Kazjonovs et al.

Kazjonovs et al. (2014) conducted a study on residential buildings in Latvia, considering local climate conditions. The study aimed to characterize the efficiency of the heat pump by investigating the Seasonal Performance Factor (SPF) values of an air-to-water heat pump. The research focused on different types of heating systems during the winter season. The study concluded that air-to-water heat pumps could operate with an SPF ranging from 2.93 to 3.2 in the cold months of Latvia's climate. It emphasized that the operational costs of air-to-water heat pumps are lower compared to heating systems powered by natural gas, liquefied gas, diesel, and electricity. Zhang et al. (Zhang et al., 2017) proposed and implemented an air-source heat pump heating system to meet the demand for clean heating in cold regions of Northern China. In the study, a mathematical model was made to compare the primary energy consumption, emission rates, initial investment, and annual operating costs of different heating systems. They reported that air-source heat pumps could reliably and steadily meet space heating demands in residential buildings even when the external air temperature was -15°C . Congedo et al. (Congedo et al., 2020) applied a numerical model in TRNSYS to investigate the use of an air-source heat pump (ASHP) system in conjunction with a horizontal ground heat exchanger (EAHX) to reduce energy consumption in buildings in extreme cold and hot climate regions such as Italy, Norway, and Algeria. The study reported that the ASHP-EAHX system outperformed the traditional ASHP in every season. Coşkun et al. (Coşkun et al., 2023) conducted an economic analysis of the use of air-source heat pumps in İzmir province, investigating the hourly outdoor temperature data and electricity costs. They reported that, in the case of energy consumption being priced with a multi-tariff system, the energy cost would decrease by 20%. Konrad (Konrad & MacDonald, 2023) conducted an analysis of existing air-source heat pumps in the market, presenting their shortcomings. Regarding cold climate heat pumps, the study also highlighted additional design concepts and innovations that have not yet been implemented by the industry but could further enhance the performance and

adoption of heat pumps. Jesper et al. (Jesper et al., 2021) have developed an accurate understanding and model regarding the performance of heat pumps in terms of economics, energy, and the environment in large-scale applications. Their study focuses on examining the impact of system design and operating conditions on the coefficient of performance (COP) of large-scale (>50 kWth) electrically-driven mechanical compression heat pumps. Baglivo et al. (Baglivo et al., 2023) have conducted a predictive analysis of the short, medium, and long-term behavior of air-source heat pumps in two cities with extremely cold and hot climates. They emphasized that, considering the impact of climate change, heat pumps could be used in geographic regions where they are currently not employed due to extremely low winter temperatures.

The studies conducted in the literature indicate that the usability and efficiency of air-source heat pumps vary by region, emphasizing the need for region-specific evaluations. In light of this information, this study investigates the usability and efficiency of an air-source heat pump system for residential heating in Kırıkkale province, located in the Inner Anatolia region of Turkey and characterized by a temperate climate zone. This study provides a significant contribution by evaluating the use of air-source heat pumps specific to regional climatic conditions. A selected air-source heat pump was implemented in a residence within the region, and thermodynamic analyses were conducted through modeling for the heating season (October-April).

2. Material and Method

2.1 System design

The schematic representation of the heat pump used in the study is given in Figure 1. The selected system is an air-source heat pump, widely utilized due to its commonality and ease of use. The general operating principle of the system is gaining heat from the external air (\dot{Q}_L) and pumping it to the high-temperature element through the compressor. The system consists of two regions: the low-pressure region and the high-pressure

region. The heat required for the evaporator in the low-pressure region (\dot{Q}_L) is absorbed from the air, and the refrigerant circulating within the system is vaporized and sent to the compressor (#1). The temperature and pressure of the refrigerant entering the compressor are increased, and then sent to the condenser in the high-pressure region (#2). The heat load (\dot{Q}_H) required for heating the environment is released from the refrigerant in the condenser, and the refrigerant exits the condenser as saturated liquid (#3). To allow the cycle to repeat, the refrigerant is sent to the evaporator by providing pressure drop through the expansion valve (#4).

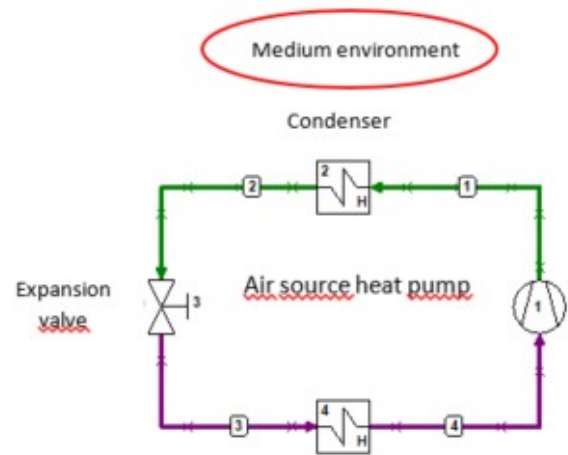


Figure 1. The schematic of the heat pump

2.2 The modelling of system and basic assumptions

During the system modeling, design values and assumptions were made for the environment and the system. Primarily, the ambient air will be utilized as the heat source. In this context, the average ambient temperature values for Kırıkkale province, where the study is conducted, are provided in Figure 2 for the October, November, December, January, February, March, and April (MGM, 2023). Heating is required for Kırıkkale province during the considered months. Additionally, the ambient air temperatures determine the design values for the evaporator temperatures.

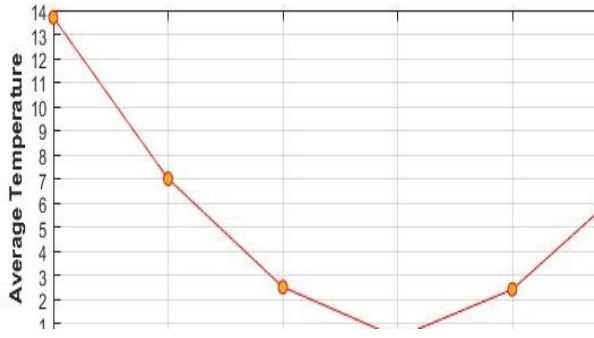


Figure 2. The average temperature of months

Energy analyses for the system were conducted based on the design conditions and assumptions provided below.

- ✓ Steady flow; changes in kinetic and potential energies have been neglected in all control volumes.
- ✓ The pressure losses in heat exchangers and pipes have been neglected.
- ✓ The throttling process is assumed to be isentropic.
- ✓ The condenser exit is assumed to be saturated liquid, and the evaporator exit is assumed to be saturated vapor.
- ✓ The compressor and expansion device are assumed to be adiabatic.
- ✓ The isentropic efficiency of the compressor is assumed to be 0.7.
- ✓ The temperature difference between the evaporator operating temperature and the ambient temperature is assumed to be 3°C, and the condenser operating temperature is assumed to be 45°C.
- ✓ The ambient pressure is assumed to be 1 bar, and the room temperature is assumed to be 298 K.
- ✓ The heating capacity of the heat pump is determined to be 20 kW.
- ✓ The working refrigerant is R32.

Design conditions, in accordance with the determined and assumed parameters, have been utilized to conduct thermodynamic analyses for the heat pump. The analyses were performed using energy equations for the system elements. Energy analyses for each system element were conducted based on Equations 2.1 and 2.2. The energy equations for system elements are given sequentially.

$$\text{Mass Balance} \rightarrow \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o = 0 \quad 0.1$$

$$\text{Energy Balance} \rightarrow \sum \dot{E}_i - \sum \dot{E}_o = 0 \quad 0.2$$

Compressor;

Neglecting kinetic and potential energy changes, the isentropic efficiency and energy equation for the adiabatic condition can be expressed as Equations 2.3 and 2.4.

$$\eta_c = \frac{h_{1s} - h_4}{h_1 - h_4} \quad 0.3$$

$$\dot{W}_c = \dot{m}_{hp} * (h_1 - h_4) \quad 0.4$$

Condenser;

Neglecting kinetic and potential energy changes, the energy equation for the adiabatic process (heat supplied to the indoor environment for heating) and the isobaric process can be expressed as Equation 2.5.

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_{hp} * (h_1 - h_2) \quad 0.5$$

Expansion valve;

Neglecting kinetic and potential energy changes, the energy equation for the adiabatic process and the isenthalpic process can be expressed using Equation 2.6.

$$h_2 = h_3 \quad 0.6$$

Evaporator;

Neglecting changes in kinetic and potential energy, Equation 2.7 expresses the energy equation for the adiabatic and isobaric processes.

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_{hp} * (h_4 - h_3) \quad 0.7$$

The coefficient of performance (COP) of the system can be expressed as Equation 2.8.

$$COP_{HP} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_c} \quad 0.8$$

The II. law efficiency of the system can be expressed as Equation 2.9.

$$\eta_{II} = \frac{COP_{HP}}{COP_{REV}} \quad 0.9$$

Here, COP_{REV} represents the performance coefficient of the reverse heat pump and can be expressed as Equation 2.10.

$$COP_{REV} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} \quad 0.10$$

2.3 Validation Study

The experimental study conducted by Dikici et al. (Dikici et al., 2006) was referenced for the analytical validation of the work. The study pertains to the experimental investigation of an air-source heat pump. In the study, the operating temperatures of the evaporator and condenser were determined as 0°C and 28°C, respectively. The isentropic efficiency of the compressor was assumed to be 0.25, and the exit of the evaporator and condenser was considered to be saturated vapor and saturated liquid, respectively. According to the design criteria, it was calculated by the analytical equations. The results obtained in the study are compared with the analytical results in Figure 3.

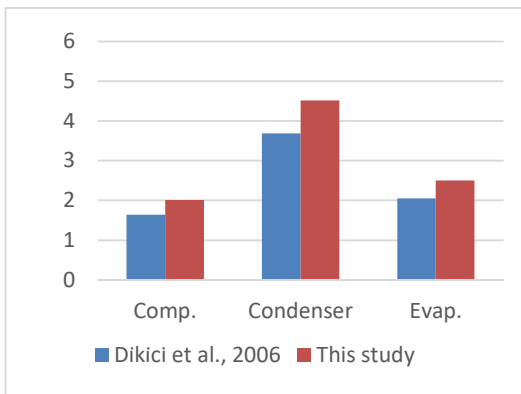


Figure 3. The model validation study

3. Results and Discussions

Energy analysis of the air source heat pump in the months when heating is needed for Kirikkale province was made in line with the determined design values and assumptions. The energy equations were solved analytically in this situation. The results were compared in terms of the system's COP and reversible COP value, heat absorbed from the ambient environment (\dot{Q}_L),

energy consumption of the compressor and second law efficiency parameters.

The distribution of heat absorbed from the ambient environment and compressor energy consumption for different months is given in Figure 4. It is observed that as the external ambient temperature decreases, the heat absorbed by the evaporator decreases. Similarly, with the heating capacity of the system being constant, it increases the energy consumption of the compressor. The lowest heat absorbed and energy consumption were calculated as 14.95 kW and 5.055 kW for the January, respectively. The highest heat absorbed and energy consumption were calculated as 15.17 kW and 4.836 kW for the December and February, respectively.

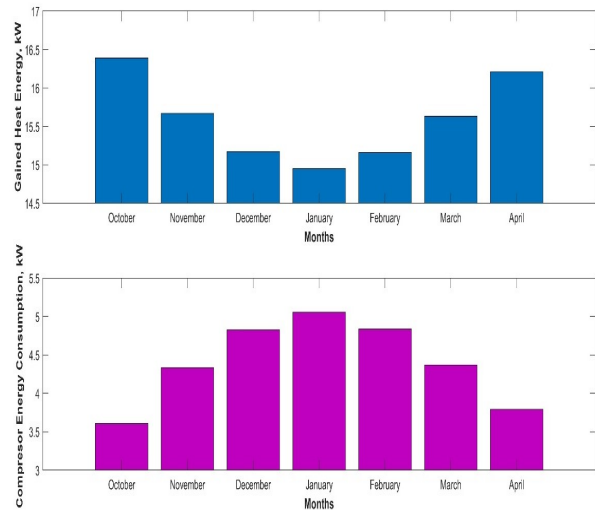


Figure 4. Gained heat energy and compressor energy consumption

The distribution of the system's Coefficient of Performance (COP) for different months is given in Figure 5. It is observed that the COP of the system decreases with a decrease in the external ambient temperature. The lowest COP value is calculated for the January, which has the lowest external ambient temperature. The highest COP value is calculated for October, which has the highest external ambient temperature. The variation in COP between the highest and lowest external ambient temperatures is approximately 28%.

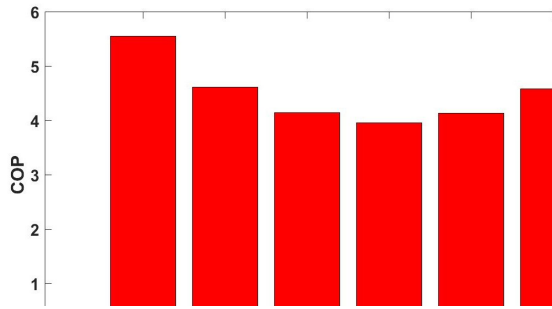


Figure 5. System COP values for different months

The reversible COP values, representing the maximum performance the system can achieve based on ambient temperatures, and the results

for the second law efficiency are shown in Figure 6. As seen in Figure 6a, the reversible COP values are the lowest and highest in January and October, respectively. Accordingly, in Figure 6b, the months with the lowest and highest second law efficiency are October and January, respectively. In terms of the second law efficiency, the variation between the lowest and highest values is approximately 53%. This situation similarly valid to the reversible COP values.

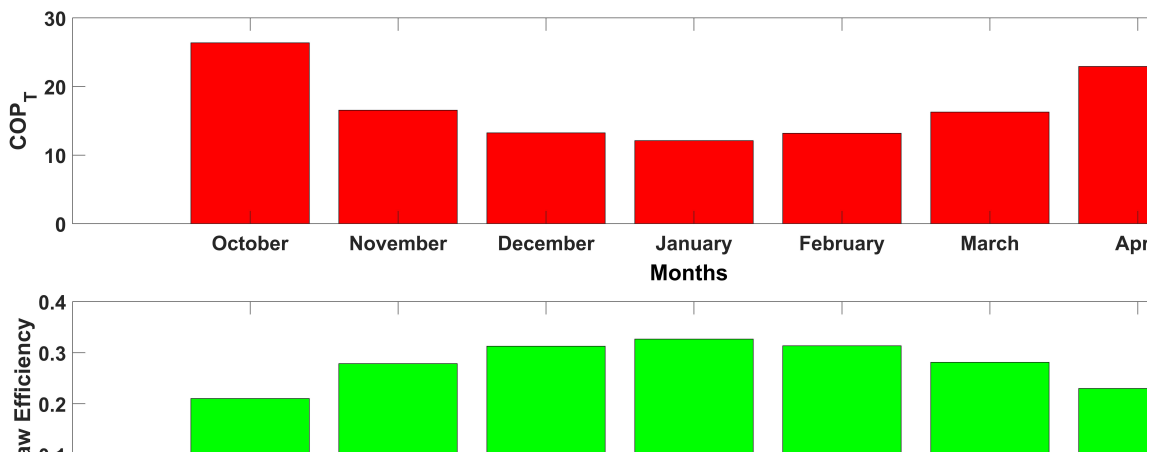


Figure 6. Reversible COP (Coefficient of Performance) and second law efficiency for different months

4. Conclusion

The use of a heat pump for heating needs in the Kırıkkale province has been investigated within the scope of the study. In this context, a basic air-source heat pump system was selected, considering the reference external air conditions. Parameters such as the heat gained from the environment, consumed energy, COP (Coefficient of Performance), and second law efficiency were taken into account for the comparison between different months. Results obtained by solving analytical equations based on specific design values and assumptions are summarized below.

- ✓ The heat gained decreases, and the consumed energy increases as the external ambient temperature decreases.
- ✓ The decrease in the heat gained is a result of the decrease in the ambient temperature, leading to a reduction in the

enthalpy of evaporation and an increase in the compressor discharge temperature, which, in turn, causes a decrease in the mass flow rate circulating in the system.

- ✓ As the external ambient temperature decreases, the increase in the pressure difference between the evaporator and condenser leads to an increase in the compressor discharge temperature. This condition not only increases compressor energy consumption but also reduces the system COP value.
- ✓ From the perspective of the second law, the highest value is observed to be 0.3266 for January, while the lowest value is 0.2103 for October. This situation arises due to the highest reversible COP value that can be achieved in October and the lowest reversible COP value that can be achieved in January.

In the analyses conducted for all months, the heating capacity has been assumed to be constant. In future studies, analyses can be conducted in terms of energy and exergy considering heating capacities determined based on the average external ambient temperatures for each month in the selected climatic region.

Abbreviations and symbols

TRSSP: Transient Systems Simulation Program

ACHPWH: Air Cycle Heat Pump Water Heater

SPF: Seasonal Performance Factor

\dot{Q}_L : Gained heat

\dot{W}_C : Energy consumption

\dot{E}_i : Energy input

\dot{E}_o : Energy output

\dot{m}_{hp} : Mass flow rate of heat pump

COP_{HP}: Coefficient of the performance

η_{II} : Second law

COP_{REV}: Reversible coefficient of the performance

η_c : Isentropic efficiency of the compressor

T_L : low environment temperature

T_H : High environment temperature

h: Entalpy

5. References

Baglivo, C., Mazzeo, D., Matera, N., & Congedo, P. M. (2023). Air-source Heat Pump Under Very Climate Change Scenarios: A Numerical Analysis. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 11(3), 1–12. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d11.0458>

Congedo, P. M., Baglivo, C., Bonuso, S., & D'Agostino, D. (2020). Numerical and experimental analysis of the energy performance of an air-source heat pump (ASHP) coupled with a horizontal earth-to-air heat exchanger (EAHX) in different climates. *Geothermics*, 87(January 2019), 101845. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101845>

Congedo, P. M., Baglivo, C., D'Agostino, D., & Mazzeo, D. (2023). The impact of climate change on air source heat pumps. *Energy Conversion and Management*, 276(August 2022), 116554. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116554>

Coşkun, C., Oktay, Z., & Birecikli, B. (2023). *International Journal of Energy Applications and Technologies Investigation of the economic aspects of air source heat pump usage for Izmir province*. 10(1), 26–33. <https://doi.org/10.31593/ijeat.1249609>

Dikici, A., Akbulut, A., & Gülçimen, F. (2006). Güneş, Hava Ve Toprak Enerjisi Kaynaklı Isı Pompalarının Elazığ Şartlarında Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması Ve Enerji Ve Ekserji Analizleri. *J. of Thermal Science and Technology*, 25, 49–61.

Jesper, M., Schlosser, F., Pag, F., Walmsley, T. G., Schmitt, B., & Vajen, K. (2021). Large-scale heat pumps: Uptake and performance modelling of market-available devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137(September 2020), 110646. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110646>

Kazjonovs, J., Sipkevics, A., Jakovics, A., Dancigs, A., Bajare, D., & Dancigs, L. (2014). Performance analysis of air-to-water heat pump in Latvian climate conditions. *Environmental and Climate Technologies*, 14(1), 18–22. <https://doi.org/10.1515/rtuect-2014-0009>

Konrad, M. E., & MacDonald, B. D. (2023). Cold climate air source heat pumps: Industry progress and thermodynamic analysis of market-available residential units. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188(May), 113739. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113739>

Müdürlüğü, M. G. (2023). *Seasonal norms for the provinces*. <https://Mgm.Gov.Tr/Veridegerlendirme/II-ve-Ilceler-Istatistik.Asp?Ysclid=lqqame0z3d363539405>

Naldi, C., Dongellini, M., & Morini, G. L. (2015). Climate influence on seasonal performances of air-to-water heat pumps for heating. *Energy Procedia*, 81, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.064>

- Yang, L., Yuan, H., Peng, J. W., & Zhang, C. L. (2016). Performance modeling of air cycle heat pump water heater in cold climate. *Renewable Energy*, 87, 1067–1075. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.055>
- Zhang, Q., Zhang, L., Nie, J., & Li, Y. (2017). Techno-economic analysis of air source heat pump applied for space heating in northern China. *Applied Energy*, 207, 533–542. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.083>

Araştırma Makalesi / Research Article

Sıkıştırma ile Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Piston Malzemelerinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Termal Davranışlarının İncelenmesi

Mehmet Kutay Bayram¹, Emrah Kantaroğlu^{2*}

^{1,2} Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale.

e-posta: mehmetkutaybayram@outlook.com, ORCID ID: 0009-0000-9744-2363

e-posta*: emrahkantaroğlu@kku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6127-4318

Geliş Tarihi: 03.02.2024 ; Kabul Tarihi: 25.03.2024

Öz

Silindir içinde yanma sonu oluşan yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlar yapısal ve termal yüklere neden olmaktadır. Termal yüke maruz kalan piston, çalışma sırasında sıcaklık değişimleri nedeniyle termal gerilmelere de maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, Renault F8Q706 motoru için seçilen 3 farklı piston malzemesi için sıcaklık dağılımı, 2500 dk⁻¹ motor hızında ve tam yük koşullarında sonlu elemanlar metodu (SEM) hesaplanmıştır. Bu piston malzemeleri alüminyum alaşım-6061, yapısal çelik ve magnezyum alaşım-AZ91D' dir. Analizlerde, yanma sonu yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kalan piston yüzeyleri incelenmiştir. Hesaplamalarda silindir içi sınır şartları, bu motor için 1-Boyutlu (1B) olarak Ricardo-Wave yazılımı ile oluşturulan motor modelinden ve literatürden alınmıştır. Pistonun 3-Boyutlu (3B) çizimi SolidWorks yazılımında ve SEM analizleri ANSYS Steady State Thermal modülünde yapılmıştır. Analizler sonunda, pistonun yüzey sıcaklıkları ile piston yüzeyi ve komşuluğundaki gazların ısı transfer performansları hesaplanmıştır. Analizlerde, 1B motor modelinde hesaplanan silindir içi yanma sonu ortalama gaz sıcaklığı 1238,8 K iken, yapısal çelikte 1310,4 K ve magnezyum alaşım-AZ91D' de ise 1372,9 K olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklıklar, kullanılan her malzeme için benzer sıcaklık dağılımı göstererek, yanmaya direkt maruz kalan piston üst yüzeyi ve hemen alt yüzeyinde en yüksek değerlerde, piston etek bölgesinde ise en az değerlerde hesaplanmıştır. Piston malzemesi olarak kullanılan alüminyum alaşım-6061 malzemesinin pistondaki ısı yayılımı arttırdığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Sonlu elemanlar metodu; Isı transferi; Piston; Termal yük.

Investigation of Thermal Behaviors of Different Piston Materials in a Compression Ignition Engine Using the Finite Element Method

Abstract

High pressure and temperature gases formed as a result of combustion cause structural and thermal loads. Thermal load also causes thermal stresses in the piston. In this study, the temperature distribution of 3 different piston materials for the Renault F8Q706 engine was calculated with the finite element method (FEM) at 2500 min⁻¹ and full load. These materials are aluminum-alloy-6061, structural-steel and magnesium-alloy-AZ91D. In the analyses, piston surfaces be examined. In the calculations, in-cylinder boundary conditions were taken from the 1-dimensional engine model created with Ricardo-Wave software for this engine and from the literature. The 3-D drawing of the piston was made in SolidWorks software and FEM analyses were made in ANSYS Steady State Thermal module. At the end of the analyses, the surface temperatures of the piston and the heat transfer of the piston surface and adjacent gases were calculated. As a result, while the average in-cylinder combustion end gas temperature calculated in the 1-dimensional engine model is 1238.8 K, it is calculated as 1310.4 K in structural steel and 1372.9 K in magnesium alloy-AZ91D. These temperatures are similar for each material used. Temperatures were calculated at the highest values on the upper surface and immediately lower surface of the piston, and at the lowest values in the piston skirt region. It has been observed that the aluminum alloy-6061 material increases the thermal dissipation in the piston.

Keywords

Finite element method; Heat transfer; Piston; Thermal load.

1. Giriş

İçten yanmalı motorlarda kullanılan petrol türevi yakıt bağımlılığı günden güne yeni yakıt teknolojilerinin veya mevcut motor teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Hem azalan petrol rezervleri hem de bununla birlikte artan maliyetler, çevresel kirlilik sorunlarıyla birleştiğinde yeni yakıt arayışları veya motor modifikasyonları sürekli olarak devam etmektedir. Uzun süreler boyunca, devletler ve devletler özelindeki stratejik kamu/özel sektör temsilcileri, içten yanmalı motorları yüksek verimlilikte, maksimum yakıt faydası sağlanarak daha çevreci bir şekilde kullanmayı amaçlamışlardır. Bunun için ise en klasik yöntemler olarak motor geometrisi değişiklikleri yapılmış ve yeni yakıt arayışları denenmiştir. Ancak bu yöntemler, günümüz dünyasında gelişen dijital teknolojiler yanında geçerliliğini kaybetmeye başlamıştır. Bu da ulaşımda içten yanmalı motor kullanımını iyiden iyiye kısıtlamaya başlamış ve alternatif bir ulaşım imkânı sağlayacak olan elektrikli motor teknolojileri hızla bu çalışmaların esas konusu haline gelmiştir. Dünyada içten yanmalı motor kullanımına bakıldığında, 2035'ten itibaren başta AB ülkeleri olmak üzere, ABD, Kanada, Hindistan, Çin gibi birçok ülke benzin ve dizel yakıt kullanımını sıfırlayacağını ve içten yanmalı motora sahip araç satışını yasaklayacağını açıklamıştır. Türkiye'nin ise tarafı olduğu Paris Anlaşmasına göre 2030-2050 yılları arasında bu geçişi tamamlamış olması gerekmektedir <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (12.12.2023). Bu bağlamda Ocak 2024'te yayınlanan TÜİK verilerine bakıldığında, Türkiye'deki 15.333.952 otomobilin %1,5'i hibrit ve %0,6'sı tamamen elektrikli. Yani hali hazırda kullanılmakta olan 15.011.939 adet içten yanmalı motora sahip otomobil bulunmaktadır <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ocak-2024> (04.03.2024). Bahsedilen sınırlamalar ve anlaşmalar gereğince, hedeflenen tarihlere kadar elektrikli araç geçişinin sağlanması beklenmektedir. Ancak halihazırda içten yanmalı motorlar hem dünyada hem de ülkemizde kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlar özelinde

dizel yakıt kullanan sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar da hem büyük tonajlı ulaştırma hizmetlerinde hem de elektrik üretiminde oldukça önemli yere sahiptir. Bu nedenle sıkıştırma ile ateşlemeli motorların kullanımı yeni yakıt teknolojileri kullanılarak hafifletilen emisyon salınımları ile devam edecektir. Bir sıkıştırma ile ateşlemeli motorda kullanılan yakıt kaynaklı sağlanan yakıt enerjisi, ekzotermik bir özellikte olan yanma olayı sonunda elde edilen ısı üretimi ile termal ve mekanik kayıplara maruz kalarak efektif iş olarak ortaya çıkmaktadır. Motordaki ısı efektif işe dönüşürken elde edilen kayıplar neticesinde, motor parçalarının sıcaklığında da artışa neden olmaktadır. Bu nedenle yanma odasında gerçekleşen ısı transferinin neticesinde, malzeme dayanımları gözetilerek motor istenilen sıcaklıkta tutulmaktadır. Bu işlemin sağlanması için gerçekleşen motor soğutması her zaman için önemini koruyan bir alan olmuştur (Paratwar ve Hulwan 2013). Sıkıştırma ile ateşlemeli motorda yeterli soğutma olmadığı durumda, yanma odasını çevreleyen piston üst yüzeyi, ateşleme segmanı, silindir kafası ve supaplarda ortalama sıcaklık 1273 K ile 1773 K aralığındaki gaz sıcaklıklarına maruz kalmış olacaktır (Aktaş 2022). Bu durum da bu metal motor komponentlerinin ısınmasına ve malzeme dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda direkt yüksek sıcaklık nedeniyle ya da silindir içi kontrolsüz yüksek sıcaklıklarının yanma stabilitesini bozmasından dolayı emisyonların artması da kaçınılmaz olarak gerçekleşir. Çevresel kirliliğin en önemli bölümünü, içten yanmalı motorlardan çıkan egzoz gazı emisyonları oluşturmaktadır (Abuşoğlu ve Kanoğlu 2008). Motor içinde gerçekleşen yanma sonucunda, çevreye verilen egzoz gazının içeriğinde karbondioksit (CO₂) ve su buharı (H₂O) gibi temel yanma ürünlerinin yanında, çok çeşitli kirlilik bileşenleri de bulunur. Bu bileşenlerden en önemli üçü; karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve azot oksit (NO_x) bileşenleridir (AbdelRahman 1998) Yüksek motor sıcaklıklarında, yanma stabilitesinin bozulmasına bağlı olarak CO emisyonu ve yakıt tüketimi artar.

Motorda artan yakıt tüketimi, daha fazla fosil yakıt kullanımına neden olarak yanmamış hidrokarbonlar (UHC) gibi kirlenici emisyon gazı salınımlarını arttırır. Bunun yanında yüksek sıcaklıklara direkt olarak bağlı olan, insan sağlığı ve bitkisel üretim üzerinde ciddi etkileri olan NO_x emisyonlarının salınımı da artar (Hao vd. 2023). Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yakıtın yanması ile silindir içine giren enerjinin efektif olarak %30-37'si kullanılabilir işe dönüştürülmektedir. Silindir içine giren bu enerji, efektif işe dönüştürülürken %30-35'i egzoz gazları tarafından egzoz ile dışarı atılır, %10-12'si iletim, taşınım ve ışıyım ile silindir dışına transfer olur, %17-26'sı gazlardan silindir duvarlarına enerji akışı şeklinde kaybolur. Silindir duvarına olan bu enerji akışı piston ve silindir duvarlarının sıcaklığının yükselmesine neden olur. Bu yüksek sıcaklıklar daha yüksek ısıl verim ve azaltılmış sürtünme kayıpları sağlayacak olsa da yüksek sıcaklık, termal gerilmelerin neden olduğu mekanik genleşme ve bozulma nedeniyle motorun belirli hayati parçalarına zarar vermektedir. Piston, silindir şeklindeki bir piston gömleğinin içerisinde doğrusal olarak hareket eden bir hareket elemanıdır. Silindirik bir kesite sahip olan piston, silindir içerisinde üst ölü nokta ve alt ölü nokta arasında belirli zamanlara göre hareket eder. Pistonun ana görevi, içinde bulunduğu silindir içindeki hava/yakıt karışımını sıkıştırmak, ardından da bu karışımın yanması sonucu yanma hacminde oluşan yüksek sıcaklık ve buna bağlı yüksek genleşme basıncıyla hareket sağlamaktır. Pistonlar genellikle metal alaşımlarından yapılır. Bu alaşımlar, alaşımlı çelikler, dökme demirler ve alaşımlı alüminyumlardır. Motor imalatçıları tarafından, hafif ve şekil verme kolaylıkları gibi özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımları sıkça tercih edilmektedir. Bununla beraber alüminyum alaşımların genellikle ısı iletim katsayılarının yüksek olmasından kaynaklı olarak ısıyı iyi iletmeleri ve böylece daha erken dönemde soğutulabilmeleri de kullanımları açısından avantaj sağlamaktadır. Pistonun yapısal yüke ve termal yüklere fazlasıyla maruz kalan bölümüne piston yüzeyi denilmektedir.

Piston geometrik olarak karmaşıktır bir yapıdadır, çünkü motor değişken ortam koşullarında çalışmaktadır. Piston, bir devirde gazlar ve ivme kuvvetleri tarafından değişen basınç ve sıcaklığa maruz kalır. Piston yüzeyindeki basınç ve sıcaklık dağılımlarının hesaplanması oldukça önemlidir. Termal analiz bir nesnedeki sıcaklık dağılımını belirlemek için kullanılır (Singh ve Parmanik 2015). Bir pistonun tasarımı sırasında, pistonun termal gerilmelerini ve deformasyonlarını bulmak için piston sıcaklık dağılımını bulmak önemlidir (Wannatong ve Sanitjai 2008). Morel ve Keribar (1990) bir buji ile ateşlemeli motorun sıcaklık ve ısı akış dağılımını analitik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında teorik yaklaşım ve sayısal simülasyon olmak üzere iki yöntemle hesaplamalar yapmışlardır. Teorik yaklaşım, her bir krank dönüş açısında basınç, sıcaklık ve hacim hesaplaması ile yapılmıştır. Sayısal simülasyon ise, ANSYS yazılımı kullanılarak eliptik piston profili analiz edilerek yapılmıştır. Sayısal ve teorik sonuçlar karşılaştırmalar sonucunda sayısal sonuçların teorik sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Douglas Baker (1994), bir dizel motor için eşleştirilmiş termodinamik ve ısı transfer analizi metodolojisini 1B ve 2B olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, ısı akışı sonlu eleman modelleri ile, piston ve silindir sıcaklıkları ve ısı transfer oranını bulmak için kullanılmıştır. Pistonun modellenmesi CATIA yazılımında gerçekleştirilirken, Sonlu Elemanlar Analizi için ANSYS workbench kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde Von Mises gerilme kriteri kullanılmıştır. Kajiwara vd. (2011) çalışmalarında, FEM kullanarak piston için beş farklı malzemenin gerilme dağılımını, termal gerilmelerini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Simülasyon için kullanılan parametreler; çalışma gazı basıncı, sıcaklık ve pistonun malzeme özellikleri olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan motor, Bajaj Kawasaki motosikletinin dört zamanlı tek silindirli motorudur. Sonuçlar, FEA kullanılarak farklı malzeme pistonları üzerindeki maksimum gerilimi ve kritik bölgeyi tahmin etmektedir. Catia v5 yazılımı kullanılarak tasarım ve Ansys 14.5 Statik ve termal stres analizinde Ansys yazılımı kullanılarak analizler gerçekleştirilmişlerdir. Yapısal ve termal analizler gözlemlenerek sonuçlara göre uygun

malzeme optimize edilmiştir. Winkler ve Parker (1993), termal bariyer kaplamanın dizel motor performansı ve bileşen ömrü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel ve simülasyon karşılaştırması yaptıkları çalışmalarında sonuçlar arasında yüksek derecede uyum gözlemişlerdir. Kendilerinin geliştirdikleri simülasyon programı ile piston segmanı hareketlerini ve blow-by/blow-back akışını simüle etmişlerdir. Segman profilinde cebirsel bir denklem bulunmadığından, sunulan simülasyon tekniğinin piston ve segmanların karmaşık yüzeyleri için uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Hamzehei (2006), gerçek testte bir 4 silindirli benzinli motorun piston ve silindir kafasının sıcaklığını farklı parametrelerde ölçmüşlerdir. Sonuçlarda, piston ve silindir kapağı üzerindeki çeşitli noktalarda sıcaklığın zaman ve motor hızıyla değiştiği ve artan devirlerde arttığını tespit etmişlerdir Uzuneanu vd. (2008), etanol-benzin karışımıyla beslenen bir ateşleme motorunun piston başındaki ısı transferini, basit termal ağlardan çok boyutlu diferansiyel denklem modellemesine kadar modellemişlerdir. Etanol-petrol karışımlarının, saf benzin muadillerine kıyasla düşük enerji içeriğiyle tanınmasına rağmen, daha yüksek hacimsel verimliliğe, daha yüksek araştırma oktan sayısına, daha hızlı yanmaya ve daha az hassasiyete sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu nitelikler karışım yakıtlara gelişmiş güç çıkışı, gelişmiş sıkıştırma oranı ve daha az vuruş eğilimi kazandırmıştır. Gustof (2009), turboşarjlı dizel motorun çalışma başlangıcındaki piston içindeki sıcaklık dağılımını, iki bölge yanma modeli ve sonlu eleman yöntemi kullanarak belirlemişlerdir. Pistonun ısı yüklerinin sayısal hesaplamalarının sonuçları, orijinal iki bölge yanma modelinin ve sonlu elemanlar metodunun pistonun bireysel yüzeylerindeki değerlerin ve geçici sıcaklık dağılımının analizi için kullanılabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada, Renault F8Q706 motorunun demontajı gerçekleştirilerek, birebir silindir ölçüleri alınmış ve piston geometrisi oluşturulmuştur. Motorun fiziksel ve kimyasal özellikleri kullanılarak motor ilk olarak 1B modellenmiş ve buradan hesaplanan silindir içi karakteristikler ANSYS Steady

State Thermal Modülünde sınır şartı olarak kullanılmıştır. Yapılan termal analizlerde farklı piston malzemelerinin termal davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada literatürden farklı olarak, motorun silindir içi parametrelerinin belirlenmesi için motor testleri ile doğrulanmış bir 1B modelinin oluşturulması ve buna bağlı olarak kombine bir yaklaşımla 3B termal piston modelinin geliştirilmesi farklı bölgelerin farklı sayısal modellerle incelenmesi yaklaşımını sergilemektedir. Bunun sonucunda, farklı piston malzemelerinin incelenmesi ve çoklu model kullanımı çalışmanın geniş bir kapsama sahip olduğunu göstermektedir. 1B motor modelinde ısı transferi, yanma ve türbülans fiziği, 3B termal piston modelinde de bunlara ilave, malzeme yapısı ve ısı iletim mekanizmalarının tanımlamaları yapılmıştır. Hem motor hem de piston termal modellerinin birbirinden bağımsız çalıştırılması, ancak sonuçların birbirinin temellerini oluşturması bakımından bu çalışma zincirleme etkilerin görüldüğü bir inceleme bütünüdür. Bu çalışmadaki yaklaşımlar ile, pistonda oluşan termal yükler, testlere göre daha kolay ve hızlı bir ilerleme sağlanarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, motor pistonunun termal analizlerinin yapılabilmesi için Renault F8Q706 motoru öncelikle Ricardo-Wave yazılımında 1B olarak modellenmiştir. 1B motor modeli analizlerinin, literatürde yer alan test sonuçlarıyla doğrulanmasının ardından, elde edilen silindir içi karakteristikler 3B Piston Termal Yük Analizinde sınır şartı olarak kullanılmıştır.

2.1 1B motor modeli

Bu çalışmada Ricardo-WAVE 2019.1 yazılımı kullanılarak 1B model oluşturulmuştur. Motor boyunca ana akış yolu için bu 1B motor modeli, her bir bileşenin ilgili özelliklerini tanımlayarak motor bileşenleri arasında bir ağ kurma mantığı ile oluşturulmuştur. 1B motor modeli akış yolu için akışkan akışı, ısı transferi, termodinamik, yanma ve emisyonun birçok fiziğini içerir. WAVE simülasyon

yazılımı, sıkıştırılabilir gaz akışları için kütle, momentum ve enerji transferini yöneten Navier-Stokes denklemlerinin 1B formunu çözmektedir. Bunun yanında modellemede yanma ve emisyonlar için alt modeller bulunmaktadır. 1B motor modeli oluşturulurken akış sürtünmesi, türbülans, ısı transferi, yanma, emisyon için bu modeller kullanılır. Birçok motor bileşeni, 1B motor modeli yazılımı kütüphanesinde modüler olarak mevcuttur. 1B motor modelindeki her bir bileşen, test donanımı ve test edilen motor için geçerli olan ilgili geometrik ve fiziksel parametreler kullanılarak tanımlanmıştır. Motorla ilgili parametreler motorun teknik özelliklerinden elde edilmiştir (Lapuerta vd. 2000). Bu özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Motorun 1B modeli oluşturulurken akış ağındaki ilgili tüm geometriler ve fizik (geometri, yanma, emisyonlar, türbülans, ısı transferi ve sürtünme) tanımlanmıştır. Genel olarak Wave programı 1B simülasyonlar için aşağıdaki modelleri kullanır:

- Isı transferi analizleri için Woschni (Woschni 1967),
- Yanma için Diesel Wiebe (Ghojel 2010, Wiebe 1956),
- Emisyonlardan CO ve CO₂ için Newhall emisyon modeli (Newhall 1969), HC için Cheng (Cheng vd. 1993), NO_x için Zeldovich mekanizmalarına dayanan Fenimore (Fenimore 1971) ve Heywood korelasyonları kullanılmıştır (Heywood 1988).
- Mekanik kayıpların hesaplanmasında literatürde %10 hata payına sahip olduğu bilinen Chen-Flynn korelasyon modeli kullanılmıştır (Pipitone 2009).

Yakıt tanımlaması Wave içerisindeki hazır dizel yakıt kütüphanesi kullanılarak yapılmıştır. 1B motor modeli, motor testlerindeki benzer koşullar altında çalıştırılmıştır. Krank açısına göre sıcaklık, basınç ve emisyon gibi temel fiziksel büyüklükleri okumak için modelin belirli noktalarına sensörler yerleştirilmiştir. Modelde motor devri, valf zamanlaması ve ateşleme zamanlaması gibi çalışma koşulları tanımlanmıştır. Her bir motor test koşulu için, veriler okunmadan önce tamamen kararlı durum koşullarının sağlanması amacıyla 250 motor çevrimi üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Zaman adımı çarpanı ve yakınsama kriteri sırasıyla

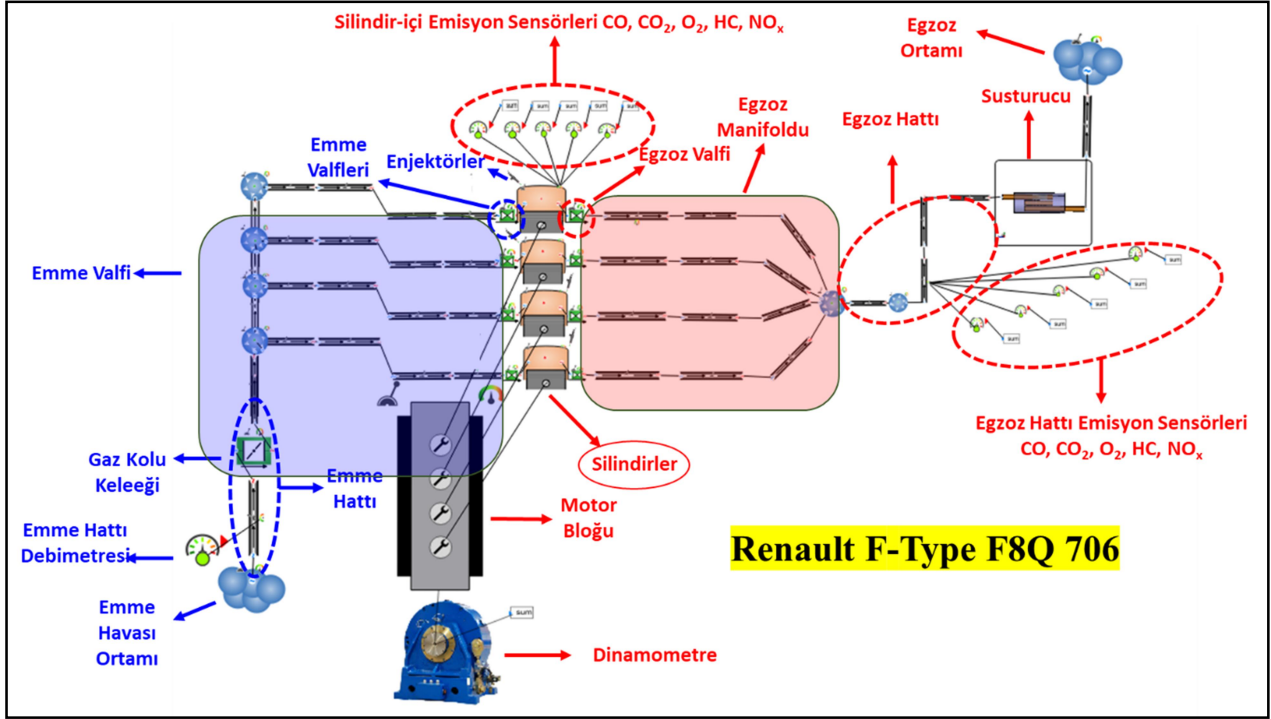
0,1 ve 0,001 olarak ayarlanmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, 1B motor modeli, motor testindeki emme hattının başından egzoz hattının sonuna kadar tüm ana akış bileşenlerini içerir. Bu bileşenler temel olarak filtre, emme hattı, emme havası debimetresi, gaz kelebeği valfi, emme manifoldu portu, emme valfi, yakıt hattı, silindir, piston, motor bloğu, egzoz valfi, egzoz manifoldu portu ve egzoz hattından oluşur. 1B motor modelinde her bir bileşenin ilgili özellikleri tanımlanarak ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bu bileşenler arasında uygun ilişkiler kurularak, sınır koşullarıyla birbirine bağlanmıştır. Modelde, bir bileşenin çıktısı, bir sonraki bileşenin girdisi olarak tanımlanır. Bu şekilde, sıkıştırılabilir gaz akışları için kütle, momentum ve enerji transferini yöneten Navier-Stokes denklemlerinin tek boyutlu formu çözülmektedir. Kodda sınır koşulları olarak tanımlanması gereken bazı önemli sıcaklık değerleri vardır. Bu değerler yaygın literatürden alınarak Çizelge 2' de verilmiştir (Heywood 1988, Mahle 2012, Winterbone 2015). Bu değerler motor hızına bağlı olarak piston sıcaklığı, silindir kafası/duvar sıcaklığı, emme/egzoz valfi sıcaklığıdır. 1B motor modeli, literatürdeki motor testlerinde var olan koşullar altında çalıştırılmıştır (Caro vd. 2001). Sıcaklık, basınç, emisyon gibi gerekli fiziksel büyüklüklerin okunması için model üzerinde belirli noktalara birçok sensör yerleştirilmiştir.

Çizelge 1. Motor özellikleri (Caro vd. 2001).

Motor modeli	Renault F-Type F8Q 706
Silindir sayısı	4
Strok hacmi, cc	1870
Piston çapı, m	0,08
Strok mesafesi, m	0,093
Sıkıştırma oranı	21,5: 1
Maksimum tork, Nm 2500 dk ⁻¹	118
Maksimum güç, kW 4500 dk ⁻¹	47

Çizelge 2. Sınır şartları (1B model) (Heywood 1988, Mahle 2012, Winterbone 2015, Aktaş 2022).

Sınır şartları	Basınç (Bar)	Sıcaklık (K)
Giriş (Hava)	2,56	327,5
Çıkış (Egzoz gazları)	2,83	904
Piston	-	595
Emme portu	-	323
Egzoz portu	-	490
Silindir gömleği	-	616
Silindir kafası	-	635
Emme supabı	-	345
Egzoz supabı	-	500

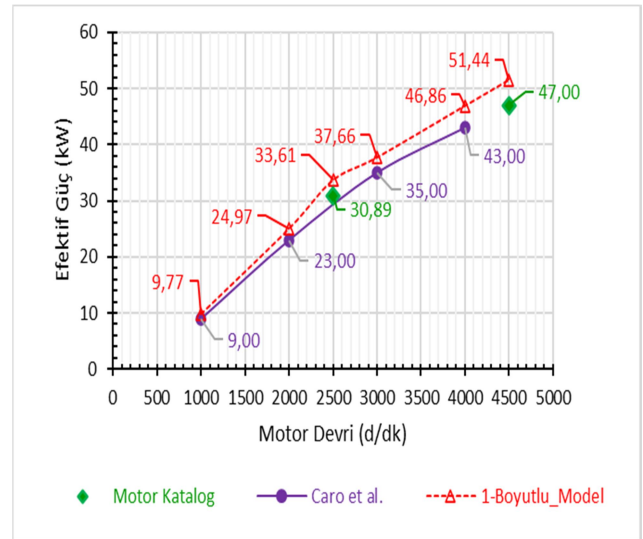


Şekil 1. 1B motor modeli.

1B model doğrulamalarında motor katalog güç değerleri ve literatürde aynı motor için yapılan deneysel çalışmalardan yararlanılmıştır. 1B modelin doğrulanmasına yönelik karşılaştırmalar Şekil 2'de verilmiştir. 1B modelde dizel yakıt için tam yükte elde edilen güç parametresi incelendiğinde, katalog ve literatür çalışmasında yer alan güç parametrelerinin de aynı artışı gösterdiği görülmektedir (Caro vd. 2001, Engine Catalog 2021). 1B motor modelindeki güç parametresi, literatür test çalışmasında yayınlanan güç parametresinden 1000-2000-3000-4000 dk⁻¹ için sırasıyla %8,526-%8,555-%7,596-%8,965 daha fazladır. Benzer şekilde 1B motor modelinde hesaplanan güç parametresi motor katalog güç parametresine göre 2500 dk⁻¹'da %8,785 ve 4500 dk⁻¹'da %9,457 daha yüksektir.

Motor katalog gücü ile literatürdeki diğer çalışmalardan elde edilen motor güçleri ile mevcut 1B motor modeli koşulları (dizel içeriği, ortam koşulları, motor aşınması vb.) arasında farklılıklar bulunmaktadır. Yani 1B modelde gözlenen farklılıklar model yaklaşımlarından kaynaklanmaktadır. 1B model analizlerindeki bu farklılığın temel nedeni, emme havası ve egzoz gazı

basınç ve sıcaklıklarındaki farklılıktır. Buradan da anlaşılacağı üzere bu çalışmada modellere test koşulları mümkün olduğu kadar doğru şekilde uygulanmıştır. 1B modellemede motorun maksimum tork devri olan 2500 dk⁻¹ ve tam yük koşulları için silindir içi gaz sıcaklığı ve basıncı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler Denklem 4'teki silindir içi ısı taşınım katsayısı hesaplamasında kullanılmıştır. Bu değerler Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 2. 1B motor modeli doğrulamaları.

Çizelge 3. 1B motor modelinden hesaplanan silindir içi parametreler.

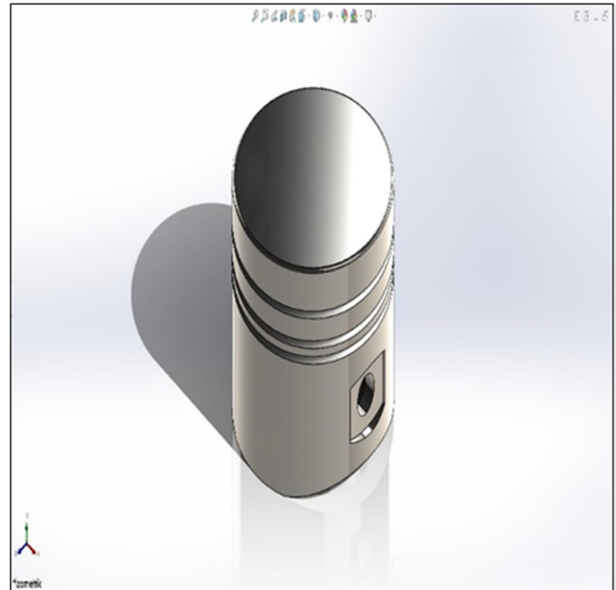
1B model silindir içi parametreleri	
Maks. silindir içi basınç, MPa	11
Maks. silindir içi sıcaklık, K	3000

2.2 3B piston termal analizi

Piston geometrisi, Çizelge 1 ve Çizelge 8' den boyutları belirlenerek modellenmiştir. Bu çizelgeler oluşturulurken geometrik özellikler, Şekil 3'te demonte hali verilen Renault F8Q706 motorunun demontaj edilmesinden sonra ölçülmüş ve piston modellenmiştir. 3B çizimi yapılan ve Şekil 3'te demonte motor üzerinden gösterilen piston geometrisi, bileşen ve yüzey modellemede, sanal montajda ve mühendislik çizimlerinin oluşturulmasında kullanışlı olan 3B modelleme yazılımı SolidWorks paket programı kullanılarak Şekil 4'teki gibi oluşturulmuştur. Çizilen katı model birden fazla yöntemle oluşturulabilmektedir. Çizim sırasında bütün parçalar tek bir çizim dosyası olarak çizilmiştir. Şekil 4'te 3B termal analizlerinde kullanılan model geometrisi verilmiştir. Bu çalışmada, Renault marka F8Q706 motorunda piston malzemesi olarak, alüminyum alaşım-6061, yapısal çelik ve magnezyum alaşım-AZ91D malzemeleri kullanılarak oluşturulmuştur. Malzeme özellikleri Çizelge 4' te verilmiştir.



Şekil 3. Modellenen motor ve piston görüntüleri.



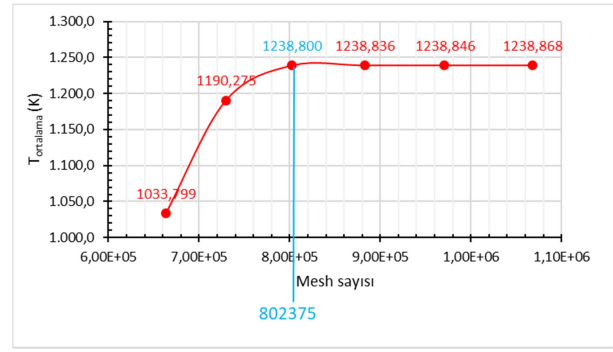
Şekil 4. Piston geometrisi.

Çizelge 4. Malzeme özellikleri (Ashby 2021).

Özellikler	Alüminyum Alaşım 6061	Yapısal Çelik	Magnezyum Alaşım AZ91D
Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	2713	7850	1810
Isı iletim katsayısı, k (W/m°C)	167,6	60,5	71,97
Sabit basınçta özgül ısı, c_p (J/kg°C)	896,8	434	1050
Isıl yayılım katsayısı, α (m ² /s)	$6,9 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$3,8 \times 10^{-5}$

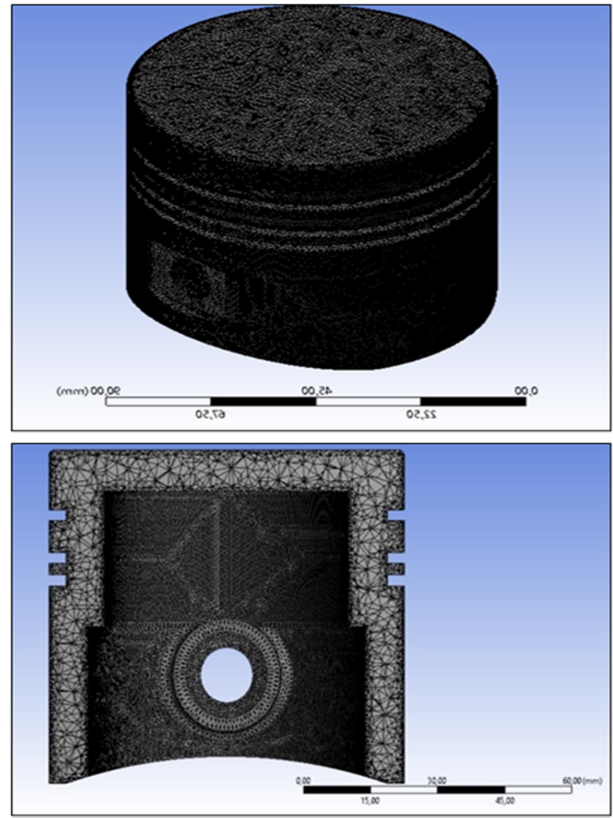
Bir termal sistem çözümlenmesinde, kısmi diferansiyel denklemlerin sayısal olarak çözümü SEM (sonlu elemanlar metodu) analizlerinin temel amacıdır. Karmaşık geometrilere oluşturulan ağ yapıları sayesinde, geometri daha küçük parçalara ayrılarak Navier-Stokes denklemleri çözülmektedir. Ağ yapıları, problem durumuna göre iki ve üç boyutlu olarak kullanılabilir. Ağ yapısı; parça tabanlı, montaj tabanlı ve dinamik olarak üçe ayrılır. Buna bağlı olarak ağ yapıları farklı boyutlarda ve farklı geometrik şekillerde oluşturulabilir. Bu çalışmada oluşturulan piston geometrisi modelinin mesh yapısı Ansys-Workbench modülü ile oluşturulmuştur. Ansys-Workbench’de termal analizler sırasında mesh metrikleri olan en-boy oranı (aspect ratio) (1 ve 2 arasında) ve narinlik (skewness) (0,9’dan küçük) önemli parametrelerdendir.

Sayısal analizlerde mesh bağımsızlığı testleri, çözüm sonuçlarının mesh sayısına duyarlılığını değerlendirmek ve en uygun mesh sayısını belirlemek amacıyla yapılır. Bu yöntem, farklı sayılarda mesh kullanarak, sonuçlar arasında önemli bir tutarlılık sağlayarak analizin güvenilirliğini artırır. Sonuç olarak, daha uygun bir mesh sayısının kullanılması, daha kısa bir zaman diliminde daha hızlı, daha güvenli ve daha verimli simülasyonlara olanak tanır. Şekil 5’te alüminyum alaşım-6061 için yapılan mesh bağımsızlık çalışması ve seçilen uygun mesh sayısı gösterilmiştir.



Şekil 5. Mesh bağımsızlık testi.

Şekil 6’da piston modeline tanımlanan mesh yapısı Çizelge 5’te ise mesh sayıları verilmiştir.



Şekil 6. Mesh yapısı.

Çizelge 5. Mesh istatistikleri.

Mesh yapısı	Düğüm sayısı (Adet)	Eleman sayısı (Adet)
İnce Ağ	1351241	802375

2.3 Analitik hesaplar

Bu çalışmada piston termal analizi sürekli durumda gerçekleştirilmiştir. Pistonun ısı transfer analizi, iletim ve taşınım ile ısı transferi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Piston sınırlarındaki ısı taşınım katsayısı ve ortam sıcaklığını hesaplamak için yüzeydeki enerji dengesi sağlanarak ve 1B model kullanılarak sınır şartları buna göre kullanılmıştır.

(Zhang ve Xing 1998). Denklem 1'de Fourier ısı iletim denklemi verilmiştir.

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = h (T_y - T_g) \quad (1)$$

Denklem 2'de termal yüke neden olan ve diğer yüzey sınır koşullarının hesaplanmasında kullanılan ortalama gaz sıcaklığının denklemi verilmiştir. Gaz sıcaklığı bir motorda krank mili açısının bir fonksiyonu olup krank mili açısıyla değişir. Bu nedenle, sürekli durum termal analizi için aşağıdaki ilişkiyi kullanarak ortalama gaz sıcaklığı ortalama gaz basıncından elde edilebilir (Heywood 1988).

$$T_g = \frac{P_{ort} \cdot V_M}{m R_u} \quad (2)$$

1B motor modelinden hesaplanan Çizelge 3' de verilen maksimum silindir içi basınç ve sıcaklıklar kullanılarak silindir içi ısı taşınım katsayısının hesaplandığı ampirik ilişki Denklem 3' de hesaplanmıştır (Shudo 2002). Burada maksimum silindir içi basınç ve sıcaklık için hesaplanan silindir içi ısı taşınım katsayısı, Çizelge 7'de gösterildiği gibi 3B termal analizlerde sınır koşulu olarak kullanılır.

$$h = 5,41 \times 10^{-4} P^{2/3} T_g^{1/3} (1 + 1,24 C_{ort}) \quad (3)$$

Ayrıca literatürden alınan ve yük analizi tanımlamalarında kullanılan gaz parametreleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Gaz parametreleri (Kumar, 2017).

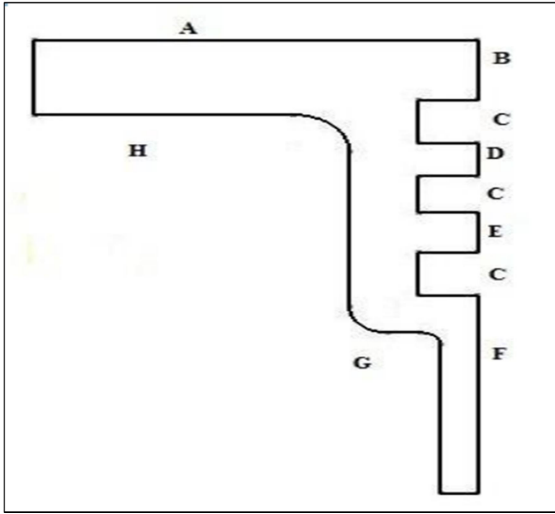
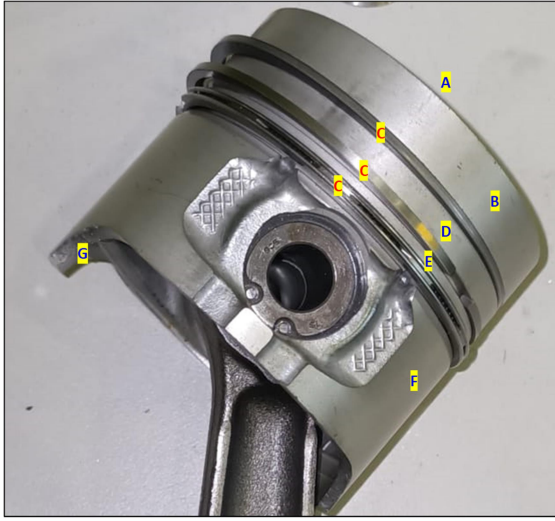
Parametreler	Değerler
Gaz sıcaklığı, T_g	3000 K
Gaz ısı taşınım katsayısı, h	637,63 W/m ² K
Silindir duvar sıcaklığı, T_y	245 °C
Duvar termal iletkenliği, k	46 W/mK
Duvar kalınlığı, t_d	4,2 mm
Soğutma su sıcaklığı, T_{su}	80 °C
Soğutma suyu ısı taşınım katsayısı, h_{su}	1400 W/m ² K

Piston yüzeylerinin sınır koşulları, A bölgesinden H bölgesine kadar sayısal yüzey araçlarıyla hesaplanmıştır. Piston tepe yüzeyinde (A bölgesi), yanma odasında yanma sonucu oluşan yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kalan yüzeydir. B bölgesi, piston tepesi ile silindir gömleği arasında küçük bir boşluk olduğundan, yakalanan gaz sıcaklığı boşluk

yüzeylerinin ortalama sıcaklığıdır (Buyukkaya 2008). Bu nedenle, ısı transferi taşınım ile gerçekleşir. Diğer halka yüzeylerindeki (D ve E) ısı taşınım katsayısı, gaz ısı taşınım katsayısının üçte biri olarak alınır ve ortam sıcaklığı sırasıyla D ve E için ilk halka yüzey sıcaklığının %69,5 ve %66,5'idir (Esfahanian vd. 2006). Etek yüzeylerindeki (F) ısı transferi, düşük bir katsayı ile taşınım ile ısı transferi yoluyla gerçekleşir (Zhang ve Xing 1998). Piston alt yüzeyi (G ve H) iki bölgeye ayrılmıştır: H bölgesi, piston tepe yüzeyinin alt yüzeyi motor yağından faydalanılarak sıçrama soğutma tipi ile soğutulur. Bu bölgede ortam sıcaklığı yağ sıcaklığı olarak alınır. Bu bölgelerdeki her iki ısı taşınım katsayısı da Denklem 4' te verilen aynı formül ile hesaplanmıştır (Esfahanian vd. 2006).

$$h_{G,H} = 900 \left(\frac{n}{4600} \right)^{0,35} \quad (4)$$

Termal analizlerde kullanılan ve 1B model yardımıyla elde edilen silindir içi basınç ve sıcaklıklara dayanarak hesaplanan piston yüzey sınır şartları Şekil 7' deki isimlendirmelere göre Çizelge 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Pistonun ısı değişim yüzeyleri.

Çizelge 7. Piston yüzey sınır koşulları.

Termal sınır	Hesaplama yöntemi	Yüzey sıcaklığı (K)	Isı transferi katsayısı (W/m ² K)
Piston tepe yüzeyi, A	1B model ve Denklem 3	3000,00	637,63
B bölgesi	1B model	1337,32	204,56
Segman yüzeyleri, C	1B model	911,34	1055,46
D bölgesi	(Esfahanian vd. 2006)	1143,69	213,27
E bölgesi		1123,04	213,27
Piston eteği, F	1B model	911,34	141,45
G bölgesi	Denklem 4	1014,61	727,04
H bölgesi	Denklem 4	1014,61	727,04

İncelenen motora ait özellikler, termal analizi yapmak ve sıcaklık dağılımını belirlemek için Çizelge 1 ve Çizelge 8’de verilmiştir. Çizelge 8’de, pistonun boyutları birebir Renault F-Type F8Q706 motorundan ölçülerek verilmiştir.

Çizelge 8. Piston boyutları ve özellikleri.

Piston parametresi	Değer (mm)
Kompresyon yüksekliği	42,25
Yanma odası derinliği	0,7
Tam boy	70,5
Piston ateşleme seti ölçüsü	12,5
Pim boyu	63
Piston pimi çapı	24
1. Segman aksel yüksekliği	2
2. Segman aksel yüksekliği	2
3. Segman aksel yüksekliği	3

Analizlerde kullanılan başlangıç giriş koşulları 1B modelden ve analitik denklemlerden hesaplanarak Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 9. Başlangıç parametreleri.

Tanımlamalar	Değerler
T _g (K)	3000
h (W/m ² K)	637,63
P (MPa)	11
Mesh (Adet)	802375
Düğüm sayısı (Adet)	1351241
İterasyon sayısı (Adet)	1000

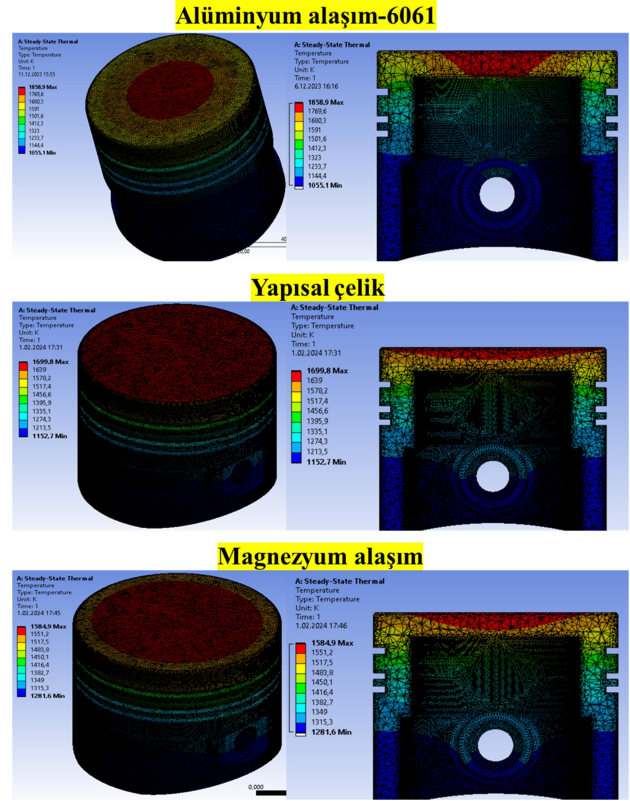
3. Bulgular

Geliştirilen 3B termal piston analizlerinde, farklı malzeme kullanımı için pistonun yüzeyindeki sıcaklık değişimi ve ısı akısı değişimi incelenmiştir. Çizelge 10’da maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir. Pistonun sıcaklığı her üç malzeme için de genel olarak 1055,1 K ile 1858,9 K arasında değişmiştir. Bütün malzemeler için, maksimum sıcaklık piston üst yüzeyinde, minimum sıcaklık ise piston eteğinin altında görülmüştür. Piston sıcaklığı her üç malzeme için, üst yüzeyden itibaren düzenli bir şekilde değişmektedir. Piston malzemesi olarak Alüminyum alaşım-6061’ de en yüksek yüzey sıcaklığı, üst yüzeyde çok daha dar bir alanda kalmakla beraber 1858,9 K olarak hesaplanmıştır. Ancak alüminyum alaşım-6061’in Çizelge 4’ te verilen özelliklerinden de anlaşılacağı üzere ısı iletim katsayısı diğerlerinden yüksektir. Bu da iletimin daha iyi olduğunu ve sıcaklıkların yüzeyden içeriye doğru daha fazla iletilmiş olduğunu göstermektedir. Bir diğer termal parametre olan ortalama sıcaklık ise en az alüminyumda olacak şekilde 1238,8 K olarak hesaplanmıştır. Burada ortalama sıcaklıklar her bir mesh’ deki sıcaklık toplamının, toplam mesh sayısına oranıdır. Yani bir yüzeyde bölgesel olarak daha yüksek sıcaklık hesaplanmasına rağmen ısıyı iletme kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle ortalama sıcaklığın minimum sıcaklığa daha yakın olması pozitif termal davranış için önemlidir.

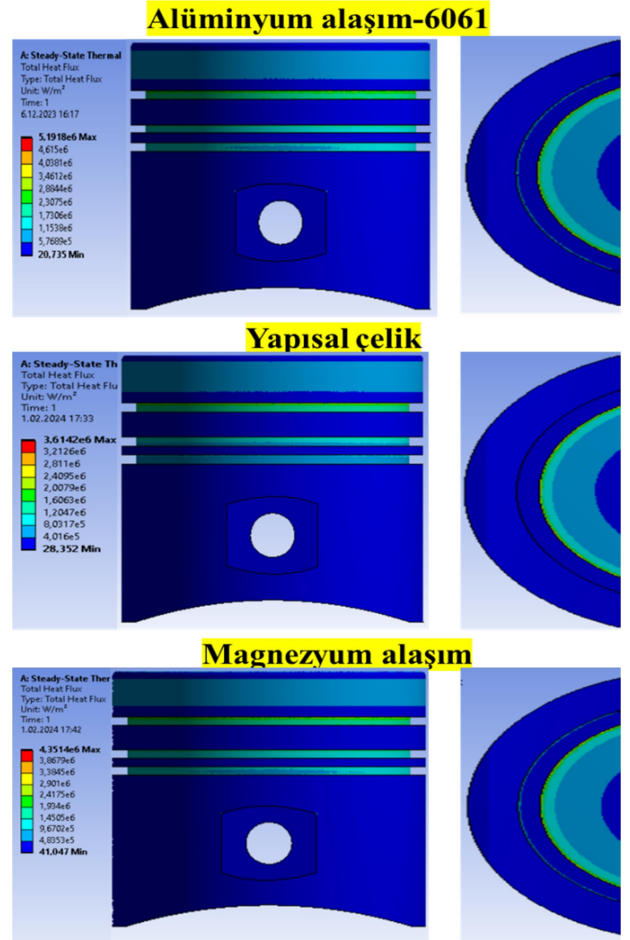
Çizelge 10. Analiz sonuçları

Parametreler	Alüminyum alaşım-6061	Yapısal çelik	Magnezyum alaşım-AZ91D
T _{max} (K)	1858,9	1699,8	1584,9
T _{min} (K)	1055,1	1152,7	1281,6
T _{ortalama} (K)	1238,8	1310,4	1372,9

Tanımlanan bölgelere göre Şekil 8’de termal olarak incelenen yüzeylerdeki sıcaklıklar verilmiştir. Burada görüldüğü gibi daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip olan alüminyum alaşımının ısıyı iletme kabiliyetinin de yüksek olduğu görülmektedir. Çizelge 4’ de verilen ısı yayılım katsayıları düşünüldüğünde en yüksek ısı yayılım alüminyum-6061’ de en düşük ısı yayılım da yapısal çelikte gerçekleşmektedir. Hem Çizelge 4’ deki özellik tablosu hem de Şekil 8’ deki sıcaklık konturları birbirini bu anlamda desteklemektedir. Isıl yayılımın yüksek olması malzemede depolanan ısıya karşılık, iletilen ısının daha fazla olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle, soğutma sistemleri düşünüldüğünde malzemenin ısıyı iyi iletmesi ve kendisinden uzaklaştırması büyük bir avantajdır. Şekil 9’da da bölgelere göre yüzeylerde gerçekleşen ısı transferi piston malzemesine göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yanma reaksiyonları özellikle 1B motor modelinde maksimum motor tork devrinde gerçekleştiğinden ve bu devirde motorun maksimum verimle çalışmasından dolayı, pistonda bütün yüzeylerde belli seviyelerde sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Burada yanma reaksiyonlarının ekzotermik davranış sergilemesi ve yanma sonu sıcaklıklarının yüksek olması motor koşullarına bağlıdır. 1B motor modelinde bu koşullar maksimum motor tork devri (2500 dk⁻¹) ve tam yük koşullarında (%100 gaz kelebek açıklığı) alınmasından dolayı piston yüzeyinde en yüksek sıcaklığa erişilmiştir. Şekil 9’da ise bölgelere göre ısı transfer miktarları verilmiştir. Burada görüldüğü üzere “C” bölgesinde ısı transferinin yüksek olduğu görülmektedir. Segman kanalları olan C bölgesinde az bir gaz bulunması ve yüksek basınca dayalı bir ısı taşınım katsayısı olması dolayısıyla mevcut diğer bölgelere göre daha yüksek ısı akışı oluşmaktadır. Bu sıcaklık dağılımları her 3 malzeme için de farklı seviyelerde de olsa benzer trend göstererek değişmiştir. Bu durum literatür ile uyumludur (Singh ve Parmanik 2015).



Şekil 8. Sıcaklık konturları.



Şekil 9. Isı transfer konturları.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, 3 boyutlu bir piston geometrisinin termal analizi yapılarak, farklı piston malzemelerinin, maksimum tork devrindeki ısı transfer miktarları incelenmiştir. Kullanılan malzemeler alüminyum alaşım 6061, yapısal çelik ve magnezyum alaşım-AZ91D olmuştur. Yapılan incelemelerde, literatürde aynı motora ait test verileri ve motor katalog verileri ile doğrulanmış, birebir fiziksel ve kimyasal özellikler kullanılarak 1B bir motor modeli oluşturulmuştur. 1B motor modelinde hesaplanan güç, literatürdeki aynı motor için yapılan bir test çalışmasında yayınlanan güç parametresinden 1000-2000-3000-4000 dk⁻¹ için sırasıyla %8,526-%8,555-%7,596-%8,965 daha yüksektir (Caro vd. 2001). 1B motor modelinde hesaplanan güç, motor kataloğundakine göre 2500 dk⁻¹'da %8,785 ve 4500 dk⁻¹'da %9,457 daha yüksektir (Engine Catalog 2021). Performans verileri belli seviyelerde 1B modele yakındır. Bu doğrultuda 1B model doğrulanmıştır. Bu 1B modelden silindir içi özellikler alınarak 3B bir termal piston analiz modeli oluşturulmuştur. Bu analizlerde pistondaki sıcaklık dağılımı ve ısı transferi incelenmiştir. Analiz sonucunda her 3 malzeme de piston yüzeyinin ve piston yüzeyinin alt yüzeyinde yanma sonu basınç ve sıcaklıklara bağlı olarak sıcaklık artışı görülmüştür. Aynı zamanda bu sıcaklık artışı yüzeyler ve yüzey komşuluğundaki bölgelerde ısı transfer miktarlarında artışa neden olmuştur. Ayrıca alüminyum alaşımın en yüksek yüzey sıcaklıklarına ulaştığı hesaplanmış ve sıcaklık konturlarına bakıldığında bu malzemenin ısı yayılımının yüksek olduğu görülmüştür. Pistonun sıcaklığı her üç malzeme için de genel olarak 1055,1 K ile 1858,9 K arasında değişmiştir. Piston sıcaklıkları farklı değerlerde de olsa her üç malzeme için, üst yüzeyden itibaren düzenli bir şekilde değişmektedir. Piston malzemesi olarak Alüminyum alaşım-6061' de en yüksek yüzey sıcaklığı, 1858,9 K olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, doğrulanan 1B motor modelinden alınan doğrulanmış veriler kullanılarak motor pistonunun termal analizleri yapılmış ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Bu doğrultuda incelenen alüminyum alaşım-6061 malzemesinin pistondaki ısı yayılımı arttırdığı görülmüştür.

Semboller

n	Devir
T _s	Piston yüzey sıcaklığı
T _g	Silindir içi sıcaklık
T _{su}	Soğutma su sıcaklığı
P	Silindir içi basınç
h	Silindir içi ısı taşınım katsayısı
h _{su}	Soğ. su ısı taş. katsayısı
k	Isı iletim katsayısı
ρ	Yoğunluk
c _p	Özgül ısı
α	Isıl yayılım katsayısı
C _{ort.}	Ortalama piston hızı
M	Silindir içi gaz mol kütlesi
P _{ort.}	Ortalama basınç
V	Silindir hacmi
m	Kütle
Ru	Üniversal gaz sabiti
t _d	Duvar kalınlığı
dT/dx	Sıcaklık gradyanı
CO ₂	Karbondioksit
H ₂ O	Su
CO	Karbonmonoksit
UHC	Yanmamış hidrokarbon
NO _x	Azot oksit
FEM	SEM
1B	1-Boyutlu
3B	3-Boyutlu

5. Kaynaklar

- Ashby, M., 2021. Material property data for engineering materials. *Ansys Education Resources*.
- Abdel-Rahman, A., A., 1998. On the emissions from internal combustion engines: A Review. *International Journal of Energy Research*, 22, 483-513.
- Abuşoğlu, A., and Kanoğlu, M., 2009. Emission characteristics analysis of diesel engine powered cogeneration. *Journal of Thermal Science and Technology*, 29, 45-53.

- Aktaş, F., 2022. Numerical investigation of equivalence ratio effects on a converted diesel engine using natural gas. *Journal of Energy Resources Technology*, 236, 1949-1963.
- Baker, D. M., Assanis, D. N., 1994. A methodology for coupled thermodynamic and heat transfer analysis of a diesel engine. *Applied Mathematical Modeling*, 18(11), 590-601. [https://doi.org/10.1016/0307-904X\(94\)90317-4](https://doi.org/10.1016/0307-904X(94)90317-4)
- Buyukkaya, E., 2008. Thermal analysis of functionally graded coating AlSi alloy and steel pistons. *Surface and Coatings Technology*, 202(16), 3856-3865. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.01.034>
- Cheng, W. K., Hamrin, D., Heywood, J. B., Hochgreb, S., Min, K. and Norris, M., 1993. An overview of hydrocarbon emissions mechanisms in spark-ignition engines. *SAE Int. J. Engines*, <https://doi.org/10.4271/932708>
- Engine Catalog: <https://mymotorlist.com/engines/renault/> (12.12.2023)
- Esfahanian, V., Javaheri, A. and Ghaffarpour, M., 2006. Thermal analysis of an SI engine piston using different combustion boundary condition treatments. *Applied Thermal Engineering*, 26(2-3), 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.05.002>
- Fenimore, C. P., 1971. *Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames*. Symposium (International) on Combustion, 13(1), 373-380.
- Ghojel, J. I., 2010. Review of the development and applications of the wiebe function: a tribute to the contribution of Ivan Wiebe to engine research. *International Journal of Engine Research*, 11(4), 297-312. <https://doi.org/10.1243/14680874JER06510>
- Gustov, P., 2009. The Influence of the engine load on value and temperature distribution in the piston of the turbocharged diesel engine. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 35(2), 146- 153.
- Hamzehei, M. and Rashidi, M., 2006. Determination of piston and cylinder head temperature distribution in a 4-cylinder gasoline engine at actual process. Proceedings Conf. on Heat Transfer Engineering and Environment, Greece, August 2006, pp. 153-158.
- Hao, L., Ren, Y., Lu, W., Jiang, N., Ge, Y., Wang, Y., 2023. Assessment of heavy-duty diesel vehicle NO_x and CO₂ emissions based on OBD data. *Atmosphere*, 14, 1417.
- Heywood, J. B., 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill.
- Kajiwara, H., Fujioka, Y., Suzuki, T. and Negishi, H., 2011. An analytical approach for prediction of piston temperature distribution in diesel engines. *JSAE Review*, 23(4), 429-434. [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(02\)00234-5](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(02)00234-5)
- Kumar, M., 2017. Computer aided analysis of piston with thermal barrier coating on crown. *International Journal For Technological Research In Engineering*, 4(10), 2127-2131.
- Lapuerta, L., Armas, O., Ballesteros, R. and Carmona, M., 2000. Fuel formulation effects on passenger car diesel engine particulate emissions and composition. *SAE Int. J. Engines*, 11. <https://doi.org/10.4271/2000-01-1850>
- Mahle GmbH, 2012. *Pistons And Engine Testing* (1st ed), Vieweg – Teubner.
- Morel, T., and Keribar, R., 1990. Detailed analysis of heat flow pattern in a piston. *International symposium COMODIA, USA*.
- Newhall, H. K., 1969. Kinetics of engine-generated nitrogen oxides and carbon monoxide. *Symposium (International) on Combustion*, 12(1), 603-613. [https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(69\)80441-8](https://doi.org/10.1016/S0082-0784(69)80441-8)
- Paratwar, A. V. and Hulwan, D. B., 2013. Surface Temperature Prediction and Thermal Analysis of Cylinder Head in Diesel Engine. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(4), 892-902.
- Pipitone, E., 2009. A new simple friction model for s. i. engine. *SAE Technical Paper*, <https://doi.org/10.4271/2009-01-1984>
- Satge´ de Caro, P., Mouloungui, Z., Vaitilingom, G. and Berge, J. C., 2001. Interest of combining an additive with diesel–ethanol blends for use in diesel engines. *Fuel*, 80(4), 565-574. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00117-4](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00117-4)

- Shudo, T. and Suzuki, H, 2002. Applicability of heat transfer equations to hydrogen combustion. *JSAE review*, 23(3), 303-308. [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(02\)00193-5](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(02)00193-5)
- Singh, P. and Parmanik D. A., 2015. Structural and Thermal Analysis of Different Piston Materials with Cooling (Due to Combustion Pressure) Using Finite Element Analysis. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 4(2), 110-117. <https://doi.org/10.18245/ijaet.60575>
- Uzuneanu, K., Panait, T. and Dragan, M., 2008. Modeling the heat transfer in the piston head of a spark ignition engine supplied with ethanol-gasoline blend. *COFRET 08*.
- Wannatong, K., Chanchaona, S. and Sanitjai, S., 2008. Simulation algorithm for piston ring dynamics. *Simulation Modelling Practice And Theory*, 16, (1), 127-146. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2007.11.004>
- Wiebe, I., 1956. Semi-empirical expression for combustion rate in engines. *In Proceedings of Conference on Piston Engines*.
- Winkler, M. F. and Parker, D. W., 1993. Ceramic thermal barrier coatings provide advanced diesel emissions control and improved management of combustion – exhaust system temperatures. *SAE Paper*, 11. <https://doi.org/10.4271/931106>
- Winterbone, D. E. and Turan, A., 2015. *Advanced Thermodynamics For Engineers* (2nd ed). Butterworth-Heinemann An Imprint of Elsevier.
- Woschni, G., 1967. A universally applicable equation for the instantaneous heat transfer coefficient in the internal combustion engine. *SAE Int. J. Engines*. <https://doi.org/10.4271/670931>
- Zhang, H., Lin, Z. and Xing, J., 2013. Temperature field analysis to gasoline engine piston and structure optimization. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 48(2), 904-910.

Internet kaynakları

- 1-<https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (12.12.2023)
- 2-<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=MotorluKara-Tasitlari-Ocak-2024> (04.03.2024)

Araştırma Makalesi / Research Article

Akciğer Görüntülerinden Tümörlü Verilerin Derin Sinir Ağları ve Evrimsel Sinir Ağları ile Tahmini

Volkan Çetin¹, Çiğdem Bakır^{2*}

¹ *Kutahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Kütahya.*

² *Kutahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Kütahya.*

e-mail: volkan.cetin@ogr.dpu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3388-1222>

e-mail: cigdem.bakir@dpu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8482-2412>

The arrival date:03.02.2024 ; Date of Acceptance: 03.04.2024

Öz

Akciğer tümörleri günümüzde sıklıkla görülür ve yaygın bir şekilde insanlarda ölümlere neden olan tehlikeli bir hastalıktır. Ancak çoğu zaman uzmanlar tarafından yapılan manuel tetkikler yanlış teşhise sebep verebilir. Bunun yerine bilgisayar destekli otomatik, doğru ve ayrıntılı yapılan erken kanser teşhisine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada akciğer hastalıkları ile yapılan çalışmalar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında 1190 akciğer tomografi görüntüsü önerilen derin öğrenme modelleri için hazırlanmıştır. İkinci aşamasında ise derin öğrenme modellerinden Evrimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network – CNN) ve Derin Sinir Ağları (Deep Neural Network – DNN) kullanılarak akciğer tümörleri ile normal akciğer görüntülerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Kullanılan her modelin doğruluğu duyarlılık, kesinlik ve F1-Skor gibi farklı değerlendirme metrikleri ile hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca her model için performans analizleri yapılmış ve eğitim, test ve valid görüntüleri için karmaşıklık matrisleri ile ROC analizleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

akciğer kanseri, derin sinir ağları, derin öğrenme, BT, teşhis

Prediction of Tumor Data from Lung Images with Deep Neural Networks and Convolutional Neural Networks

Abstract

Lung tumors are common today and are a dangerous disease that commonly causes death in people. However, manual examinations performed by experts can often lead to incorrect diagnosis. Instead, computer-assisted, automatic, accurate and detailed early cancer diagnosis is needed. For this reason, studies on lung diseases were examined in detail in this study. In the first stage of the study, 1190 lung tomography images were prepared for the proposed deep learning models. In the second stage, lung tumors and normal lung images were detected by using Convolutional Neural Network (CNN) and Deep Neural Network (DNN), which are deep learning models. The accuracy of each model used was calculated with different evaluation metrics such as sensitivity, precision and F1-Score, and the results were compared. In addition, performance analyzes were performed for each model, and complexity matrices and ROC analyzes were presented for training, testing and valid images.

Keywords

lung cancer, deep neural network, deep learning, CT, diagnosis

1. Introduction

The lungs are vital organs responsible for oxygen intake and carbon dioxide removal through gas exchange during essential bodily functions. Rapid proliferation of cells and tissues in the lungs causes lung cancer. These cells, which proliferate uncontrollably, can cause serious damage by surrounding tissues or by spreading to another organ. According to the report published by the World Health Organization, lung cancer is the most lethal cancer type worldwide and causes the death of approximately 1.6 million people every year (Ayayna, 2023).

Lung diseases can be detected by experts using computer-aided analysis (Chaudhary and Singh, 2012). Environmental factors such as cigarette, pipe and cigar use, long-term exposure to harmful gases, asbestos and air pollution, as well as other lung diseases, also increase the risk of cancer. For example, someone who has had tuberculosis is more likely to develop lung cancer.

Malignant tumors in the lung are formed by the rapid and unbalanced proliferation of cells. Malignant tumors, which multiply over time and spread to all tissues and organs, cause serious and fatal diseases such as cancer (Thakur et al. 2020). For this reason, diagnosing lung cancer in its early stages is very important for the person's survival. Lung cancer is detected as a result of pathological examinations such as CT, PET and MRI. However, most of the time, lung cancer in its early stages may not be diagnosed during radiological examination, or the diagnosis made manually by experts may be incorrect (De Margerie-Mellon and Chassagnon, 2023). Approximately 20% of these diagnoses may be misdiagnosed. Therefore, there is a need for computer-aided applications that can automatically detect lung cancer and make early diagnosis.

Early detection and diagnosis of lung cancer are made as a result of evaluations such as chest radiography, MRI, PET, CT, biopsy, endoscopic examination of the bronchi, mediastinoscopy and thoracoscopic surgery of the lymph nodes (Bayram, 2019). In addition, these tests and examinations

allow the detection of other diseases related to lung diseases. However, most of the time, these tests and examinations are misinterpreted by experts, making it difficult to detect the disease in its early stages. For this reason, in recent years, artificial intelligence methods have begun to be used for the early detection and diagnosis of lung diseases. Additionally, decision support mechanisms have been created using these methods. Literature studies conducted in recent years are summarized below:

In one study, different diseases were diagnosed from CT and chest X-ray images using deep learning methods (Ibrahim et al. 2021). Normal and abnormal features appearing in CT images were detected on the increased dataset using data augmentation methods. Additionally, the accuracy and performance of both datasets were calculated with ResNet152V2, VGG19-CNN, ResNet152V2 + Bidirectional GRU (Bi-GRU) and ResNet152V2 + Gated Recursive Unit (GRU) methods. When the results are compared, among these methods, VGG19+CNN is more successful than the other three methods. The VGG19+CNN method provided 99.5% specificity (SPC), 98.24% F1 score, 98.05 accuracy, and 98.43% sensitivity. To increase the performance of this study, more images can be obtained with methods such as classification and data augmentation GAN.

In the cited study, data from the Victorian Lung Cancer Registry (VLCR) between 2011 and 2022 were used (Earnest et al. 2023). In this study aim is to classify and estimate the quality of life of patients with lung cancer and the timeliness of patients' care. Additionally, Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC-ROC) analysis were evaluated with all machine learning techniques. Results were analyzed with 10 K-fold cross validation. Study includes 11602 patient data. The SVM method gave better results than other machine learning methods, with an AUC of 0.89. With this study, possible delays in the treatment of patients and case management are carried out by monitoring the patients. However, more successful results can be obtained by optimizing the parameters used in the proposed machine learning

methods. Extra costs in the field of healthcare can be reduced by practical application in clinics.

A computer-aided lung cancer evaluation support system was created using Medical Body Area Network (MBAN) information and deep learning (DL) models (Masood et al. 2018). The method called DFCNet detected four stages of lung cancer using a fully convolutional neural network. The DFCNet method shows that it is effective in recognizing and identifying the signs of lung cancer. Approximately 84.58% accuracy was achieved with this method. Although this method performs better in detecting the lung model (benign, malignant), it does not give the same results at different screening parameter values in false positive cases in detecting the malignant nodule.

The Mask-RCNN method was used for the diagnosis and characterization of pneumonia in lung x-ray images (CXR) (Jaiswal et al. 2019). They developed the Mask-RCNN model in their study to identify people with pneumonia. This model has a deep learning network and is often used in object tracking. This study was tested on RSNA data and this dataset consists of 30,000 images in total. The model they proposed achieved approximately 97% success. However, more hyperparameters may be required to detect pneumonia in images with different lung sizes.

By combining lung lobe segmentation and M-2 UNet classification on 3D CT data images, a collaborative method is proposed to automatically identify COVID-19 (He et al. 2021). The goal of multitasking is to rank this epidemic and segment the lung. In this study, 98.50% accuracy was achieved. The method used in this study can be analyzed for automatic classification and segmentation of different diseases.

COVID-19 patients were identified with the community model (Zhou et al. 2021). In the study, 2933 COVID - 19 CT images obtained from historical reports and online databases were used. Three transfer learning methods, AlexNet, ResNet and GoogleNet, were used to pre-train the input variables and the CNN model. These models were

used to extract features on all images. The accuracy rate obtained in this study is 99.44% with ResNet. The success of the proposed model can be measured on larger datasets in the future.

A new approach called GSA DenseNet121 has been developed to detect various lung diseases (Ezzat and Ella, 2020). This method uses a CNN model called DenseNet121 and includes a generalized search engine (GSA). In the results obtained, the accuracy rate of the test data set of the proposed method is 98.38%.

CNN, Res-Net-50 and VGG 16 models were used to diagnose COVID-19 on medical data (Das et al. 2021). They divided the chest x-ray images into three classes: infected, uninfected patients and positive patients. The VGG-16 model gave more successful results than the other models used in the study, with 97.67%.

A study on the application of ML methods for automatic localization of pneumonia in chest X-ray images is proposed (Sirazitdinov et al. 2019). An ensemble method from the CNN network was used along with the RetinaNet and Mask R-CNN methods. A dataset of 26,684 images was used and a reliable solution for automatic pneumonia diagnosis was developed with a recall of 0.793. This study has yielded very successful results on a large labeled data set, and it is aimed to expand the study as a result of the feedback received from medical experts.

In other study, COVID-19 cases were classified using the CoroDet method on CT images (Hussain et al. 2021). This model aims to diagnose two, three or four-class COVID-19 cases. The results obtained with this study achieved 95.1%, 94.2% and 91.2% accuracy for two, three and four classes, respectively. However, in larger data sets, the proposed method may need to be compared with different methods in terms of accuracy, cost and speed. Additionally, the images used in training can be increased to improve the model.

When we look at the studies, many studies have been conducted in the literature on the diagnosis and diagnosis of lung cancer. Artificial intelligence-

based methods have been proposed in these studies, and these studies in the field of medicine have been increasing daily in recent years. However, despite the developments in the use of artificial intelligence methods in the field of health in recent years, the need for computer-aided analysis and applications is increasing daily due to the increase and rapid spread of disease types. The unique value of our study, unlike other studies, is that the proposed methods use unique network structures to increase performance and success by making multiple classifications in the early detection and diagnosis of lung cancer. In order to increase the quality of life of patients by reducing the serious mortality rate caused by lung cancer, deep learning-based models have been developed and multiple classifications have been made. Our study also provided accurate, rapid and low-cost solutions for the detection of lung cancer.

Our study proposed computer-aided approaches using deep learning models to help experts diagnose lung cancer through CT images. Because experts may misinterpret chest radiographs and make the wrong diagnosis. In addition, manual evaluations make early and accurate diagnosis difficult in terms of cost and time. Considering these problems, our study aims to reduce the risk of misdiagnosis by detecting tumor data (benign, malignant and normal) from lung images at the early stage of the disease with Deep Neural Networks (DNN) and Convolutional Neural Networks (CNN). Models with different network structures have been created for multi-class disease detection and prediction, and the most appropriate hyper-parameters for the methods used are discussed in detail in our study with optimization methods. By comparing the results of the proposed methods with different evaluation criteria, the groundwork was laid for the creation of decision support systems that provide computer-aided disease detection for other lung diseases in the future. Because lung cancer, like other types of cancer, increases the chances of survival of patients with early diagnosis and increases the quality of life of people diagnosed with cancer.

The scientific contribution of our study is to create deep learning models with different network structures and to ensure that these models help experts, especially in medical fields. By extracting important features in the proposed deep learning models, success and performance have been increased, and it is aimed to make significant contributions to the diagnosis and treatment of different types of cancer in the future. The problems we addressed in our study are presented below:

- Can automatic, accurate, fast and cost-effective detection of lung cancer be achieved with computer-aided applications (Hussain et al., 2021)?
- Can the parameters of the deep learning methods be adjusted to provide the most successful performance and accuracy (Sabzalian et.al., 2023)?
- Have the proposed methods been encountered in the literature with studies using the same dataset (Sabzalian et.al., 2023)?
- Do the proposed deep learning models for big data provide the same success in other types of cancer and diseases (Solyman and Schwenker, 2022)?

The solutions we developed for the problems we addressed in our study are presented below:

- Deep learning models (DNN and CNN) have been created to automatically detect lung cancer quickly, accurately and cost-effectively.
- Hyperparameters are automatically adjusted to increase success with optimization algorithms.
- It is discussed in the conclusion section that it gives more successful results than the methods using the same dataset in the literature.
- It is aimed to lay the groundwork for future methods to be developed for large data sets.

The models we propose aim for radiologists to work on the early diagnosis of lung cancer and different lung diseases. In this way, misdiagnoses that may occur in manual evaluations made by experts will be reduced.

2. Materials ve Methods

The dataset we used was obtained through Kaggle. The data set called IQ-OTH/NCCD, obtained from a hospital in Iraq, was used in our study (<https://www.kaggle.com/datasets/adityamahimkar/iqothnccd-lung-cancer-dataset>). The dataset was collected over three months at select specialist hospitals in autumn 2019. This special data set includes computed tomography (CT) scans of patients diagnosed with lung cancer at different stages and healthy individuals. In total, there are 1190 images representing 110 situations.

In this study, a data set containing 1190 images was used to detect and classify lung cancer. Some images are shown in Figure 1 from this dataset. There are three classes in the dataset used for early diagnosis of lung cancer: Benign, Normal and Malignant. The number of samples and their distributions of these classes are shown in Figure 2.

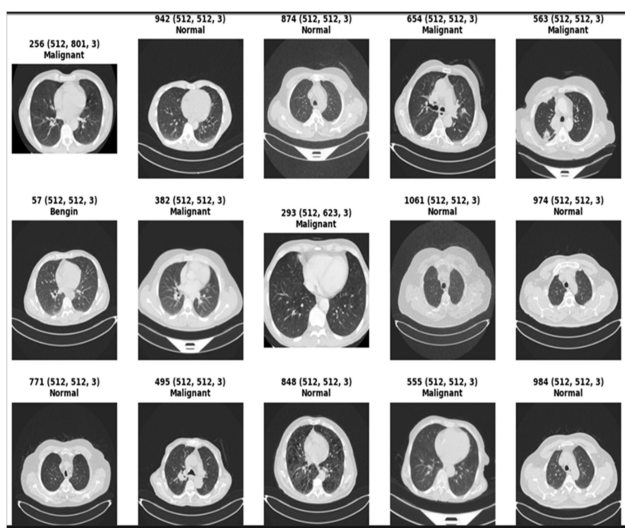


Figure 1. Images from data used for lung cancer

The flow block for the proposed deep learning models is given in Figure 3. Additionally, numerical values of training, valid and test images and their distribution within classes are shown in Figure 2. The 1190 lung images used in the study were pre-processed by going through pre-processing steps such as filtering, normalizing and bringing the image to a common size. 70% of the image dataset was used as training, 15% as validation and the remaining 15% as testing. Proposed deep learning models (DNN and CNN) with different and deep

network structures were analyzed with different evaluation criteria. Additionally, the results obtained for both models are presented comparatively.

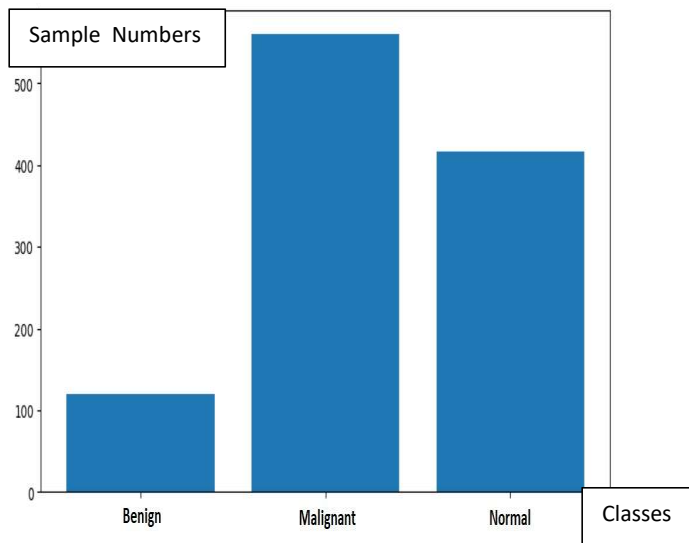


Figure 2. Distribution of lung images within classes

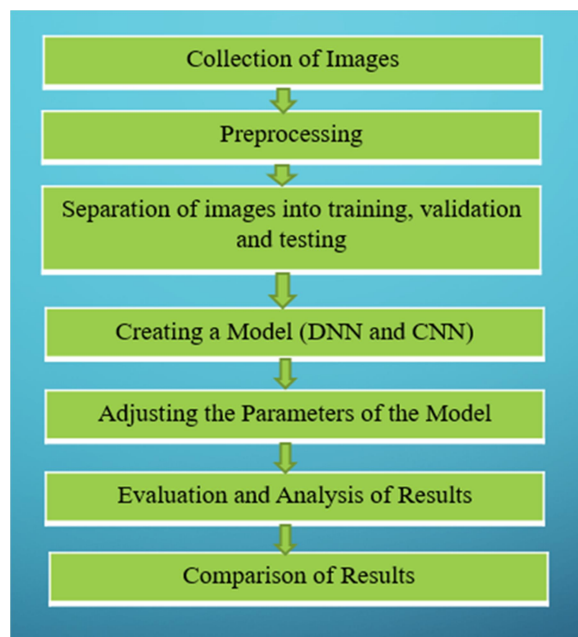


Figure 3. Workflow block of recommended models

2.1 Deep Neural Network (DNN)

Deep Neural Networks (DNNs), a prominent type of Artificial Neural Networks, are used especially within the concept of deep learning (Mothkur and Veerappa, 2023). Deep learning focuses on improving learning capabilities using a multi-layered and complex neural network architecture.

DNNs generally have a structure containing more than one hidden layer and connections are

established between these layers (Prasad et al. 2023). Each hidden layer takes the output from the previous layer and uses this information to learn more sophisticated features. Typically, an arrangement consists of an input layer, one or more hidden layers, and an output layer.

The DNN network model proposed in our study and the hyperparameters used are given in Figure 4. In the study, all lung CT images of different sizes were converted to 150x150 images and the most appropriate hyperparameters were determined in each iteration for 100 epochs. In this study, the epoch value was selected as 100 and 10 iterations were determined for every 100 epochs. The batch size value is 50 to stop the model at the appropriate place. 50 batch size was used for 100 epoch cycles, and relu and softmax were used as activation functions. Additionally, all parameters obtained after the layers used in the study are shown in Table 1.

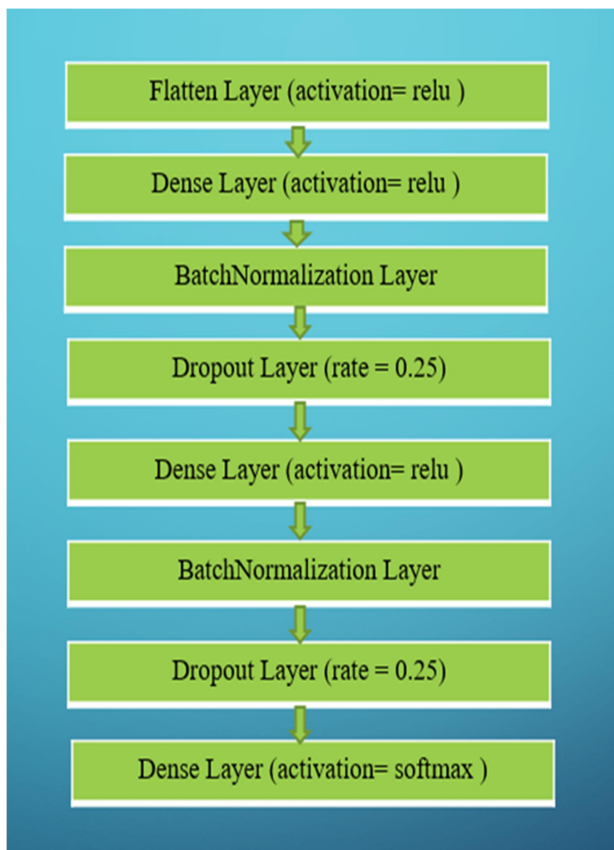


Figure 4. Proposed DNN model

Table 1. Proposed DNN model parameters

Layer	Output Shape	Param #
Flatten1 (Flatten)	(None, 67500)	0
Dense1 (Dense)	(None, 128)	8640128
Norm1 (BatchNormalization)	(None, 128)	512
Dropout1 (Dropout)	(None, 128)	0
Dense2 (Dense)	(None, 32)	4128
Norm2 (BatchNormalization)	(None, 32)	128
Dropout2 (Dropout)	(None, 32)	0
Dense3 (Dense)	(None, 3)	99
Total params: 8644995 (32.98 MB)		
Trainable params: 8644675 (32.98 MB)		
Non-trainabl params: 320 (1.25 KB)		

2.2 Convolutional Neural Network (CNN)

CNN is a deep learning model that is very effective in applications such as visual data analysis and recognition (Provath et al. 2023). It is widely used to achieve successful results, especially in areas such as image recognition, object detection and face recognition. It is an algorithm used in the field of deep learning and usually works with images. This algorithm performs the classification task using the features of images. Compared to other classification algorithms, the data pre-processing required for CNN is less. This is because CNN can learn filters, which distinguishes it from other classification algorithms.

An example of CNN architecture basically consists of three main layers, as shown in Figure 5: Convolutional Layer, Pooling Layer and Fully Connected Layer. As the image passes through these layers, it undergoes various processes and becomes suitable for the deep learning model.

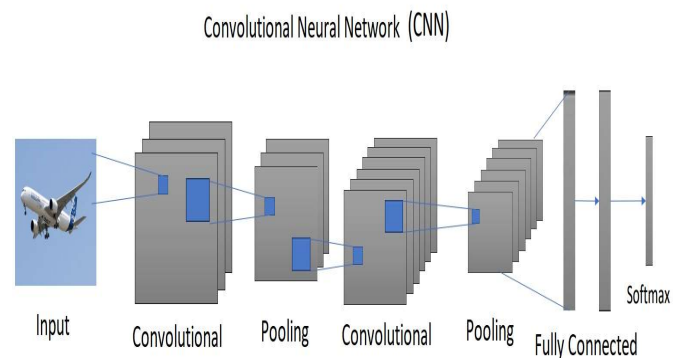


Figure 5. CNN structure

The CNN network model proposed in our study and the hyperparameters used are given in Figure 6. In

the study, all lung CT images of different sizes were converted to 150x150 images and the most appropriate hyperparameters were determined in each iteration for 100 epochs. Softmax and relu layers were added to the layers determined in the convolution and pooling layer, and the number of filters was increased to ensure accurate classification and disease detection in the training and test images. Additionally, 3 x 3 convolution and 2 x 2 pooling layers were used. All parameters obtained after the layers used in the study are shown in Table 2.

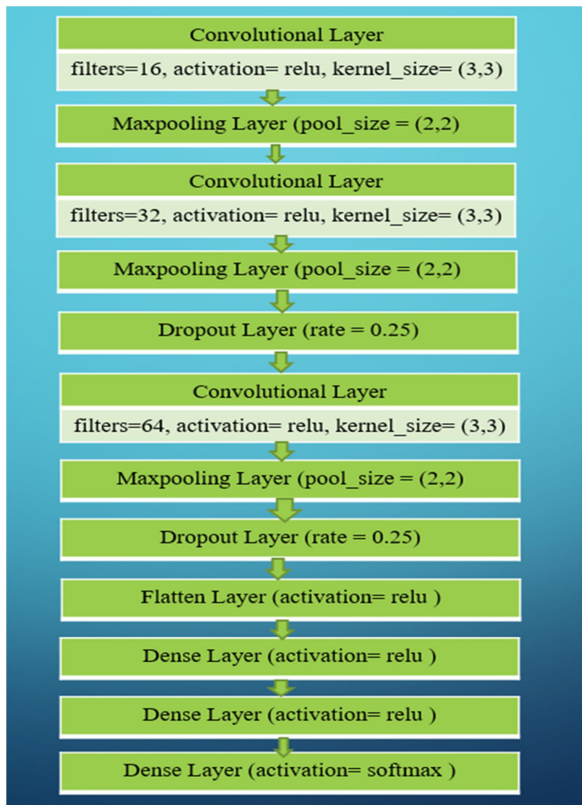


Figure 6. Proposed CNN model

Table 2. Recommended CNN model parameters

Layer	Output Shape	Param #
Conv1 (Conv2D)	(None, 150, 150, 16)	448
MaxPool1 (MaxPooling2D)	(None, 75, 75, 16)	0
Conv2 (Conv2D)	(None, 75, 75, 32)	4640
MaxPool2 (MaxPooling2D)	(None, 37, 37, 32)	0
Dropout1 (Dropout)	(None, 37, 37, 32)	0
Conv3 (Conv2D)	(None, 37, 37, 64)	18496
MaxPool3 (MaxPooling2D)	(None, 18, 18, 64)	0
Dropout2 (Dropout)	(None, 18, 18, 64)	0
Flatten1 (Flatten)	(None, 20736)	0
Dense1 (Dense)	(None, 128)	2654336
Dense2 (Dense)	(None, 32)	4128
Total params: 2682147 (10.23 MB)		
Trainable params: 2682147 (10.23 MB)		
Non-trainabl params: 0 (0.00 Byte)		

3. Results

The performance results of the DNN and CNN models proposed in our study were taken separately for training and testing. Complexity matrices and ROC analyzes were analyzed in detail. The accuracy rates of DNN and CNN models calculated according to the hyperparameters that give the most optimum results for training, valid and test data are shown in Figure 7. As a results, both recommended methods gave successful results in the diagnosis and diagnosis of lung cancer.

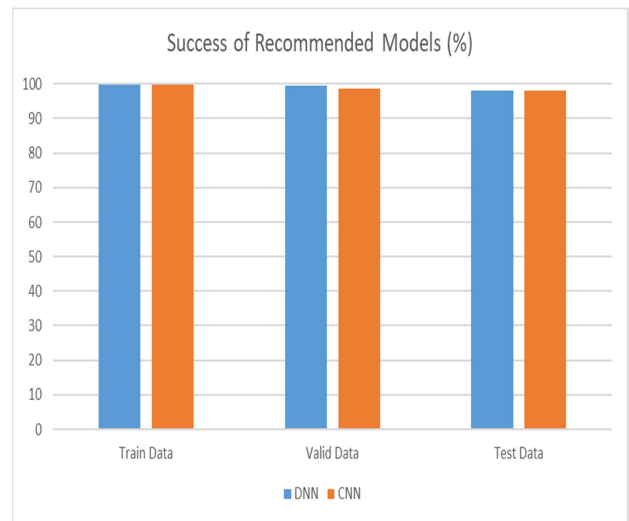


Figure 7. Success of Recommended Models (%)

3.1 DNN Results

The change in cross entropy error values for the data set we used is shown according to epoch values in Figure 8.

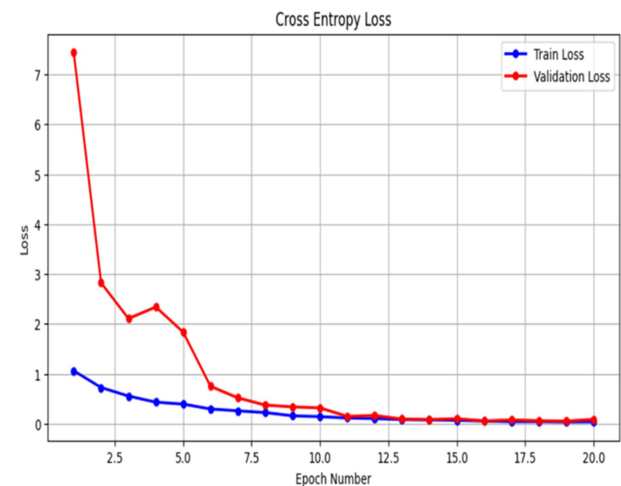


Figure 8. Cross Entropy Loss for the proposed DNN

As can be seen from the graph, the error is lowest at some epoch values. In our study, the learning coefficient was determined as 0.001, the batch size was 50, the "man" optimizer algorithm was determined for optimization, and the accuracy criterion was determined as the evaluation metric. The best learning is achieved by updating the weights in the classification accuracy graph given in Figure 9. When the classification accuracy for training and validation was analyzed, the epoch values of the best learning in training and validation accuracy were given.

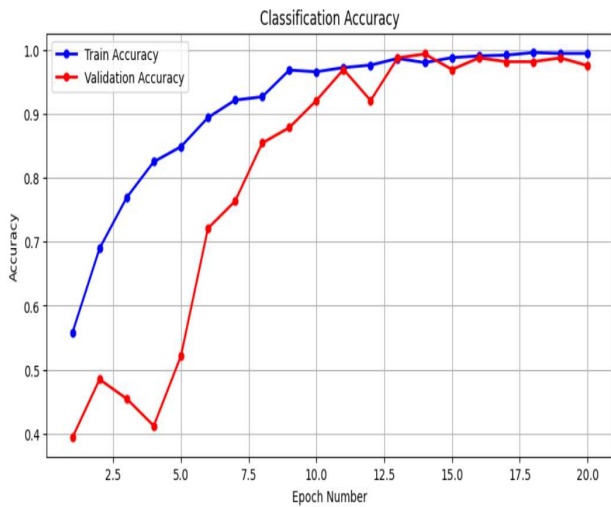


Figure 9. Classification Accuracy for the Proposed DNN

In Figure 10, the complexity matrix is given according to the most optimal hyperparameter selection for all data in the proposed DNN model.

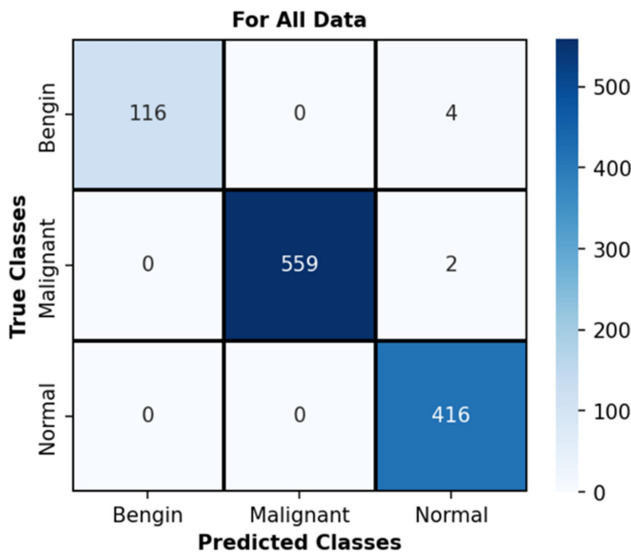


Figure 10. Complexity matrix for all data

In Figure 11, the complexity matrix is given according to the most optimal hyperparameter selection for the training data in the proposed DNN model.

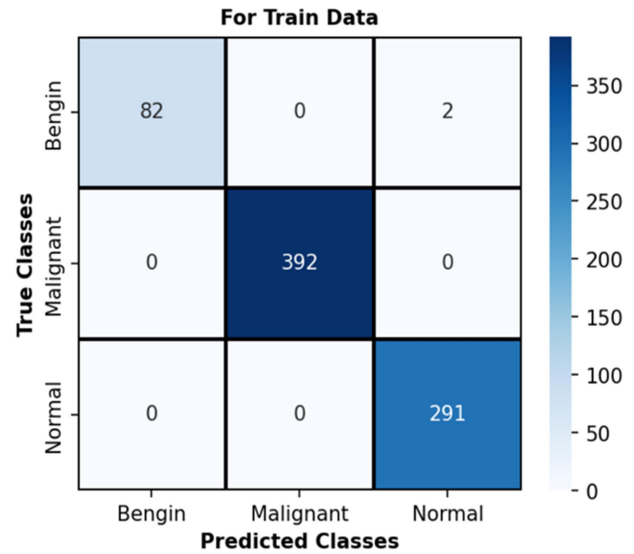


Figure 11. Complexity matrix for training data

In Figure 12, the complexity matrix is given according to the optimal hyperparameter selection for validation in the proposed DNN model.

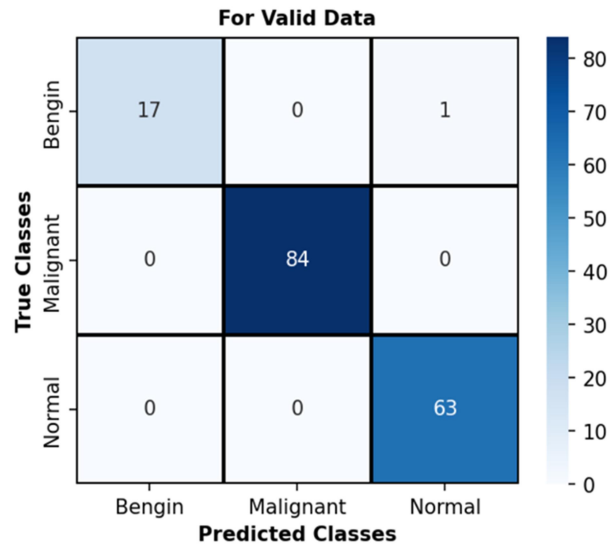


Figure 12. Complexity matrix for valid

Figure 13 shows the complexity matrix according to the most optimal hyperparameter selection for the test data in the proposed DNN model.

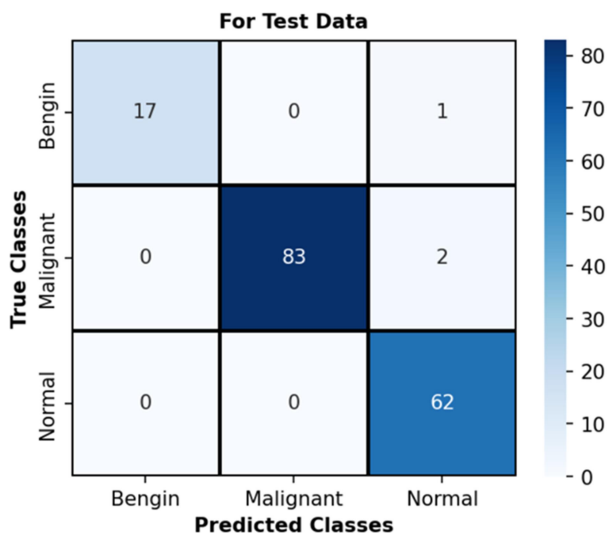


Figure 13. Complexity matrix for test data

Table 3 shows the diagnosis and classification results of lung cancer (benign, normal, malignant) according to some evaluation metrics for all training and valid data of the proposed DNN model.

Table 3. Classification report for training and valid

For All Data	Precision	Recall	F1-Score	Support
Benign	1.0000	0.9667	0.9831	120
Malignant	1.0000	0.9964	0.9982	561
Normal	0.9858	1.0000	0.9928	416
Accuracy			0.9945	1097
Macro Avg	0.9983	0.9877	0.9914	1097
Weighted Avg	0.9946	0.9945	0.9945	1097
For Train Data	Precision	Recall	F1-Score	Support
Benign	1.0000	0.9762	0.9880	84
Malignant	1.0000	1.0000	1.0000	392
Normal	0.9932	1.0000	0.9966	291
Accuracy			0.9974	767
Macro Avg	0.9977	0.9921	0.9948	767
Weighted Avg	0.9974	0.9974	0.9974	767
For Valid Data	Precision	Recall	F1-Score	Support
Accuracy			0.9818	165
Macro Avg	0.9846	0.9736	0.9786	165
Weighted Avg	0.9827	0.9818	0.9819	165

Figure 14 shows the ROC graph of the proposed DNN model for all data. When the ROC curve was analyzed, it was observed that it was quite successful in detecting lung cancer.

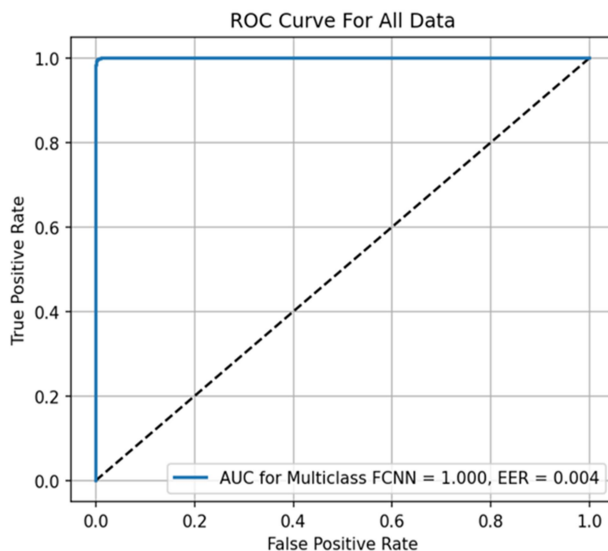


Figure 14. ROC analysis for all data

Figure 15 shows the ROC graph for the training data of the proposed DNN model. When the ROC curve was analyzed, it was observed that it was quite successful in detecting lung cancer.

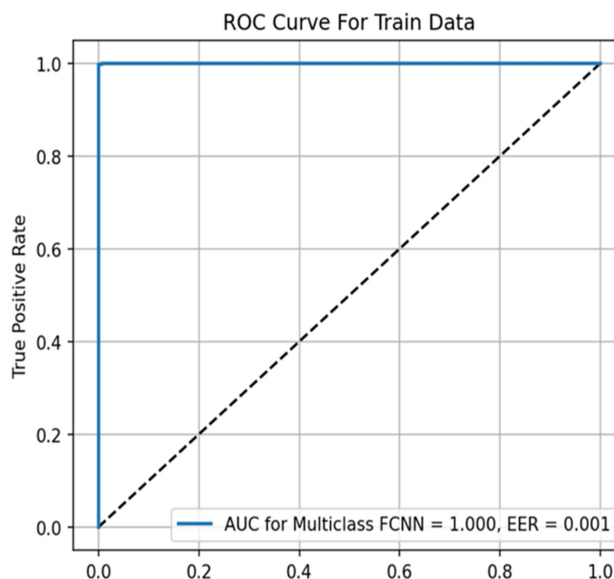


Figure 15. ROC analysis for training data

Figure 16 shows the ROC graph for the validity of the proposed DNN model. When the ROC curve was analyzed, it was observed that it was quite successful in detecting lung cancer.

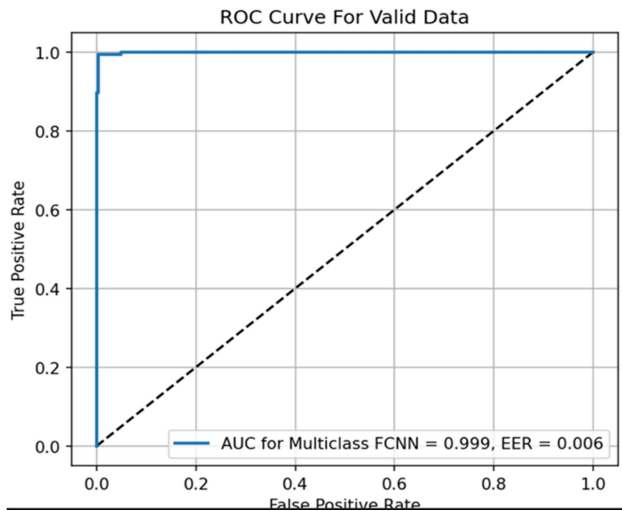


Figure 16. ROC analysis for valid

Figure 17 shows the ROC graph for the test data of the proposed DNN model. When the ROC curve was analyzed, it was observed that it was quite successful in detecting lung cancer.

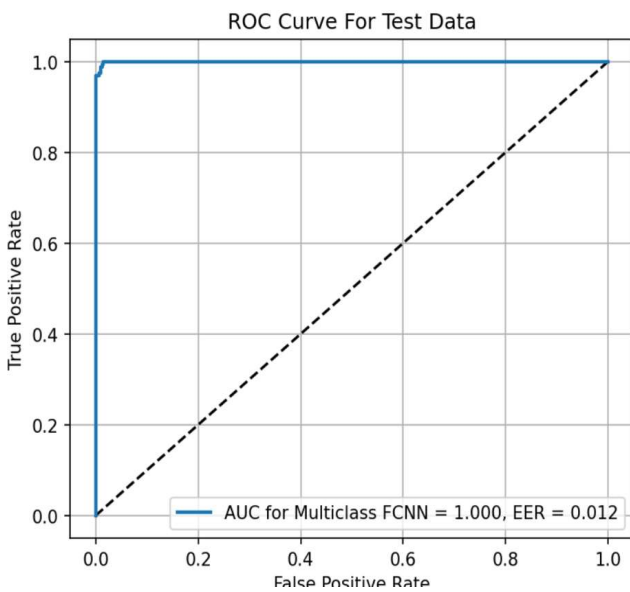


Figure 17. ROC analysis for test

3.2 CNN Results

The change in cross entropy error values for the data set we used is shown according to epoch values in Figure 18. As can be seen from the graph, the error is lowest at some epoch values. In our study, the learning coefficient was determined as 0.001, the "man" optimizer algorithm was determined for optimization, and the accuracy criterion was determined as the evaluation metric.

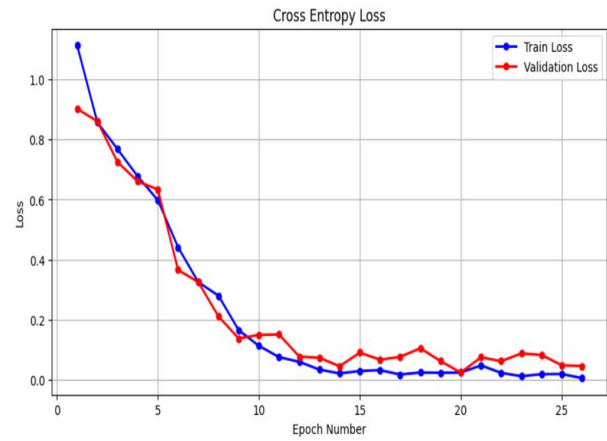


Figure 18. Cross Entropy Loss for the proposed CNN

The best learning was achieved by updating the weights in the classification accuracy graph given for the proposed CNN model in Figure 19.

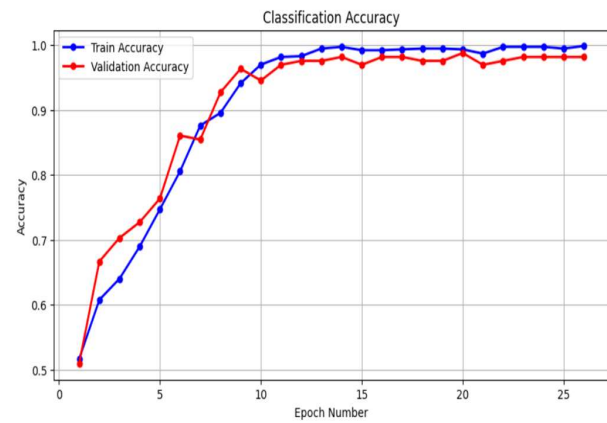


Figure 19. Classification Accuracy for the proposed CNN

In Figure 20, the complexity matrix is given according to the most optimal hyperparameter selection for the entire data in the proposed CNN model.

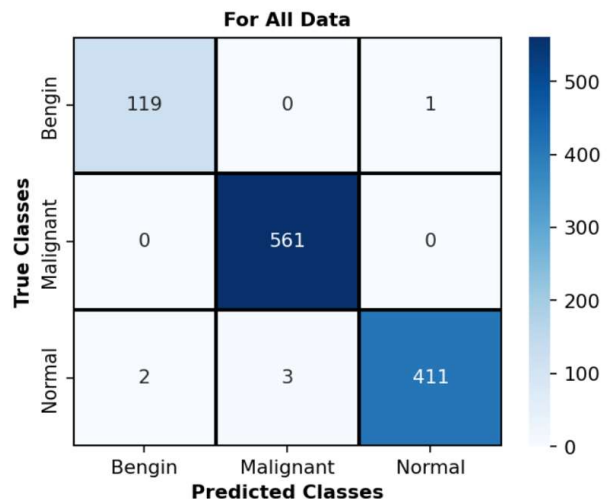


Figure 20. Complexity matrix for all data

In Figure 21, the complexity matrix is given according to the most optimal hyperparameter selection for the training data in the proposed CNN model.



Figure 21. Complexity matrix for training data

Figure 22 shows the complexity matrix according to the optimal hyperparameter selection for valid in the proposed CNN model.

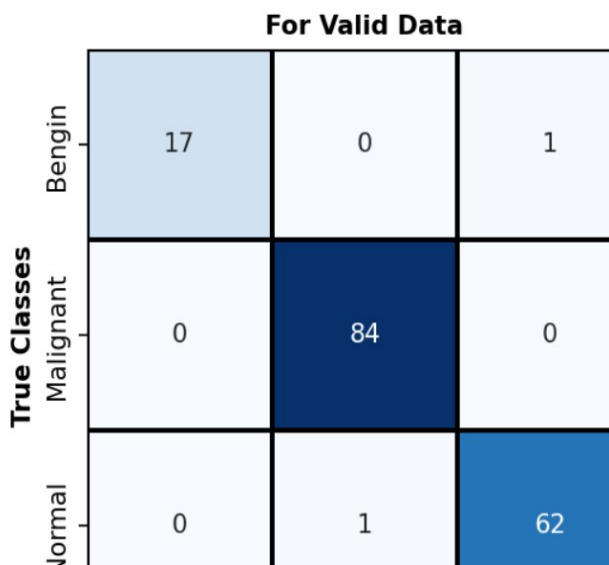


Figure 22. Complexity matrix for Valid

Figure 23 shows the complexity matrix according to the most optimal hyperparameter selection for the test data in the proposed CNN model.

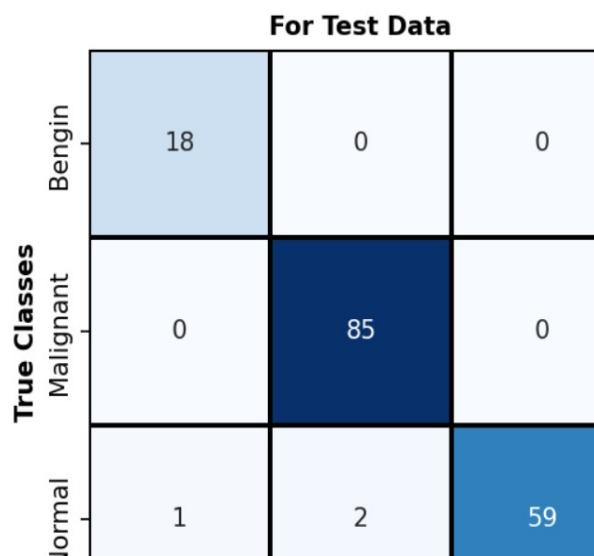


Figure 23. Complexity matrix for test data

Table 4 shows the diagnosis and classification results of lung cancer (benign, normal, malignant) according to some evaluation metrics for all training and validation data of the proposed CNN model.

Table 4. Classification report for training and valid

For All Data	Precision	Recall	F1-Score	Support
Benign	0.9835	0.9917	0.9876	120
Malignant	0.9947	1.0000	0.9973	561
Normal	0.9976	0.9880	0.9928	416
Accuracy			0.9945	1097
Macro Avg	0.9919	0.9932	0.9925	1097
Weighted Avg	0.9946	0.9945	0.9945	1097
For Train Data	Precision	Recall	F1-Score	Support
Benign	0.9882	1.0000	0.9941	84
Malignant	1.0000	1.0000	1.0000	392
Normal	1.0000	0.9966	0.9983	291
Accuracy			0.9987	767
Macro Avg	0.9961	0.9989	0.9975	767
Weighted Avg	0.9987	0.9987	0.9987	767
For Valid Data	Precision	Recall	F1-Score	Support
Accuracy			0.9818	165
Macro Avg	0.9748	0.9839	0.9789	165
Weighted Avg	0.9824	0.9818	0.9817	165

Figure 24 shows the ROC graph of the proposed CNN model for all data. When the ROC curve was analyzed, it was observed that it was quite successful in detecting lung cancer.

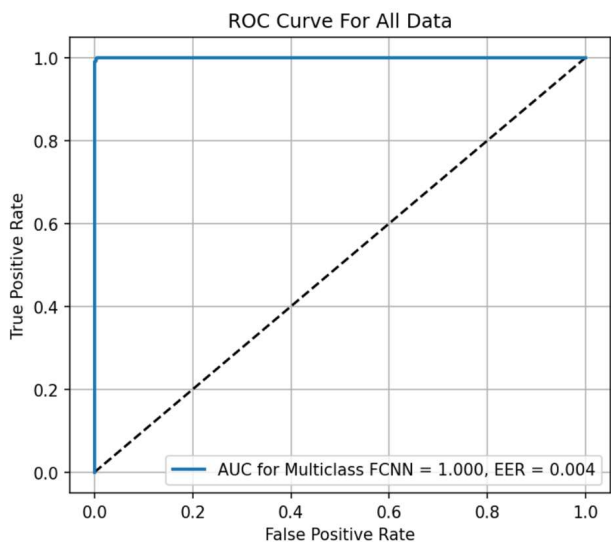


Figure 24. ROC analysis for all data

Figure 25 shows the ROC graph for the training data of the proposed CNN model. When the ROC curve was analyzed, it was observed that it was quite successful in detecting lung cancer.

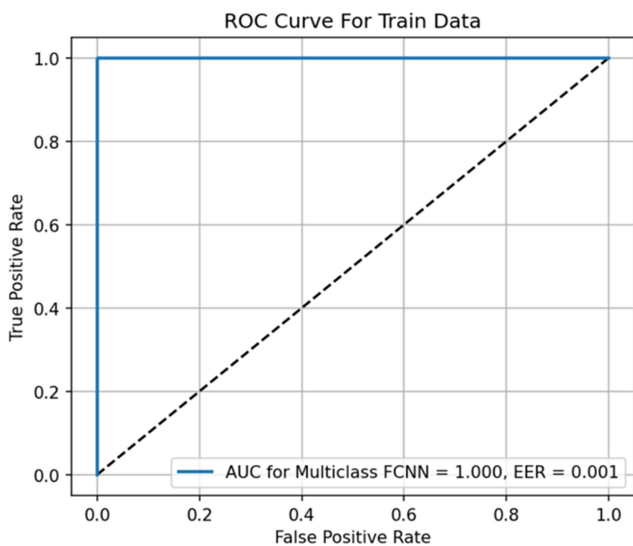


Figure 25. ROC analysis for training data

Figure 26 shows the ROC graph for the validity of the proposed CNN model. When the ROC curve was analyzed, it was observed that it was quite successful in detecting lung cancer.

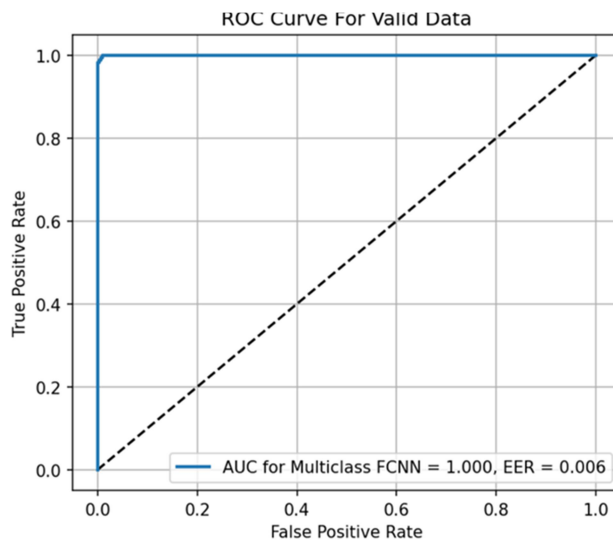


Figure 26. ROC analysis for valid

Figure 27 shows the ROC graph for the test data of the proposed CNN model. When the ROC curve was analyzed, it was observed that it was quite successful in detecting lung cancer.

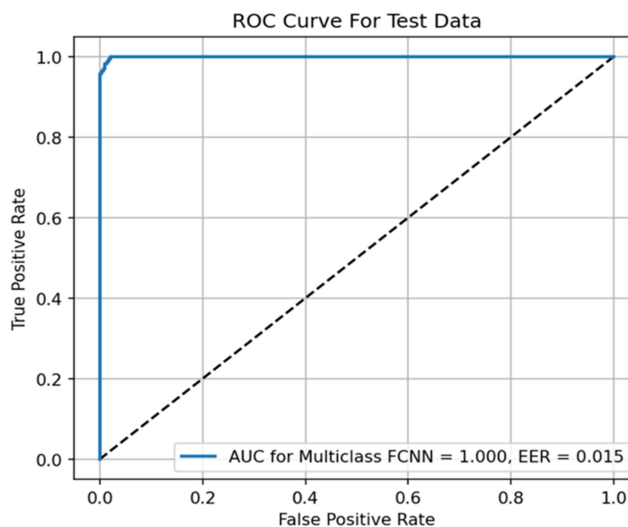


Figure 27. ROC analysis for test data

4. Discussion and Conclusion

Table 5 shows the results of some studies conducted in the literature with the model we proposed on the same dataset (IQ-OTH/NCCD lung CT images). Our study has been shown to give very successful results on this dataset.

In this study, it was aimed to diagnose lung cancer, which has the highest mortality rate, by using deep learning models. In addition, deep learning-based models have been proposed to overcome the workload of healthcare professionals and the

difficulties of manual diagnosis. In this way, decision support mechanisms that make accurate and fast decisions in the medical field have been created, thus reducing the workload of healthcare professionals in terms of diagnosis. Benign, normal and malignant tumors were detected with DNN and CNN models in our study. In the study, an accuracy of 99.39 was found with the DNN method applied on the data set used, and an accuracy of 98.78 with the CNN method on the valid data.

Table 6 shows the results of some studies conducted in the literature with the model we proposed on the same dataset (IQ-OTH/NCCD lung CT images). Our study has been shown to give very successful results on this dataset.

Table 5. Studies in the literature

Studies Conducted in the Literature	Used Method	Success Rate (%)
Al-Huseiny et.al	Transfer learning with GoogLeNet	94.38%
Sabzalian et.al	Bidirectional Recurrent neural network	97.06%
Solyman and Schwenker	Ensemble learning techniques	92.80%
Kareem et.al	SVM	89.88%
Raza et.al	EfficientNet	99.10%
Proposed Method	DNN	99.39%

In future studies, it is aimed to develop a model that can automatically detect various diseases that can trigger cancer formation, such as pneumonia, tuberculosis, COPD, and COVID-19, from lung radiographs, thanks to the proposed method.

5. References

Al-Huseiny, M. S., & Sajit, A. S. (2021). Transfer learning with GoogLeNet for detection of lung cancer. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 22(2), 1078-1086.

Ayayna, F. (2023). Akciğer kanserinin derin öğrenme yaklaşımları kullanılarak tespit edilmesi (Master's thesis, Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Al-Huseiny, M. S., & Sajit, A. S. (2021). Transfer learning with GoogLeNet for detection of lung cancer. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 22(2), 1078-1086.

Al Mamlook, R. E., Chen, S., & Bzizi, H. F. (2020, July). Investigation of the performance of machine learning classifiers for pneumonia detection in chest X-ray images. In 2020 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT) (pp. 098-104). IEEE.

Ayayna, F. (2023). Akciğer kanserinin derin öğrenme yaklaşımları kullanılarak tespit edilmesi (Master's thesis, Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).

Ibrahim, D. M., Elshennawy, N. M., & Sarhan, A. M. (2021). Deep-chest: Multi-classification deep learning model for diagnosing COVID-19, pneumonia, and lung cancer chest diseases. Computers in biology and medicine, 132, 104348.

Jaiswal, A. K., Tiwari, P., Kumar, S., Gupta, D., Khanna, A., & Rodrigues, J. J. (2019). Identifying pneumonia in chest X-rays: A deep learning approach. Measurement, 145, 511-518.

Kareem, H. F., AL-Husieny, M. S., Mohsen, F. Y., Khalil, E. A., & Hassan, Z. S. (2021). Evaluation of SVM performance in the detection of lung cancer in marked CT scan dataset. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 21(3), 1731.

Masood, A., Sheng, B., Li, P., Hou, X., Wei, X., Qin, J., & Feng, D. (2018). Computer-Assisted Decision Support System in Pulmonary Cancer detection and stage classification on CT images. Journal of Biomedical Informatics, 79(June 2017), 117–128.

Mothkur, R., & Veerappa, B. N. (2023). Classification Of Lung Cancer Using Lightweight Deep Neural Networks. Procedia Computer Science, 218, 1869-1877.

Prasad, U., Chakravarty, S., & Mahto, G. (2023). Lung cancer detection and classification using deep neural network based on hybrid metaheuristic algorithm. Soft Computing, 1-24.

Provath, M. A. M., Deb, K., Dhar, P. K., & Shimamura, T. (2023). Classification of Lung and Colon Cancer Histopathological Images Using Global Context Attention Based Convolutional Neural Network. IEEE Access.

Raza, R., Zulfiqar, F., Khan, M. O., Arif, M., Alvi, A., Iftikhar, M. A., & Alam, T. (2023). Lung-EffNet: Lung cancer classification using EfficientNet from CT-scan images. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 126, 106902.

Sabzalian, M. H., Kharajinezhadian, F., Tajally, A., Reihanisarsari, R., Alkhazaleh, H. A., & Bokov, D. (2023). New bidirectional recurrent neural network optimized by improved Ebola search optimization

algorithm for lung cancer diagnosis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 84, 104965.

Sirazitdinov, I., Kholiavchenko, M., Mustafae, T., Yixuan, Y., Kuleev, R., & Ibragimov, B. (2019). Deep neural network ensemble for pneumonia localization from a large-scale chest x-ray database. *Computers & electrical engineering*, 78, 388-399.

Solyman, S., & Schwenker, F. (2022, October). Lung Tumor Detection and Recognition Using Deep Convolutional Neural Networks. In *Pan African Conference on Artificial Intelligence* (pp. 79-91). Cham: Springer Nature Switzerland.

Thakur, S. K., Singh, D. P., & Choudhary, J. (2020). Lung cancer identification: a review on detection and classification. *Cancer and Metastasis Reviews*, 39, 989-998.

www.kaggle.com/datasets/adityamahimkar/iqothnccd-lung-cancer-dataset

Zhou, T., Lu, H., Yang, Z., Qiu, S., Huo, B., & Dong, Y. (2021). The ensemble deep learning model for novel COVID-19 on CT images. *Applied soft computing*, 98, 106885.

Araştırma Makalesi / Research Article

The Importance of GRP Composite Material in Liquid Fertilizer Tanks and Production Optimization of the Tanks

Mehmet Çakmakkaya^{1*}, Mert Güvenç¹

¹Afyon Kocatepe University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering, Afyonkarahisar.

¹Afyon Kocatepe University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering, Afyonkarahisar.

e-mail*: cakmakkaya1964@gmail.com
e-mail: mertguvenç@hotmail.com

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1398-047x
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1246-5345

The arrival date: 06.03.2024 ; Date of Acceptance: 15.05.2024

Öz

Kompozit malzemeler sahip oldukları üstün özelliklerden dolayı imalat sektöründe birçok alanda oldukça yaygın kullanılmaktadır. Bu çalışmada cam elyaf takviyeli plastik (CPT) kompozit malzemeden tarım sektöründe sıvı gübrelerin taşınmasında kullanılan tanker imalatı ve optimizasyonu çalışılmıştır. Özellikle bitkilerin gelişiminde organik gübre kullanımına önem verilmektedirler. Gübre içeriğinde bulunan azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, kükürt, demir, manganez, bakır, çinko ve bor gibi büyük miktarlardaki elementler taşıma kapları ile kimyasal reaksiyona girebilir. Bu kimyasal reaksiyonları gözlemlemek amacı ile deney kapları hazırlanmıştır. Bu kaplarda yoğunlaştırılmış farklı sıvı gübre çeşitleri oluşturulmuştur. Bunlar için uygun zaman aralıkları seçilerek pH dereceleri masa tipi "Ohaus AB23PH-F" ölçülmüştür. Hazırlanan tavuk gübresinin pH değeri 8,44 küçükbaş hayvan gübresinin pH değeri 8,34 güvercin gübresinin pH değeri 7,54 ve büyükbaş hayvan gübresinin pH değeri 9,03 olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte sıvı gübreler 20 °C de kapalı yalıtımlı kap içerisinde bekletilip nem oranları %58 olarak belirlenmiştir. Deney kaplarında sıvı gübre içinde bekletilen ST37 çelik numuneler ve CTP nin SEM, XRD ve optik görüntüleri ve kütle kayıpları değerlendirilmiştir. Korozif ortamlardaki CTP numunelerinde korozyona rastlanmamıştır. İki farklı malzemeden 10m³ hacminde tanker tasarımı yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizi sonucunda güvenli olarak kullanılacak CPT tankerin et kalınlığı 12mm bu tankerin ağırlığı 702 kg olarak hesaplanmıştır. Aynı hacim ve 3 mm kalınlıkta tasarlanan ST37 çelik tankerin ağırlığı 3504 kg olmaktadır. Korozyona karşı dirençli ve yaklaşık 5 kat daha hafif olması CPT kompozit malzemeden imal edilen tankerlerin uygun olacağı düşünülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Korozyon, Kompozit,
Sıvı gübre tankeri,
Sonlu Elemanlar, CTP.

Abstract

Due to their superior features, composite materials are commonly used in many various fields in production industry. In this study, the production and optimization of the tanks which are made of Glass Fiber Reinforced Plastic (GRP) composite materials and used in transporting liquid fertilizers in agricultural industries were studied. The application of organic fertilizers is particularly important in plant growing. Elements which are present in fertilizers, such as nitrogen, phosphor, potassium, calcium, magnesium, sulfur, iron, manganese, copper, zinc and boron may chemically react with container drums. Experimental containers were prepared in order to observe these chemical reactions. Various types of condensed liquid fertilizers were composed in those containers. PH values were measured via benchtop "Ohaus AB23PH-F" at predesignated time intervals. The pH values were measured as following: 8.44 for chicken manure, 8.34 for small cattle manure, 7.54 for pigeon manure and 9.03 for cattle manure. In addition to that, liquid manures were kept at 20 °C in an isolated container and humidity was measured 58%. SEM, XRD and optical images of St37 Steel specimens which were kept in liquid fertilizers in experiment containers and GRP and mass loss were evaluated.

eywords

Corrosion, Composite,
Liquid fertilizer tanks,
Finite Elements, CTP.

No corrosion was observed in GRP in corrosive environment. Users prefer those materials due to the fact that they have high corrosion resistance, and they are light material. A 10m³ tank was designed out of those materials which are very common in production industry. The method of finite elements was used in the design and their weights were compared. As for the results of finite elements analysis, the wall thickness of the GRP tank for safe use was calculated to be 12mm and the weight of that tank was calculated to be 702kg. The weight of the St37 steel tank of the same volume and 3mm thickness is 3504kg. It was thought that tanks made of GRP composite material would be convenient due to the fact that they are corrosion resistant and 5 times lighter.

© Afyon Kocatepe University

1. Introduction

Composite materials continue to play an important role in human history, from the first civilizations to today's innovations. Compared to fully dense materials such as steel and aluminum, composites offer several advantages such as lightweight, high strength and stiffness, excellent vibration-damping properties, design flexibility, and resistance to corrosion and wear. These unique properties have made composite materials ubiquitous every day, from household goods to complex fields such as biomedical, sports, marine, agricultural implements, and construction industries. Additionally, some critical applications, such as aircraft and spacecraft, would be impossible without composite materials. Today, the composites industry continues to evolve, with major growth focused on renewable energy. (Weiland, K. at all 2021, s.; Alammar, S. At all 2020, Fedosyuk, R.L. at all 2021, Friedrich, K., Almajid, A. A., 2013). Many experiments have been carried out to increase the mechanical properties of composite materials. A new test configuration was proposed to measure the transverse compressive strength of unidirectional composite layers by three-point bending and was examined with cross-ply test specimens. Cross-ply carbon/epoxy with different thicknesses were tested by three-point bending until failure. Transverse compression damage area, as found in the literature it was found to be in good agreement with the studies. Tensile stresses are lower than bending stresses in 90° laminates, maximum tensile stresses are lower than longitudinal tensile stresses in 0° laminates, but the maximum It was determined that the tensile stress was very close to the tensile stress. Composite materials are used in various fields such as space

and aeronautics industry, food and medical industry, building and construction industry, technology industry and in manufacturing the machines which help people cater for their needs. The production of these materials in different areas such as agricultural tools, automotive and aviation industries is due to the differences in their thermal and mechanical properties (Hollaway at all 2004)One of the sectors where those materials are widely used is agricultural machines and tools. They actively play a role in transporting clean water to the consumer, in irrigation tools and equipments in agricultural industry, and in storing and transporting products such as petroleum and fertilizers. Some of the most determining factors in product design, particularly in storing and transporting, are that human health is taken into consideration, that the product being carried is not spoiled and that the container is not damaged. Tanks used in agricultural field for fertilizing and applying agricultural pesticide are important in that regard. Minimizing the chemical effects of substances stored or carried on the tank material and maintaining long-lasting tools are required qualifications. In the study conducted in order to determine mechanical properties of composites, reinforced and extended fiber length and ratio are under the effect of tensile and flexural strength. (Demircioğlu 2006, Demirer, Aydın, 2016). In the studies carried out; The impact strength of glass fiber/epoxy composites containing different orientations with different impact energy values was examined experimentally. For the impact test, samples measuring 150 mm x 100 mm consisting of 8 and 12 layers were created and tested at increasing impact energy values of 10 J, 20 J, and 30 J (Öndürücü, A., & Karacan 2004). In studies

examining the behavior of fiber orientation and layer thickness against impact, it was observed that the amount of collapse increased despite increasing impact energy and that the sample with the highest collapse for 30J impact energy was the sample with $[0^\circ/30^\circ/60^\circ/0^\circ]$ fiber alignment. High corrosion, high hardness, high specific strength, and light weight properties of composite materials. More efficient than traditional materials Allows structural design. Basically, polymer composites have more than one phase materials and at least one phase is a polymer matrix (K.P. Ashik and R.S. Sharma 2015). A study was conducted on the resistance properties and corrosion resistance of fiber glass reinforced epoxy composite materials. It was observed that Boric acid addition of reinforcement phases caused a decrease in corrosion resistance and, along with that, size of reinforced abrasive particles and the changes in various fiber directions caused remarkable changes in corrosion rate (Bağcı 2010). In the study conducted on mechanical properties of GRP composites, it was determined that, along with the increase in number of layers in the structure and the resin density, there was an increase in mechanical values, however, there was no changes in mechanical properties after a certain number of fiber glass layers (Türkmen, Köksal 2012). It was indicated that size and geometry of the ceramic powder mixtures which was added into matrix ceramic in epoxy matrix fiber glass reinforced composites significantly affected physical and mechanical properties (Asi, Gün, Asi, 2018). It was indicated in the study that the ratio of fiber volume of elastic modules in GRP composite materials increases (Turhan 2007). In the study conducted on fatigue life behavior of GRP composites, it was demonstrated that reinforced fibers abandoned matrix phase and the polyester resin matrix was degraded (Aydınlı 2021). They studied the behaviors of GRP composite materials in conditions in different environmental medium. They analyzed the corrosion resistance in environmental conditions such as salty water environment, acid environment and accelerated aging (Korku 2021). A bending simulation on laminated composites was developed to investigate the effects of placement.

The results of the FEA (Finite Element Analysis) simulation revealed in-plane normal stresses in the cross-edged laminate and in-plane shear stress in the angled laminate near the free edge region. These transverse normal stresses are not taken into account in traditional laminate theory (Carbajal, N., & Mujika 2001). Many experimental and theoretical studies have been carried out. Two different composites the force-displacement behavior of the material was compared experimentally and numerically with the ANSYS finite element method. As a result of these studies, numerical solution and experimental solution gave similar results (Meng, M., at all 2015). In the analysis of GRP composite structures with finite elements, they determined approach methods with finite elements on the effects of reinforcement phases directed differently in matrix phase, in order to demonstrate the potential which the structure had (Aydın and Kefal 2020).

In this study, the weight and corrosion resistance features of liquid fertilizer tanks used in agricultural industry today. Cattle and small cattle manures, pigeon manures and chicken manures are used in plant development in agricultural field. Experiment specimens were prepared, which were made from those materials used in the production of the tanks. After the materials to be used in the experiment were sized 25x40x2mm, kept in resting container in 60gr fertilizer and rinsed with distilled water once in every ten days, their weight changes were measured by 0.00001g precision scale. SEM analysis was applied on those specimens and the structures formed on them were examined. 10m³ tanks were designed and the thickness of the material was determined for the manufacturing, in accordance with the safety conditions. In the event that GRP composite materials are used for the production of the tanks, the weight of the tanks might decrease, and it would lower the carbon emission and help us have longer-lasting tanks without corrosion.

2. Material and Method

2.1 Materials

The structure and properties of GRP composite materials and reinforcement phases which are added into matrix phase affect the mechanical properties (tensile strength, bend strength and impact strength) and increase them in the composite structure that is formed (Asi 2018). The duty of the matrix phase in these composite materials is to transfer the tension coming from external effects to reinforcement phase and maintain the structural integrity. GRP composite material is favorable, due to its significantly low density, its suitability for design variety, its relatively high heat resistance, its high specific strength, its resistance to corrosion, its moulding flexibility, its suitability for colorization during production, its high resistance to chemicals, its resistance to inflammation due to flame retardants added into matrix phase, its optional transparency, its better mechanical properties than steel due to optional various layers.

Table 2.1: Mechanical properties and components of GRP composite material

PROPERTIES	GLASS TYPE			
	A	C	E	S
Specific weight (g/cm ³)	2,5	2,49	2,54	2,48
Elasticity Module (GPa)	-	69	72,4	85,5
Tensile strength (MPa)	3033	3033	3448	4585
Thermal expansion coefficient	8,6	7,2	5	5,6
Softening temperature (°C)	727	749	841	970
Admixture Materials (%)				
SiO ₂	72	64,4	52,4	64,4
Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	0,6	4,1	14,4	25
CaO	10	13,4	17,2	-
MgO	2,5	3,3	4,6	10,3
Na ₂ O ₁ K ₂ O	14,2	9,6	0,8	0,3
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-
Bao	-	0,9	-	-

The other material which was used in the study is St37 Steel material. The tensile strength of this steel material is 37kg/mm² and has 0.2% carbon ratio. It has been widely used due to the fact that it is high weldable and easily machinable.

Table 2.2: Mechanical Properties of St37 Material

Properties	ST37
Density (Kg/M3)	7,7
Elasticity Module (Mpa)	210000
Extension (%)	15
Poisson Ratio (0,3)	0,3
Tensile Strength (Mpa)	1158
Fluxion Strength (Mpa)	1034
Thermal Conductivity (W/M.K)	42,7
Specific Heat (J/Kg.K)	477
Thermal Expansion (K)	17
Fusion Temperature (°C)	1370

2.2 Method

2.2.1 Experimental Setup and Equipments Used

In parallel with the developments in composite material industry, liquid fertilizer tanks are designed which are commonly used in agricultural industry today. The important and specific properties desired in those tanks are their weights are corrosion resistance. Cattle and small cattle manures, pigeon manures and chicken manures are commonly used in plant development in agricultural field. Experiment specimens were prepared out of the materials used in the production of tanks. (Figure 2.2) After those materials were sized as 25x40x2mm, kept in 60gr of manure for 10 days -as seen in Figure 2.1-, rinsed with distilled water; the changes in their weight were measured by using a precision scale with 0.0001g sensitivity. SEM analyses were applied and structures that formed on the surface were evaluated. 10 m³ tanks were designed and their compliance with security standards for the manufacturing process were evaluated using the finite elements analysis and the thickness of the materials were determined.

The manures were placed into the containers as exhibited in Figure 2.1. Those manures were different types of manures which had 58% humidity and were kept at 20 °C in closed and insulated containers. pH values of those manures

were measured with benchtop Ohaus AB23PH-F pH meter. pH values the manures were measured as 8.44 for chicken manure, 8.34 for small cattle manure, 7.54 for pigeon manure and 9.03 for cattle manure.

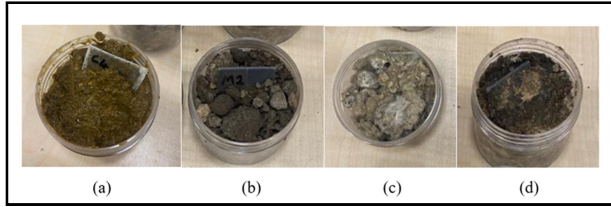


Figure 2.1: (a) Cattle manure, (b) Small cattle manure, (c) Pigeon manure, (d) Chicken manure

Those values are close to the previous pH values which were obtained through the other studies conducted on liquid fertilizers. (Sezen 1984). In Figure 8, test specimens were prepared using GRP composite and St37 steel materials in dimensions of 25x40x2mm. Their mass loss values were calculated with Bel Engineering M214Ai model precision scale before and after the experiment. In order to capture the images from the same angles, diagonal and perspective lines were drawn on the specimens. Microscopic images were obtained with Skygo 500x 8 Led microscopes with mounted endoscopic camera. In addition to those, as shown in Figure 3.2, other test specimens were prepared using GRP and St37 materials with the dimensions of 10x102mm for EDS and XRD experiments. Scanning electron microscope analysis was applied on those specimens and, later, phase analysis was conducted with energy distribution spectrum (EDS) images and X-ray diffraction (XRD) methods. Since GRP material is not electrical conductor, the images were obtained after gold coating process. In Figure 2.2, “C” represents coated GRP and “M” represents coated St37 materials.

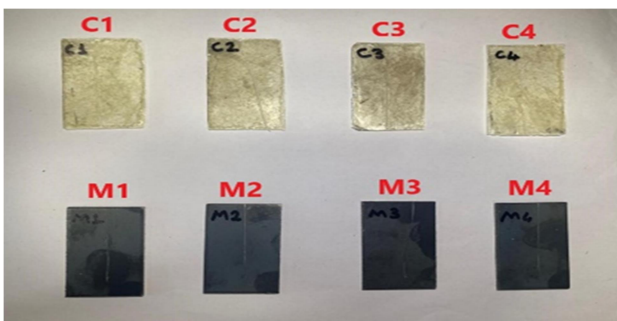


Figure 1.2: 25x40x2mm CTP and St37 test specimens

3. Experimental Findings

3.1 Microstructure Optical Image Analysis

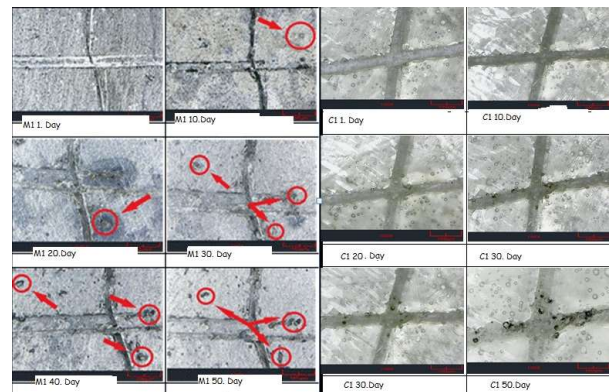


Figure 2.3: 100X images of GRP and St37 specimen kept in chicken manure

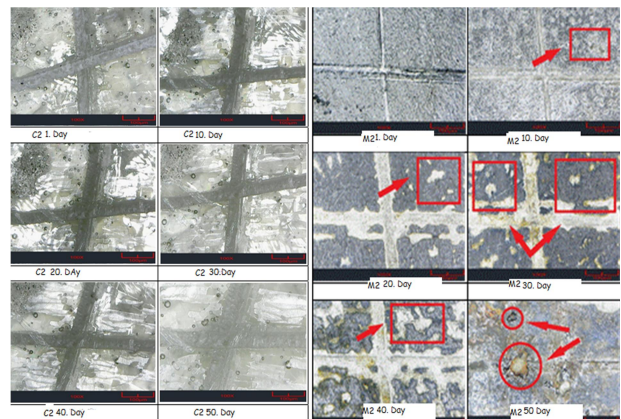


Figure 3.4: 100X images of GRP and St37 specimen kept in small cattle manure

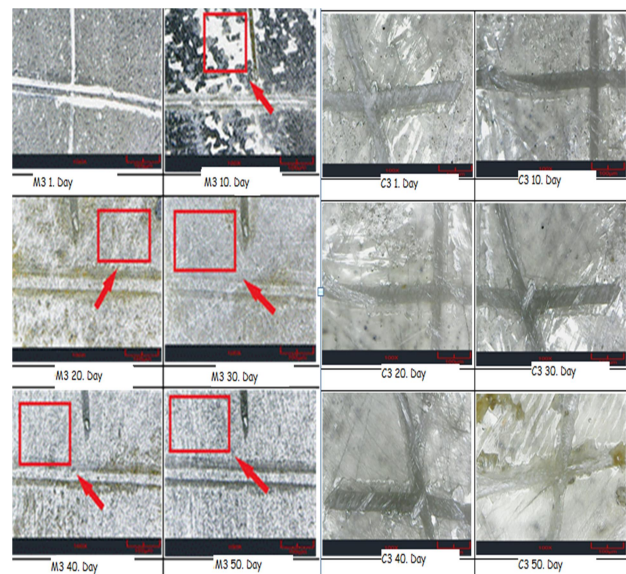


Figure 4.5: 100X images of GRP and St37 specimen kept in pigeon manure

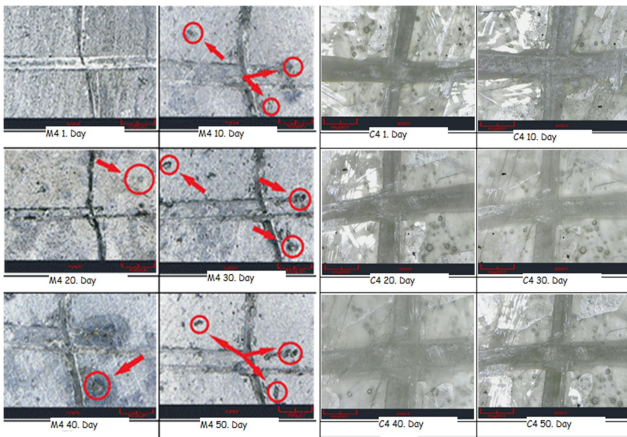


Figure 5.6: 100X images of GRP and St37 specimen kept in cattle manure

Table 2.3: Mass changes of specimen kept in different types of manures for 1200 hours (1)

SPECIMEN NAME	DAY 1(G)	DAY 10(G)	DAY 20(G)
C1	2,7994	2,7998	2,8011
C2	2,7704	2,7711	2,7722
C3	2,8354	2,8356	2,8378
C4	2,8456	2,8465	2,8492
M1	24,0681	24,0671	24,0626
M2	23,9994	23,9596	23,9376
M3	24,0687	24,0183	23,9616
M4	23,9904	23,9783	23,9671

Table 2.3: Mass changes of specimen kept in different types of manures for 1200 hours (2)

SPECIMEN NAME	DAY 30(G)	DAY 40(G)	DAY 50(G)
C1	2,8023	2,8045	2,8043
C2	2,7738	2,7746	2,7729
C3	2,8411	2,8456	2,8476
C4	2,8508	2,8501	2,8538
M1	24,0585	24,0583	24,0572
M2	23,9235	23,9116	23,8945
M3	23,9377	23,9257	23,9191
M4	23,9598	23,9483	23,9349

It was observed that St37 steel material was obviously affected by the liquid manure it contained and, as exhibited in the optical images, there were significant mass losses due to corrosion as a result of chemical reactions which the manure had on the material; on the other hand, there were no chemical reactions on the GRP but there was slight mass gain. The reason for this is that as the GRP material stays longer in humid environment, its weight increases and it was thought that there could be a mass gain due to the water absorption property of reinforcements phases present in matrix phases (İlhan and Feyzullohoğlu 2019).

3.2 Microstructure SEM and EDX Analysis

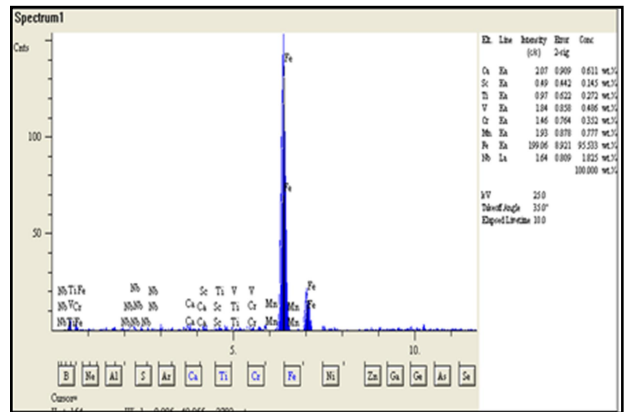
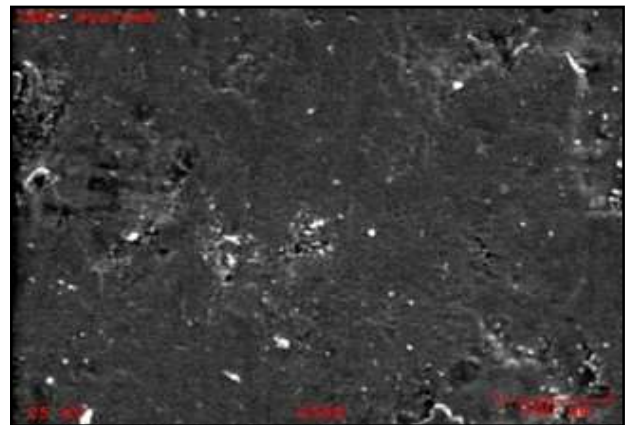


Figure 3.1: SEM and EDX images for St37 steel specimen

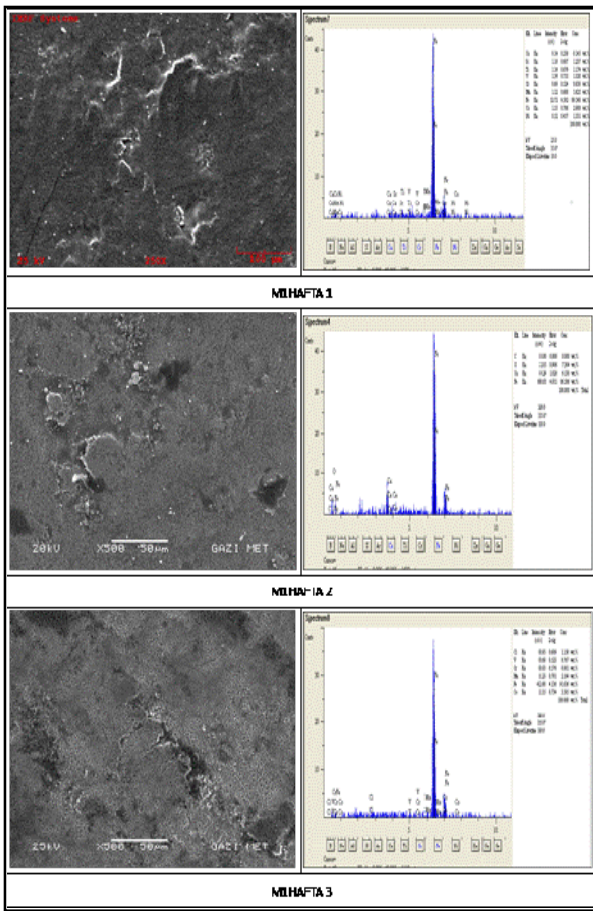


Figure 3.2: SEM and EDX images of St37 steel specimen kept in chicken manure

Oxide compounds that could cause corrosion on St37 steel material that stayed in chicken manure for 7/14/21 days form craters on the surface of the material. The existence of those craters leads to mass loss. The existence of iron oxide peaks which increases depending on the holding duration, as seen in SEM images, exhibits that there could be more oxidation. It can be understood from the SEM images given in Figure 3.5 that St37 steel specimen kept in cattle manure reach maximum corrosion on the day 21. Besides, as seen from M4 values given in Table 2.1, it was measured that those specimens had a greater mass loss. When the SEM images of the specimens kept in other manures are analyzed, it can be seen that St37 steel material had corrosion.

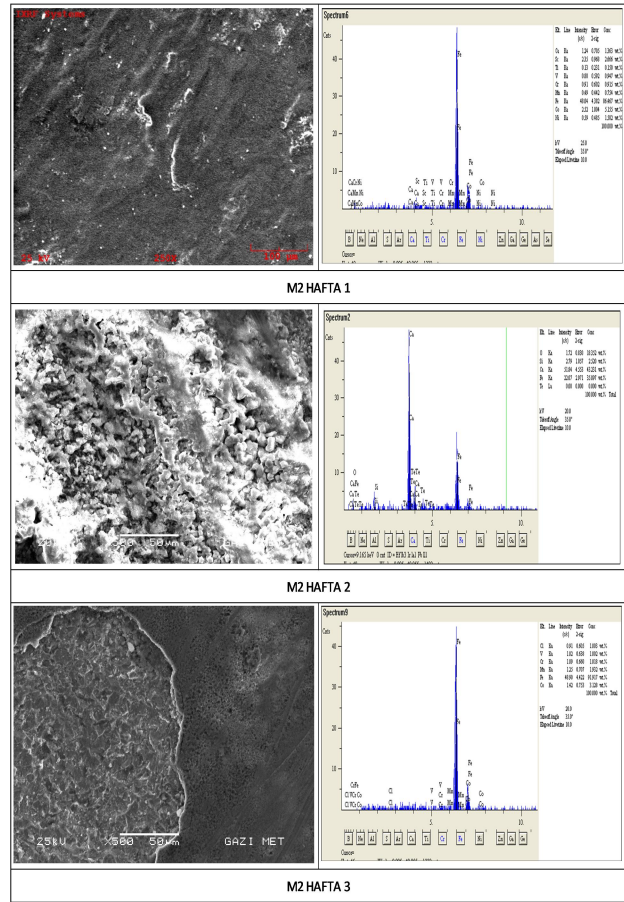


Figure 3.3: SEM and EDX images of St37 steel specimen kept in small cattle manure

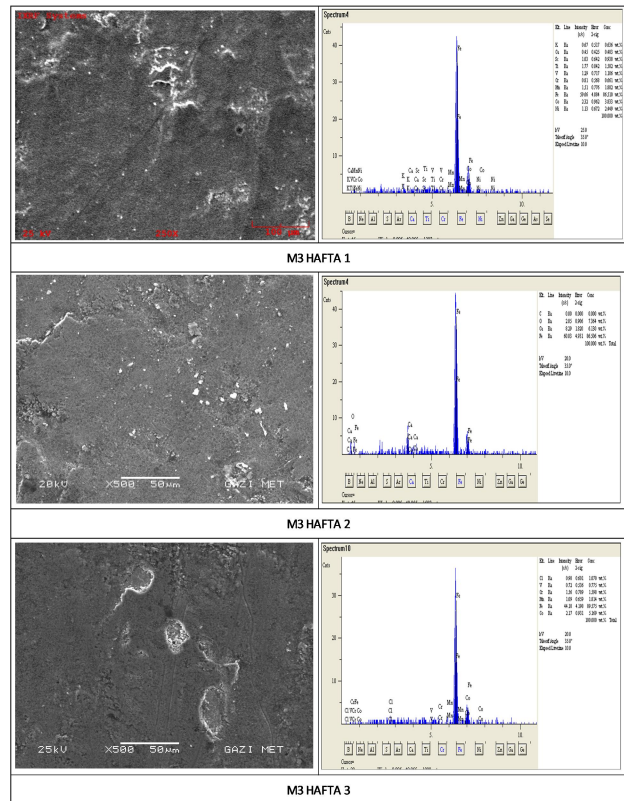


Figure 3.4: SEM and EDX images of St37 steel specimen kept in pigeon manure

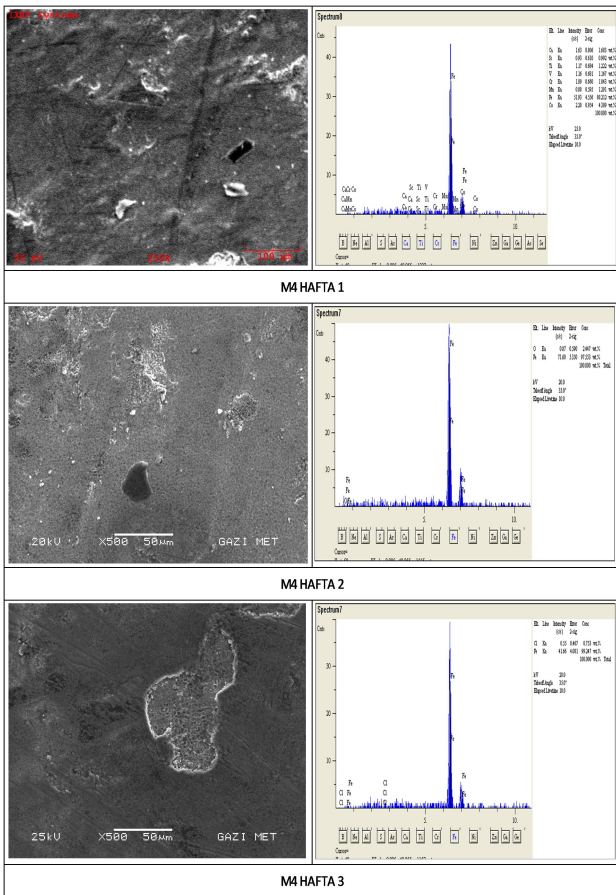


Figure 3.5: SEM and EDX images of St37 steel specimen kept in cattle manure

There were no oxide compounds that may cause corrosion or craters on material surface on the GRP St37 composite material kept in liquid manures for 7/14/21 days. It can be seen in Table 2.1 where mass loss values are given.

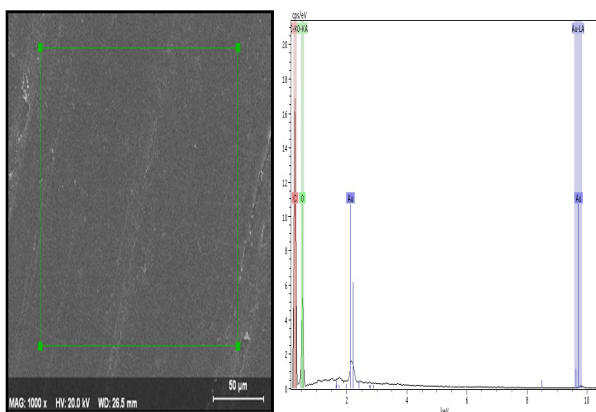


Figure 3.6: SEM and EDX images of GRP composite specimen

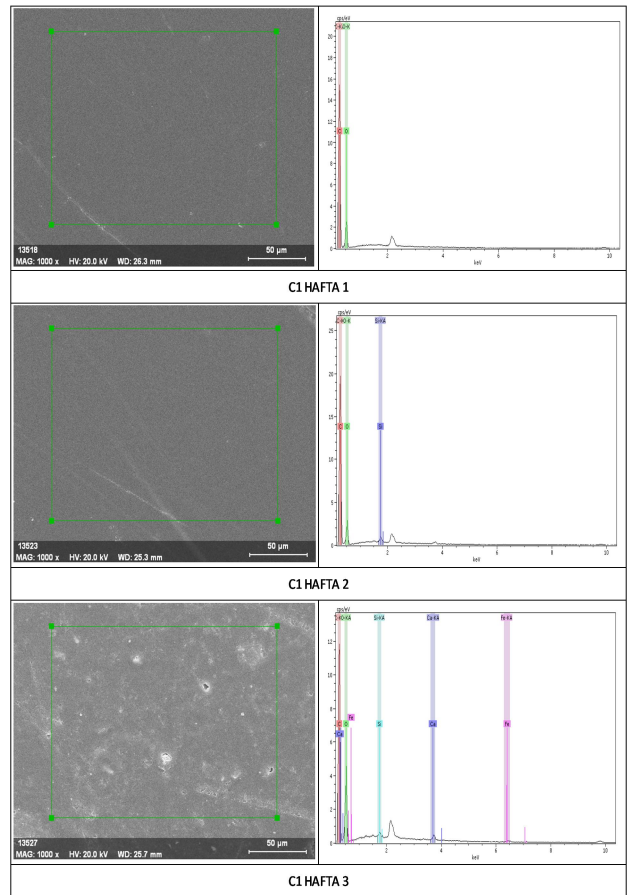


Figure 3.7: SEM and EDX images of GRP composite specimen kept in chicken manure

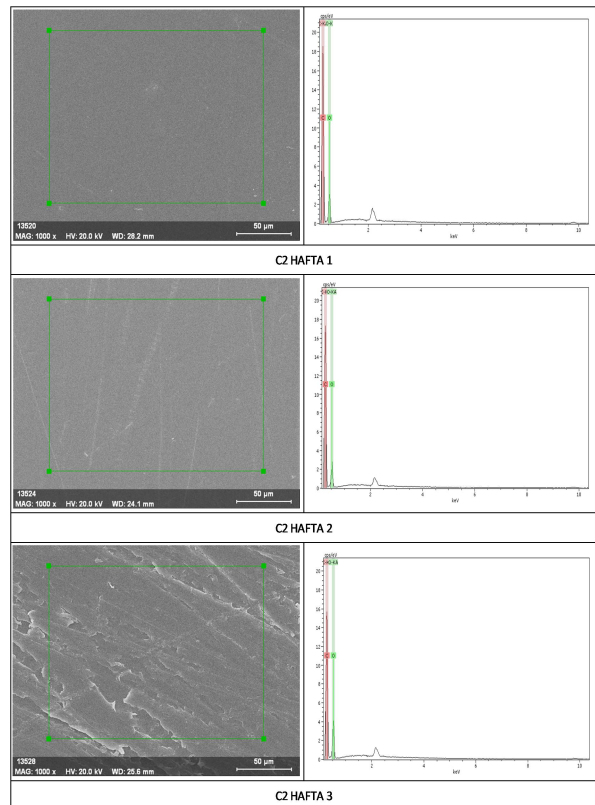


Figure 3.8: SEM and EDX images of GRP composite specimen kept in small cattle manure

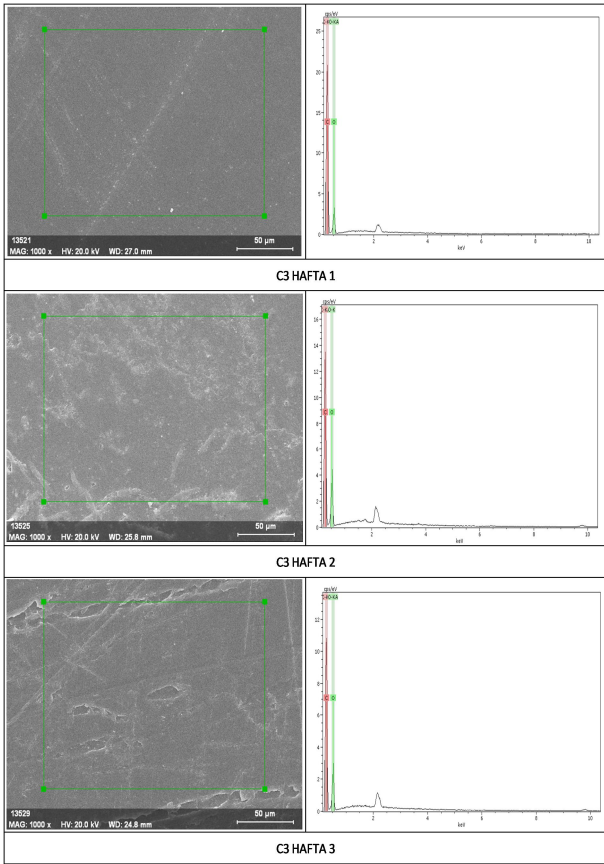


Figure 3.9: SEM and EDX images of GRP composite specimen kept in pigeon manure

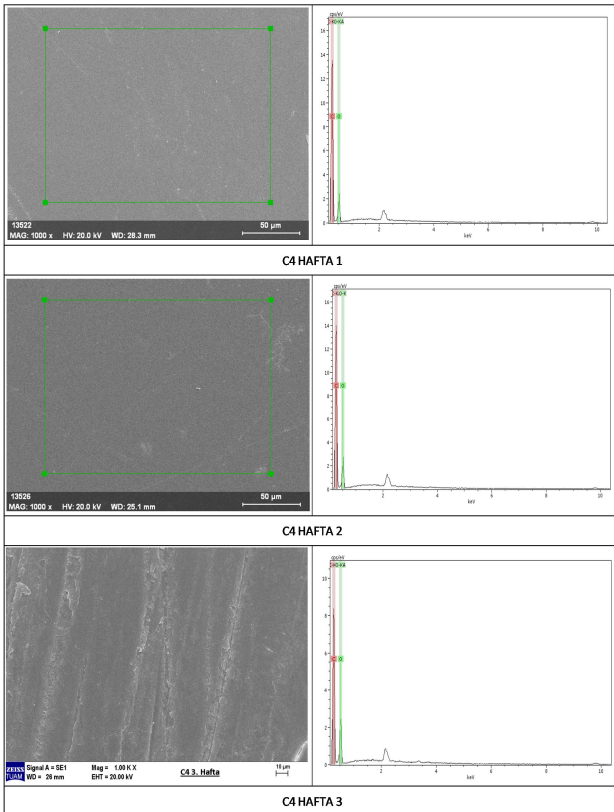


Figure 3.10: SEM and EDX images of GRP composite specimen kept in cattle manure

4. Discussion and Conclusion

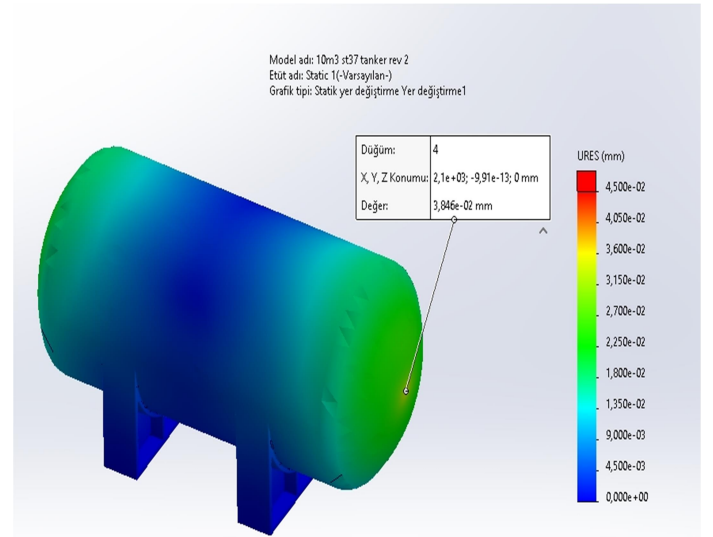


Figure 4.1: Static analysis of 10m³ tanks made of St37 material with 3mm thickness

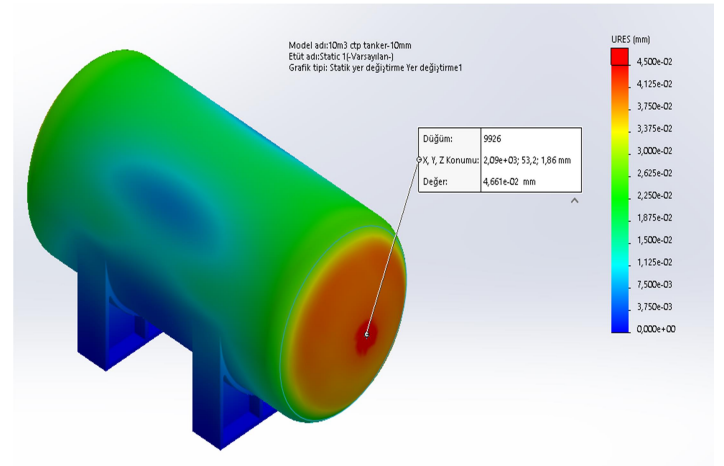


Figure 4.2: Static analysis of 10m³ tanks made of GRP material with 10mm thickness

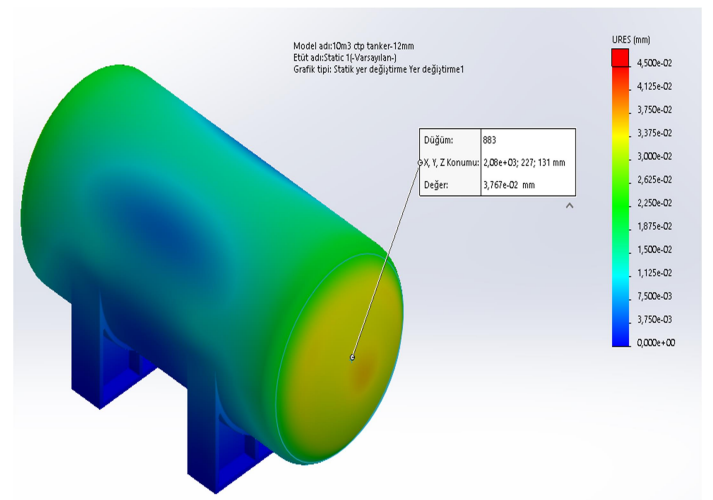


Figure 4.3: Static analysis of 10m³ tanks made of GRP material with 12mm thickness

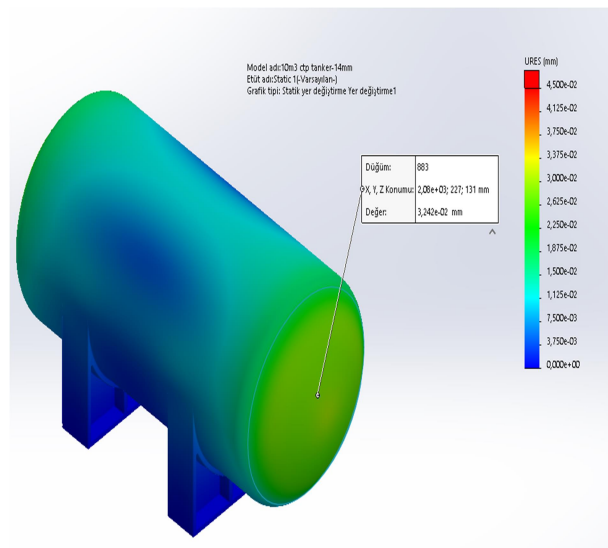


Figure 4.4: Static analysis of 10m³ tanks made of GRP material with 14mm thickness

When the Freedom of Design, weight of the tank, corrosion resistance and manufacturability optimization parameters are taken into consideration, tanks which will be manufactured by using GRP composite material has a great advantage due to not having any limits in manufacturing with moulding procedure. On the other hand, steel material has limitative parameters in manufacturing process such as having limited moulding options, having to have welded connection in manufacturing, having standard size of sheet metal used as raw material. Today, GRP material is used in manufacturing wings and fan blades in space and aeronautics industry, in manufacturing mudguards and automobile doors in automotive industry, in construction industry, in manufacturing guard rails on highways, greenhouse panels and waterslides, in manufacturing sport automobiles, bicycles and helmets, in treatment facilities for products which needs corrosion resistance, in manufacturing water pipes and industrial tanks, in printed circuit panels in electric and electronic industry, in manufacturing electric poles and lamp posts, in manufacturing helicopter bodywork, weapon and rocket parts in military industry, in manufacturing sailboats and canoes in maritime industry (Sibel 2021, Korku, Feyzullahođlu, İlhan, 2022). Based on the optical images and SEM analysis, when St37 steel material was used, physical changes were observed on the surfaces of contact with the manure resulting from

the mass loss occurring with corrosion. However, those negative effects were not observed when GRP composite material was used. In the study Can İpek conducted, he observed that abrasion resistance of steel specimen in dry environment is low, compared to corrosive environment, and that composite material has higher abrasion resistance in both dry and corrosive environments. It was observed that while the specimen with the highest corrosion rate was St37 specimen kept in cattle manure, the specimen with the greatest mass loss was St37 specimen kept in pigeon manure. It is thought that the reason for this is that the high amount of nitrogen in the chemical compound of pigeon manure speeds up the corrosion and increases the mass loss. With the finite elements analysis conducted on the 10m³ tanks with St37 and GRP material designs, instead of a St37 tank with 3mm thickness, a GRP tank with 12mm thickness has almost the same replacement under the same weight and force. Gözde Demircioğlu remarked in her study that increasing fiber length and ratio affect the tensile and flexural strength of the composites more and more. Also, between the tanks designed with equal capacity, the tank which is made of GRP material with 12mm thickness has a weight of 702kg, while the tank which is made of St37 material with 3mm thickness 3504kg. Based on these data, the tank which will be made of GRP material has certain advantages.

5. References

- Alammar, S., Fülöp, A., Pulido, Z., Nunes, B., Szekely, S., (2020). Hydrophobic thin film composite nanofiltration membranes derived solely from sustainable sources. *Green Chem.*, 23, 1175–1184.
- Ashik, K.P., Sharma, R.S., (2015). A review on mechanical properties of natural fiber reinforced hybrid polymer composites, *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol.03(05):420–426, January.
- Asi D., Gün H., Asi O., (2018). The Analysis of the Effect of Size and Geometry of the Ceramic Powder Particles Used in Glass Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Materials on the

- Porosity Properties of the Material, 3rd International Engineering, Architecture and Design Congress, Vol.3, 276-277.
- Aydınlı E. A., (2021). S355JR Quality Steel, Glass Fiber Reinforced Plastics, GFRP Profiles, Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Plastics and Corrosion Resistance of Glass Fiber Reinforced Plastics, Research Project, Karabük University, KBÜBAP-21-YL-041
- Bağcı, M., (2010). The Analysis of Erosion Abrasion Behaviour of Glass Fiber Reinforced Composite Materials, Doctorate Thesis, Selçuk University Institute of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering, s178.
- Burhan A., (2020). Design, Analysis and Manufacturing of the Lighter and More Durable Bosun's Chair Made of Composite Material, Master's Thesis, Kocaeli University Institute of Science and Technology Department of Aeronautical Sciences and Technologies, s121
- Carbajal, N., & Mujika, F., (2001). Determination of transverse compressive strength of long fibre composites by three-point bending of [90 m /0 n] cross-ply laminated strips. *Poly. Test.*, 30(5), 578–584
- Demircioğlu, G., (2006). The Effect of Fiber Size on Staple Fiber Glass Reinforced Epoxy Composite Materials, Master's Thesis, Gazi University, Institute of Science and Technology, Department of Chemical Engineering, s145.
- Demirer, A., Aydın, U., (2016). The Analysis of the Effect of Calcite Padding on Mechanical Behaviours in Manufacturing Glass Fiber Reinforced Polyester Material, *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering Sciences*, 16, 5-10
- Fedosyuk, R.L., Edel, A., Crick, J. B., (2021). C.R. Carbon Nanofiber/SiO₂ Nanoparticle/HDPE composites as physically resilient and submersible water-repellent coatings on HDPE Substrates. *ACS Appl. Nano Mater.*, 4, 10090–10102.
- Kefal A., (2020). A. Novel Four-Node Inverse-plate Element for Shape and Stress Sensing Laminated Composite and Sandwich Plates, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 35:4, 1767-1781.
- Korku, M., Feyzullohoğlu, E., İlhan, R., (2022). The Analysis of the Effects of Environmental Conditions in Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials Containing Different Polyester and Tensile Additive on Abrasion Behaviour, *Research Paper*, 2147-9429
- Mihriban K., (2021). Abrasion Properties of Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials Under Different Environmental Conditions, Master's Thesis, Kocaeli University Institute of Science and Technology Department of Mechanical Engineering, s121
- Hollaway, L.C. Chryssanthopoulos, M.K. S.S.J. Moy (Eds.), 2004, *Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction*, Woodhead, Publishing Limited, UK, pp. 360-370.
- İlhan R., and Feyzullohoğlu E., (2019). Natural Fibers and Padding Materials Used in Glass Fiber Reinforced Polyester (GRP) Composite Materials, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering* Vol. 6, (2), 355-381.
- Öndürücü, A., & Karacan, A., (2008). Experimental Analysis of the Impact Behaviour of Laminated Glass Fiber/Epoxy Composites. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3),435–447. <https://doi.org/10.21923/jesd.363292>.
- Turan M., (2007). The Analysis of the Effect of Fiber Volume Rate on the Mechanical Properties of GRPs, Master's Thesis, Sakarya University Institute of Science and Technology, Building Training, s184.
- Türkmen İ., Köksal N.S.,(2012). The Analysis of Impact Resistance and Mechanical Properties based on Number of the Fiber Layers in Glass Fiber Reinforced Polyester Matrix Composite Materials, *Celal Bayar University Journal of Science*, vol.8, (2), 17-30.

Weiland, K.; Jones, M.P.; Zinsser, F.; Kontturi, E.; Mautner, A.; Bismarck, A., (2021). Grow it yourself composites: Delignification and hybridisation of lignocellulosic material using animals and fungi. *Green Chem.*, 19, 7506–7514. 2. Park.

Yıldız S., (2021). The Recovery of Glass Fiber Reinforced Polyester (GRP) Wastes and Utilization in Fresh Made Composites, Doctorate Thesis, Kocaeli University Institute of Science and Technology Department of Chemical Engineering, s189.

Ticari Buji Ateşlemeli Bir Motorda JP8 Askeri Jet Yakıtı ve Amorf Elementel Bor Yakıtlarının Kullanımının NO_x Emisyonlarına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Emrah Kantaroğlu^{1*}, Ahmet Doğan²

^{1,2} Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale.

e-posta^{*}: emrahkantaroğlu@kku.edu.tr
e-posta^{*}: ahmet.dogan1@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-4318>
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-1222-7145>

Geliş Tarihi:19.03.2024 ; Kabul Tarihi:29.05.2024

Öz

Bu çalışmada, ticari bir pistonlu motorda, katkı yakıtı olarak kullanılan JP8 ve amorf elementel borun, yanma ve yanma ürünlerinden azotoksitler (NO_x) olarak bilinen kirletici gazlar üzerindeki etkisi deneysel incelenmiştir. Honda L13A4 tipi çift bujili motorun emisyon deneyleri, motorun maksimum tork devri olan 2800 d/dk devrinde ve tam gaz kolu kelebek açıklığında yapılmıştır. Çalışmada öncelikle benzin saf olarak test edilmiş, ardından benzine kütle oran olarak %5-10-15-20 JP8 yakıtı katılmıştır. Son olarak ise yanma özelinde literatürde oldukça sınırlı kullanıma sahip hem otomotiv hem de havacılık sektöründe kullanılabilen amorf elementel bor yakıtı sabit %2 oranında bütün yakıtlara eklenmiş ve testler yapılmıştır. Testlerin sonunda, emisyon parametrelerinden NO_x oluşumunu tetikleyen egzoz gazı sıcaklığı ve NO_x emisyon miktarları incelenmiştir. Egzoz sıcaklığı, artan JP8 oranlarında (%5-10-15-20) benzine göre sırasıyla %13,017-%16,410-%18,857-%22,239 artmıştır. Bütün benzin_JP8 yakıtlarına %2' şer amorf elementel bor ilave edildiğinde bu oranlar benzine göre sırasıyla %92,129-%57,629-%60,457-%65,023 artmıştır. En yüksek egzoz sıcaklığı ve NO_x salınımı JP8_5_%2B yakıtında ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler

Amorf elementel bor;
JP8; Motor testi; NO_x.

Experimental Investigation of the Effects of JP8 Military Jet Fuel and Amorphous Elemental Bor Fuels Usage on NO_x Emissions in a Commercial Spark-Ignition Engine

Abstract

In this study, the effect of JP8, used as an additive fuel, and amorphous elemental boron on nitrogen oxides (NO_x), known as pollutants from combustion and combustion products, was experimentally investigated in a commercial piston engine. Emission tests of the Honda L13A4 type dual spark plug engine were conducted at the engine's maximum torque speed of 2800 rpm and full throttle valve opening. In the study, gasoline was initially tested in its pure form, then JP8 fuel was added to gasoline at mass ratios of 5-10-15-20%. Finally, amorphous elemental boron fuel, which has limited use in both automotive and aviation sectors, was added to all fuels at a fixed 2% ratio and tests were conducted. At the end of the tests, exhaust gas temperature triggering NO_x formation and NO_x emission levels were examined as emission parameters. Exhaust temperature increased by 13.017-16.410-18.857-22.239% with increasing JP8 ratios (5-10-15-20%) compared to gasoline. When 2% amorphous elemental boron was added to all gasoline_JP8 fuels, these ratios increased by 92.129-57.629-60.457-65.023% compared to gasoline, respectively. The highest exhaust temperature and NO_x emission were measured in JP8_5_%2B fuel.

Keywords

Amorphous elemental bor;
JP8; Engine test;
NO_x.

1. Giriş

Endüstriyel faaliyetler, taşımacılık, enerji üretimi ve tarım gibi insan faaliyetlerinin yan ürünü olarak atmosfere salınan emisyon gazları, çevre üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu gazlar, sera etkisi, asit yağmurları, hava kirliliği ve ozon tabakasının incilmesi gibi çeşitli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Emisyon gazları, günlük yaşamsal faaliyetlerden kaynaklı olarak atmosfere salınan kirlenici ve zararlı gazlardır. Bu gazlar, yenilenemeyen fosil yakıtların ulaşımda ve endüstriyel işlemlerde yanması, tarımsal ve orman faaliyetlerinin durması ve çevresel atık maddelerin artması birçok nedene bağlı olarak salınmaktadır. Emisyon gazlarının azaltılması ve kontrolü, çevresel sürdürülebilirliği artırmak ve insan sağlığını korumak için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle mevcut motor teknolojilerinin geliştirilmesi ya da yeni yakıt arayışları zorunlu bir hal almıştır. Azalan petrol rezervleriyle beraber artan çevresel kirlilik sorunları, yakıtların maksimum verimle ve daha çevreci bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, ulaşımda içten yanmalı motor kullanımı iyiden iyiye kısıtlanmaya başlanmış ve alternatif bir ulaşım imkânı sağlayacak olan elektrikli motor teknolojileri hızla bu çalışmaların esas konusu haline gelmiştir (Ari 2020). Dünyada önümüzdeki 10 yıl içerisinde başta AB ülkeleri olmak üzere, ABD, Kanada, Hindistan, Çin gibi birçok ülke benzin ve dizel yakıt kullanımını sınırlandıracığını ve hatta içten yanmalı motora sahip araç satışını yasaklayacağını açıklamıştır. Türkiye ise 2030-2050 yılları arasında bu geçişi tamamlayacağını ön görmektedir (<https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa,12.12.2023>). Türkiye’de Ocak 2024 itibarıyla 15.333.952,00 otomobilin %1,5’i hibrit ve %0,6’sı tamamen elektrikli. Yani hali hazırda kullanılmakta olan 15.011.939,00 adet içten yanmalı motora sahip otomobil bulunmaktadır (<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ocak-2024,04.03.2024>). Bahsedilen sınırlamalar ve anlaşmalar için gerekli süreler beklenirken içten yanmalı motor kullanımı tüm yüksek potansiyeliyle devam etmektedir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon türevli yakıtların tamamında kirlenici ve çevreye zararlı emisyon salınımı yapılır. Çevre kirliliğinin en önemli bölümünü içten yanmalı motorlardan kaynaklanan egzoz gazı emisyonları oluşturmaktadır (Abdel-Rahman 1998). Motor içerisinde meydana gelen yanma prosesi sonucunda çevreye salınan egzoz gazı, çeşitli kirlenici bileşenlerin yanı sıra karbondioksit (CO₂) ve su (H₂O) gibi temel yanma ürünlerini de içermektedir. Bu kirleniciler arasında en önemli üç bileşen karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (UHC) ve nitrojen oksitlerdir (NO_x) (Abuşoğlu 2009). Yüksek motor sıcaklığında yanma stabilitesindeki bozulmalar, CO emisyonlarının ve yakıt tüketiminin artmasına neden olur. Motordaki artan yakıt tüketimi, UHC gibi kirlenici maddelerin emisyonunun artmasına neden olur. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarla doğrudan ilişkili olan NO_x ve partikül madde (PM) emisyonları artmakta, insan sağlığı ve bitkisel üretim üzerinde ciddi etkiler oluşturmaktadır (Hao vd. 2023). Aşağıda, NO_x emisyonlarının çevresel etkilerini ve kirlenici potansiyelini inceleyen literatür çalışmaları verilmiştir. Literatürde oldukça fazla sayıda, NO_x emisyonlarının hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. NO_x emisyonları, atmosferdeki önemli kirlenicilerden biri olarak kabul edilir ve çeşitli insan faaliyetleri tarafından atmosfere salınır. Bu emisyonlar, fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler, taşımacılık ve tarım gibi kaynaklardan kaynaklanır (Elliott & Bibb 2018). NO_x, atmosferde nitrik oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) formunda bulunur ve zararlı çevresel etkilere neden olur (<https://www.epa.gov/no2-pollution>, 19.0.2024). NO_x emisyonlarının hava kalitesi üzerindeki etkisi, ozon oluşumu ve asit yağmurları gibi faktörler aracılığıyla incelenebilmektedir (Huang vd., 2019). Yan vd. (2021) in çalışmasında, NO_x'in atmosferde diğer kirlenicilerle etkileşimleri ve hava kirliliği üzerindeki rolü de ele alınmıştır. NO_x emisyonlarının insan sağlığına olan etkileri de literatürde vurgulanmıştır. Bu doğrultudaki çalışmalarda, NO_x'in solunum yolu rahatsızlıkları, astım ve diğer solunum problemlerine katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir (Chen vd. 2017). Ayrıca, NO_x'in uzun vadeli maruziyetiyle ilişkilendirilen

kronik sağlık sorunlarına neden olduğu da saptanmıştır (Brook vd. 2010). NO_x emisyonlarının azaltılması ve kontrolüne yönelik stratejiler de vardır. Temiz enerji kaynaklarının kullanımı, emisyon kontrol teknolojilerinin geliştirilmesi, düzenleyici standartların belirlenmesi ve toplumsal farkındalığın artırılması gibi çeşitli yaklaşımlar, NO_x emisyonlarının azaltılması için önerilmektedir (Barrett vd. 2014). NO_x emisyonlarının oluşumu, yanma olayının bir sonucudur. Yüksek sıcaklıklar ve basınçlar altında, hava ve yakıt karışımının yanması sırasında azot ve oksijen gazları arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda NO_x bileşikleri oluşur (Heywood, 2018). NO_x emisyonlarının kontrolü için çeşitli teknolojiler ve stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejiler arasında, egzoz gazı geri dönüş sistemi (EGR), selektif katalitik indirgeme (SCR), yakıt enjeksiyonu optimizasyonu ve yanma parametrelerinin iyileştirilmesi gibi yöntemler bulunmaktadır (Liu vd. 2020). NO_x emisyonlarının azaltılması için uygulanan stratejiler, emisyon standartlarının belirlenmesi ve düzenleyici önlemlerin alınmasıyla desteklenmektedir. Dünya çapında, çevresel düzenlemeler ve emisyon standartlarının sıkılaştırılması, yanma olayının gerçekleştiği her alan gibi içten yanmalı motorlardan da kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmaya yönelik önemli adımlar atılmaktadır (Zhao vd. 2019).

İçten yanmalı motorlar, NO_x emisyonlarının önemli kaynaklarından biridir ve bu emisyonların azaltılması için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi alternatif yakıt kullanımlarıdır. Bu çalışmada havacılık yakıtı JP8 ve amorf elementel bor yakıtlarının NO_x emisyonlarına etkileri incelenmiştir. İnsanın ısınma veya aydınlatma ihtiyacını eski zamanlardan beri karşılayan kerosen veya gazyağı, kimyasal işlemlerde veya günlük hayatta taşımacılıkta kullanılmaktadır. Özellikle NATO tarafından verilen kodla JP8 askeri uçak yakıtı olarak da kullanılmaktadır. Parlama noktası 40 °C olan gazyağı, petrolden üretilmektedir. Motorinin içinde bulunan ve dizel yakıtta donmaya veya soğuk havalarda viskozite artışına neden olan parafin nedeniyle dizel yakıtlar düşük sıcaklıkta

akışkanlığını kaybeder. Bu nedenle oldukça düşük sıcaklıklarda ve basınçta çalışma durumunda olan turbofan, turbojet, turboprop ve turboşaft motorlarında dizel yakıt kullanılmamaktadır. Parafin, dizel yakıtta bulunduğu gibi oldukça az oranlarda benzinde de bulunur. Bu açıdan her bir yakıt türünde de düşük sıcaklıklarda akışkanlığın korunması için gazyağı ilavesi kullanılır. Kerosen, benzinden daha zor alev almaktadır, bunun yanında yanması sonunda benzinden daha fazla ısı açığa çıkarmaktadır. Fakat, yanma açısından çok ince olan gazyağı saf halde kullanıldığında yarattığı aşırı sıcaklık ile motorun yanmasına ya da pistonların yatak sarmasına sebebiyet verebilmektedir (Kantaroğlu ve Yontar, 2017). Kerosen, parlama noktasının altında herhangi bir ısı kaynağı veya ateş temasında kendiliğinden yanmaz, bu nedenle havacılık yakıtları adına oldukça güvenlidir. Böylece tehlike arz eden kazalarda yangın veya patlama riski oldukça düşüktür. Kerosenin bir diğer önemli özelliği de donma noktasının oldukça düşük olmasıdır. Yaklaşık olarak -47 °C ila -49 °C aralığında donma noktasına sahip olan kerosenin içerisinde su yoksa, çok soğuk ortamlarda tank manifoldlarından donmadan kolayca hatlara sevk edilebilir ve motora gönderilebilir. Günümüzde jet motorlu uçaklarda kullanılan gazyağı, "JET-A, JET-A1, JET-B, JP-4, JP-5, JP-7 ve JP-8" adlarıyla bilinmektedir. Kütlece belirli oranlarda benzin ile karıştırılması sonucunda NATO ülkelerinde bulunan jetlerin yakıtı olarak kullanılan kerosen, yoğunlukça benzine çok yakın olduğundan dolayı kolayca karıştırılarak, belirli alanlarındaki ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılabilir (Kantaroğlu ve Yontar, 2017).

Bu çalışmada, motorda oluşan NO_x emisyonlarının ve egzoz gazı sıcaklıklarının değişimini incelemek amacıyla, ilk olarak benzin tek başına test edilmiş ve baz veriler ölçülmüştür. Bir sonraki testte, benzine kütlece olarak %5-10-15-20 oranlarında JP8 yakıtı katılarak ölçümler yapılmıştır. Yapılan son testte ise, literatürde rastlanmayan ve hem otomotiv hem de havacılık sektörüne hitap eden amorf elementel bor karışımları kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Benzin ve JP8 karışımlarının her birine kütlece olarak %2 amorf elementel bor ilave edilmiş ve testler bu yakıtlarla yapılmıştır. Bor

ilavesinin sabit seçilmesinin nedeni, borun net etkisinin bütün benzin_JP8 karışımlarında ortaya konulmak istenmesidir. Literatürdeki çalışmalardan farklı bir yakıt yelpazesi taşıyan bu çalışma ile, esas olarak havacılık sektöründe kullanılan JP8 askeri jet yakıtının buji ateşlemeli bir motorda kullanımı ve bunun yanında yanma davranışları halihazırda tam olarak belirlenemeyen bor türevli yakıt etkileri incelenmiştir. Bu açıdan bakıldığında çalışma önem arz etmektedir. Literatürde emisyonlara karşı alınacak önlemlerin araştırıldığı ve farklı alternatif yakıtların kullanıldığı oldukça fazla çalışma mevcuttur. Ancak burada, havacılık ve otomotiv yakıtı olan JP8'in ve sınırlı kullanıma sahip amorf elementel borun kullanımıyla ilgili NO_x oluşumu ve egzoz gaz sıcaklığı incelemeleri ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu anlamda literatürde bu seviyede inceleme yapılmadığı düşünüldüğünde konunun literatüre sağlayacağı katkılar mevcuttur.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada motor testleri ile benzine ilave edilen JP8 ve JP8-amorf elementel bor karışımlarının NO_x emisyonuna ve egzoz gazı sıcaklığına etkileri incelenmiştir. Bu incelemede belirlenen karışım oranları ve deney sabitleri deney matrisleriyle Çizelge 1'de verilmiştir. Testler; Çizelge 1'de gösterildiği gibi motorun maksimum tork devri olan 2800 d/dk hızında ve 9 farklı yakıt için yapılmıştır. Test sırasında emisyonlardan CO, CO₂, UHC, NO_x, O₂ ve Lambda parametreleri ölçülmektedir. İncelemede, JP8 kütle oranı %5-10-15-20, Amorf Elementel Bor kütle oranı her bir karışıma sabit %2 şeklindedir. Motor test koşulları olarak, motor hızı 2800 d/dk (sabit), kelebek açıklığı %100 (sabit) olarak belirlenmiştir. Kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2' de verilmiştir.

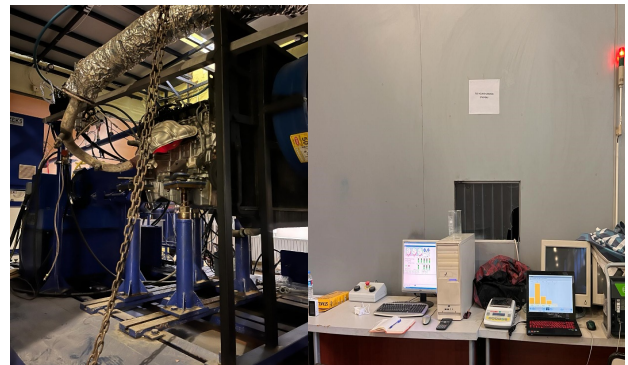
Çizelge 1. Karışım oranları ve inceleme matrisi.

Deney	Yakıt İsmi	Kütle Oran (%)	Kelebek Açıklığı (%)	Motor Hızı (d/dk)
1	JP8_0	%100 Benzin + %0 JP8	100	2800
2	JP8_5	%95 Benzin + %5 JP8	100	2800
3	JP8_10	%90 Benzin + %10 JP8	100	2800
4	JP8_15	%85 Benzin + %15 JP8	100	2800
5	JP8_20	%80 Benzin + %20 JP8	100	2800
6	JP8_5_%2B	%98 JP8_5 + %2 Bor	100	2800
7	JP8_10_%2B	%98 JP8_10 + %2 Bor	100	2800
8	JP8_15_%2B	%98 JP8_15 + %2 Bor	100	2800
9	JP8_20_%2B	%98 JP8_20 + %2 Bor	100	2800

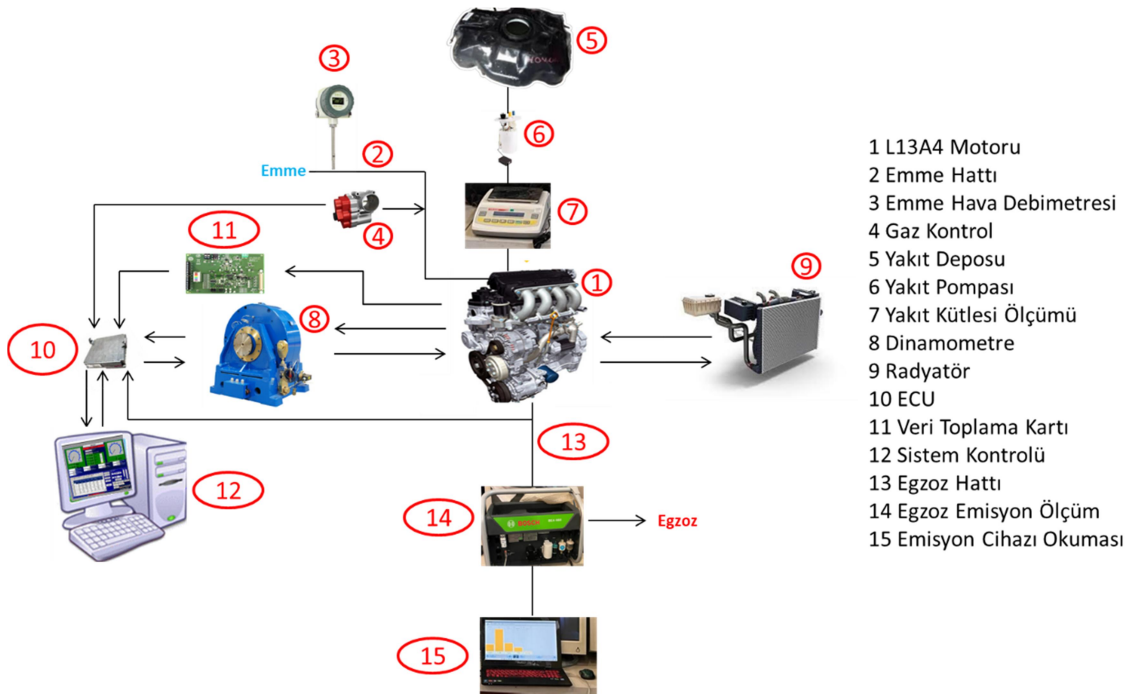
Çizelge 2. Yakıt özellikleri (Bowden vd. 1985; Brown vd. 1991; Kantaroğlu ve Doğan, 2024).

Yakıt	Benzin	JP8	Bor
Kimyasal formül	C ₈ H ₁₈	C _{10.17} H _{19.91}	B
Yoğunluk (15 °C), kg/L	0,690	0,797	2,34
Molar C/H oranı	0,44	0,51	-
Parlama noktası, °C	15,6	40	-
Isıl değeri, MJ/kg	44,3	43,23	58,74
Enerji yoğunluğu, MJ/L	34,2	34,62	131

Motor test sistemi; Honda L13A4 i-DSI test motoru, Tuzeks TUD100 eddy-current manyetik alan dinamometresi, kontrol-ölçüm-veri toplama sistemi ve emisyon ölçüm cihazı olarak sıralanan dört temel bileşen oluşmaktadır. Mevcut motor test sisteminin fotoğrafı Şekil 1' de ve şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Motor test sistemi.



Şekil 2. Motor test sistemi şeması.

Test motoru: NO_x parametresi incelenen test motoru, Honda-Jazz 2004 modelinde bulunan Honda L13A4 tipi i-DSI ardışık çift buji ateşlemeli ticari bir motordur. Bu motorun teknik özellikleri Çizelge 3’ de verilmiştir.

Çizelge 3. Motor özellikleri (Migita vd. 2002).

Model	Honda L13A4
Silindir Sayısı	4
Motor Hacmi	1,339 cm ³
Sıkıştırma Oranı	10,8:1
Silindir Çapı	73 mm
Strok Uzunluğu	80 mm
Motor Gücü	63 kW (5700 d/dk)
Motor Torku	119 Nm (2800 d/dk)

Dinamometre: Motor test sisteminde, eddy-current tipi manyetik alan dinamometresi bulunmaktadır. Dinamometre özellikleri Çizelge 4’ de verilmiştir.

Çizelge 4. Dinamometre özellikleri (Kantaroğlu, 2022).

Ölçüm	Parametre
Model	TUD100
Maksimum güç, kW	100
Maksimum tork, Nm	500
Standard hız, d/dk	8000
Maksimum hız, d/dk	12000

Kontrol-ölçüm sistemi: Bu sistem sensörler, yükselticiler, veri aktarıcılar ve motor test yazılımından oluşmaktadır.

Emisyon ölçüm cihazı: Egzoz gazı emisyon ölçümleri ise BOSCH BEA550 cihazı ile yapılmaktadır. Motor performans değerlerinin ölçüldüğü sürekli rejim anında emisyonlarda (CO, CO₂, UHC, NO_x ve O₂) ölçülmektedir. Emisyon ölçüm cihazından bu gaz parametreleri kullanılarak, Brettschneider Denklemi ile λ (lambda) hesaplanır. Denklemden, oksijen ihtiva eden bileşenlerle, karbon ve azot ihtiva eden bileşenlerin birbirine göre dengesini hesaplar. Egzozdaki, H_{cv} (hidrojen/karbon oranı) ve O_{cv} (oksijen/karbon oranı) ile K₁ (yakıt için düzeltme faktörü) kullanılan bu denklem ilk bulunduğu yıllardan itibaren son halini alana kadar çeşitli konfigürasyonlar geçirmiştir (Brettschneider 1997, Singer vd. 1998, Torok vd. 2018). Motor testi sırasında, ticari motorun gerçek zamanlı kullanımı gereği Lambda ölçümü yapılmıştır.

$$\lambda = \frac{[\text{CO}_2] + \frac{[\text{CO}]}{2} + [\text{O}_2] + \frac{[\text{NO}]}{2} + \left(\left(\frac{[\text{H}_{\text{cv}}]}{4} \cdot \frac{3,5}{3,5 + \frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]}} \right) - \frac{O_{\text{cv}}}{2} \right) \cdot ([\text{CO}_2] + [\text{CO}])}{\left(1 + \frac{H_{\text{cv}}}{4} - \frac{O_{\text{cv}}}{2} \right) \cdot ([\text{CO}_2] + [\text{CO}] + (K_1 \cdot [\text{HC}]))} \quad (1)$$

Emisyon cihazı sızdırmazlık ve oksijen sıfırlamaları ile her test başlangıcında kendini kalibre etmektedir. Bu şekilde ölçümler istenilen hassasiyetlerde yapılabilmektedir. Emisyon ölçüm cihazının ölçüm ara yüzü Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. BEA550 arayüzü.

Motor test sisteminde ilgili bütün ekipmanların ölçüm doğrulukları kullanılarak belirsizlik analizleri yapılmıştır. Motor emisyonlarından ölçümü yapılan CO, CO₂, UHC, NO_x, O₂ ve Lambda'nın ölçümü sırasında kullanılan BEA 550 cihazının ölçüm doğrulukları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Emisyon ölçüm doğrulukları (Kantaroğlu, 2022).

Parametreler	Ölçüm aralığı	Birim	Doğruluk
1 CO	0,000-10,000	%vol.	%±0,001
2 CO ₂	0,00-18,00	%vol.	%±0,01
3 O ₂	0,00-22,00	%vol.	%±0,01
4 HC	0-9999	ppmvol	±1
5 NO _x	0-5000	ppmvol	±1
6 Lambda	0,500-9999	-	±0,001

3. Bulgular

Bu çalışmada, buji ateşlemeli pistonlu bir motorda benzin-JP8-amorf elementel bor katkılarının NO_x emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde saf benzin ve benzine belirli kütle oranlarında (%5-10-15-20) JP8 havacılık yakıtı katılarak testler yapılmıştır. Bu testlerin ardından bütün karışım oranlarına %2 oranında amorf elementel bor ilave edilerek ticari bir otomobil motorunda testler

yapılmıştır. Motor testleri motorun maksimum katalog tork devri olan 2800 d/dk' da ve tam yükte (%100 gaz kelebek açıklığı) yapılmıştır. Bütün karışım oranları için, emisyon parametrelerinden NO_x değişimleri ölçülmüştür.

Ölçüm sonuçlarının NO_x bakımından değerlendirilmesi için öncelikle egzoz gazı sıcaklığının ve dolayısıyla da silindir içi yanma sonu sıcaklığının irdelenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda Şekil 4'te bütün karışım oranları için egzoz gazı sıcaklığı verilmiştir.

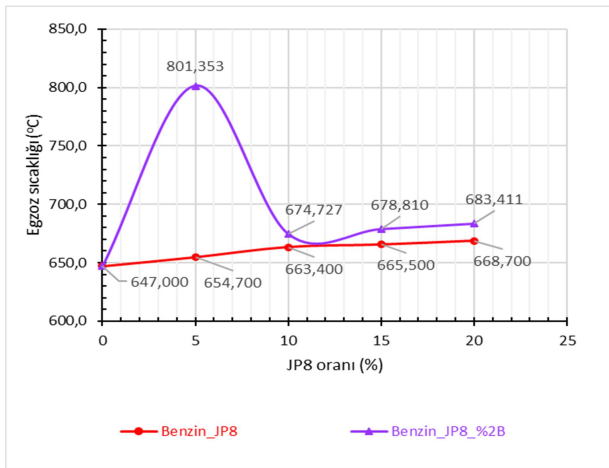
Şekil 4'e bakıldığında artan JP8 oranlarında (%5-10-15-20) benzine göre sırasıyla %13,017-%16,410-%18,857-%22,239 oranında egzoz gazı sıcaklığı artışı olmuştur. Literatürdeki çalışmaların, benzin-JP8 karışımları özelinde yeterli seviyede olmaması dolayısıyla, ortaya konan JP8 etkileri, literatürdeki dizel-JP8 karışımı çalışmalarından belli seviyede ayrılmaktadır. (Labeckas ve Slavinskas 2015). Çizelge 2 incelenirse benzinin birim kütledeki ısı değeri, JP8'in ısı değerinden %2,48 daha yüksektir. Ancak yoğunluklar incelendiğinde birim hacimde silindir içerisine alınan JP8 kütlesi, benzin kütlesinden daha yüksektir. Dolayısıyla JP8'in alt ısı değeri belirli bir miktar benzinden düşük olsa da silindir içerisine aynı hacimde daha fazla miktarda JP8 alınmasıyla, silindir içerisine daha fazla enerji girişi olmuştur. Bu da JP8 ilavesi ile egzoz gazı sıcaklığının artmasına neden olmuştur. Ayrıca JP8'in enerji yoğunluğunun da benzinden %1,23 yüksek olması bu durumu desteklemektedir. Bütün karışım oranlarına ilaveten %2 amorf elementel bor ilavesi yapıldığında ise benzine göre egzoz gazı sıcaklığı sırasıyla %92,129-%57,629-%60,457-%65,023 oranında artmıştır. Burada bor ilavesinin bütün benzin-JP8 yakıtlarına sabit bir oranda katılmasıyla borun net etkisi ortaya konulmuştur. Bor türevlerinin benzinle karşılaştırılmasının tutuşma gecikmesini azaltması ve yanma sırasındaki sıcaklığı yükseltmesi bu durumun oluşumunda etkilidir (Sofuoğlu vd., 2024). Borun yüksek uçuculuk etkilerinin de yanma verimine etkileri pozitifdir ve bu da NO_x artışına neden olmaktadır (Değirmenci, 2022).

Şekil 5'te de bütün karışım oranları için ölçülen NO_x parametreleri verilmektedir. Şekil 3'deki yorumlara

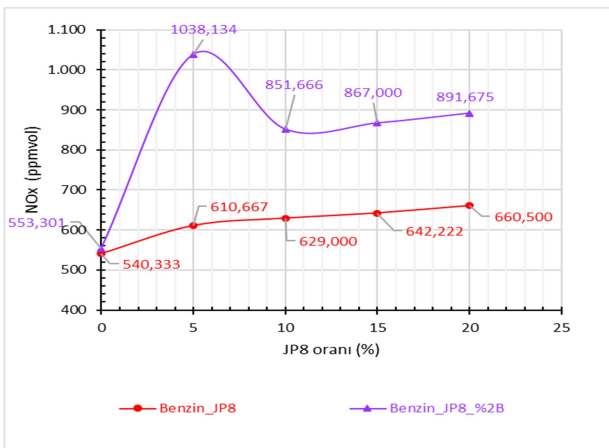
dayanarak artan silindir içi sıcaklıklar neticesinde, hava içerisinde bulunan azot ve oksijen gazlarının yüksek sıcaklık altında bozunması ve yeniden NO, NO₂ gibi farklı molar konsantrasyonlarda azot oksitler oluşturmasıyla NO_x emisyonları artmıştır.

Silindir içi sıcaklığın artmasına bağlı olarak hava içerisindeki nitrojen ve oksijenin bozunarak bileşikler oluşturmasıyla ortaya çıkan NO_x emisyonları karışımların tamamında artmıştır. Jones ve Brown (2020) yaptıkları çalışmada benzer nedenlerle JP8'in NO_x emisyonlarını arttırdığını belirtmiştir. Çeşitli araştırmalar, JP8 jet yakıtının yanması sırasında nitrojen oksitler (NO_x) emisyonlarının atmosfere salındığını göstermektedir (Smith et al., 2018; Thompson ve Lee, 2020).

Her iki şekilde de %95 benzin-%5JP8 karışımlarına ilave edilen elementel bor ile egzoz sıcaklığının ve NO_x emisyonlarının diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Burada borun aktivitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Benzine JP8 ve amorf elementel bor ilavesinin egzoz gazı sıcaklığına etkisi.



Şekil 5. Benzine JP8 ve amorf elementel bor ilavesinin NO_x emisyonlarına etkisi.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, buji ateşlemeli pistonlu bir motorda benzin-JP8-amorf elementel bor yakıtlarının NO_x emisyonlarında oluşturdukları değişim etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Testler ilk olarak saf benzin ile ve devamında karışimli yakıtlarla %5-10-15-20 oranlarında kütleli olarak katılan havacılık yakıtı JP8 yakıtı ile yapılmıştır. Bu çalışmada aşağıdaki etkiler ortaya konmuştur.

- Artan JP8 oranlarında (%5-10-15-20) benzine göre egzoz sıcaklığının artmıştır.
- Artan JP8 oranlarında (%5-10-15-20) benzine göre NO_x emisyonları artmıştır.
- Her bir karışıma ilave edilen %2 amorf elementel bor ile egzoz sıcaklığı artmıştır.
- Her bir karışıma ilave edilen %2 amorf elementel bor ile NO_x emisyonları artmıştır.
- Her iki parametrede de JP8_5_%2B yakıtı en yüksek değeri vermiştir.
- Bütün karışım oranlarına ilaveten %2 amorf elementel bor ilavesi yapılan durumda yanma iyileşmiştir.
- İncelemelerde, NO_x açısından negatif etkiler %2 amorf elementel bor ilavesiyle düşük JP8 oranlarında daha belirgin hale gelmiştir.

Burada, hem JP8' in hem de amorf elementel borun yanma sonu sıcaklığının arttırmasının, yanma verimini arttırması açısından bir avantaj gibi görünmesine rağmen, NO_x emisyonları bakımından bir dezavantaj bulunduğu görülmektedir.

Semboller	
i-DSI	Ardışık çift buji ateşleme
C ₈ H ₁₈	Benzin
C _{10.17} H _{19.91}	JP8
B	Bor
λ	Lambda
CO ₂	Karbondioksit
H ₂ O	Su
CO	Karbonmonoksit
UHC	Yanmamış hidrokarbon
NO _x	Azot oksitler
NO	Azot monoksit
NO ₂	Azot dioksit
H _{cv}	Egzozdaki hidrojen/karbon oranı
O _{cv}	Egzozdaki oksijen/karbon oranı
K ₁	Yakıt düzeltme faktörü
EGR	Egzoz gazı geçiştirimi
SCR	Selektif katalitik indirgeme

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 123M914 numaralı ve "Çift-Buji Ateşlemeli Ticari Bir Otomobil Motorunda Benzin-JP8-Amorf Elementel Bor Karışımlarının Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi" projesi ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

5. Kaynaklar

- Abdel-Rahman, A., A., 1998. On the emissions from internal combustion engines: A Review. *International Journal of Energy Research*, 22, 483-513.
- Abuşoğlu, A., and Kanoğlu, M., 2009. Emission characteristics analysis of diesel engine powered cogeneration. *Journal of Thermal Science and Technology*, 29, 45-53.
- Ari, Y.O., 2020. A general outlook on the global electric car market. *Kirklareli University Journal of Social Sciences*, 4, 193-203.
- Barrett, S. R. H., Falzon, B. G., & Yuan, J., 2014. Global health impacts of future aviation emissions under alternative control scenarios. *Environmental Science & Technology*, 48(20), 12063–12071.

- Brettschneider, J., 1997. Extension of the Equation for Calculation of the Air-Fuel Equivalence Ratio. *Preparing Mixtures for Diesel and SI Engines*, 972989. <https://doi.org/10.4271/972989>
- Brown, R. C., Kolb, C. E., Cho, S. Y., Yetter, H. R., Rabitz, Dryer, F. L., 1991. Boron Combustion Model Development with Kinetic Sensitivity Analysis and Measurement of Key Chemical Rate Parameters. Aerodyne Research, Inc. Billerica, MA 01821. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA235309.pdf> Son erişim tarihi: 20 Şubat 2024.
- Bowden, J. N., Owens, E. C., LePera, M. E. JP-8 and JP-5 AS, Compression Ignition Engine Fuel. Defense Technical Information Center (DTIC), Virginia 22060-6218 (800) 225-3842. <https://Discover.DTIC.mil> Son erişim tarihi: 20 Şubat 2024.
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith Jr., S. C., Whitsel, L., & Kaufman, J. D., 2010. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331–2378.
- Chen, H., Goldberg, M. S., Villeneuve, P. J., & Burnett, R. T., 2017. Long-term exposure to traffic-related air pollution and cardiovascular mortality. *Epidemiology*, 28(1), 87–95.
- Elliott, S. J., & Bibb, J. S., 2018. The effects of NO_x emissions on ambient air quality and human health: A review. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 11(9), 1029–1041.
- Değirmenci, H., 2022. 'Bor Katkılı Yakıtların Yanma Karakteristiklerinin Farklı Yakma Sistemlerinde İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Otomotiv Mühendisliği ABD, 118, Mersin.
- Hao, L., Ren, Y., Lu, W., Jiang, N., Ge, Y., Wang, Y., 2023. Assessment of heavy-duty diesel vehicle NO_x and CO₂ emissions based on OBD data. *Atmosphere*, 14, 1417.
- Heywood, J. B., 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill.

- Huang, G., Ma, H., Liu, S., Cao, Q., & Liu, H., 2019. Review of NO_x emissions and mitigation strategies for heavy-duty diesel engines. *Journal of Cleaner Production*, 229, 951–962.
<https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (12.12.2023)
<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ocak-2024> (04.03.2024)
<https://www.epa.gov/no2-pollution> Environmental Protection Agency (EPA). (18.03.2024)
- Jones, M., & Brown, P., 2020. Effects of JP-8 Jet Fuel Combustion on Nitrogen Oxides Emissions in Aircraft Engines. *Journal of Aerospace Engineering*.
- Kantaroğlu, E. ve Yontar, A. A., 2017. Buji Ateşlemeli Bir Motorda JP-8 Askeri Jet Yakıtının Kullanımının İncelenmesi. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Tam Metin, Kırıkkale.
- Kantaroğlu, E., 2022. Ticari Bir Otomobil Motorunda Benzine CNG Katkısının Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkisinin HAD Analizi ile İncelenmesi. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği ABD, 249, Kırıkkale.
- Kantaroğlu, E. and Doğan, A., 2024. Ticari Bir Pistonlu Motorda JP8-Elementel Bor Katkısının Performansa Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Uluslararası Muhendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi, vol. 16, no. 2, pp. 1–11, Jan. 2024.
- Labeckas, G. ve Slavinskas, S., 2015. Combustion phenomenon, performance and emissions of a diesel engine with aviation turbine JP-8 fuel and rapeseed biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 105, 216-229.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.07.065>
- Liu, F., Li, Y., Wu, Z., & Zuo, W., 2020. Development of SCR-DeNO_x catalysts for NO_x removal in diesel engines: A review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 268, 118755.
- Migita, H., Amemiya, T., Yokoo, K., & Iizuka, Y., 2002. The new 1.3-liter 2-plug engine for the 2002 Honda Fit. *JSAE Review*, 23(4), 507-511.
[https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(02\)00235-7](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(02)00235-7)
- Singer, B. C., Harley, R. A., Littlejohn, D., Ho, J., & Vo, T., 1998. Scaling of Infrared Remote Sensor Hydrocarbon Measurements for Motor Vehicle Emission Inventory Calculations. *Environmental Science & Technology*, 32(21), 3241-3248.
<https://doi.org/10.1021/es980392y>
- Smith, A., Johnson, B., & Davis, R., 2018. Impacts of JP-8 Jet Fuel Composition on NO_x Emissions. *Journal of Combustion*, 2018.
- Sofuoğlu, D., Değirmenci, H., Yontar, A. A., 2024. Trietil Borat, Benzin ve Trietil Borat-Benzin Karışımının Yanma Özelliklerinin İncelenmesi. *Journal of Boron*, 9(1), 9-19.
- Thompson, T., & Lee, D., 2020. Environmental Impact of Aviation Emissions and Aviation Fuel Alternatives: A Review. *Journal of Air Transport Management*, 87, 101865.
- Torok, A., Zoldy, M., & Csefalvay, E., 2018. Effects of Renewable Energy Sources On Air-Fuel Ratio. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 25(3), 473-477.
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.4370>
- Yan, J., Lin, J., Zhang, X., Li, C., & Sun, Y., 2021. The roles of NO_x and VOCs in ozone formation in Beijing during the COVID-19 lockdown period. *Atmospheric Environment*, 245, 118008.
- Zhao, Y., Wang, X., & Xu, J., 2019. Influence of operating conditions on NO_x emission and combustion characteristics of diesel engine under various intake oxygen concentration and exhaust gas recirculation rate. *Applied Thermal Engineering*, 148, 740–750.

Akıllı Tarım Uygulamalarında Kullanılan İlaçlama Sistemlerinin Araştırılması

Beyza Sunar¹, Bekir Yalçın^{1*}, Berkay Ergene², Ali Önal³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

²Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli.

³Önallar Tarım Makinaları AŞ, Konya.

e-posta: bekiryalcin@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:23.022024

; Kabul Tarihi:25.03.2024

Öz

Geçmişten günümüze gelişen teknolojinin de etkisiyle tarımda makineleşme ve otomasyonla birlikte akıllı tarım konsepti ortaya çıkmıştır. Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak için akıllı tarım uygulamalarıyla insansız hava araçları, uydu ve dronlar, tarım makine ve robotlarına entegre edilmekte, sensörler ve yapay zekâ teknolojileri sürdürülebilir tarım için yenilikçi ve çevre dostu yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Bu çalışmada derinlemesine ele alınan akıllı tarımda ilaçlama sistemleri, tarım sektörünün verimliliğini, ürün kalitesini ve miktarını arttırmak, çevre kirliliğini, maliyetleri ve işçilik ihtiyacını azaltmak gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen teknolojik sistemlerdir. Teknolojinin getirmiş olduğu avantajları kullanarak geliştirilen ilaçlama sistemlerinin tarımda verimi ve çeşitliliği arttıracığı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler

Akıllı tarım; İlaçlama sistemleri; Dron teknolojisi; Yapay zekâ; Eklemeli imalat

Investigation of Spraying Systems Used in Smart Agriculture Applications

Abstract

The concept of smart agriculture has emerged with mechanisation and automation in agriculture with the effect of developing technology from past to present. In order to meet the food needs of the increasing world population, unmanned aerial vehicles, satellites and drones are integrated into agricultural machinery and robots, sensors and artificial intelligence technologies offer an innovative and environmentally friendly new perspective for sustainable agriculture. Smart agriculture spraying systems, which are discussed in depth in this study, are technological systems developed for the purposes of increasing the productivity, product quality and quantity of the agricultural sector, reducing environmental pollution, costs and labour requirements. It is thought that the spraying systems developed by using the advantages of technology will increase the efficiency and diversity in agriculture.

Keywords

Smart agriculture;
Spraying systems;
Drone technology;
Artificial intelligence;
Additive manufacturing

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Sanayi devrimine neden olan tarımda makineleşme, tarımın endüstri 4.0 kavramına uyarlanmasıyla birlikte akıllı tarım konsepti ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir ve ölçülebilir tarım için teknolojiden yararlanılmalıdır. Tarımsal faaliyetlerin

çıktılarının kesin olmadığı bilinmekte olup, bu belirsizliğin sektörü olumsuz olarak etkilediği görülmektedir. Akıllı tarımın amacı, belirsizliği en aza indirmek, verimi en üst düzeye çıkarmak, kaliteli mahsuller üretmek ve bu süreçte tasarruf etmektir.

Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak için insansız hava araçları, uydu, dron, tarım makine ve robotlarına entegre edilmiş sensörler ve yapay zekâ teknolojileri sürdürülebilir tarım için yenilikçi ve çevre dostu yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Akıllı tarımla birlikte yeni ilaçlama teknolojilerini kullanarak mevcut olumsuz etkileri ortadan kaldırarak üretim maliyetlerini azaltmak ve hedeflenen zararlılara karşı bitki korumasını en üst düzeye çıkarmaktır. Xu vd. (2022) yaptıkları çalışmada ilaçlama operasyonlarının süre ve buna bağlı olarak maliyetini düşürebilmek adına bir dizi optimizasyon gerçekleştirmiştir. Bir diğer çalışmada ise ekim alanında en kısa yolu en iyi koşullarla sunan bir optimizasyon çalışması yapılmıştır (Tian vd., 2023). Son olarak, Mukhamediev vd. (2023) de çalışmalarında insansız hava araçlarının tarımsal faaliyetlerinde kullanımını aktif bir hale getirmek adına maliyet odaklı bir optimizasyon sunmuşlardır.

1.1. Tarımda teknolojik dönüşüm

Artan dünya nüfusu, temel ihtiyaçlardan biri olan gıda sorununu gündeme getirmektedir. Bu durum sürdürülebilirlik için çözüm arayışlarına yol açmaktadır. 2050 yılına doğru dünya nüfusunun giderek artacağı ve gıda ihtiyacını karşılamak için tarımsal üretimin %70 oranında artmasının gerektiği tahmin edilmektedir. Ancak tarımsal üretimdeki bu artışın nasıl sağlanacağı ve değişkenlik gösteren iklim koşullarında sürdürülebilirliğinin nasıl sağlanacağı günümüzde artık önemli bir soru olarak yanıt bulmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel sera gazı emisyonlarının %11 ve %15'i endüstriyel tarım uygulamalarının sonucudur. Bunun yanı sıra, kontrolsüz üretim artışının iklim değişikliği üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Nüfus artışının diğer bir etkisi de dünya çapında hızla artan kentleşme ve buna bağlı olarak tarım arazileri ile tarımsal iş gücündeki azalmadır. Tüm bunlara ek olarak, tarım sektörünün yüksek teknoloji ve girdi maliyetleri ile enerji talebindeki artış da eklendiğinde, tarımsal üretimi 2050 yılına kadar arttırmak için bir eylem planına ihtiyaç olduğu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde ise teknolojik gelişmenin etkisiyle tarım sektöründe büyük bir değişim yaşanmakta ve teknolojik uygulamalar şu anda tarım sektörünün geleceğini

şekillendirmektedir. Mevcut uygulamaları daha iyi göstermek için tarımdaki teknolojik değişimi incelemek çok önemlidir (Saygılı vd., 2018).

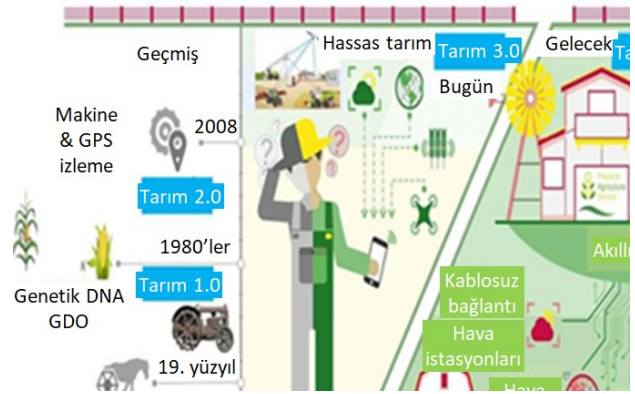
Akıllı tarımda geleneksel uzun yıllar süren bir gelişim aşamasının sonucudur. Bu aşamalar (Şekil 1);

Tarım 1.0: Temel araç olarak insan gücü ve hayvan gücüne dayanan tarım

Tarım 2.0: Tarımda traktör ve motor kullanımının başlaması

Tarım 3.0: Dijital tarım uygulamalarına ve kontrol sistemlerine geçiş

Tarım 4.0: Akıllı ve sürdürülebilir tarıma geçiş.



Şekil 1. Tarımda Teknolojik Dönüşüm (Tarımda Dijitalleşme, 2023)

1.1.1 1. Tarım devrimi

İngiltere'de 17. yüzyılın ortalarında giderek artan bir nüfusun gıda ihtiyacını karşılamaya yönelik tarımdaki değişiklikler Birinci Sanayi Devrimi'nin yolunu açmıştır. Tarımdaki bu değişimlere 'Tarım Devrimi' adı verilmiştir (USB, 2017). Bu tarım döneminde hayvanların evcilleştirilmesi ve bitki yetiştiriciliğinin yapıldığı, makinelerin yaygın olmadığı, verim ve etkinliğin düşük olduğu, üretimin çevre koşullarına bağlı olduğu bir aşama olarak kabul edilmiştir. İşlerin yoğun emek ile yürütüldüğü bu dönemde kürek, orak gibi basit aletler kullanılmıştır (Dhanaraju vd., 2020). Besin ve enerjinin temel kaynağı olan buğday, turuncgiller, sebzeler vb. bitkiler bu dönemde yetiştirilmiş ve koyun, keçi, köpek gibi hayvanlar evcilleştirilmiştir.

1.1.2 2. Tarım devrimi

İngiltere’de ekilebilir arazilerin büyük çiftliklerde birleştirilmesinden sonra üretim daha iyi kontrol edilmeye başlanmış ve tarımda buhar makineleri ile yeni tür makineler ortaya çıkması üretkenlik ve karlılığı arttırmıştır. Tarım makinelerinin ortaya çıkması ve 1840’larda gübre kullanımıyla çiftliklerde etkinlik ve üretkenliğini arttıran Tarım 2.0 çağı başlamıştır. 1870 ve 1914 yılları arasında 2. Sanayi Devrimi ile elektrik üretimine ve seri üretime olanak sağlayan montaj hattına geçilmiştir (Persson, 2010). Bununla birlikte tarım birçok sektörle karşılaştırıldığında üretim koşullarını önemli ölçüde iyileştirmiş ve hızını arttırmıştır. Bu dönemde gübre, azot takviyesi, ilaç kullanımı ve tarımda mekanikleşme de artarak verim potansiyeli de önemli ölçüde artış göstermiştir. Ancak aynı zamanda çevresel bozulma, kimyasal kirlilik, aşırı enerji tüketimi ve doğal kaynak israfı gibi önemli olumsuz etkiler de gelişmiştir (Dhanaraju vd., 2020).

1.1.3 3. Tarım devrimi

Dijital devrim olarak bilinen Üçüncü Sanayi Devrimi 1960’larda yarı iletkenlerin, ana bilgisayarların, kişisel bilgisayarların ve internetin geliştirilmesiyle başlamıştır. 1960 yılında, dünya nüfusu 3 milyara ulaşarak “endüstriyel” tarım çağının başladığı yıl olmuştur. Endüstriyel tarım yöntemleri Batı ülkelerinde iyi bir şekilde benimsenerek kimyasal girdileri önemli oranlarda artmıştır. Tarım ve gıda üretiminin makineleşmesi olağan hale gelmiştir (Mckenzie S, 2007). Bu dönemde GPS teknolojisi ile ilaçlama makinelerinde verim kontrolü, biçerdöverlerde VRA sistemleri ile gübreleme işlemlerinin takip edilmesi, veri işlemeyi sağlayacak bilgisayar programları geliştirilmiştir (Makfed, 2020).

Aynı zamanda bu dönem bilgisayar ve dijital devrim olarak adlandırılan üçüncü sanayi devriminin başlamasıyla yeni mahsuller, sulama, gübreleme, tarım ilaçları, mekanizasyon, teknolojik bilgi aktarımı ile çiftçilere malzeme tedarik yoluyla mahsul verimliliğini ve üretkenliği arttırarak açlığı sona erdirmeye yönelik tarımda yapılan çalışmalar

bütününe "yeşil devrim" adı verilmiştir. Tüm bu geliştirme çalışmaları dünyanın artan nüfusunu beslemeyi amaçlasa da, üretim maliyetleri arttıkça çevresel sorunlara yol açmıştır (Mckenzie S, 2007).

1.1.4 4. Tarım devrimi

2011 yılından sonra ilk kez Almanya’da Endüstri 4.0 olarak bilinen, sanayi sektörü ile bilişim teknolojilerinin birlikte çalışacağı, üretimde maksimum düzeyde verimlilik entegre bilgisayar sistemleri sayesinde elde edileceği ve yapay zekânında ön planda olacağı sanayi sektöründe dönüm noktasının yaşandığı açıklanmıştır. Endüstri 4.0 ile tarım sektöründe de sanayide yaşanan devrime benzer bir süreç yaşanmaya başlamış ve böylece Tarım 4.0 adı verilen tarım devri başlamıştır (Karaköy & Çilesiz, 2022).

Tarım 4.0 beraberinde farklı kavramları da getirmiştir. Literatürde terminolojik olarak akıllı tarım, dijital tarım ve hassas tarım gibi terimler kullanılmaktadır. 1990’lı yıllardan itibaren tarımsal bilgi teknolojisiyle farklı terimlerle tanımlanmaya çalışılmıştır. Uzmanlar arasında önce "hassas tarım" terimi, ardından "akıllı tarım" ve "dijital tarım" terimleri kullanılmıştır (Kılavuz & Erdem, 2019).

Bir felsefe olarak akıllı tarım, doğanın heterojenliğini yöneterek bilgiye dayalı tarımsal üretimdir. Yani doğru zaman, doğru yer ve doğru miktarda girdinin optimum şekilde uygulanmasıdır. Akıllı tarım felsefesi, tarım teknolojileri tarafından desteklenmektedir. Geleneksel tarımın geleceği olarak gördüğümüz “akıllı tarım” kavramının, sağladığı ekonomik faydaları ve çevre kirliliğini azaltmadaki rolü çok önemlidir. Örneğin geleneksel tarımdaki bitki besin değişkenlerine dikkat edilmeden tarlanın tamamına veya yetersiz bir kısmına uygulanan gübre bitki gelişimine zarar verir. Ancak akıllı tarım teknolojilerinin kullanılması ile toprak ve bitkinin ihtiyacını karşılayacak uygulamalar yapılabilmektedir. Ayrıca toprağın ihtiyaç duyduğundan daha fazla gübre uygulanması agronomik olarak düşük verimle sonuçlanabilir. Gübre israfını önlemek, mahsulleri korumak ve ekonomik kaybı önlemek için geleneksel tarımdan akıllı tarıma geçiş önemlidir. Geleneksel tarımın

dönüşümü için örnekte de görüldüğü gibi geleneksel tarımdan akıllı tarıma geçiş tercih edilmiştir (Tekin, 2018). Çizelge 1’de geleneksel ve akıllı tarımın mukayesesi sunulmuştur.

Çizelge 1. Geleneksel tarım ile akıllı tarımın karşılaştırılması (Karaköy & Çilesiz, 2022).

Geleneksel Tarım	Akıllı Tarım
Yoğun işgücü gerektirir.	Geliştirilen robotik cihazlar ve dron teknolojisi sayesinde daha az işgücü ile yapılabilmektedir
Ürün elde etme süreci daha uzundur ve bunun sonucu olarak üretim miktarı düşüktür	Daha kısa sürede ürün yetiştirilebilmektedir. Buna bağlı olarak üretim oranı yüksektir
Bitki hastalık ve zararlıları çoğu zaman geç dönemde farkedilebilmektedir	Bitki hastalıkları daha erken tespit edilebilmektedir
Arazi durumu, ürün ve verim hakkında tahmin yürütülmektedir	Büyük oranda hassasiyet ve doğrulukla sonuca ulaşılabilir
Aşırı girdi kullanımı ve düşük verimlilik	Modern tarımda girdiler daha düşüktür
Bu teknikler çok zaman alır ve üretim azdır	Zamandan tasarruf sağlanır ve bilime dayalı üretim yapılıdır
Geleneksel tarım uygulamaları, geçmişte çok eskilere dayanan ve artık uygulanmayan uygulamalardır	Çiftçiler, sulama için tüp kuyulara erişebildikleri için muson yağmurlarına bağımlı değildiler
Gübre olarak inek gübresi ve diğer doğal gübre türleri kullanılır	Pestisitler ve kimyasal gübreler kullanılmaktadır
Kullanılan geleneksel tohumlar vardır	Modern tarım tamamen sermaye yoğunluğuna dayalıdır

1.2 Akıllı tarım

Akıllı tarımın amacı, tarladan toplanan veriler analiz edilerek sorunlar tespit edilir ve erkenden hedefe yönelik pratik çözümler ortaya konulur, bir başka deyişle toplanan bilgilerin akıllıca kullanılmasıdır. Sahadan gelen bilgileri dijital toplama, analizi ve depolanması “dijital tarım” olarak tanımlanmaktadır. Sensörlerden, uydulardan ve dronlar gibi dijital teknolojiler tarafından toplanan

veriler çiftçi kullanımına web ara yüzü platformlarında sunulmaktadır.

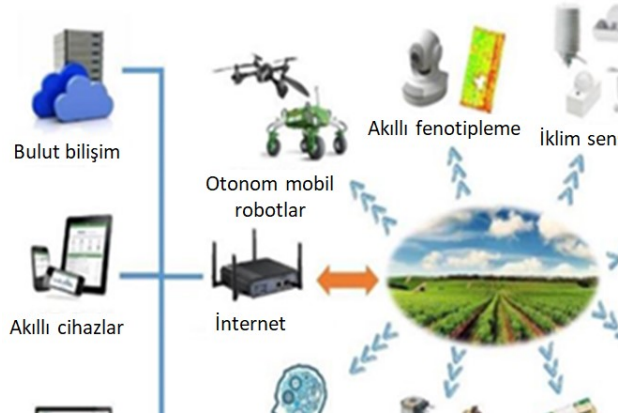
Akıllı tarım felsefesi, işlenmiş bilgilere dayalı yönetim kararları vermeye dayalıdır. Çünkü sahayı gezdikten ve ürünün durumuna baktıktan sonra ürünle ilgili karar vermek yerine pratik çözümler sunan geliştirilmiş ileri yöntem akıllı tarım sistemleri daha sürdürülebilir bir yöntemdir. Çiftçi yeterince bilgili ve deneyimli de olsa insan gözünün göremediği problemler teknoloji sayesinde tespit edilir (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020).

Akıllı tarım bitki ıslahı ve genetik devrimden sonra nesnelerin İnterneti (IoT), insansız hava araçları (İHA), hassas ekipman, sensörler ve aktüatörler, büyük veri, coğrafi bilgi sistemleri, robotik vb. bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT) çözümlerinin entegrasyonuna dayalı tarımı ele almaktadır (Smart Farming, 2023). Teknolojinin gelişmesiyle hizmetlerin en çok üreticilere sunulduğu tohum ekim döneminden başlayıp ürün hasat dönemine olan süreçte üretim alanının takibi, bilgi iletişim teknolojileri, yapay zekâ ile çiftlik yönetiminin kolaylaştırılması, toprak haritalarını coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak oluşturmak, iklim değişikliğine bağlı risk analizlerini yapmak, ürünlerin verimini ve kalitesini tahmin etmek, belirli programlar dâhilinde kültürel uygulamaların gerçekleştirilmesi, insansız hava araçlarıyla ilaçlama ve gübreleme işlemlerini gerçekleştiren uygulamalardır (Çokuysal, 2021).

1.2.1 Akıllı tarımda kullanılan bilişim teknolojileri

İnsanlar yüzyıllar boyunca farklı iletişim araçları geliştirmiştir. Teknoloji, bilim ve bilgideki gelişmelerle birlikte, 19. yüzyılda telgrafın icadı iletişim çağını başlatmıştır. Telgraf gibi kablolu iletişim araçlarının dezavantajı, iki veya daha fazla sistem arasındaki iletişimin kablo bağlantısı ile sağlanmasıdır. Radyo frekansı, kızılötesi gibi teknolojilerin gelişmesiyle birlikte bağlantılar kablosuz olarak sağlanmıştır. Kablosuz ağlara geçiş ile lisanssız frekanslar, verimlilik, kurulum kolaylığı, mobilite, ölçeklenebilirlik, güvenlik ve maliyet açısından avantaj sağlamıştır. Kablosuz teknoloji birçok alanda kullanılmaktadır (Yapay Zekâ, 2023).

Akıllı tarım sistemleri uzaktan izleme sistemi, yapay zekâ, büyük veri, bulut bilişim, IoT, makineden makineye iletişim ve mobil cihazlar gibi uygulama araçlarını içermektedir. Bu sistemin amacı, tarımda kullanılan girdileri azaltmak ve tarımsal uygulamaların üretim aşamasında doğru uygulanmasını sağlayarak çevresel ve tarımsal sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktır (Ertaş, 2020). Akıllı tarım sistemleri ile su, sıcaklık, ışık ve nem gibi verilerin analizini yapabilen sensörlerle yaprak rengi ve ışık yansımaları gibi çeşitli görüntüleme sensörlerini kullanarak bitkilerde meydana gelen fizyolojik, biyokimyasal vb. süreçlerin takibi yapılmaktadır. Böylece bitki besin maddeleri, herbisit ihtiyaçları, pestisit kullanımı, sulama, gübreleme ve hasat zamanının belirlenmesi gibi tarımsal uygulamalar doğru şekilde uygulanmaktadır. Şekil 2'de akıllı tarım teknolojilerine ait bir görsel paylaşılmıştır.



Şekil 2. Akıllı tarım teknolojileri (Karaköy & Çilesiz, 2022).

1.2.1.1 Bluetooth teknolojisi

Bluetooth kablosuz ağı ilk olarak 1994 yılında Ericsson şirketi tarafından kullanılmıştır. Cihazların iletişim kurmasını ve veri aktarımını sağlayan bir teknolojidir. Bluetooth kısa mesafeli radyo frekansı ile iletişimi sağlar. Bluetooth teknolojisi, yoğun bir trafik yükünü taşımak için tasarlanmamıştır. Bluetooth teknolojisi kısa menzil haberleşmeyi sağlamak amacıyla telefonlar, LAN erişim aygıtları, modem, dizüstü bilgisayarlar, kulaklık, yazıcı, klavye gibi birçok cihazda kullanılabilir. Sistem, makineden makineye, makineden mobil cihaza veya mobilden makine arasında veri aktarımına olanak sağlamaktadır. Bu teknolojiyle birlikte sera

izleme ve kontrol sistemi geliştirilmiştir. Sistem ve sensörler sayesinde her türlü veri toplanarak merkezi kontrol sistemine iletilir böylece çiftçilerin daha iyi ürün almasına yardımcı olmaktadır (Tekin vd., 2011).

1.2.1.2 Yapay zekâ

Günümüzde bilgisayarlar, görsel algılama, karar verme, konuşma tanıma ve diller arası çeviri gibi insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemleri, sohbet robotları, fotoğraf-video tanıma gibi yapay zekâ uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekâ ilk olarak 1956 yılında bir konferansta John Mc Carthy tarafından dile getirilmiştir (Miller, 2011). Yapay zekâ, insani yeteneklerin makinelerle öğretilmesi ile insanlar gibi düşünüp, yorumlayan ve karar veren algoritma ve yazılımların ele alınması olarak tanımlanmaktadır.

Yapay zekâ çalışmalarının asıl amacı, insan zekâsını yapay zekâ çalışmaları model olarak insan zekâsı gerektiren işleri makinelerle yapılmasını sağlamaktır. Oyunlarda, matematikte, çeviri işlemlerinde, görüntü işleme, veri sistemleri, makinelerin öğrenimi ve robotik gibi çeşitli alanlarda geliştirilmekte ve kullanılmaktadır (Torkul vd., 2017).

Tarımsal üretimi desteklemek için son yıllarda kullanılmaya başlanan yapay zekâ uygulamaları daha verimli üretime yol açacaktır. Üreticiden tüketiciye tüm aşamalarda her zaman yapay zekâ uygulamaları gözlemlenmektedir.

Akıllı tarım teknolojileri yapay zekâ uygulamaları ile yeni bir dijital tarım konsepti sunmakta ve yaygınlaşarak birçok gelişmiş ülkede uygulanmaktadır. Ürün verim tahmini ve bitkilerde hastalık tespitleri yüksek çözünürlüklü kameralarla ürün görüntülerini yapay zekâ ve görüntü işleme teknikleri ile ortaya koymaktadır. Ek olarak elde edilen veriler ışığında yapay zekâ teknolojisi kullanılarak otonom olarak sulama, gübreleme ve ilaçlama uygulamaları yapılmaktadır (Kosgeb, 2023).

1.2.1.3 Büyük veri

Günümüzde elde edilen veriler elektronik ortamda işlenip, bu ortamda saklanmaktadır. Elektronik

ortamın gelişmesiyle birlikte veri boyutu artmakta ve veriler giderek çeşitlenmektedir. Veri yönetimi, değer elde edilerek ekonomiye dönüştürülmesi "Veri Bilimi" olarak isimlendirilir. Büyük veri ise hızlı ve büyük miktarlarda farklı formatlarda üretilen verilerdir.

Elektronik ortamda yapılan işlemler, belgeler, uygulamalar, videolar, fotoğraflar, sosyal ağlar, resmi ve özel kayıtlar gibi vb. kayıtların oluşturduğu verilerden oluşmaktadır. Elektronik veri oluşturan cep telefonları, bilgisayar, tablet vb. gibi aygıtlardan milyarlarca adet olduğundan verilerin boyutu da katlanarak büyümektedir.

Büyük Veri oluşumunun 5 bileşeni vardır. Bunlar 5v olarak adlandırılan variety, veracity, velocity, volume ve value'dir:

1-) Variety (Çeşitlilik): Farklı kaynak ve formatlardan elde edilen her türlü veri çeşitliliğini kapsar. Video, ses, e-posta, finansal veri, e-ticaret gibi farklı verilerden oluşmaktadır.

2-) Veracity (Geçerlik): Veri oluşumunda güvenilirlik, doğruluk ve tutarlılık önemlidir. Büyük veri analizinde bu tür faktörler olmadığı sürece verileri anlamlandırmak zorlaşmaktadır.

3-) Velocity (Hız): Verinin saniye cinsinden üretilmiş olması verinin hızını temsil eder. Çeşitli sensörler, tablet, bilgisayar ve IoT gibi cihazlar verileri çok hızlı bir şekilde üretir. Hızlı veri büyümesi, analizi için hem yazılım hem de donanımsal yoğun bir çaba gerektirir.

4-) Volume (Veri Büyüklüğü): Yapılan her hangi bir işlemin (megabayt, terabayt vb.) gibi boyutlara ulaşması verinin boyutunu oluşturmaktadır. Büyük veri analizinin mümkün olmadığı durumlarda veri hacminin büyüklüğü sorun teşkil etmektedir.

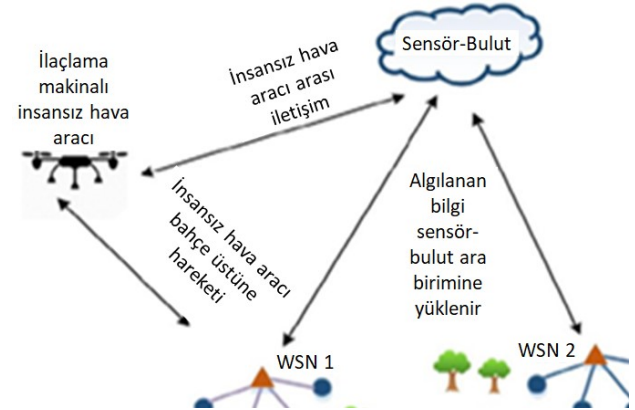
5-) Value (Değer): Veri analizinden anlamlı bir sonuç elde etme sürecidir. Değer üretilmeyen veri

depolama, işleme ve aktarılması gibi durumlardan bir anlam da ifade etmez. Çıkarılan sonucun eylemlere artı değer katması da önemlidir (Büyük Veri, 2023).

1.2.1.4 Bulut bilişim

Bulut bilişim, tarımsal bilgileri ortak bir havuzda toplayarak analiz edilmesinde ve uygun biçimlerde toplanan verilerin kurulan hizmet sağlayıcılara aktarımını sağlayacak uygulama yazılımlarını geliştirmede kullanılmaktadır. İnternet üzerindeki bütün program, uygulama ve verilerin bulutta depolanmasıyla bu bilgilere internet bağlantısı olan her yerden ve cihazdan kolaylıkla ulaşmak mümkündür. Her noktaya erişim sağlanarak işlerin daha esnek ve hızlı yapılabilmesi, izlenebilir, kontrol edilebilir ve raporlanabilmesi söz konusudur (Şekil 3).

Bulut bilişimde üç farklı hizmet modeli mevcuttur ve bunlar yazılım, platform ve altyapı hizmetidir. Bulut teknolojisi sayesinde, sunucu ekipmanı, soğutma sistemleri, personel giderleri vb. maliyet tasarrufu edilerek uygun yöntemlerle veri depolama avantajı sağlanmıştır. Birçok alanda maliyet avantajları nedeniyle çoğu şirket bulut bilişimi tercih etmektedir.



Şekil 3. Akıllı Tarımda Sensör-Bulut Bilişimi (Makineciler, 2023)

Bulut bilişim, önümüzdeki günlerde daha fazla gündemimize girecek ve tüm iş ve süreçleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olacaktır. Büyük veri tarafından üretilen devasa veri hacmi, verilere

sürekli erişim ve maliyetlerin düşmesi her sektörü bulut bilişime bağlı hale getirecektir (Yıldız, 2009). Bulut verileri, birçok alanda olduğu gibi akıllı tarımda da etkin rol oynamaktadır. Hassas sensörler ile sahadan alınan veriler bulut sisteminde saklanarak yapay zekâyla işlenmektedir.

1.2.1.5 Nesnelerin interneti (IoT)

Çiftlik yönetiminde nesnelerin internetinin kullanımına dayalı bir teknoloji olan akıllı tarım, iklim faktörü, toprak özellikleri vb. gibi değişikliklerin izlenmesine olanak sağlar ve mahsul üretimiyle ilgili birçok konuyu da ele alır. Bu teknoloji, yer sensörleri, robotlar, dronlar ve diğer cihazların otomatik olarak çalıştırılması için internet kullanımıyla birbirine bağlanmalarını sağlar (Almetwally vd., 2020). Başka bir deyişle, küresel tarım ortamında verimlilik ve üretimi arttırmak için kullanılan teknolojik gelişmedir. Nesnelerin internetinde kullanılan akıllı cihazlar ağ kurma, bilgi toplama, depolama ve analiz etme yeteneğine sahip ayrıca verileri bulut hizmetlerine aktarma seçeneğine de sahiptirler (Ercan & Kutay, 2016). IoT, akıllı şehir, akıllı ev, akıllı cihaz, akıllı tarım gibi akıllı olan her ortamda sıra dışı ve pratik çözümler sunan akıllı ve geleceği olan teknolojidir. Elektronik minyatürleştirilmesi ve ağların gelişimi ile kablosuz ağ üzerinden bağlanabilen IoT teknolojisi aynı zamanda bu ağ ile web teknolojisiyle erişilebilir algılayıcı cihaz ve ağlardan oluşur. Nesnelerin interneti devriminin temeli, verimlilik, kapsam ve ölçeklenebilirlik gibi üç temel unsurun ihtiyaçlarını karşılayabilen iletişim teknolojisi benimsenmesidir.

IoT uygulamalarına dayalı akıllı tarım teknolojisi, ürün kalitesinin iyileştirilmesi, sulama ve bitki koruma, gübreleme ve ilaçlama süreci, hastalık kontrolü gibi tarımsal uygulamalarla ilgili birçok avantaja sahiptir. Bu teknoloji sulama ve gübre uygulamalarında doğru kararları vermek için tüm cihaz ve gereçlerin birbirine bağlanmasına izin vermektedir. Aynı zamanda bitki geliştirme süreci ve kültürel işlemin otomatikleştirilmesi için günlük toplanan veriler kablosuz bağlantı kullanarak son kullanıcıya iletimini sağlamaktadır.

Tarım sektöründe IoT uygulamalarının yaygınlaşmasının iki ana nedeni şu şekildedir:

Bunun nedeni artan verim ve sulama suyu miktarındaki tasarrufla açıklanabilir. Bu sonuçları almak için sistemin kullanıldığı en yaygın tarımsal uygulamalar; genel durum takibi, akıllı sera uygulamaları, gübre yönetimi sulama suyu kalitesi izleme, sulama yönetimi, hastalık ve zararlı takibi ve envanter takibidir (Yetik & Aşık, 2021).

1.2.1.6 5G

İletişim amacıyla teknolojinin dijital dönüşümü ile birlikte haberleşme amacıyla kullanılmaya başlanan birçok cihaz insan yaşamının vazgeçilmezi haline gelmiştir. İletişim alanında beşinci nesil hücreli teknoloji "İnsandan İnsana", "İnsandan Makineye" ve "Makineden İnsana" vb. hedef doğrultusunda kullanıcılar adeta bağımlı hale gelmektedir. Mobil hizmetlerde ve uygulamalarda taleplere cevap vermek ve iletişim teknolojisini hayatın her alanında kullanarak tüm nesnelere iletilim kurma imkanı sağlamak 5G'nin en önemli hedefleridir (Özduman vd., 2020).

5G, bir önceki nesil mobil iletişim teknolojisi LTE ile uyumlu ve verileri daha yüksek kapasite ve hızda aktarmak için tasarlanmıştır. 5G daha güvenilir koşullar altında daha hızlı veri iletimi için pek çok alanda tüketici ve hizmet deneyimini iyileştirmeyi hedeflemektedir. 3G ve 4G ile karşılaştırıldığında ise veri aktarım hızı, enerji tasarrufu, maliyet yatırımları vb. konularda büyük faydalar göstermiştir.

IoT, birçok görevi, üretkenliği ve öngörülebilirliği arttırmak amacıyla veri toplamak için internet üzerinden bağlanan sensör, robot ve dronları içerir. Ayrıca akıllı tarım yapay zekâ kullanılarak toprak özelliklerinin belirlenmesi, iklim koşullarına ve su mevcudiyetine göre ürün seçim tekniklerinin belirlenmesi, bitki hastalıkları tespiti, verimi arttırmak için uygun pestisitlerin seçimi ve uygulamalarında uygun olan sensörlü aygıtlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Özellikle yakın gelecekte verimlilik, en az emek ve kalitenin üst düzeye çıkarılmasını esas alan 5G ağ mimarisi tarım endüstrisinde oldukça önemli rol oynaması beklenmektedir.

Akıllı tarım teknolojisi, geleneksel üretim yöntemlerinin yerini alarak üreticilerin alışkanlıklarına entegre edilmesiyle çiftçilerin daha

bilgili hale gelmesine ve tarımın gelişmesine katkıda bulunarak tarım seyrini değiştirecektir. Bir yandan akıllı tarım uygulamaları üretimde ürün miktarını ve kalitesini artırmayı amaçlarken bir taraftan da ürün kaybının en aza indirilmesi ve işçiliğin en aza indirilmesi esasına dayanmaktadır. Akıllı tarım, iklim değişikliği, toprak yapısı, gıda güvenliği, su kıtlığı, doğal kaynakların kullanımı, işgücü gibi bir iletişim ağı kullanmaktadır (Yu Tang, 2021).

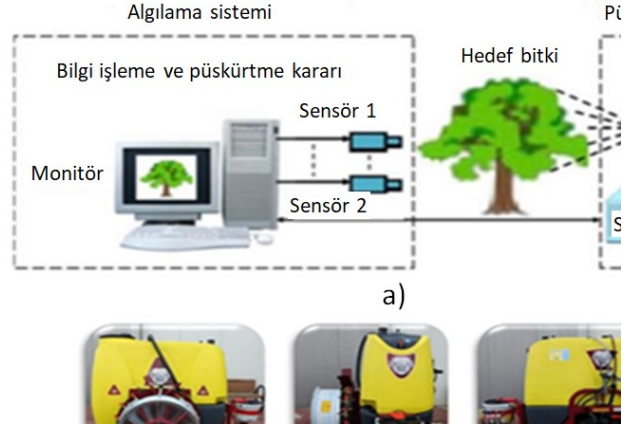
İlaçlama dronları, yardımcı robot, otonom traktör ve otonom çiftlik, sürekli teknolojik gelişme ve giderek büyüyen bağlantı kapasitesi ile desteklenmesi, tarım ve gıda sistemlerinde dijitalleşmede günümüzün örnekleridir. Bu dijital dönüşüm, IoT, büyük veri, blok zinciri ve yapay zekâ algoritmalarını kullanan gerçek zamanlı veri analizini içermektedir. Tarımsal üretimin sürekli izlenmesi verim ve kalite açısından önemlidir. 5G uygulamaları tarımsal ürün bilgilerinin gerçek zamanlı paylaşımını sağlamaktadır. Tarım ürünlerinin kalitesi için izlenebilirlik sistemi kurulması, tarım ürünlerinin tüm sürecinin takibi, bilgi asimetrisi derecesi düşürülmesi, tarım ürünlerinde kalite ve güvenliğin sağlanması yetiştirilen tarım ürünlerinin uluslararası arenada rekabet düzeyinin yükselmesine katkı sağlamaktadır (Van Hilten & Wolfert, 2022).

2. Akıllı Tarım Uygulamalarında Kullanılan İlaçlama Sistemleri

2.1 Akıllı tarımda püskürtme sistemleri

Genel amaçlı olarak kendi kendine yeten bir kimyasal püskürtme sistemi iki temel teknoloji içermektedir: hedeflenen algılama için sensör teknolojisi ve püskürtme uygulaması robotiktir. Bu nedenle, akıllı püskürtme sistemleri genel olarak bir hedef tespiti yapan sistem ve bir de kimyasal püskürtme sistemlerinden oluşmaktadır. Sensör teknolojisine dayalı akıllı bir püskürtme sistemi Şekil 4'te gösterilmiştir. Algılama sistemi, hedef tespit sensörlerini, veri işlemeyi ve karar verme sistemlerini entegre etmekte ve püskürtme sistemlerini, kontrol ünitesini ve püskürtücüyü içermektedir. Şekil 4b'de ise ülkemizde tarımsal ilaçlama sistemleri üzerine de faaliyet gösteren

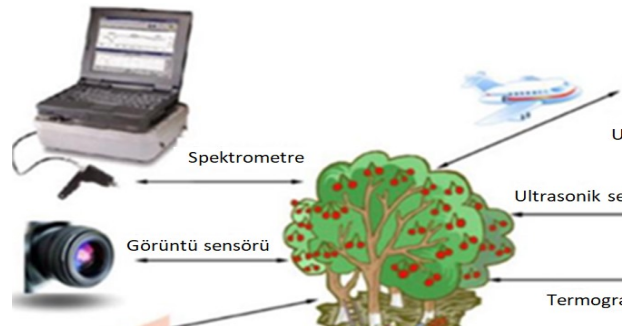
Önallar Tarım Makineleri AŞ'ye ait bir püskürtücüye ait görsel sunulmuştur.



Şekil 4. a) Akıllı bir püskürtme Sistemi (Karaköy & Çilesiz, 2022), b) Tarımsal ilaçlama makinesi.

2.2 Hedef tespit sistemleri

Tarımda yüksek verimlilik ve düşük işçilik gerekliliği ile yabancı otların hedefli tespiti, sınıflandırılması ve lokalizasyonu, zarar gören ve hastalıklı bitkilerin tespiti ve tarlada ciddi tahmininin esasına vurgu yapılmaktadır. Yabancı otları kontrol ederken, algılanan ana nesnelere yabancı otlar, ekinler veya ağaçlardır. İki araştırma hattı vardır: ilk olarak, tüm bitkilerin tespit edildiği ve yabancı otların tanımlandığı yabancı ot tespiti ikincisi, tarla bitkisi tespiti ve diğer tüm bitkilerin yabancı ot olarak kabul edildiği mahsul tespitidir. Pestisit yönetimi, genellikle hastalık oranları ve ciddiyetiyle ilgili olan bitkilerin büyüme durumunu ölçer ve analiz eder. Meyve bahçesi ilaçlamasında odak noktası genellikle bitki konumu, gölge hacmi, hastalık oranı ve şiddet seviyesidir. Görüntü sensörü, uzaktan algılama, spektrometreler, termograflar gibi hedef tespiti için çok sayıda sensör Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Hedef tespit sensörleri (Karaköy & Çilesiz, 2022).

Tümü, 109 nm ile 1023 nm arasında değişken dalga boylarında elektromanyetik absorpsiyon sergileyen spektral teknolojiye dayalı olarak geliştirilmiştir. Yeşil bitki örtüsünün yaygın olarak uygulanan dalga boyu, görünür ila yakın kızılötesi spektrumu ifade etmektedir. Tipik olarak, spektral teknolojinin uygulanması spektral analiz ve görüntü işleme olarak iki gruba ayrılmaktadır. Spektral aralığa göre görüntü renkli görüntüye ve spektral görüntüye ayrılabilir.

Elektromanyetik spektrum analizde bir spektrometre veya radyometre spektrumun belirli bir bölümünde ışığın spektral yansıması ölçmek için kullanılır. Spektral teknolojinin, görüntü işleme teknolojisinin ve veri toplama teknolojisindeki gelişmeler sayesinde bitkilerin büyüme durumlarını izlemek ve analizi için bunların birleşik analitik teknikleri geliştirildi. Sonuç olarak, araştırmalarda uzaktan görüntüleme ve termografi giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca meyve bahçelerinde kök tespiti için lazer sensör ve taç için ultrasonik sensör gibi seçici olmayan konum dedektörleri de kullanılır.

Algılama algoritmaları, sensörler tarafından ölçülen verilere dayanarak geliştirilir. Genel olarak, görüntüler üç yöntemle analiz edilebilir: görsel doku, biyolojik morfoloji ve spektral özellikler. Spektral özellikler, analizin temel bilgileridir. Biyolojik morfoloji ise organizmanın şekli, yapısı ve konfigürasyonudur. Örneğin, seçici herbisitlerin gerçek zamanlı uygulaması için görüntüleri geniş ve dar kategorilere ayırmak için kenar tabanlı bir yabani ot sınıflandırıcı algoritması geliştirildi. Görsel doku analizinde bölge tanımlı görüntü dokusu içeriğini ölçmek için kullanılır. Dokuları tanımlamak için istatistiksel, spektrum ve yapısal kullanılan üç ana yöntemdir.

2.3 Püskürtme sistemleri

Püskürtücüler genellikle birden çok sayıda geometriğe sahiptir. Tipik bir püskürtme memesi sıvıyı sıkıştırmak için bomları veya sıvıyı memelere iletmek için bir pompanın yanı sıra pompayı, boru ve memeyi kontrol etmek için araçlar içerir. Bu sistemi kontrol etmek için, püskürtme tekniği, püskürtme modeli ve değişken püskürtücünün

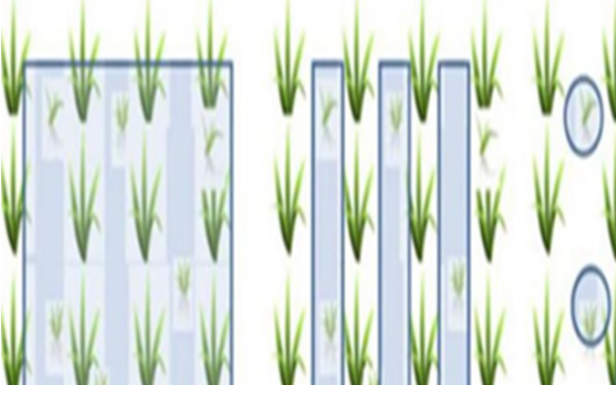
kontrolü olmak üzere dikkate alınması gereken üç genel husus vardır.

Kimyasal püskürtmenin teknikleri hava püskürtme, elektrostatik ve hidrolik püskürtmedir (Giles vd., 2008). Geleneksel hava üfleli püskürtücüler, püskürtme karışımını iletmek için bir basınç pompası kullanmaktadır. Bu hava akışı büyük bir fan tarafından üretilerek ve spreyi hedefe taşımak için kullanılır. Bu tekniğin avantajı, spreynin hızlı bir şekilde iletilmesi ve meyve bahçesi hava hacmini pestisit yüklü bir sisle artırılabilmesidir.

Sürüklenme sorunu da dezavantajlardan biridir ve sis hedeflere ulaşmadan önce havaya yayılmaktadır. Elektrostatik püskürtme zıt yükleri çeken ve iten yüklere dayalı bir püskürtme tekniğidir. Bir kimyasal karışım nozuldan ayrıldığında negatif yüke maruz kalmaktadır. Daha sonra bu yükler pozitif yüklü yaprak tabakaya çekilir. Elektrostatik püskürtme, pestisit birikimini iyileştirmek ve nihayetinde ekolojik atıkları azaltmak için geçerli bir yöntem olarak kabul edilmiştir (Giles vd., 1991).

Bir hidrolik püskürtücü, pompa basıncını kullanarak kimyasalları bitkilere iletir. Püskürtme malzemesi çoğunlukla ıslak veya damla olarak uygulanır. Bom nozulları spreyi küçük damlacıklara ayırarak yapraklara yönlendirir. Hava ve elektrostatik atomizörlerden daha büyük damlaya sahiptir. Şekil 6'da da gösterildiği gibi yayma, bant ve hedefli olmak üzere üç genel püskürtme modeli vardır. Geleneksel olarak, yayılmış sprej, hedef olsun veya olmasın, püskürtücü geçişine büyük verimsizlikle uygulanmıştır ve genellikle % 60-70'e varan hedef dışı kayıplara neden olur. Hedefsiz kayıpların israfını ve çevre kirliliğini azaltmak için bantlama ve hedefli ilaçlama yöntemi geliştirilmiştir.

Bant desen, spreji geniş alanın tamamı yerine seçilen alana uygular. Sahada, bantlama ve mekanik uygulamanın yalnızca kimyasalların kullanımını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda dikkatli bir kimyasal seçiminin daha sonra minimum çevresel etkiyle sonuçlanabileceği gösterilmiştir. Hedeflenen püskürtme sistemi, tarladaki hasarlı alanlardaki bitkilerin tespitini ve ardından püskürtmenin iyi gittiğini doğrulamayı gerektirir.



Şekil 6. Farklı ilaçlama modelleri (Karaköy & Çilesiz, 2022).

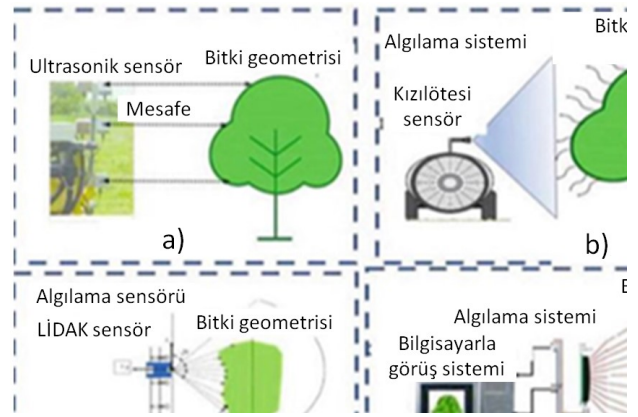
Tünel püskürtücü, bir bant modeline dayalı elektrostatik bir yöntemle geliştirilmiştir. Kalkan, sıranın her iki tarafının yüksekliğinin çoğunu kaplar. Kap fanı, uygulama sıvısına akışına paralel hareket eden bir hava akışı oluşturmak için kullanılır ve püskürtülen sıvıyı sıranın her iki tarafına ilgili nozullar aracılığıyla iletir. Kapsayıcı fan, uygulama sıvısına akışına paralel hareketli hava akışı oluşturur ve püskürtülen sıvıyı sıranın iki tarafına da ilgili nozullar aracılığıyla iletir. Sıra boyunca çalışan kalkan, rüzgârın sürüklenmesinden kaynaklanan difüzyonu önlemek için arıtma sıvısını emer, hava kaybını ve fazla sıvının zemine damlamasını sınırlar. Tünel püskürtücüsünün sürüklenmeyi ve yaprak yüzeyi birikintilerinin oluşumunu daha iyi önlediği kanıtlanmıştır. Püskürtme sistemlerinde, püskürtücü genellikle birden çok bağımsız olarak kontrol edilebilen püskürtme bölümlerine sahip olan boma sahiptir. Değişken kimyasal kontrol ve memeyi hedef tespitine göre ayarlama yeteneği için tasarlanmıştır.

Günümüzde akıllı püskürtücü, yer hızını, meme basıncını, akış hızını, ayak izini ve kullanılan püskürtme miktarını kaydederken operatöre hedef algılama, otomatik kontrol ve sezgisel geri bildirim sağlayan bir cihaz olarak ortaya çıkıyor (Aware vd., 2019).

2.4 Sensör tabanlı ilaçlama sistemleri

Şekil 7'de gösterilen ultrasonik, kızılötesi, LIDAR sensörleri ve bilgisayarla görme teknolojileri gibi sensörler bitki geometrisini algılamak için kullanılmaktadır. Ultrasonik sensörler, hedef mesafeyi algılama yapar fakat sıcaklık ve nem gibi

çevresel koşullara duyarlıdır (Li vd., 2018). Kızılötesi sensör, görüş alanındaki nesnelerin yaydığı kızılötesi ışığı ölçerek bir hedef alanı algılayan elektronik bir sensördür. Kızılötesi sensör ışığı ölçerek bir hedef alanı tespit eden elektronik sensördür. LIDAR sensörü ise mesafe ölçümlerini yapan uzaktan algılamalı sensörlerdir (Zhang vd., 2018). Bilgisayarlı görme teknolojisinde bitkilerin yüzey alanını, yüksekliğini, yoğunluğunu ve fiziksel parametrelerini ayırt eden kameralar püskürtücüye yerleştirilir.



Şekil 7. Sensör tabanlı ilaçlama sistemleri (a) Ultrasonik sensör (b) Kızılötesi sensör(c) LIDAR sensör (d) Bilgisayarla görme tabanlı teknoloji (Karaköy & Çilesiz, 2022).

2.5 Dron ile ilaçlama

Bugüne kadar, dünyanın çeşitli yerlerinde pestisit uygulaması için çoğunlukla geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Manuel mekanik püskürtücü, geleneksel pestisit uygulaması için en yaygın araçtır. Pestisitlerin elle püskürtülmesi insanları etkilemekte ve kanser, aşırı duyarlılık, astım ve diğer rahatsızlıklar gibi hastalıklara yol açmaktadır. Ayrıca, geleneksel yöntemlerin ekstra kimyasal kullanımı, çiftlikte işgücü sıkıntısı, daha düşük püskürtme homojenliği, çevre kirliliği ve daha az alan kapsamı gibi başka eksiklikleri de vardır. Bu geleneksel yöntemler daha yüksek pestisit uygulama maliyetine neden olmakta ve haşere ve hastalıkların kontrolünde daha az etkili olmaktadır (Hafeez vd., 2022). Dron ile ilaçlama yirminci yüzyılın ortalarından beri kullanılmaktadır ancak dron teknolojisindeki yeniliklerin çoğu geleneksel yer püskürtücülerine göre büyük avantajlara sahiptir. Tarımsal ilaçlama ve bitki koruma

teknolojisindeki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir. Günümüzde, dron 40 litreye kadar pestisit tankı taşıyabilmekte ve ihtiyaçlara göre ekinleri püskürtmek için önceden haritalanmış rotaları takip edebilmektedir. Dronlar, traktör ve uçaklar için erişimi zor olan tarlaların kapsanmasında büyük potansiyel göstermektedir. Dron monte edilmiş püskürtücünün bazı görüntüleri Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8. (a) Çeltik tarlasında (b) Çay mahsulünde ve (c) Muz ağaçlarında kullanılan İHA tabanlı ilaçlama sistemi (Hafeez vd., 2022).

Üretim alanındaki ürünlerin ve pestisitlerin doğru zamanda yerinde izlenmesi ve gübre ihtiyaçlarının değerlendirilmesi, girdi verimliliğinin artırılması etkin kullanım için önemli bir parametre olmaktadır (Gayathri, 2020). Dronların kullanıldığı havadan ilaçlama yöntemi dünya çapında büyük ilgi görmektedir. Dolayısıyla şu anda insansız hava araçları, verimli ve doğru bir şekilde püskürtmeye yardımcı olmak için en gelişmiş olanlarıdır.

İHA’lar, tarımsal kimyasalların uygulanması sürecinde çevre ve insanlar üzerinde olumsuz etkisi olan pestisitlerin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Tarımda insansız hava araçlarının kullanımı, bitkisel üretim uygulamalarını kolaylaştırarak mısır, pamuk, pirinç gibi ürünlerin ilaçlanmasını uygun hale getirmektedir.

Genellikle pestisitler ve gübreler gibi kimyasallar, belirli koşulların gerçek zamanlı değerlendirmesi yapılmadan, zemin püskürtücüler, kimyasal püskürtücüler, havadan püskürtme ve yayın yöntemleri kullanılarak uygulanır (Lan, 2020). Bir İHA püskürtücüsü ile ilaçlama yaparken, küçük damlacıklar genellikle bitki örtüsüne girerken bazı damlacıklarda sürüklenmeye neden olur. Damlacık boyutu, iklim ve hava koşulları, püskürtme kapsam ve emilimi hedefe bağlanmasını etkilemektedir.

İnsansız araçlar, operatör uçakla görsel temas kurduğunda telemetri kullanılarak uzaktan yönlendirilebilir veya GPS ile planlanmış bir rota boyunca otonom olarak kontrol edilebilir. Püskürtme sürüklenmesini azaltan İHA püskürtücü, 4G, 5G ve GPS ağ teknolojisi ile alana doğru rotayı planlayarak, bitkilere doğru miktarda ilaç püskürtmek için doğru yolu sağlayarak ve ilaç kullanımından da tasarruf sağlamaktadır.

Taşıma sorunları ve büyük kanat boyutları nedeniyle, eski İHA püskürtücüleri yanlış hedeflenmiş sprey birikimleri yaratır. Boyutlarından dolayı ağaç ve bahçelerde kullanılmazlar, sadece geniş tarlalarda kullanılırlar. Küçük insansız hava araçlarının bitki koruma özellikle küçük tarlalar ve çeşitli mahsuller için alçak irtifa, hava hızı kontrolü ve iyi alan özelleştirme avantajları sunar.

4 rotorlu, 6 rotorlu ve 8 rotorlu gibi küçük boyutlarda olan birçok dron türü, günümüzde meyve bahçeleri, ağaçlar ve tarlalarda çok etkin şekilde kullanılabilen dronlardır. Küçük boyutlu dron püskürtücü, hedefe etkili bir şekilde püskürtme yapmamıza ve meyve bahçeleri ile ekinler arasında kolayca çalışmamıza yardımcı olmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. İHA püskürtücüler (a) Tek rotorlu İHA püskürtücü (b) Dört rotorlu İHA püskürtücü (c) Altı rotorlu İHA püskürtücü (d) Sekiz rotorlu İHA püskürtücü (Karaköy & Çilesiz, 2022).

2.6 Robot sistemleri ile ilaçlama

Genel olarak, geleneksel ürün koruma, çiftçilerin sağlığını olumsuz yönde etkileyen zehirli pestisitlerin manuel olarak püskürtülmesini içerir. Pestisitlere maruz kalmayı azaltmak için navigasyon

için bir kontrol algoritmasına ve yüksek verimli bir yörünge hesaplama algoritmasına dayalı olarak pestisitleri otomatik olarak püskürtmek için akıllı bir robotik sistem geliştirilmiştir.

Geleneksel tarım uygulamalarında, zararlıları ve yabancı otları kontrol etmek için kullanılan kimyasallar genel olarak eşit olarak uygulanır fakat yabancı ot ve hastalık etmenleri için geliştirilmiş robotlar kimyasalları istenilen alana uygun dozda püskürterek uygular. Minimum düzeyde maliyet için talebi fazla olan robotlar yabancı ot kontrolü ve hedefli ilaçlama robotlarıdır. Bu otonom robotlar, mahsulün konumunu algılayabilen ve kimyasalları uygularken mahsulü koruma yeteneğine sahip bir görüş sistemine sahiptir.

Tarla bitkilerine pestisit püskürtmeye benzer şekilde, meyve ve sebzelere pestisit püskürtmek de aşırı püskürtme aralıkları nedeniyle çevre üzerinde büyük bir yük oluşturmaktadır. Bu nedenle, servo kontrollü nozullar, akış kontrol sistemleri ve ultrasonik sensörler gibi çeşitli sistemlerle daha hassas püskürtme elde etmek için birçok pestisit püskürtme robotu tasarlanmıştır.

Yakın zamana kadar, tarımda haşere kontrolünün odak noktası dronların kullanımı üzerineydi. 2022'de tarlalara salınan tarım robotları arasında sürücüsüz traktörler, otomatik hasat sistemleri ve otonom yabancı ot ve haşere kontrol agribotları yer almaktadır.

Robotlar, bir kamera kullanarak giriş görüntüleri almak, bunları analiz etmek ve yaprak, kök veya bitki üzerinde haşere ve hastalık kontrollerini yaparak gerektiğinde püskürtme sistemlerini açmak ve doğru pestisiti yaymak için yapay zekâ ile ilaçlama yapmak üzere tasarlanmıştır (Şekil 10) (Yeditepe, 2023).



Şekil 10. Robot sistemleri ile ilaçlama (Yeditepe, 2023).

3. Akıllı Tarımda Eklemeli İmalatın Yeri ve Geleceği

Hızlı prototipleme ya da katmanlı imalat olarak da adlandırılan eklemeli imalat teknolojisi ile karmaşık geometrilere sahip ve doluluk oranının kullanıcı tarafından ayarlanabildiği fonksiyonel parçaların üretilebildiği bilinmektedir (Ergene & Yalçın, 2023; Ergene & Bolat, 2022). Otomotiv, biyomedikal, savunma, uzay-havacılık ve inşaat başta olmak üzere birçok alanda uygulama alanlarına sahip olan eklemeli imalat teknolojisi hali hazırda akıllı tarım uygulamalarında da kendine yer bulmaktadır. Özellikle ilaçlama sistemlerinde kullanılan robotlar ve dronların ağırlığını azaltmak amacıyla tercih edilen eklemeli imalat teknolojisinin yakın gelecekte akıllı tarım uygulamalarında farklı alanlarda da ön plana çıkacağı düşünülmektedir (Ferro vd., 2016). Özellikle dört boyutlu (4B) baskı teknolojisi ile şekil hafızalı malzemelerden üretilen fonksiyonel parçaların Ph, ısı, ışık ya da bunların birer kombinasyonu halinde uyarıcılarla uyarılması halinde zamanla şekil değiştirme kabiliyetine sahip olması (Ergene & Yalçın, 2020), ilaçlama sistemlerine de 4B teknolojisinin adapte edilebileceği ve istenilen ortam koşulları sağlandığında ilgili parçaların aktive edilmesi ile ilaçlamanın sağlanabileceği öngörülmektedir.

4. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada akıllı tarımda kullanılan ilaçlama sistemleri detaylı olarak incelenmiş olup, günümüzdeki teknolojik gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan yapay zekâ, eklemeli imalat ve büyük veri gibi alanların akıllı tarıma olan etkisi tartışılmıştır. Gelecekte de akıllı robotlar, yazılım, yapay zekâ ve otonom sistemlerin gelişimi ile ilaçlama sistemlerinin de kayda değer gelişim içerisinde olacağı ve araştırmacıların daha fazla dikkatini çekeceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında bünyesinde bulundurduğu ilaçlama sistemlerinin incelenmesine olanak tanıdığı ve diğer ilaçlama sistemleri ile ilgili bilgi

paylaşımı ve desteklerinden dolayı Önallar Tarım Makinaları AŞ'ye teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Almetwally, S.A.H., Mourad, M.H., Hassan, M.K., (2020). "Real Time Internet of Things (IoT) Based Water Quality Management System", *Procedia CIRP*,91, 478–485.

Aware, S.W., Shinde, U.P., Aware, V.V., Mohod, A.G., Patil, A.V., Shahare, P.U., (2019). "Sensors And Controller For Efficient Utilization Of Agricultural", *International Journal Of Tropical Agriculture*, 37(2).

Çokuysal, B., (2021). "Tarım, Dijitalleşme ve Sürdürülebilirlik Üçgeninde Etik Sorun Alanları", 3. Uluslararası Tarım ve Gıda Etiği Kongresi, 294-299,

Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., Kaliaperumal, R., (2022). "Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture", *Agriculture*, 12(10), 1745,

Ercan, T., Kutay, M., (2016). "Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları İnternet of Things (IoT) Applications in Industry", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 599 – 607,

Ergene, B., Bolat, Ç., (2022). "An experimental study on the role of manufacturing parameters on the dry sliding wear performance of additively manufactured PETG", *International Polymer Processing*, 37, 255-270.

Ergene, B., Yalçın, B., (2020). "4 boyutlu baskı teknolojisi ve uygulama alanlarının araştırılması", *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 12, 108-117.

Ergene, B., Yalçın, B., (2023). "Eriyik yağma modelleme (EYM) ile üretilen çeşitli hüresel yapıların mekanik performanslarının incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38, 201-218.

Ertaş, B.A., (2020). "Tarım 4.0 İle Sürdürülebilir Bir Gelecek", *Icontech International Journal of Surveys*, 4, 1-12.

Ferro, C.G., Brischetto, S., Torre, R., Maggiore, P., (2016). "Characterization of ABS specimens produced via the 3D printing technology for drone structural components", *Curved and Layered Structures*, 3, 1.

Gayathri, D.K., Sowmiya, N., Yasoda, K., Muthulakshmi, K., Kishore, B., (2020). "Review on application of drones for crop health monitoring and spraying pesticides and fertilizer", *Journal of Critical Reviews*, 7, 667-672.

Giles, D.K., Akesson, N.B., Yates, W.E., (2008). "Pesticide Application Technology: Research And Development And The Growth Of The Industry", *Transactions Of The Asabe*, 51, 397-403.

Giles, D.K., Blewett, T., (1991). "Effects Of Conventional And Reduced-Volume, Charged-Spray Application Techniques On Dislodgeable Foliar Residue Of Captan On Strawberries", *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 39, 1646-1651.

Hafeez, A., Aslam Husain, M., Singh, S.P., Chauhan, A., Tauseef Khan, M., Kumar, N., Chauhan, A., Soni, S.K., (2022). "Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review", *Information processing in agriculture*,10, 192-203.

Karaköy, T., Çilesiz, Y., (2022). "Teknolojik Tarım, Ankara: İksad Publications,

Kılavuz, E., Erdem, İ., (2019). "Dünyada Tarım 4.0 Uygulamaları Ve Türk Tarımının Dönüşümü", *Social Sciences*, 133-157,

Lan, Y., Shengde, C., Fritz, B.K., (2017). "Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 10, 1-6,

Li, L., He, X., Song, J., Liu, Y., Zeng, A., Yang, L., Liu, C., Liu, Z., (2018). "Design And Experiment Of Variable Rate Orchard Sprayer Based On Laser Scanning Sensor", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11, 101-108.

Makfed, (2020). *Tarım Ve Makine Sanayi Etkileşim Raporu*.

Mckenzie S, (2007). A Brief History Of Agriculture And Food Production: The Rise Of "Industrial Agriculture.", Baltimore: Johns Hopkins Bloomberg School Of Public Health.

Miller, S., (2011). Computer Scientist Coined 'artificial Intelligence', The Wall Street Journal,

Mukhamediev, R. I., Yakunin, K., Aubakirov, M., Assanov, I., Kuchin, Y., Symagulov, A., & Amirgaliyev, Y. (2023). "Coverage path planning optimization of heterogeneous UAVs group for precision agriculture", IEEE Access, 11, 5789-5803.

Özduman, A., Gök, B., Gökçen, H., (2020). "Mobil Telefon Kullanıcılarının Mobil Bağımlılık Durumu ve 5G Teknolojisi Kabul Niyeti Modellerinin Geliştirilmesi", Bilişim Teknolojileri Dergisi, 13(3), 269 – 288.

Persson K. G, (2010). An Economic History Of Europe: Knowledge, Institutions And Growth, 600 To The Present, New York: Cambridge University Press.

Saiz-Rubio, V., Rovira-Más, F., (2020). "From Smart Farming Towards Agriculture 5.0: A Review On Crop Data Management", Agronomy, 207.

Saygılı, F., Kaya, A.A., Çalışkan, E.T., & Kozal, Ö.E. (2018). Türk tarımının global entegrasyonu ve tarım 4.0. İzmir Ticaret Borsası, Yayın No: 98, İzmir.

Tekin A B, Demirel Ç, Örün Ç, (2011). Tarımda Kablosuz Ağlar, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü.

Tekin, A.B., (2018). "Tarımsal Üretimin Geleceği: Akıllı Tarım", Türktob Dergisi, 26-27.

Tian, H., Mo, Z., Ma, C., Xiao, J., Jia, R., Lan, Y., & Zhang, Y. (2023). "Design and validation of a multi-objective waypoint planning algorithm for UAV spraying in orchards based on improved ant colony algorithm", Frontiers in Plant Science, 14, 1101828,

Torkul, O., Gülseçen, S., Uyaroğlu, Y., Çağil, G., Uçar, M.K., (2017). "Mühendislikte Yapay Zeka Ve Uygulamalar", Sakarya: Sakarya Üniversitesi

Usb (University Of Stellenbosch Business School), (2017). The Future Of The Western Cape Agricultural Sector In The Context Of The Fourth Industrial Revolution.

Van Hilten, M., Wolfert, S., (2022). "5G In Agri-Food - A Review On Current Status, Opportunities And Challenges", Computers And Electronics In Agriculture, 201.

Xu, Y., Xue, X., Sun, Z., Gu, W., Cui, L., Jin, Y., & Lan, Y. (2022). "Joint path planning and scheduling for vehicle-assisted multiple Unmanned Aerial Systems plant protection operation", Computers and Electronics in Agriculture, 200, 107221.

Yetik, A.K., Aşık, M., (2021). "Toprak Nem İçeriğinin İzlenmesi Ve Tayininde Kullanılan Yöntemler", Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8, 484 – 496.

Yıldız, Ö.R., (2009). "Bilişim Dünyasının Yeni Modeli: Bulut Bilişim Cloud Computing Ve Denetim", Sayıştay Dergisi, (74), 5-23.

Yu Tang, S.D., (2021). "A Survey On The 5G Network And Its Impact On Agriculture: Challenges And Opportunities", Computers And Electronics In Agriculture, 180.

Zhang Z, Wang X, Lai Q, Zhang Z, (2018). "Review of Variable-Rate Sprayer Applications Based on Real-Time Sensor Technologies ,Automation in Agriculture - Securing Food Supplies for Future Generations.

İnternet kaynakları

- 1- Büyük Veri, <https://docplayer.biz.tr/120602301-Buyuk-veri-ve-acik-veri-temel-kavramlar.html>,04.04.2023
- 2- Kosgeb, <https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/detay/7944/tarimda-yapay-zeka-donemi>, 28.03.2023
- 3- Makineciler, <https://www.moment-expo.com/tr/dergiler/146/kapak/turkiyenin-makinecileri-tarimsal-mekanizasyonu-onemsiyor-guclu-tarim-icin-mekanizasyon-sart-x242>, 07.04.2023

- 4- Smart Farming, <https://www.smart-akis.com/index.php/network/what-is-smart-farming/>,28.03.2023
- 5- Tarımda Dijitalleşme, <https://docplayer.biz.tr/216822925-Tarimda-dijitallesme-ufuk-turker-ankara-universitesi-tarim-makinalari-ve-teknolojileri-muhendisligi-bolumu.html>, Nisan 25, 2023.
- 6- Yapay Zeka, <https://gamzenayir.wordpress.com/>,28.03.2023
- 7- Yeditepe, <https://eng.yeditepe.edu.tr/sites/default/files/u343/harmantime.pdf>, 23.05.2023.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK
TEKNOLOJİLERİ ve UYGULAMALI
BİLİMLER DERGİSİ**

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Ahmet Necdet Sezer Kampüsü
Teknoloji Fakültesi
AFYONKARAHİSAR
Tel: +90 272 228 14 46
Belgegeçer: +90 272 228 14 49
E-posta: ijetas@aku.edu.tr

www.ijetas.aku.edu.tr