

# Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21<sup>st</sup> Century-V

*21. Yüzyılda Mühendislikte Çağdaş Araştırma  
Uygulamaları Üzerine Disiplinler Arası Çalışmalar V*

**Editör: Prof. Dr. Kamil Kaygusuz**



# Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21<sup>st</sup> Century-V

**Editör:**

Prof. Dr. Kamil Kaygusuz



Published by

**Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.**

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozgurayinlari.com

✉ info@ozgurayinlari.com

---

## Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21<sup>st</sup> Century-V

*21. Yüzyılda Mühendislikte Çağdaş Araştırma Uygulamaları Üzerine Disiplinler Arası Çalışmalar V*

Editor: Prof. Dr. Kamil Kaygusuz

---

Language: Turkish-English

Publication Date: 2023

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

**ISBN (PDF):** 978-975-447-835-8

**DOI:** <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub389>

---



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>  
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

---

Suggested citation:

Kaygusuz, K. (ed) (2023). *Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21st Century-V*. Özgür Publications. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub389>. License: CC-BY-NC 4.0

---

*The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozgurayinlari.com/>*

---



## Preface

Engineering is the use of scientific principles to design and construct machines, structures and other items, including bridges, tunnels, roads, vehicles and buildings. The engineering discipline encompasses a wide range of specialized engineering fields, each with particular emphasis on specific areas of applied mathematics, applied science, and application types. Engineering is a sub-discipline created by the interdisciplinary partnership that plays a very important role in the development and development of a country. Engineering is a profession that develops economical methods to present the forces and substances of nature for the benefit of human beings, using the knowledge gained through study, experimentation and application from the branches of mathematics and natural sciences wisely.

Because the engineering approach; It is the human approach whose job is to solve problems. Employees who take the engineering approach know how to see the unseen, find the unthinkable, target optimum solutions and get the maximum benefit from the situation. On the other hand, although a very broad and detailed definition comes to mind with the question of what is engineering, we can say that engineering is the application of science and mathematics necessary to solve problems. Engineers understand how things work and find ways to use scientific discoveries in practical life.

This book published; It was created from the presentations of both their own original studies and compilation studies from the literature presented by academics who teach in various engineering branches. The aim here is for engineers and academics interested in the subject to find important engineering studies together. Therefore, I believe that the book will fill an important gap and be useful to young researchers. In this context; We would like to thank everyone who contributed scientifically to the book, in short, who contributed to the preparation of the book for printing.

I hope that this published book will be useful to both engineers and young academics, and I wish success to all engineers and young academics.

Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ  
Mechanical & Chemical Engineer  
Karadeniz Technical University  
Energy Expert

## Önsöz

Mühendislik, köprüler, tüneller, yollar, araçlar ve binalar dahil olmak üzere makineler, yapılar ve diğer öğeleri tasarlamak ve inşa etmek için bilimsel ilkelerin kullanılmasıdır. Mühendislik disiplini, her biri uygulamalı matematik, uygulamalı bilim ve uygulama türlerinin belirli alanlarına özel vurgu yapan, geniş bir yelpazede uzmanlaşmış mühendislik alanlarını kapsar. Mühendislik bir ülkenin kalkınmasında ve gelişmesinde çok önemli rol oynayan disiplinler arası ortaklığın meydana getirdiği bir üst bilim dalıdır. Mühendislik, matematiksel ve doğal bilim dallarından, ders çalışma, deney yapma ve uygulama yolları ile kazanılmış bilgileri akıllıca kullanarak, doğanın kuvvetleri ve maddelerini insanıoğlu yararına sunmak üzere ekonomik olan yöntemler geliştiren bir meslektir.

Çünkü mühendislik yaklaşımı; işi sorun çözmek olan insan yaklaşımıdır. Mühendislik yaklaşımı içinde bulunan çalışanlar, görülmeyeni görerek, düşünölmeyeni bularak, optimum çözümleri hedefleyip durumdan maksimum faydayı çıkarmayı bilirler. Diğer taraftan mühendislik nedir, sorusu ile aklımıza çok geniş ve detaylı bir tanımlama gelse de genel olarak mühendislik, problemleri çözebilmek için gerekli olan bilim ve matematiğinin uygulanmasıdır diyebiliriz. Mühendisler, bir şeylerin nasıl çalıştığını anlar ve bilimsel keşiflerin pratik hayatta kullanımı için yöntemler bulur.

Yayınlanan bu kitap; çeşitli mühendislik dallarında hocalık yapan akademisyenlerin sunmuş olduğu gerek kendi özgün çalışmaları ve gerekse literatürden aktarılan derleme çalışmaların bir araya getirilmiş sunumlarından meydana getirilmiştir. Burada amaç konuyla ilgilenen mühendis ve akademisyenlerin önemli sayılabilecek mühendislik çalışmalarını bir arada bulmalarındır. Dolayısıyla kitabın önemli bir boşluğu dolduracağı ve genç araştırmacılara faydalı olacağı kanaatindeyim. Bu bağlamda; kitaba bilimsel katkı sunan, kitabı baskıya hazırlayan kısacası emeği geçen herkese teşekkür ederiz.

Yayımlanan bu kitabın gerek mühendislere ve gerekse genç akademisyenlere faydalı olmasını diler, tüm mühendis ve genç akademisyenlere başarılar dilerim.

Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ  
Makine & Kimya Mühendisi ve Enerji Uzmanı  
Karadeniz Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi  
Türkiye Bilimler Akademisi Asli Üyesi

# İçindekiler

Preface	iii
Önsöz	iv

## Bölüm 1

---

Green Buildings for Climate Mitigation and Sustainable Air Conditioning	1
<i>Kamil Kaygusuz</i>	

## Bölüm 2

---

An Alternative Airfoil Design and Analysis for a Small Commercial Aircraft with Inverse Design Method	19
<i>Abmet Şumnu</i>	
<i>Batuhan Atasoy</i>	
<i>İbrahim Halil Güzelbey</i>	

## Bölüm 3

---

The Impact of Utilizing Phase Change Material As Insulation Material on Building Energy Performance and Fuel Costs	37
<i>Kübra Kurtoğlu Sontay</i>	
<i>Abid Ustaoglu</i>	
<i>Elif Ögüt</i>	

## Bölüm 4

---

The Quality Characteristics of a New Sustainable Functional Kefir Fortified with <i>Spirulina plantensis</i> Microalgae During Storage	53
<i>Özge Duygu Okur</i>	
<i>Özgün Burcu İşbecer</i>	

## Bölüm 5

---

- New Trends in Artificial Intelligence 73  
*Fulya Aslay*

## Bölüm 6

---

- Type-2 Fuzzy Logic Applications in Solar Energy Technologies: A Comprehensive Overview 89  
*Barış Sandal*

## Bölüm 7

---

- Value of Human Interference in Supply Chain Decisions: Comparison of Human Decision-Makers with Automation 113  
*Ümmühan Akbay*

## Bölüm 8

---

- Investigation Of Thermal And Flow Characteristics Of Forced Convection Operating Blankets 133  
*Sertan Yıldırım*  
*Celal Kştak*  
*Nevin Çelik*

## Bölüm 9

---

- Sera Gazlarının Azaltılmasında Biyokütlenin Rolü ve Çözüm Önerileri 165  
*Kamil Kaygusuz*

## Bölüm 10

---

- Görme Engelli Yol Tasarımlarının YOLOv8 ile Segmantasyonu 197  
*Ömer Kaya*  
*Muhammed Yasin Çodur*

## Bölüm 11

---

- Tavuk Sürüsü Optimizasyon Algoritmasıyla Amazon Müşteri Yorumları  
Üzerinde Duygu Analizi 211  
*Nagihan Yağmur*

## Bölüm 12

---

- Üç Fazlı Fotovoltaik Eviricinin P&O ve DQ Tabanlı Kontrol Yöntemi  
Kullanılarak Kontrolü 227  
*Yasemin Onal*

## Bölüm 13

---

- Aydınlatma Sistemlerinde Fotometrik Ölçmeler ve Aydınlatma  
Hesaplamaları 243  
*Süreyya Kocabey*

## Bölüm 14

---

- Tam Parlatılmış (Full Lappato) Porselen Karo Sırlarında Kompozisyona Bağlı  
Olarak Gözenek Gelişimi 259  
*Müge Tarhan*  
*Baran Tarhan*

## Bölüm 15

---

- Yapay Zekâ Uygulamaları, Eğitime Yansımaları ve Geleceğe İlişkin  
Yönelimler 271  
*Sezin Gülleryüz*  
*Ural Mustafa Özcan*





# Green Buildings for Climate Mitigation and Sustainable Air Conditioning

Kamil Kaygusuz<sup>1</sup>

## Abstract

Green buildings are energy efficient and environmentally responsible for sustainable human health development. Their design, construction and operational practices that consider sustainability will minimize their negative impact on the environment and people, while taking into consideration the financial impacts. Although solid energy policy architecture is in place, sustainable energy targets are weak, government support is limited, and bureaucratic hurdles for energy investment still frustrate potential investors. Most importantly, many top policymakers do not seem to be ready to play a productive role in designing a forward-looking, sustainable energy policy. Construction sector has a great potential to reduce total energy consumption through sustainable projects. All over the world policy makers have already realized the potential and begun setting some governmental goals. This paper discusses the green building concept for sustainable energy development.

## 1. Introduction

Climate change and its disastrous consequences are stimulating the transformation towards a sustainable development, with its increasing economic efficiency, protection and restoration of ecological systems and improvement of human well-being [1]. The maintenance of natural resources is a subject that often appears when sustainable development is considered. In addition, with increasing world population and economic development, the strain on resources is increasing. As economic development and environment are linked, the realization has set in to conserve energy and natural resources. The increased use of resources that cause pollution and emissions, highlight the need to save and conserve energy for sustainable development. In

---

<sup>1</sup> Department of Chemistry, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey  
E-mail: kamilk@ktu.edu.tr

engineering, sustainable building design is a design ideology, which harbors the notion of sustainable human development [2]. Sustainable development can be defined in various ways. Every individual will approach the issue of sustainability in a different manner depending upon various factors, such as, sustainability goals, background, awareness, and economic conditions [1-12].

Sustainability is providing opportunity of development to the future generation, in terms of resources [4]. One of the key aspects in sustainability is sustainable construction. Sustainable construction practices are such that they are based on ecological principles, with no environmental impacts, have a closed material loop, and have full integration into the landscape after the service life of the structure is over [5]. The concept of green buildings is the measure of our efforts in attaining that idealistic sustainable construction practices. Green Building is the “practice of creating structures and using processes that are environmentally responsible and resource-efficient throughout a building life-cycle from siting to design, construction, operation, maintenance, renovation, and deconstruction”. This definition has evolved over the years. “Green Buildings” is an ever evolving, dynamic term. Green Building is the status of our efforts in attaining sustainability in construction practices [6, 7].

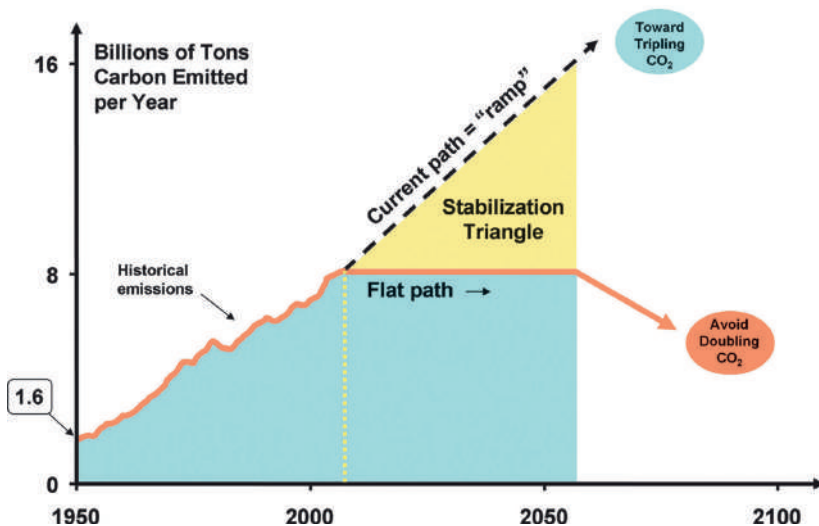
In order to be able to move towards our objective of sustainability, we should have a clear definition of what is called as a green and sustainable building, as it is defined by the US. Environmental Protection Agency (EPA) [5], “Green building is the practice of creating structures and using processes that are environmentally responsible and resource-efficient throughout a building’s life-cycle from siting to design, construction, operation, maintenance, renovation and deconstruction. This practice expands and complements the classical building design concerns of economy, utility, durability, and comfort. Green building is also known as a sustainable building [7-12].

## **2. Mitigating Climate Change**

The term climate change mitigation refers to strategies or actions that attempt to limit the scale and rate of long-time climate change [8-10]. A wide variety of measures are being attempted, including shifting to low-carbon energy systems represented by wind, solar, and nuclear technologies; designing compact urban areas with high-efficiency mass transit systems; improvements to the efficiencies of motors, appliances, and air-conditioning systems; and investments in bikeways and bicycling infrastructure, to

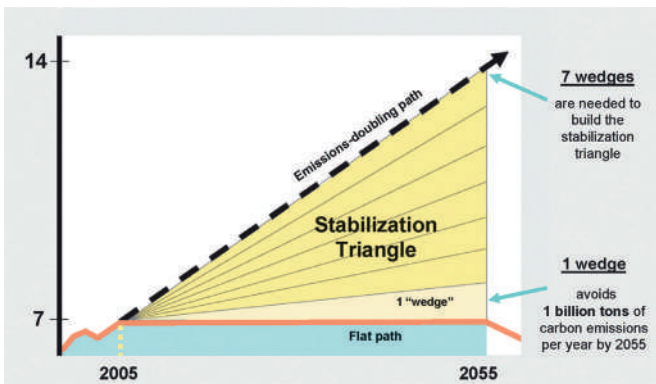
name but a few. The problem, as noted, is that the trajectory of increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations is such that it will take a vast coordinated international effort to maintain climate change gas concentrations at levels that will not cause certain catastrophe. We do know that CO<sub>2</sub> has increased by over 60% since the start of the Industrial Age 230 years ago, from 280 to 400 ppm. In just 30 years since 1990, CO<sub>2</sub> levels have increased from 350 to 450 ppm, about 45% of the total. This acceleration in CO<sub>2</sub> levels shows no sign of slowing down, and by 2040, we are likely to reach the critical 450 ppm level, the dividing line between a planet with glaciers, ice-covered poles, and snow-covered mountaintops and one that is ice-free world [11, 12].

A wide variety of possible remedies are associated with climate change mitigation, ranging from nontechnical, behavioral options to highly technical solutions that remove carbon from the atmosphere and store it in rock formations or caverns. This latter approach to handling climate change gases is often referred to as climate engineering. The storage of CO<sub>2</sub>, either by natural or climate engineering means, is known as carbon sequestration. The natural sequestration possibilities for the excess carbon being created by human actions include two major planetary environments: terrestrial and ocean [8-12].



*Figure 1. The climate stabilization wedge or triangle represents the amount of carbon must be prevented from entering the atmosphere to prevent the worst effects of climate change [8].*

The Carbon Mitigation Institute [8] described eight major carbon mitigation strategies, or stabilization wedges applied together in a comprehensive fashion, do have the potential to reduce CO<sub>2</sub> to 2000 levels by 2060. Each Stabilization Wedge can reduce human carbon emissions by 1.0 Gigaton (Gt) annually. Taken together, they constitute the triangular area in Figures 1 and 2 which represents the additional carbon that will be emitted if nothing is done to mitigate it, about 200 Gt. By 2060, if nothing is done and carbon emissions continue to increase, we can expect triple the atmospheric carbon of the pre-industrial era and an increase from 280 ppm to almost 900 ppm. If, in contrast, carbon emissions could be flattened and emissions would remain constant, the result would be the possibility of adapting to climate change without its worst effects. The Stabilization Triangle in these figures represents the quantity of carbon that can possibly minimize planetary scale disruptions, about 1.0 Gt per wedge in the triangle, or 8 billion tons total [8-12].



*Figure 2. The stabilization triangle has 8 wedges, each of which represents the prevention of 1 gigaton of carbon from entering the atmosphere [8].*

### 3. Green building concept

The term green building refers to the quality and characteristics of the actual structure created using the principles and methodologies of sustainable construction. Green buildings can be defined as “healthy facilities designed and built in a resource-efficient manner, using ecologically based principles” Similarly, ecological design, ecologically sustainable design, and green design are terms that describe the application of sustainability principles to building design. Despite the prevalent use of these terms, truly sustainable green commercial buildings with renewable energy systems, closed materials loops,

and full integration into the landscape are rare to nonexistent. Most existing green buildings feature incremental improvement over, rather than radical departure from, traditional construction methods. Nonetheless, this process of trial and error, along with the gradual incorporation of sustainability principles, continues to advance the industry's evolution toward the ultimate goal of achieving complete sustainability throughout all phases of the built environment's life cycle [9].

High-performance green buildings marry the best features of conventional construction methods with emerging high-performance approaches. Green buildings are achieving rapid penetration in the US construction market for three primary reasons [9]:

- a) Sustainable construction provides an ethical and practical response to issues of environmental impact and resource consumption. Sustainability assumptions encompass the entire life cycle of the building and its constituent components, from resource extraction through disposal at the end of the useful life of the materials. Conditions and processes in factories are considered, along with the actual performance of their manufactured products in the completed building. High-performance green building design relies on renewable resources for energy systems; recycling and reuse of water and materials; integration of native and adapted species for landscaping; passive heating, cooling, and ventilation; and other approaches that minimize environmental impact and resource consumption.
- b) Green buildings virtually always make economic sense on an LCC basis, although they may be more expensive on a capital, or first-cost, basis. Sophisticated energy-conserving lighting and air-conditioning systems with an exceptional response to interior and exterior climates will cost more than their conventional, code-compliant counterparts. Rainwater harvesting systems that collect and store rainwater for nonpotable uses will require additional piping, pumps, controls, storage tanks, and filtration components. However, most key green building systems will recoup their original investment within a relatively short time. As energy and water prices rise due to increasing demand and diminishing supply, the payback period will decrease (Kats 2003).
- c) Sustainable design acknowledges the potential effect of the building, including its operation, on the health of its human occupants. A 2012 report from the Global Indoor Health Network suggested that, globally, about 50 percent of all illnesses are caused by indoor air pollution.

Estimates peg the direct and indirect costs of building-related illnesses (BRIs), including lost worker productivity, as exceeding \$150 billion per year. Conventional construction methods have traditionally paid little attention to sick building syndrome BRI, and multiple chemical sensitivity until prompted by lawsuits. In contrast, green buildings are designed to promote occupant health; they include measures such as protecting ductwork during installation to avoid contamination during construction; specifying finishes with low to zero volatile organic compounds to prevent potentially hazardous chemical off-gassing; more precise sizing of heating and cooling components to promote dehumidification, thereby reducing mold; and the use of ultraviolet radiation to kill mold and bacteria in ventilation systems.

At the onset of the green building movement, several state and local governments took the initiative in articulating guidelines aimed at facilitating high-performance construction. The Pennsylvania Governor's Green Government Council (GGGC) used mixed but very appropriate terminology in its "Guidelines for Creating High-Performance Green Buildings." The lengthy but instructive definition of high-performance green building (see Table 1) focused as much on the collaborative involvement of the stakeholders as it did on the physical specifications of the structure itself. The issue of resource-conscious design is central to sustainable construction, which ultimately aims to minimize natural resource consumption and the resulting impact on ecological systems. Sustainable construction considers the role and potential interface with ecosystems to provide services in a synergistic fashion. With respect to materials selection, closing materials loops and eliminating solid, liquid, and gaseous emissions are key sustainability objectives [9-12]

*Table 1. High-performance green building project*

- 
- A project created via cooperation among building owners, facility managers, users, designers, and construction professionals through a collaborative team approach.
  - A project that engages the local and regional communities in all stages of the process, including design, construction, and occupancy.
  - A project that conceptualizes a number of systems that, when integrated, can bring efficiencies to mechanical operation and human performance.
  - A project that considers the true costs of a building's impact on the local and regional environment.
  - A project that considers the life-cycle costs of a product or system. These are costs associated with its manufacture, operation, maintenance, and disposal.
  - A building that creates opportunities for interaction with the natural environment and defers to contextual issues such as climate, orientation, and other influences.
  - A building that uses resources efficiently and maximizes use of local building materials.
  - A project that minimizes demolition and construction wastes and uses products that minimize waste in their production or disposal.
  - A building that is energy- and resource-efficient.
  - A building that can be easily reconfigured and reused.
  - A building with healthy indoor environments.
  - A project that uses appropriate technologies, including natural and low-tech products and systems, before applying complex or resource-intensive solutions.
  - A building that includes an environmentally sound operations and maintenance regimen.
  - A project that educates building occupants and users to the philosophies, strategies, and controls included in the design, construction, and maintenance of the project
-



Green and sustainable building refers to a structure and using process that is environmentally responsible and resource-efficient throughout a building's life-cycle: from siting to design, construction, operation, maintenance, renovation, and demolition. This practice expands and complements the classical building design concerns of economy, utility, durability, and comfort [1-12]. Figure 3 shows six photographs for the green building concept.





*Figure 3. There are six design concepts for green buildings.*

Although new technologies are constantly being developed to complement current practices in creating greener structures, the common objective is that green buildings are designed to reduce the overall impact of the built environment on human health and the natural environment by [4]:

- Efficiently using energy, water, and other resources,
- Protecting occupant health and improving employee productivity,
- Reducing waste, pollution and environmental degradation.

Green building brings together a vast array of practices and techniques to reduce and ultimately eliminate the impacts of new buildings on the environment and human health. It often emphasizes taking advantage of renewable resources, e.g., using sunlight through passive solar, active solar, and photovoltaic techniques and using plants and trees through green roofs, rain gardens, and for reduction of rainwater run-off. Many other techniques, such as using packed gravel or permeable concrete instead of conventional concrete or asphalt to enhance replenishment of ground water, are used as well [1-7].

Green buildings often include measures to reduce energy use. To increase the efficiency of the building envelope, they may use high-efficiency windows and insulation in walls, ceilings, and floors [1-3]. Another strategy, passive solar building design, is often implemented in low-energy homes. Designers orient windows and walls and place awnings, porches, and trees to shade windows and roofs during the summer while maximizing solar gain in the winter. In addition, effective window placement (daylighting) can

provide more natural light and lessen the need for electric lighting during the day. Solar water heating further reduces energy loads. Reducing water consumption and protecting water quality are key objectives in sustainable building. One critical issue of water consumption is that in many areas, the demands on the supplying aquifer exceed its ability to replenish itself. To the maximum extent feasible, facilities should increase their dependence on water that is collected, used, purified, and reused on-site [4, 6, 7].

Building materials typically considered to be ‘green’ include (Expanded polystyrene) rapidly renewable plant materials like bamboo (because bamboo grows quickly) and straw, lumber from forests certified to be sustainably managed, insulated concrete forms, dimension stone, recycled stone, recycled metal, and other products that are non-toxic, reusable, renewable, and/or recyclable. The US Environmental Protection Agency (USEPA) also suggests using recycled industrial goods, such as coal combustion products, foundry sand, and demolition debris in construction projects [5].

#### **4. Solar energy systems in green buildings**

Developments in solar energy are accelerating so rapidly it’s hard even for experts to keep up. Technologies coming out of the lab only a couple of years ago are already having an effect on the designer’s choices and on the marketplace. We can expect future advancements in solar buildings to be rapid and profound [9]. We may not be able to predict the future, but we can perceive some of the characteristics of what must be over the horizon. It must be carbon neutral in this climate changing world. Now we realize that we can’t put all our eggs in one basket, and whatever energy picture we evolve to is going to incorporate a lot more diversity of supply than it does now. It’s going to have to be efficient. It’s going to have to involve local jobs. It’s going to have to have a low impact on the environment, on the facilities, and on the infrastructure of the facilities where it’s installed. It’s going to have to be affordable, and it’s going to have to be secure [9-12].

Let’s discuss the solar energy technologies within the context of these characteristics. Energy is an issue at the intersection of security, economics, and the environment, where there are certainly risks and vulnerabilities, but also opportunities. The ability of solar energy to solve problems in one of these sectors may alleviate problems in some of the other sectors. Life on Earth has always depended on energy from the sun. Our food energy comes from photosynthesis caused by the sun in plants. The fossil fuels that we currently rely on are solar energy, captured and saved by plants over the span of 50 to 450 million years. We have been using that stored fuel at a rapid

rate for more than 100 years, and, in the process, moving carbon from the lithosphere to the atmosphere [9].

Even before fossil fuels run out—which they inevitably will—we may be forced to consider alternatives because of the environmental consequences of burning them. One alternative, solar energy, has long been used in buildings; Socrates made reference to it thousands of years ago. A recent reawakening interest in the health and comfort benefits of natural systems has caused its revival for use in building design. Principal ways of using solar energy in buildings include the following:

- Daylighting
- Passive solar heating
- Solar water heating
- Photovoltaics (electricity)
- Solar ventilation air preheating

New technologies, such as photovoltaics that convert solar energy cleanly and silently into electricity and super-insulated windows that admit visible light while screening out ultraviolet and infrared rays, provide today's designer with powerful new tools in the utilization of solar energy. It is now technically feasible to provide all of a building's energy needs with solar energy. Solar is even the least costly option in areas where delivery of fossil fuels or provision of electric power is expensive. Many solar energy applications are cost-effective already, and, as the price of conventional utilities continues to rise, more and more solar energy features will find their way into green buildings [8-12].

The sun is a nuclear reactor 93,000,000 miles from Earth, streaming radiant energy out into space. The intensity on a sunny day is around 1,000 watts/m<sup>2</sup>, a value respected by anyone who has been sunburned or momentarily blinded by the brightness. Enough solar energy reaches the Earth to power the world economy 13,000 times over. In fact, 20 days worth of solar radiation is equal to the capacity of all our stored fossil fuel from gas, coal, and oil resources. There is no question that solar energy is of adequate quantity to meet our energy needs. The emphasis is rather on how it can be integrated into building design, given the distributed and intermittent nature of the solar resource.

## 5. Green building economics

The market for green buildings in the world continues to increase both in size and in market share. It is reported that the market size of green construction, including both residential and nonresidential buildings, had jumped fourfold in just three years, from \$100 billion in 2010 to \$190 billion in 2022 and was expected to range between \$255 billion and \$371 billion in 2030. In 2020, it was estimated that new nonresidential green construction represented 35 to 45% of total construction volume. The three sectors with the greatest rate of market growth and penetration are education, health care, and office buildings. Green building data from MHC indicate that there are several major trends in the ongoing shift to green buildings [9].

First, the bigger the building project, the more likely it is to be a high-performance building. Because health care projects tend to be larger, the number of green health care projects is growing very rapidly. Over 80% of projects at least \$80 million in size are including the US Green Building Council (USGBC) Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) building rating system in their specifications. Second, throughout the United States, schools at all levels from K-12 to university are high-performance green buildings, and green building activity in the educational sector was between \$23 billion and \$32 billion in 2020. This rapid growth rate is likely being propelled by a combination of state and local mandates that require schools to be certified as green buildings. Third, a significant number of federal, state, and local governments are requiring that publicly owned buildings be high-performance green buildings [9].

Understanding building economics is important for any construction project, but it is especially important for high-performance green buildings because justifying this approach can involve somewhat more complex analysis than for conventional construction. High-performance buildings can produce benefits for their owners in a diverse range of categories: energy, water, wastewater, health and productivity, operations and maintenance (O&M), maintainability, and emissions, to name a few. To address the scope of benefits, the building team must be able either to quantify the effects of their decisions by using simulation tools or to rely on the best available research and evidence gathered from other projects [9].

An analysis of the financial benefits of high-performance green buildings concluded that significant benefits could be attributed to this type of delivery system and that there was a correlation between the LEED-NC rating and the financial return. Table 2 indicates that for a typical high-performance

building, the total net present value (TNPV) of the energy savings over a 20-year life cycle is \$5.79 per square foot, with other notable per square foot savings from reduced emissions (\$1.18), water (\$0.51), and O&M savings resulting from building commissioning (\$8.47). Table 2 also shows productivity and health savings per square foot of \$36.89 for LEED certified and silver buildings and \$55.33 for LEED gold and platinum buildings. The 20-year TNPV per square foot in the table represents the sum of the annual net present values for comparison with the investment in green attributes. Clearly, the productivity and health benefits of high-performance green buildings dominate this discussion, and for gold and platinum buildings, the claim is that the savings are almost 10 times greater than the energy savings. It is important to point out, however, that although these claims are generally accepted by high-performance building practitioners, most of those made for productivity and health improvements are based on anecdotal information, not scientific research. The 20-year TNPV is \$67 for certified and silver buildings and \$771 for gold and silver buildings. The magnitude of these benefits is very impressive when considering that, on average, the incremental construction cost ranges from about \$2.50 per square foot for LEED-certified buildings to about \$9.50 per square foot for LEED platinum buildings.

*Table 2. Value of Various Categories of Savings for Buildings Certified by the USGBC*

Category	20-Year TNPV/ft <sup>2</sup> *
Energy value	\$6.86
Emission value	\$1.64
Water value	\$1.24
Waste value-construction only, 1 year	\$0.08
Commissioning O&M** value	\$9.64
Productivity and health value (certified and silver)	\$47.86
Productivity and health value (gold and platinum)	\$67.88
Less green cost premium	(\$6.00)
Total 20-year NPV (certified and silver)	\$59.67
Total 20-year NPV (gold and platinum)	\$78.64

*\*Net present value (NPV) is the net savings for each year, taking into account the discount rate (time value of money). The 20-year TNPV is the sum of the NPVs for all 20 years and represents the total life-cycle savings*

*\*\*O&M commissioning ensures that the building is built and operated according to the design and results in substantially lower O&M costs [9].*

A side-by-side analysis of two prototype buildings by the US Department of Energy's Pacific Northwest National Laboratory and the National

Renewable Energy Laboratory (NREL) compared the costs and benefits of investing in high-performance buildings. A base two-story, 20,000-ft<sup>2</sup> (1858-m<sup>2</sup>) building with a cost of \$2.4 million meeting the requirements of the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers' (ASHRAE) Standard 90.1-1999 was modeled using two energy simulation programs, DOE-2.1e and Energy-10, and compared to a high-performance building that added \$47,210 in construction costs, or about 2 percent, for its energy-saving features. Table 3 summarizes the results of this study. The features listed in the table are those for which an additional investment was made to produce the high-performance version of the NREL prototype building:

- Building commissioning, as noted previously, can produce significant savings by ensuring that the mechanical systems are functioning as designed.
- Natural landscaping and storm-water management produce savings due to the elimination of infrastructure and the use of easily maintainable native plants.
- Raised floors and movable walls produce savings by improving the flexibility of a building, reducing renovation costs.

*Table 3. Comparison of Costs and Savings for NREL Prototype Buildings*

Feature	Added cost	Annual Savings
Energy efficiency measures	\$51,000	\$6,400
Commissioning	\$6,400	\$3,500
Natural landscaping, storm-water management	\$6,900	\$5,100
Raised floors, movable walls	\$60	\$48,000
Waterless urinals	\$698	\$58,420
<b>Total</b>	\$65,160	\$121,420

*Source [9]*

The results of this comparison are remarkable: They indicate that the annual savings produced by the high-performance version are about equal to the added construction cost, producing a simple payback in just over one year. The additional capital costs often associated with high-performance buildings are a function of several factors. First, these buildings often incorporate systems that are not typically present in conventional buildings, such as rainwater harvesting infrastructure, daylight-integrated lighting controls, and energy recovery ventilators.

Second, green building certification (fees, compilation of information, preparation of documents, cost of consultants) can add markedly to the costs of a project. And, finally, many green building products cost more than their counterparts, often because they are new to the marketplace and demand is only in the process of developing. In this last category are many nontoxic materials, such as paints, adhesives, floor coverings, linoleum, and pressed strawboard used in millwork, to name but a few of the many new green building products emerging to serve the high-performance building market. Conversely, cost reductions for some building systems are achievable in green buildings—for example, in heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems—that can be downsized as a consequence of improved building envelope design [7, 9].

However, additional energy-saving components such as energy recovery ventilators, premium high-efficiency motors, variable-frequency drives for variable air volume systems, carbon dioxide sensors, and many others all add to the front-end capital cost. As for every other type of project, understanding the economics of the situation and including them in the decision-making process is of crucial importance. As described earlier, the classical approach used in assessing high-performance building economics is life-cycle costing (LCC), which includes a consideration of both first cost [7, 9].

These two major cost factors are combined in a cost model that takes into account the time value of money, the cost of borrowed money, inflation, and other financial factors. They are then combined into a single value, the TNPV of the annual costs, and the selection of alternatives is based on an evaluation of this quantity. In some cases, due to legislated requirements, only the capital cost is considered [7]. For example, the state of Florida allows decisions on building procurement to be made solely on the basis of capital costs, whereas the US government requires that an LCC approach be used. Producing a high-performance public sector building in Florida can be very challenging; therefore, finding creative mechanisms for investing in higher-quality construction is imperative. One potential mechanism is the creation of a revolving fund from which building owners or users can borrow and that can be repaid through savings over time [9].

## 6. Conclusions

It was concluded that the sustainability can minimize the harmful impact of the conventional buildings on environment, economy and people in using green materials, technologies. “Sustainable” or “green” buildings use key resources like energy, water, and materials more efficiently than conventional



(non-sustainable) buildings. Furthermore, sustainable buildings increase natural light, incorporate high-performance systems, rainwater system, and improve air flow for occupants. Accordingly, if sustainable principles can be used in building projects, then numerous benefits of green buildings may be achieved, as follows:

- *Environmental benefits:* Enhance and protect biodiversity and ecosystems; Improve air and water quality; Reduce waste streams, and; Conserve and restore natural resources.
- *Economic benefits:* Reduce operating costs; Improve occupant productivity, and; Optimize life-cycle economic performance.
- *Social benefits:* Enhance occupant health and comfort; Improve indoor air quality; Minimize strain on local utility infrastructure, and; Improve overall quality of life.

**Acknowledgement-**The author acknowledged to Turkish Academy of Sciences for financial support of this study.

## References

- [1] Woolley, T., Kimmins, S., Harrison, P., Harrison, R. Green Building Handbook: A guide to building products and their impact on the environment. Spon Press, 2001, London.
- [2] Florian Steinberg, F., Werner, S. Green Buildings. EC-Link Working Papers: edited by Florian Steinberg and Li Chunyan, June 2017.
- [3] Yudelson, J. The Green Building Revolution. Island Press, Washington, DC 2009.
- [4] Güney, MS., Kaygusuz, O. Green buildings for sustainable energy development. Journal of Engineering Research and Applied Science 2019; 8(1): 1068-1076.
- [5] USEPA (2009). “Green Building Basic Information. Retrieved: U.S. Environmental Protection Agency.” (October 28, 2018, Retrieved Available from: <http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/about.htm> (Accessed in Oct. 11, 2016).
- [6] Kubba, S. Handbook of green building design and construction. 2<sup>nd</sup> Elsevier, Paris, 2017.
- [7] Kibert, CJ. Sustainable Construction Green Building: Design and Delivery. 3<sup>rd</sup> Ed. John Wiley & Sons, New Jersey, 2013.
- [8] UN World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.
- [9] Kibert, CJ. Sustainable Construction Green Building: Design and Delivery. 4<sup>th</sup> Ed. John Wiley & Sons, New Jersey, 2016.
- [10] Kats, G. H. 2003. The costs and financial benefits of green buildings. A report developed for California’s Sustainable Building Task Force. Available at, [www.cap-e.com](http://www.cap-e.com).
- [11] US Green Building Council. 2003. Building Momentum: National Trends and Prospects For High-Performance Green Buildings. Washington, DC: US Green Building Council.
- [12] World Green Building Council. 2015. Health, wellbeing and productivity in offices: The Next Chapter in Green Building. Available at [www.worldgbc.org/](http://www.worldgbc.org/)



# An Alternative Airfoil Design and Analysis for a Small Commercial Aircraft with Inverse Design Method

Ahmet Şumnu<sup>1</sup>

Batuhan Atasoy<sup>2</sup>

İbrahim Halil Güzelbey<sup>3</sup>

## Abstract

Airfoil is one of the most important design criteria in aircraft design. It directly affects the performance and stability against to the air conditions. They have special shapes to perform the pressure differences at the top and bottom edge, making the aircraft to fly stable. However, flow analysis may be performed at different compressible flow regimes, such as subsonic, transonic, supersonic, or hypersonic regimes. So, it is vital to design the airfoil and wings with respect to the operational altitude, stall characteristics and stability criteria.

In this study, the NACA3512 airfoil model has been analysed by using the Raytheon's Beechcraft 1900D commercial aircraft. To do this, its performance parameters have been used for the airfoil performance analysis. In the first part of the analysis, a hybrid methodology to validate the stability results, then they have been used to determine the performance characteristics of the aircraft. During the analysis, satisfactory results have been obtained, however to provide a better stability to the aircraft, novel studies are going to be conducted.

- 
- 1 Assist. Prof. Dr.,İskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Aerospace Engineering Department, ahmet.sumnu@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1514-6048.
  - 2 Istanbul Technical University, Department of Mechatronics Engineering, batuhan.atasoy@indibilisim.com.tr, ORCID: 0000-0002-7823-8698
  - 3 Prof. Dr., Department of Mechanical Engineering, guzelbeyih@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2522-3705

## 1. Introduction

Airfoil is the most important element of the aircraft. The main function of airfoil is to generate lift force. For an aircraft, it has also a function to give the direction using flaps, ailerons to control pitching, yawing and rolling. In order to design an airfoil, there are two methods that are Direct Analysis Method and Inverse Analysis Method, widely used. The analyses related with air vehicles aerodynamics have been performed to improve performance and reduce cost of design air vehicle by applying some optimization and analysis methods. The following paragraphs are mentioned previous studies for air vehicles design and aerodynamic analysis.

The aerodynamic analysis using wind tunnel test for unmanned air vehicles (AUVs) wings design were carried out to determine aerodynamic parameters that are lift, drag and pitching moment at low aspect ratio and low Reynolds numbers by Gabriel and Mueller (2004). The other AUV design study was proposed by Shelton et al. (2006). The study demonstrated the performance of active and passive winglets in point of aerodynamics design and the results of methods were compared each other.

In order to increase aerodynamic performance, active and passive flow control methods are applied for air vehicle wings. Zhen et al. (2011) presented passive flow control study for an AUV wings using rectangular, triangular and curve-edge vortex generators (VGs). The results showed that the lift coefficient increased when the VGs were placed at near the separation point on the wing. The active flow control study was proposed to suppress the flow separation for a wing using synthetic jet actuators (Amitay et al., 2001).

In the design problem, optimization methods are applied to obtain reasonable results in point of energy efficiency and cost of the designed vehicle. In the aerodynamic design, it is difficult to find high lift conditions for wings due to flow physics and determination of the design parameters. Pehlivanoglu (2019) proposed optimization study to design high lift system for airfoil using Particle Swarm Optimization (PSO). The inverse design of airfoils was improved using Bezier curve and Vortex elements method was used to perform flow-field analysis (G.S. and Lal, 2018). Barrett et al. (2006) proposed airfoil design using inverse design method and optimization was applied to reduce design parameters. Elliott and Peraire (1997) presented the aerodynamic design by applying optimization and using unstructured mesh for a business jet. Garabedian and McFadden (1982) analysed and designed the supercritical swept wing and improved formula for finding wave drag. One another aerodynamic design study was

carried out for two-dimensional transonic airfoil shape and the solution was achieved by combined Newton method and integral boundary layer analysis due to viscous effect (Giles and Drela, 1987). Selig and Maughmer (1992) also presented inverse airfoil design and performed the flow solution using incompressible potential flow with direct integral boundary layer method. Gopalathnam and Selig (1998) presented multipoint airfoil design using method of two-dimensional panel method. Using control theory, the airfoil design was performed by Jameson and Reuther (1994). The aim of the study was also extended the Euler equations to solve three-dimensional complex shape. Kim et al. (2004) presented design study to obtain high-lift airfoil configuration using three airfoil design variables and the solutions were performed for compressible flow using Reynolds-Average Navier-Stokes (RANS) equations with Spalart-Allmaras turbulence model. It was concluded that the lift coefficient maximized and lift to drag ratio also increased for the two airfoil designs.

The design of morphing airfoil was proposed to perform the topology optimization at supersonic flow and the evolutionary design method was used that it provided the unique topologies for designing bio-inspired aircraft system (Hodson et al., 2019). The similar study related with inverse airfoil design using genetic algorithm with new parameterization shape methods was carried out and the computational time was also reduced by about half (Jahangirian and Shahrokhi, 2009). The study was proposed to design airfoil using inverse airfoil code that is called PROFOIL by Jepson and Gopalathnam (2005). This formulation can prevent the stall formation by constraining the speed of aircraft and accounting the lift coefficient. Nili-Ahmadabadi et al. (2010) focused on inverse design method for 2D incompressible viscous flow using flexible string algorithm. The improved design algorithm gave reasonable results in point of robustness, and it can be used for commercial flow analysis. Papadimitriou and Giannakoglou (2013) presented aerodynamic design by analysing third-order sensitivity and two-dimensional airfoil shape design was performed to validate it. Poole et al. (2015) also proposed airfoil design using independent design variables of airfoil and performing the metric-based mathematical derivation. Tang et al. (2007) performed the new study to find optimum shape design for airfoil using the adjoint method and a formulation that is derived from game theory. Another inverse design problem was carried out for subsonic and transonic flow regime using Elastic Surface Algorithm and it was observed that the used algorithm was effective for an airfoil design and it also increased the convergence rate (Safari et al., 2014). The study for inverse and direct

design problem of transonic airfoil was implemented using multi-objective Genetic Algorithm by Vicini and Quagliarella (1997).

In the previous study, there are few studies performed using DATCOM code that is embedded in MATLAB. In our study, the performance of an aircraft at cruise flight is analysed by using Inverse Analysis Method. During analysis, apart from the analytical methods, the aerodynamic performance of the designed airfoil is compared and proved with numerical methods by using MATLAB and XFLR5 analysis software.

## 2. Methodology

Aircraft wing design is based on principals such that improved stability, conceptual design criteria and design limitations of the aircraft. Such include the lift ( $c_L$ ), drag ( $c_D$ ) and pitching moment ( $c_M$ ) coefficients, Lift over Drag Ratio ( $c_L/c_D$ ), stall angle ( $\alpha$ ), multimodal and vibrational analysis for various loads onto it. The main checkpoints for the aircraft wing design are, the operational altitude ( $h$ ) and Mach number ( $M$ ). While airfoil profile directly affects the lift ( $L$ ) and drag forces ( $D$ ), it is also important to provide improved stability for the take-off, cruise, and landing flights.

As the first part, aerofoils are designed with droplet model, which represents to the geometry of them. It is important to design their geometry with respect to the detection of lift and drag forces firstly, to perform the flight operations, and then finding the pitching moment coefficient to determine the stability of the aircraft.

According to the droplet model, an aerofoil is the function of position, so the main concepts of aerofoil design are defined and sketched in Figure 1:

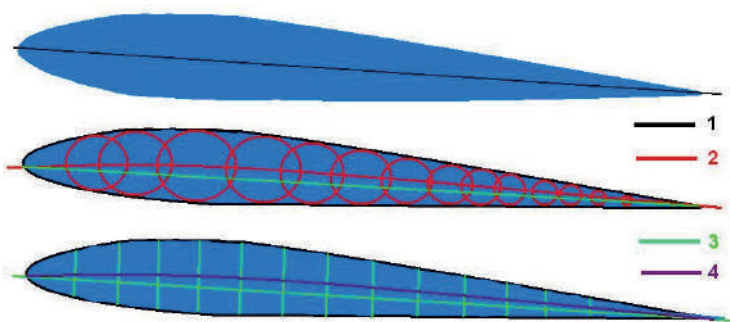


Figure 1: Main Concepts of Aerofoil Design (1: Chord Line, 2: Camber Line, 3: Length, 4: Midline) (NACA airfoil, n.d)

In this study, NACA 4-digit aerofoil model has been used for the aerodynamic design and analysis processes. The meaning of 4 digit is revealed in Figure 2.

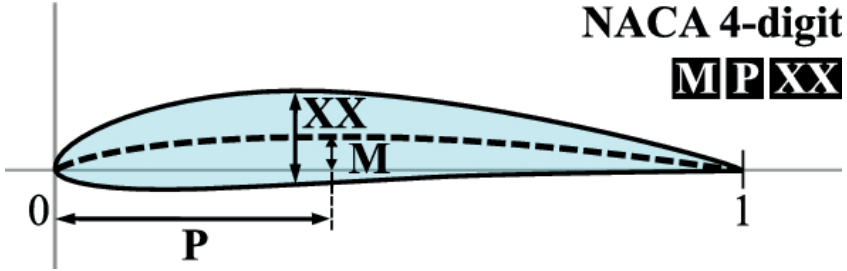


Figure 2: NACA 4-Digit Aerofoil Model Nomenclature (Arias-Rosales and Osorio-Gómez, 2020)

Where,

**M**: Maximum camber of the hundredths of chord

**P**: Location of the maximum camber

**XX**: Maximum thickness in hundredths of chord

According to the model, if the camber line is parallel to the main chord line, then the aerofoil models are considered to be symmetrical. For symmetrical aerofoils, the thickness model is represented in Equation 1.

$$y_t = 5t[0.2969\sqrt{x} - 0.1260x - 0.3516x^2 + 0.2843x^3 - 0.1015x^4] \quad (1)$$

Where

$y_t$ : Vertical Position of the Aerofoil

$x$ : Horizontal Position of the Aerofoil with respect to 0 to 100%

$t$ : Percentage of the Maximum Thickness Value

The leading edge is considered to be a cylinder of a chord-normalized radius of,

$$r = 1.1019t^2 \quad (2)$$

And finally the upper ( $x_u, y_u$ ) and lower ( $x_l, y_l$ ) coordinates are represented below as,

$$x_u = x_l = x, \quad y_u = y_t, \quad y_l = -y_t \quad (3)$$

For asymmetric (cambered) aerofoils, the position equations become,



$$y = \begin{cases} \frac{m}{p^2} (2px - x^2), & 0 \leq x \leq p \\ \frac{m}{(1-p)^2} ((1-2p) + 2px - x^2), & p \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

Where,

**m**: the Maximum Camberness Ratio

**p**: the Location of Maximum Camberness

For the cambered aerofoils, the upper and lower coordinates become,

$$x_u = x - y_t \sin(\theta), \quad y_u = y_c + y_t \cos(\theta), \quad (5)$$

$$x_l = x + y_t \sin(\theta), \quad y_l = y_c - y_t \cos(\theta),$$

Where,

$$\theta = \arctan\left(\frac{dy_c}{dx}\right)$$

$$\frac{dy_c}{dx} = \begin{cases} \frac{2m}{p^2} (p - x), & 0 \leq x \leq p \\ \frac{2m}{(1-p)^2} (p - x), & p \leq x \leq 1 \end{cases}$$

(Equation 7)

To detect the aircrafts performance parameters, one can use lift coefficient ( $c_l$ ) characteristics are inspected with respect to the angle of attack ( $\alpha$ ). A typical lift coefficient-angle of attack curve is sketched in Figure 3.

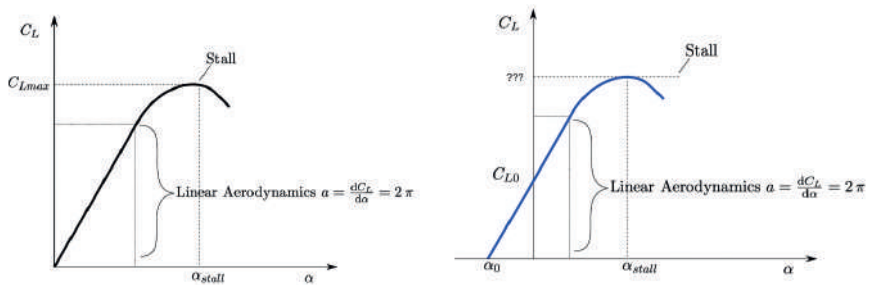


Figure 3: Lift Coefficient-Angle of Attack Curve for Symmetric (Left) and Cambered (Right) (Assumed Knowledge, Retrieved from Aircraft Flight Mechanics by Harry Smith, 2022)

Hence the symmetric curves give 0 lift coefficient for the 0° angle of attack, cambered aerofoils are employed because their zero-lift force occurs

in negative angle of attack values. Using linearized region until the stall angle, the lift coefficient can approximately be found as,

$$\frac{dc_l}{d\alpha} \approx 2\pi \quad (8)$$

By taking the integral, then

$$c_l = 2\pi(\alpha - \alpha_0) \quad (9)$$

After that the lift and drag forces can be determined by,

$$L = c_l \left( \frac{1}{2} \rho v^2 \right) A \quad (10)$$

$$D = c_d \left( \frac{1}{2} \rho v^2 \right) A \quad (11)$$

Where,

L: Lift Force (N)

D: Drag Force (N)

$c_l$ : Lift Coefficient

$c_d$ : Drag Coefficient

$\rho$ : Density of Outside Medium (kg/m<sup>3</sup>)

v: Aerofoil Speed (m/sec)

As a starting point of the analysis, Beechcraft 1900D aircraft has been selected for the performance analysis of the wing design. The aircraft's itself has been shown in Figure 4 and Its performance data has been tabulated in Table 1. (Beechcraft 1900D Airplane Flight Manual)



Figure 4: Raytheon Beechcraft 1900D (Beechcraft 1900, n.d.)( Beech 1900 Airliner)

**Table 1: Beechcraft 1900D Performance Data (Raytheon: Beechcraft 1900D Passenger Specifications and Performance, 2010)**

<b>Crew</b>	1 (2 for airline operations)
<b>Capacity</b>	19 passengers
<b>Length</b>	57 ft 8 in (17.62 m)
<b>Wingspan</b>	57 ft 9 in (17.64 m)
<b>Height</b>	15 ft 5 in (4.72 m)
<b>Empty Weight</b>	10434 lb (4732 kg)
<b>Useful Load</b>	6356 lb (2882 kg)
<b>Max. Takeoff Weight</b>	17120 lb (7764 kg)
<b>Powerplant</b>	2 × Pratt & Whitney Canada PT6A-67D turboprops. 1279 HP (955 kW) each
<b>Fuel Capacity</b>	4484 lb
<b>Fuel Type</b>	Jet A recommended. also others usable
<b>Cruise Speed</b>	280 knots (518 km/h 322 mph) at 20000 ft (6100 m)
<b>Range</b>	707 km with 19 passenger payload (439 mi)
<b>Ferry Range</b>	2,306 km (1432 mi)
<b>Service Ceiling</b>	25,000 ft (7620 m)
<b>Rate of Climb</b>	2,615 ft/min (797 m/min)
<b>Avionics</b>	Rockwell Collins EFIS-84 Electronic Flight Instrument System

### 3. Analysis

Utilizing the performance parameters, the maximum cruise speed at 20000 ft has been limited to 518 km/hr, corresponding the Mach number of  $M \leq 0.3$ . So, to improve the airfoil design, 2 cases have been considered.

**Case 1:** In the cruise flight analysis, the maximum Reynolds Number (Re) for the boundary to turbulence is approximately 500000.

**Case 2:** If the Mach number for cruise flight is less than or equal to the 0.3, then the flow model of air is considered to be incompressible. Otherwise, it is valid for the air to be compressible.

Combining the considerations with aircraft’s performance data, the analysis has been shown in Figure 5.

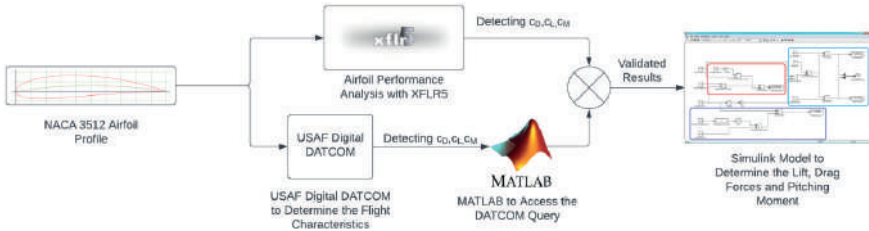


Figure 5: The Developed Model to Detect the Gliding Parameters

Using the Beechcraft 1900S’ performance parameters, Reynolds Number at the trailing edge have been determined as  $8.80 \times 10^6$ , so the flow is turbulent. Then the Mach number of the aircraft at its operational altitude (5000 m for the cruise flight) have been determined as approximately 0.40, resulting the flow as compressible. To analyse its gliding performance, Vortex Lattice Method (VLM)-based analyses have been conducted via XFLR5 software. The cruise flight parameters have been tabulated in Table 2.

Table 2: Cruise Flight Parameters of the Aircraft at 5000 m Altitude

Geopotential Altitude Above Sea Level, $h$ (m)	Temperature, $T$ ( $^{\circ}C$ )	Acceleration of Gravity, $g$ ( $m/s^2$ )	Absolute Pressure, $P$ ( $*10^4 N/m^2$ )	Density, $\rho$ ( $10^{-1} kg/m^3$ )	Dynamic Viscosity, $\mu$ ( $*10^{-5} N.s/m^2$ )
5000	-17.47	9.791	5.405	7.364	1.628

After that the first part of the analysis, the computer-aided airfoil model has been sketched in Figure 6.

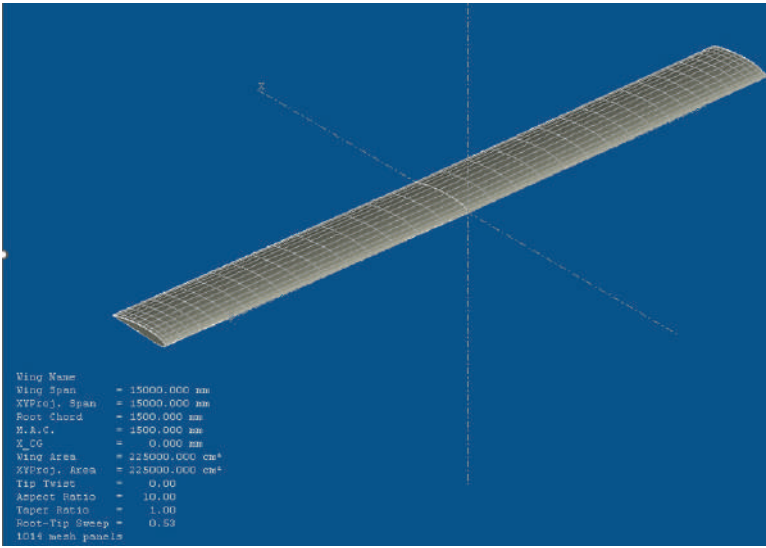


Figure 6: NACA3512 Airfoil CAD Model of Performance Parameters

Then the analyses with Mach number of 0.4 and the Reynolds Numbers ranging from  $8 \times 10^6$  to  $8.5 \times 10^6$  with XFLR5 have been revealed in Figure 7.

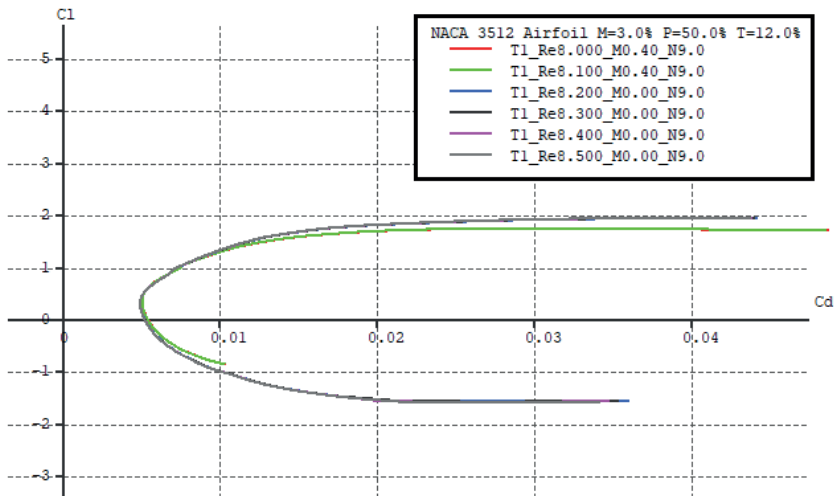


Figure 7: Lift-to-Drag Ratio Graph for 0 Degrees Angle of Attack

In the first analysis, the minimum Lift-over-Drag Ratio have been determined as 80. Then the lift coefficient-angle of attack graph has been plotted in Figure 8.

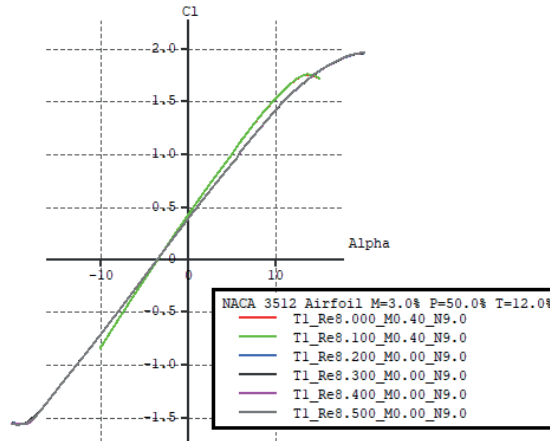


Figure 8: Lift Coefficient-Angle of Attack Graph for NACA 3512 Aerofoil

With respect to the graph, the stall angles for the aerofoil have been determined as 13 degrees. To determine the stability of the aerofoil, Pitching Moment-Angle of Attack graph has been plotted in Figure 9.

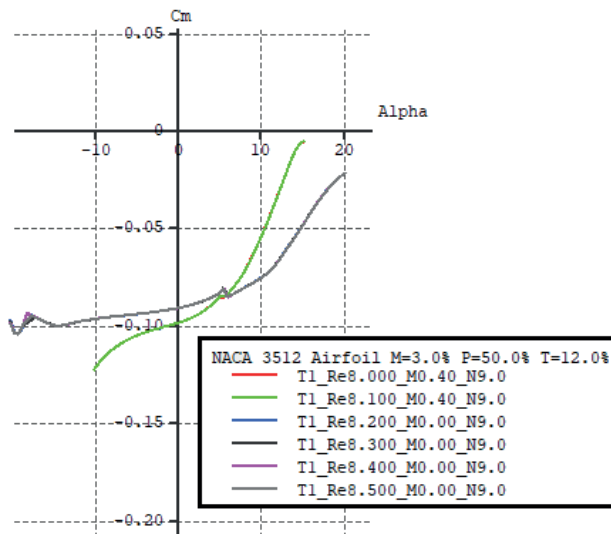


Figure 9: Pitching Moment-Angle of Attack Graph for NACA3512 Airfoil

At that analysis, the pitching moment coefficients have been determined as negative values, in which it has a direct effect in the design process.

At the second part of the analysis, the gliding parameters of NACA3512 airfoil have been performed utilizing DATCOM database and MATLAB.  $c_L$ - $\alpha$  graph have been sketched in Figure 10.

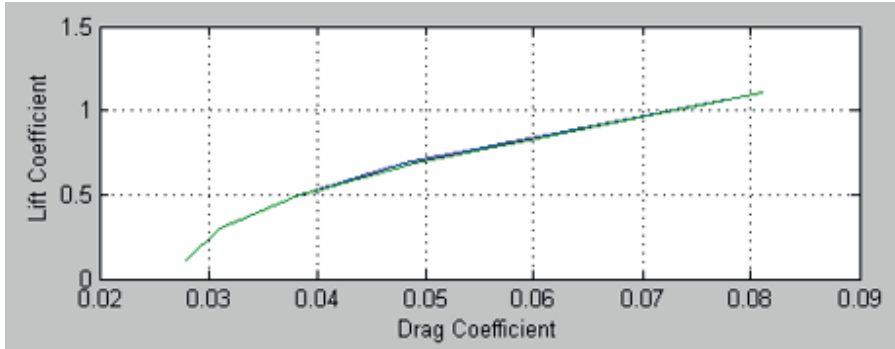


Figure 10: MATLAB-DATCOM Lift-over-Drag Graph for NACA3512 Airfoil

As the second part of the analysis, the developed MATLAB-DATCOM database has determined the minimum Lift-over-Drag ratio as approximately 80, having similar results with XFLR5.

As the final part of the analysis, the Lift and Drag forces for the cruise flight have been determined in the developed Simulink software. The simulation has been sketched in Figure 11.

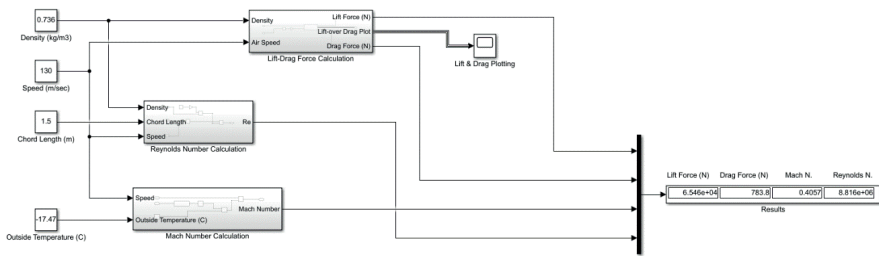


Figure 11: Simulink Model to Detect Gliding Parameters of NACA3512 Airfoil

After the successive analysis for the cruise flight, flight parameters and changes have been tabulated in Table 3.

*Table 3: Comparison of Original Airfoil and NACA3512 Airfoil for Raytheon Beechcraft 1900D*

	With Original Airfoil	With NACA3512 Airfoil	Change (%)
Lift Force (N)	76165	65460	-12.91
Stall Angle (Degrees)	10	13	+30

#### 4. Results and Discussion

In this study, a hybrid methodology has been designed to detect the performance parameters for the Raytheon's Beechcraft 1900D commercial aircraft. To do this, inverse optimization methods have been used.

In order to perform the analyses, firstly the performance parameters of the aircraft at cruise flights have been determined. As the flow regime is turbulent at the trailing edge and the Mach number during its cruise flight, the air flow has been determined as compressible, however it has also determined as subsonic flow. So, Vortex Lattice Method-based methods gives satisfactory results for subsonic flows, then the first analysis have been conducted with XFLR5 software. In the first analyses, the minimum Lift-over-Drag Ratio has been determined as 80. Then, DATCOM-based second analysis has been held, which corresponds to give the similar results with the first analysis part. Then the validated results have been analysed via developed Simulink model.

At the end of the analysis, there exist differences between the original airfoil and NACA3512 airfoil, such that the lift force has decreased by approximately 13%, on the other hand, stall angle has been decreased by 30%. As pitching moment point of view, the results have been obtained as negative, which corresponds to the demand for the changes in the structural design of the aircraft. Utilizing the study, further studies are going to be held by means of artificial intelligence.

#### 5. Conclusion and Further Studies

In this study, a new aerofoil design for lower Mach numbers have been analysed to detect the low-speed aerodynamic characteristics. To perform this, the aerofoil profile has been applied to the Raytheon's Beechcraft 1900D. The performance characteristic of NACA 3512 aerofoil has firstly been determined utilizing Vortex Lattice Method (VLM) via XFLR5. After



determining required aerodynamic parameters, then it has been examined under the Digital DATCOM database. Next the analysis results have been integrated by the Simulink simulation to detect the gliding characteristics and performance parameters.

Consequently, this study reveals the potential to create a generalized model to detect the performance parameters for an aircraft at any desired speed. To overcome this, a deep learning-based model for parameter estimation is going to be created for the further studies.

## REFERENCES

- Amitay, M., Smith, D. R., Kibens, V., Parekh, D. E., & Glezer, A. (2001). Aerodynamic flow control over an unconventional airfoil using synthetic jet actuators. *AIAA journal*, 39(3), 361-370.
- Arias-Rosales, A., & Osorio-Gómez, G. (2020). Albatros Create: an interactive and generative tool for the design and 3D modeling of wind turbines with wavy leading edge. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 631-650.
- Assumed Knowledge. (2022). Retrieved from Aircraft Flight Mechanics by Harry Smith, Ph.D.: <https://aircraftflightmechanics.com/Prerequisites/Prerequisites.html>
- Barrett, T., Bressloff, N., & Keane, A. (2006). Airfoil design and optimization using multi-fidelity analysis and embedded inverse design. In *47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference 14th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 7th* (p. 1820).
- Beechcraft 1900. Airports Worldwide:<https://www.airports-worldwide.com/articles/article0924.php>
- Beechcraft 1900. (n.d.). Retrieved from Airports Worldwide: <https://www.airports-worldwide.com/articles/article0924.php>
- Beech 1900 Airliner. *globalsecurity.org*. Retrieved August 4, 2018.
- Elliott, J., & Peraire, J. (1997). Practical three-dimensional aerodynamic design and optimization using unstructured meshes. *AIAA journal*, 35(9), 1479-1485.
- Gabriel, E. T., & Mueller, T. J. (2004). Low-aspect-ratio wing aerodynamics at low Reynolds number. *AIAA Journal*, 42(5), 865-873.
- Garabedian, P., & McFadden, G. (1982). Design of supercritical swept wings. *AIAA journal*, 20(3), 289-291.
- Giles, M. B., & Drela, M. (1987). Two-dimensional transonic aerodynamic design method. *AIAA journal*, 25(9), 1199-1206.
- Gopalarathnam, A., & Selig, M. S. (1998). Multipoint inverse method for multi-element airfoil design. *Journal of aircraft*, 35(3), 398-404.
- GS, A., & Lal, S. A. (2018). Inverse design of airfoil using vortex element method. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 11(2), 163-170.
- Hodson, J. D., Christopherson, A. P., Deaton, J. D., Pankonien, A. M., Reich, G. W., & Beran, P. S. (2019). Aeroelastic topology optimization of a morphing airfoil in supersonic flow using evolutionary design. In *AIAA Scitech 2019 Forum* (p. 1466).

- Jahangirian, A., & Shahrokhi, A. (2009). Inverse design of transonic airfoils using genetic algorithm and a new parametric shape method. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 17(5), 681-699.
- Jameson, A., & Reuther, J. (1994, September). Control theory based airfoil design using the Euler equations. In *5th Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization* (p. 4272).
- Jepson, J. K., & Gopalathnam, A. (2005). Incorporation of aircraft performance considerations in inverse airfoil design. *Journal of aircraft*, 42(1), 199-207.
- Kim, S., Alonso, J. J., & Jameson, A. (2004). Multi-element high-lift configuration design optimization using viscous continuous adjoint method. *Journal of Aircraft*, 41(5), 1082-1097.
- NACA airfoil. (n.d.). Retrieved from Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/NACA\\_airfoil](https://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil)
- Nili-Ahmadabadi, M., Hajilouy-Benisi, A., Ghadak, F., & Durali, M. (2010). A novel 2D incompressible viscous inverse design method for internal flows using flexible string algorithm. *Journal of fluids engineering*, 132(3).
- Papadimitriou, D. I., & Giannakoglou, K. C. (2013). Third-order sensitivity analysis for robust aerodynamic design using continuous adjoint. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 71(5), 652-670.
- Pehlivanoglu, Y. V. (2019). Efficient accelerators for PSO in an inverse design of multi-element airfoils. *Aerospace Science and Technology*, 91, 110-121.
- Poole, D. J., Allen, C. B., & Rendall, T. C. (2015). Metric-based mathematical derivation of efficient airfoil design variables. *ALAA Journal*, 53(5), 1349-1361.
- Raytheon: Beechcraft 1900D Passenger Specifications and Performance. Retrieved on 30 December 2010 ([https://en.wikipedia.org/wiki/Beechcraft\\_1900#cite\\_note-47](https://en.wikipedia.org/wiki/Beechcraft_1900#cite_note-47))
- Safari, M., Nili-Ahmadabadi, M., Ghaci, A., & Shirani, E. (2014). Inverse design in subsonic and transonic external flow regimes using Elastic Surface Algorithm. *Computers & Fluids*, 102, 41-51.
- Selig, M. S., & Maughmer, M. D. (1992). Generalized multipoint inverse airfoil design. *ALAA journal*, 30(11), 2618-2625.
- Shelton, A., Tomar, A., Prasad, J. V. R., Smith, M. J., & Komerath, N. (2006). Active multiple winglets for improved unmanned-aerial-vehicle performance. *Journal of aircraft*, 43(1), 110-116.
- Tang, Z., Désidéri, J. A., & Périaux, J. (2007). Multicriterion aerodynamic shape design optimization and inverse problems using control theory and Nash games. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 135(3), 599-622.

- Vicini, A., & Quagliarella, D. (1997). Inverse and direct airfoil design using a multiobjective genetic algorithm. *AIAA journal*, 35(9), 1499-1505.
- Zhen, T. K., Zubair, M., & Ahmad, K. A. (2011). Experimental and numerical investigation of the effects of passive vortex generators on Aludra UAV performance. *Chinese Journal of Aeronautics*, 24(5), 577-583.



# The Impact of Utilizing Phase Change Material As Insulation Material on Building Energy Performance and Fuel Costs

Kübra Kurtoğlu Sontay<sup>1</sup>

Abid Ustaoglu<sup>2</sup>

Elif Ögüt<sup>3</sup>

## Abstract

In this study, the impact of welding phase changing material behalf standard insulation material on building thermal performance and fuel cost was evaluated. In this context, two materials with different thermal conductivity coefficients were applied to the outer shell of the building and the results were compared. From these materials, the thermal conductivity coefficients for the classical insulation material and the phase changing material are respectively; 0.035 W/mK and 0.2 W/mK. The EES program was used in the numerical calculations carried out to review the contribution of the phase changing material applied to the structural crust the building energy performance and fuel cost. The action of the phase changing material used on the building energy productivity has been analyzed for the provinces of Antalya and Ankara, which are located in the first and third degree climate zones in Turkey. In the continuation of this paper, the impact of phase change material, which is preferred for insulation in buildings, on fuel performance was investigated. For this purpose, the analyzes were carried out for the provinces of Istanbul and Erzurum in Turkey. The total fuel cost changes for the reference building used in the study were determined and the amount of energy savings that could be achieved in a year were determined. As a result,

- 1 National Defence University, Turkish Naval Academy, Mechanical Engineering, 34940 Tuzla, İstanbul, kksontay@dho.edu.tr, ORCID ID : <http://orcid.org/0000-0002-9656-063X>
- 2 Bartın University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Mechanical Engineering, 74110 Kutlubeyyazıcılar, Bartın, austaoglu@bartin.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3391-5015>
- 3 Kocaeli University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, 41000 İzmit, Kocaeli, elif.ogut@kocaeli.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5647-4040>

it has been determined that the utilize phase change materials as insulation material in the structure reduces building fuel costs and raises energy savings for all climate zones.

## 1. Introduction

Increasing energy demand has caused pollution and climate change problems by quickly dispose of fossil fuels (Thirugnanasambandam et al. 2010, Wang et al. 2020). One of the main reasons for this situation is that industrialization and fossil fuel utilize have geratly increased CO<sub>2</sub> production and therefore greenhouse gas emissions. Due to the increasing CO<sub>2</sub> production, the effect of global warming has accelerated, causing risks such as melting glaciers and acid rain in many parts of the world. For these reasons, minimizing CO<sub>2</sub> production is of great importance. Reducing fossil fuel consumption is among the basic methods in the studies aimed at reducing this situation. Because most of the CO<sub>2</sub> emissions are fossil fuels. Therefore, in recent years, minimizing fossil fuel consumption in order to reduce CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption is among the popular work topics (Yang et al. 2022). The main condition for economic development and prosperity is the availability of energy (Nair et al. 2022). Recent studies show that buildings state for approximately forty percent of the world's energy wielding. For this reason, buildings are as responsible for the increase in greenhouse emissions and global warming as other consumption sectors (Esbati et al. 2019, Aridi et al. 2021). In order to respond to the increasing energy request, renewable energy systems have emerged. So that, both contributing to the prevention of the consume of naturel sources and contained and alternative energy systems have been advanced. However, there are some limitations such as the applications related to renewable energy systems not having high efficiency in every region and not being effective in every periods. Therefore, energy storage systems have emerged to provide energy efficiency and energy savings (Al-Yasiri and Szabo 2021, Yehya and Naji 2015). Energy storage systems provide the advantage of storing excess energy at once and using it when needed. In this way, a balance is created between energy demand and demand and an economic recovery is achieved (Pavlov and Olesen 2011). Phase changing materials are giant importance so thermal energy applications because of their advanced power stowage capabilities, longevity and flexible operating temperatures (Nair et al. 2022). For this reason, the preference of phase changing material at structures to provide isolation has been among the current issues and many studies have been carried out on this subject.

Rahim et al. 2022 examined the change in terms of economy and conveniences caused by the utilization of phase changing materials in structures located in hot climate regions. They explorationed research on the activity of phase changing materials to increase thermal suitability in different weather conditions for buildings with different wall properties. First, they developed a simulation model. Afterwards, the results were confirmed by an experimental study performed outdoors. Within the scope of the study, six different materials with phase change feature were examined for the summer season. The melting temperature of these mentioned materials varies between 21°C and 31°C. As a result of the analysis, it was determined that the utilizing phase changing material in moderate climate conditions provides thermal convenience and is the right choice.

Feng et al. 2022 underlined that phase changing materials with thermal energy holding feature are gaining importance in building efficiency studies day by day. In the study, they aimed to advance a shape that can accurately modelling hysterical behavior with the choice of phase changing materials in the structure outer crust. The suitability of the two phase design during a complete phase transition was determined by comparing the computational and empirical results. In addition, models were performed on purpose examine the activity of the region referring average weather temperature and heating/cooling loads. As a result, it was observed that there was less than 1% difference in the one hour heating/cooling load, and significant improvements were observed in the region average air temperature as well as the heating/cooling loads in the phase change interval.

Imafidan and Ting observed the change in energy depletion of a structure with different thicknesses of phase changing materials on its walls. In the study, honeycomb phase changing material was placed on the walls of a renovated structure in Canada. By giving information about the climatic conditions of the study area and giving the information that -14°C air temperatures are effective in winter months, the different thicknesses of the phase change material layer and its effectiveness were investigated. As a result, it has been determined that the application of 1 cm thickness phase changing material to the building wall provides the optimum activity for the summer months, where the outdoor temperature varies between 15 - 26.5 °C. Finally, it has been observed that there is no improvement in the efficiency when the phase changing material thickness is exceeded 1 cm and the thermal capacity is exceeded 20 kJkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>.

Lie et al. 2022 stated that 60% of the energy missings from sutructures are due to warming and ventilation systems. It was further emphasized that



this would further increase global warming. It has been underlined that phase change materials are of great importance on purpose overcome the mentioned trouble. Scope of work, the coupling technology of bio-based phase change materials was examined and some important conclusions were drawn by comprehensively scanning the existing literature and some problems that need to be investigated further were brought to the agenda.

Khan et al. 2022 researched the impact of phase change material applications to minimize energy losses from residential buildings. In the content of the study, energy performances for structures in five big towns where distinct climatic conditions are dominant in the Pakistan region are numerically discussed. First of all, fifteen different phase change materials were evaluated for a one-room house. As a result, 40 mm thick phase change material with a melting heat of 24 °C was the most ideal choice. Afterwards, phase change material application was integrated into multi storey residential areas. The monthly average energy savings were 44.9%, 35%, 32%, 35% and 49.6% for single-storey houses, respectively. Energy savings of at least 12% and maximum 21.4% were provided in two storey residences. In addition, the payback periods and economic feasibility of using phase change materials in structures were examined. Consequently all these researches, it was determined that three of the five houses examined were economically suitable so the utilize of phase change materials, and two were not.

Studies on the practise of phase changing materials to enhance energy savings in concrete structures have recently gained acceleration. Drissi et al. 2020 investigated the thermal performance on concrete plate containing phase changing material aggregates planned for utilizing buildings. The concrete panel in the study stores solar energy. Within the scope of the study, research was realised for space warming and refrigeration applications in order to prevent phase changing materials leakage, which reduces efficiency. They observed the effect of developing new clusters of phase changing materials with core-shell structure to store the energy provided by solar radiation in building walls. The obtained consequences demonstrated that the leakage of phase changing material was significantly prevented and the thermal productivity of concrete panel enhanced. As a suggestion, it is stated that the results will be more effective if another phase change material with the suitable phase change temperature is used.

Nematchoua et al. 2020 examined an office building in respect to thermal comfort and chilling power requirement. For this, they discussed phase changing material applications in thermoinsulation and exterior shadowing.

As a result, it has been observed that the preferred phase change material in insulation reduces chilling energy consumption by 12% and increases the comfort rate by 3% in three climate zones.

Hasan et al. 2018 experimentally examined the insulation made using phase changing material in their study. Within the scope of the study, two separate rooms were constructed using standard and phase changing materials. Paraffin with a melting temperature of 44 °C was preferred as the phase change material. The results were analyzed separately for two separate rooms and for all wall directions considered. As a result, it has been determined that electricity consumption is saved by reducing the heating load with the insulating material with phase changing material added.

In the present study, phase change material is preferred instead of insulation material for a concrete structure. For the sample building used as a reference, energy performance analyzes were carried out in the first and third degree climatic regions. Also, the influence of using phase changing material in the structure crust for insulation purposes on fuel performance was investigated. Natural gas and coal cost analysis actualized for the provinces located in the second and fourth degree day regions of a reference building.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. The Building**

The dimensions of the building, which is taken as a reference within the scope of the study, are as follows: 15.98 m long, 8.21 m wide and 12.32 m high. The aforesaid building has been analyzed by comparing the fuel performances for the provinces of Istanbul and Erzurum. Among these provinces, Istanbul is in the second degree climate zone, while Erzurum is in the fourth degree climate zone. In addition, the climatic conditions of the fourth region have heavy continental climate conditions, while the second region is more temperate.

Energy performance analyzes of the structure were carried out for the provinces of Antalya and Ankara. Antalya province is in the first degree climate zone and has temperate climatic conditions. Ankara province is located in the third degree climate zone and continental climate conditions prevail in the region.

### **2.2. Phase Changing Material**

Phase changing material varies phase by taking a certain amount of heat. The heat that causes a substance to change phase is called latent heat.

But when the process is reversed, if the substance is pure, the heat taken earlier is released isothermally. Basic conditions for substances to be used as phase changes materials include stability in the phase change and little change in the volume of the substance. Phase changing materials are widely used in several building materials to decrease the heating and refrigeration charge of structures, to prevent overheating of electronic devices, in the textile industry and in areas such as food transport (Çevik 2012). Presently, the use of RT-9HC phase changing material was preferred for insulation purposes. The thermophysical properties of the material with a coefficient of thermal conductivity 0.2 W/mK are shown in Table 1. In the calculations made within the scope of the analysis, it is assumed that the thermophysical properties specified in the table do not change depending on the temperature and that all the energy stored all day will be used all night. While making these calculations, monthly sunshine durations are taken as a basis for each region separately.

*Table 1. Thermophysical properties of RT-9HC material (Bilgin, 2017)*

RT-9HC	
Thermal conductivity k (W/mK)	0.2 (solid-liquid)
Density $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	880 (solid) 770 (liquid)
Specific heat $c_p$ (J/kgK)	2000 (solid-liquid)
Melting temperature $T_m$ (°C)	-9
Heat of melting $L_H$ (kJ/kg)	250

### 2.3. Calculation Methods

In response to the need to minimize the losses arising from the building envelope, thermal insulation applications have emerged. In this way, besides providing thermal comfort, it is possible to save energy. Studies in this field are of great importance on purpose increase energy productivity and ensure sustainability (Ustaoglu et al. 2020). In this study, the processes to perform the energy performance analysis were made using the Engineering Equations Solver (EES) program. Within the context of analysis, the provinces of Antalya and Ankara, which are located in the first and third degree climate

zones, were discussed. The change in annual energy performance was observed with the use of phase changing material rather than heat insulation material. For the polyurethane and phase changing material used in the analysis, the thickness was changed in the range of 0-0.1 m and included in the calculations.

The general equations used in the study are Eqs. 1-2-5 (Çengel and Ghajor 2015), Eqs. 3-4 (TS 2008) as shown below. The amount of heat energy transfer:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = \frac{T_{in} - T_{amb}}{\frac{1}{h_{in}As} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{d_i}{k_iAs} + \frac{1}{h_{out}As}} \quad (1)$$

Where  $T_{in}$  stands for indoor temperature while  $T_{amb}$  stands for ambient temperature.  $d$  represents the thickness of the components (m) and  $k$  is the thermal conductivity (W/mK).  $h_{in}$  is the convective heat transfer coefficient for the case of inner side and  $h_{out}$  is the convective heat transfer coefficient for exterior of the analyzed structural component.  $R$  is the thermal resistance ( $m^2K/W$ ) and can be defined as:

$$R = \frac{1}{h_{in}} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \dots + \frac{1}{h_{out}} \quad (2)$$

Where  $d_1$ ,  $d_2$  and  $d_3$  are refers to thickness of the building components (m).  $h_{in}$  is the convective heat transfer coefficient for the case of inner side,  $h_{out}$  is the convective heat transfer coefficient for exterior surfaces ( $W/m^2K$ ) and  $k$  is the thermal conductivity coefficient ( $W/m^2K$ ).

$$H = H_T + H_V \quad (3)$$

The expression  $H$  shown in Equation 3 represents the total specific heat loss ( $W/K$ ).  $H_T$  represents the heat loss due to conduction and convection ( $W/K$ ).  $H_V$  is the heat loss through ventilation ( $W/K$ ) and can be calculated as follows:

$$H_V = \rho cV' \quad (4)$$

where  $\rho$  is intension of air ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $c$  is specific heat of the air ( $\text{J}/\text{kgK}$ ) and  $V^?$  is volumetric air change ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

In order to find the annual heating energy need, all months are added and calculated as follows:

$$\dot{Q}_{annual} = \sum_{i=1}^{i=12} \dot{Q}_{i,m} \quad (5)$$

where  $\dot{Q}_{i,m}$  is indicates the heat requirement for each month.

Total heat requirement can be calculated as follows:

$$P = \frac{\dot{Q}_{an}}{NPV} c \quad (6)$$

P is the fuel cost (\$) and c is the unit price of fuel ( $\$/\text{m}^3$ ,  $\$/\text{tonne}$  or  $\$/\text{kWh}$ ). The amount of annual fuel excise ( $\text{N.m}^3$ , kg or kWh) can be calculated as the ratio of annual heat requirement to the net calorific value of the fuel.

### 3. Results and Discussions

The consequences of the analysis made within the scope of the study are included in this chapter. A one year energy performance review for the first and third degree climate zone was calculated in the Engineering Equations Solver (EES) program. The result graphs below were created in the light of these data.

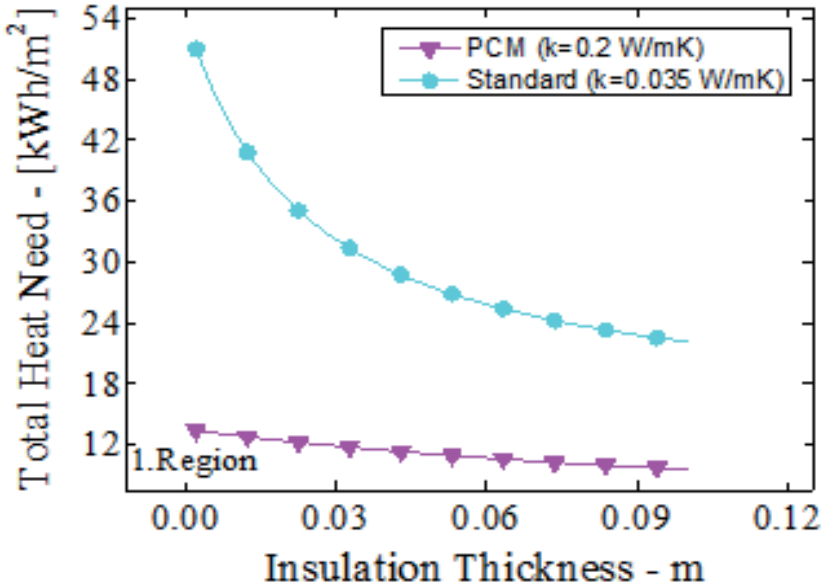


Figure 1. Variation in total heat need for region 1 based on change in the insulation thickness

Figure 1 shows the alteration in a year sum heat requirement of Antalya city depending on the utilize of phase changing materials for insulation purposes. When phase change material is used instead of insulation material in the building, an annual decrease of 74.92% was observed in the total heat requirement. Figure 2 demonstrates the variance of the yearly total heat requirement for Ankara. It is understood from the graph that there is an 82% decrease in the total heat requirement when phase changing material is used to provide insulation in the building. One of the main reasons for the higher savings in the 3rd region is the greater need for heat in the region due to the continental climate. These calculations assume that the phase change material stores the energy during the insolation period and uses the energy stored during the night.

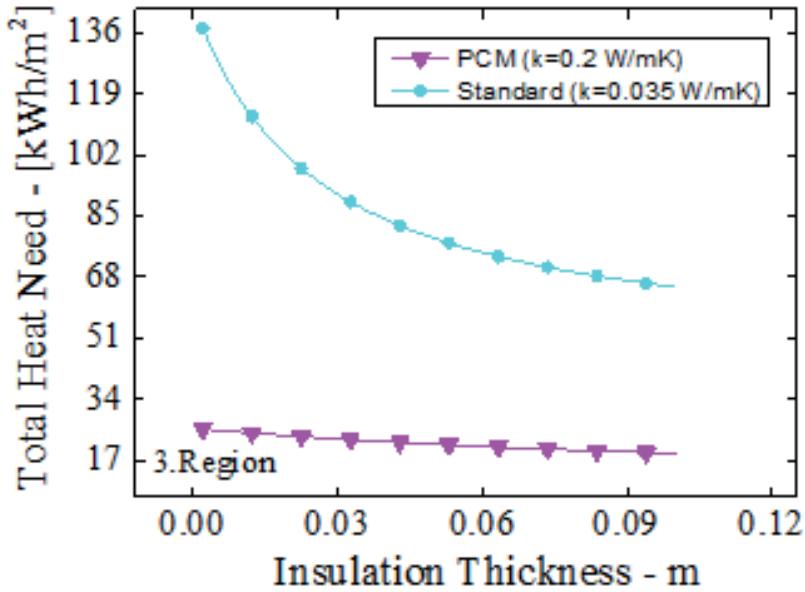


Figure 2. Variation in total heat need for region 3 based on change in insulation thickness

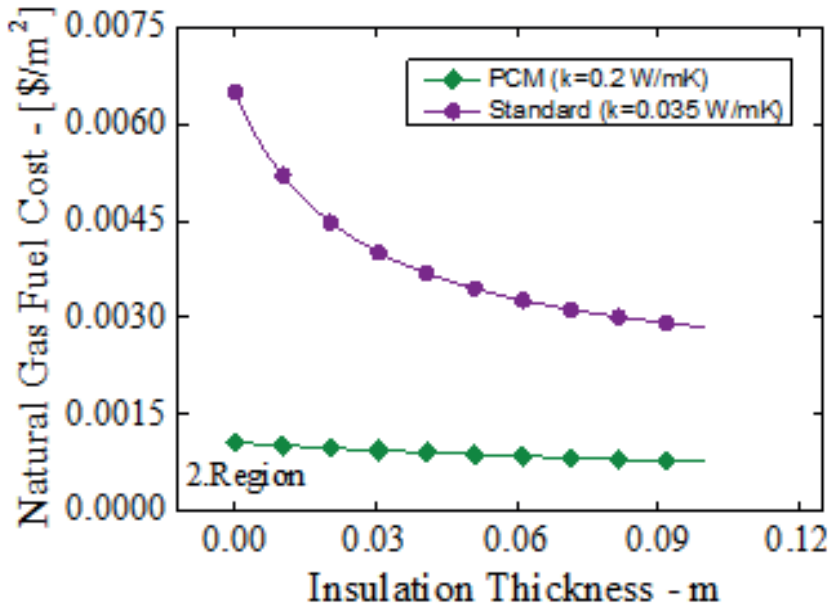


Figure 3. Variation in natural gas fuel cost for region 2 based on change in insulation thickness

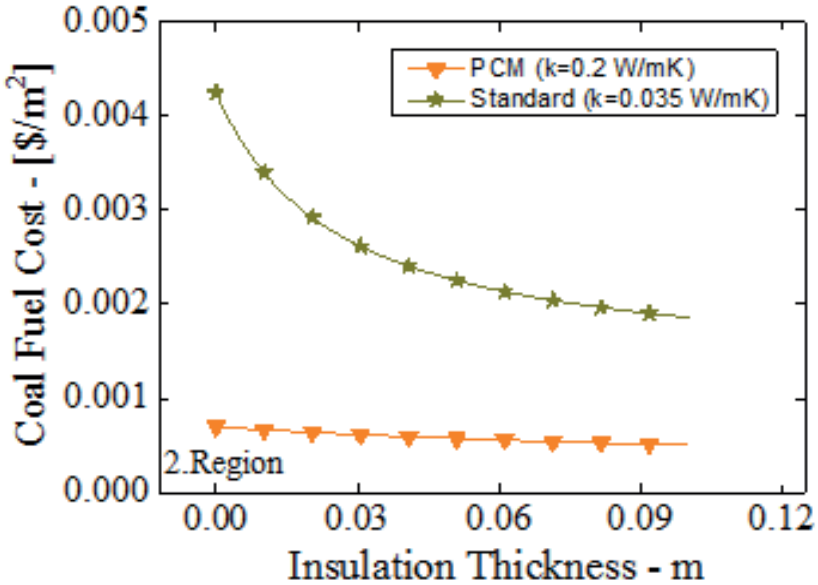


Figure 4. Variation in coal fuel cost for region 2 based on change in insulation thickness

Figure 3 and Figure 4, one year natural gas fuel cost and coal fuel cost of Istanbul province are shown, respectively. As can be seen from the graphics, an 83.5% reduction in annual fuel costs was observed when phase change material was used as insulation material instead of standard insulation material in the building. While making these calculations, it is assumed that the phase change material stores the energy during the sunshine period and uses the energy it has stored during the night.



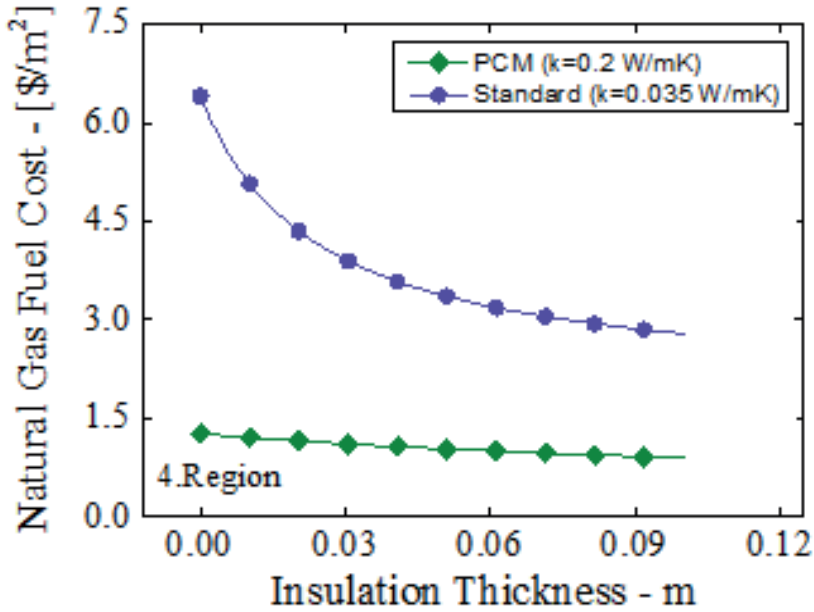


Figure 5. Variation in natural gas fuel cost for region 4 based on change in insulation thickness

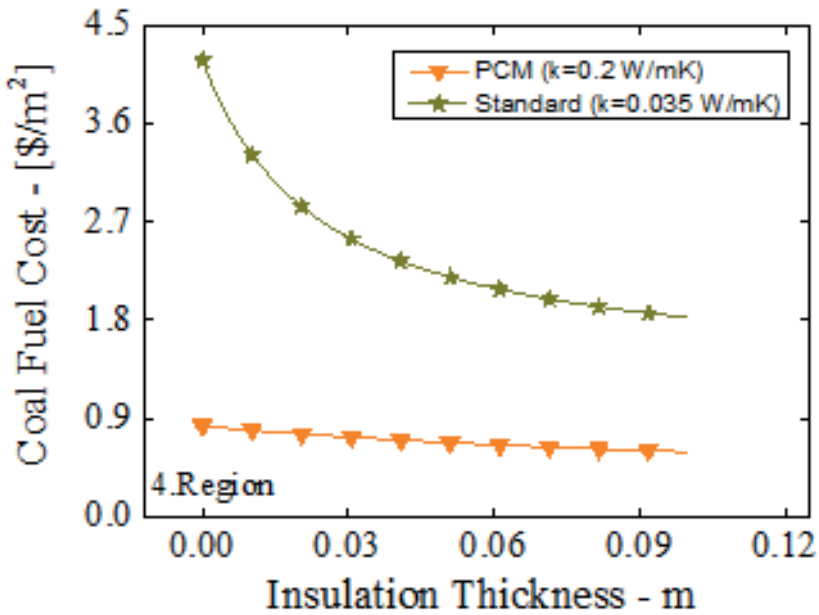


Figure 6. Variation in coal fuel cost for region 4 based on change in insulation thickness

Figure 5 represents the annual change in natural gas fuel cost in Erzurum, and Figure 6 represents the change in annual coal fuel cost. It is clearly seen that it is more economical in all insulation thicknesses when phase change material is preferred instead of standard insulation material in the building. In addition, while there was an 80.14% reduction in the one-year natural gas fuel cost, there was a 80.13% reduction in the one-year coal fuel cost. Since Erzurum is a region with a heavy continental climate, these savings are very important.

#### **4. Conclusions**

With the increase in the standard of living, urbanization has also accelerated. Therefore, the need for energy has increased day by day. Nearly 40% of the sum energy depletion originates from the construction sector. Most of the energy losses in the building sectors are due to heating and cooling applications. For this reason, it is aimed to reduce energy depletion by providing the thermal suitability condition. The utilizing phase changing materials in structures is an emerging technology to provide both thermal suitability and energy savings (Suresh et al. 2022). In this scientific study, the cruciality of insulation applications, which are widely used in the building sector, was highlighted and the variation of the total heat requirement for the provinces of Antalya, Ankara has been examined. Also, fuel cost analyzes were made for the provinces of Istanbul and Erzurum. The base consequences of the study can be sum up as follows:

- Preventing heat losses from buildings not only reduces energy consumption and costs, but also provides environmental benefits by reducing greenhouse emissions.
- Providing heat insulation techniques in buildings is not only important in continental climatic regions, but also in warm climatic regions where the walls are exposed to high solar radiation values.
- Studies on thermal insulation materials that are harmless to the environment and have higher performance have gained momentum in recent years. In this context, many studies are carried out on the technique of thermal insulation with phase change materials.
- Phase changing materials, which are frequently mentioned in studies on energy efficiency in the literature, have been preferred in buildings in order to save energy by making use of their storage properties.
- The phase changing material proposed for insulation purposes in the study was applied in the reference building placed in the primary and

third degree day regions. Consequently, the total heat requirement has been greatly reduced and thus energy efficiency has been achieved.

- In this paper, the phase change material, which is preferred for insulation purposes, applied instead of insulation material for a sample building in the second and fourth degree day regions. Consequently, essential findings have been reached with regard to both providing thermal comfort and energy saving.
- Present study, it has been observed that if phase change material is used instead of standard insulation material, it is inevitable to save energy both in terms of thermal insulation and fuel costs.
- Obviously seen in the analysis consequences that the utilizing phase change materials provides significant conservation in both natural gas and coal fuel costs for both regions is clearly seen in the results of the analysis.
- It is clearly seen in the analysis results that the utilize of phase changing material provides significant conservations in annual heat requirement for both regions.
- Finally, commercially common phase change materials such as paraffin are mostly included in the literature. Instead, it will be very helpful to examine the thermal performance of distinct phase changing materials such as salt hydrates and to analyze them for building applications.

## 5. References

- Al-Yasiri, Q., & Szabo, M. (2021). Selection of phase change material suitable for building heating applications based on qualitative decision matrix. *Energy Conversion and Management*.
- Aridi, R., Faraj, J., Ali, S., El-Rab, M. G., Lemenand, T., & Khaled, M. (2021). Energy Recovery in Air Conditioning Systems: Comprehensive. *Energies*, 14(18), 5869.
- Bilgin, F. (2017). Faz değiştiren malzemelerin farklı iklim bölgelerinde bulunan binalardaki enerji tasarrufu üzerindeki etkisinin sayısal olarak incelenmesi. *M.S. thesis, University of Kocaeli*.
- Çengel, Y., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: fundamentals and applications fourth edition in SI units*. New York, America.
- Çevik, M. (2012). Faz değiştiren maddelerle duvar ısı yalıtımının deneysel olarak araştırılması. *M.S. thesis, University of Furat*.
- Drissi, S., Ling, T.-C., & Mo, K. H. (2020). Thermal performance of a solar energy storage concrete panel incorporating phase change material aggregates developed for thermal regulation in buildings. *Renewable Energy*, 160, 817-829.
- El-Raheim, D. A., Mohamed, A., Fatouh, M., & Abou-Ziyan, H. (2022). Comfort and economic aspects of phase change materials integrated with heavy-structure buildings in hot climates. *Applied Thermal Engineering*, 213(118785).
- Esbati, S., Amooie, M. A., Sadeghzadeh, M., Ahmadi, M. H., Pourfayaz, F., & Ming, T. (2019). Investigating the effect of using PCM in building materials for energy saving: Case study of Sharif Energy Research Institute. *Energy Science and Engineering*, 8.
- Feng, F., Fu, Y., Yang, Z., & O'Neill, Z. (2022). Enhancement of phase change material hysteresis model: A case study of modeling building envelope in EnergyPlus. *Energy and Buildings*, 276, 112511.
- Hasan, M. I., Basher, H. O., & Shdhan, A. O. (2018). Experimental investigation of phase change materials for insulation of residential buildings. *Sustainable Cities and Society*, 36, 42-58.
- Imafidon, O. J., & Ting, D.-K. (2022). Energy consumption of a building with phase change material walls – The effect of phase change material properties. *Journal of Energy Storage*, 52(Part C), 105080.
- Khan, M., Khan, M. M., Irfan, M., Ahmad, N., Haq, M. A., Khan, I., & Moussa, M. (2022). Energy performance enhancement of residential buildings in Pakistan by integrating phase change materials in building envelopes. *Energy Reports*, 8, 9290-9307.

- Li, D., Zhuang, B., Chen, Y., Li, B., Landry, V., Kaboorani, A., Wang, X. A. (2022). Incorporation technology of bio-based phase change materials for building envelope: A review. *Energy and Buildings*, 260, 111920.
- Nair, A. M., Wilson, C., Huang, M. J., Griffiths, P., & Hewitt, N. (2022). Phase change materials in building integrated space heating and domestic hot water applications: A review. *Journal of Energy Storage*, 54(105227).
- Nematchoua, M. K., Noelson, J. C., Saadi, I., Kenfack, H., Andrianaharinjaka, A. Z., Ngoundoum, D. F., Reiter, S. (2020). Application of phase change materials, thermal insulation, and external shading for thermal comfort improvement and cooling energy demand reduction in an office building under different coastal tropical climates. *Solar Energy*, 207, 458-470.
- Pavlov, G., & Olesen, B. (2011). Building thermal energy storage - Concepts and applications . *Environmental Science*.
- Suresh, C., Hotta, T. K., & Saha, S. K. (2022). Phase change material incorporation techniques in building envelopes for enhancing the building thermal Comfort-A review. *Energy and Buildings*, 268(112225).
- Thirugnanasambandam, M., Iniyan, S., & Goic, R. (2010). A review of solar thermal technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 312-322.
- TS, 825. (2008). *Heat insulation rules in buildings Turkish Standard*. Ankara, Türkiye.
- Ustaoglu, A., Kurtoglu, K., & Yaras, A. (2020). A comparative study of thermal and fuel performance of an energy-efficient. *Sustainable Cities and Society*, 59(102163).
- Wang, T., Zhao, C., & Yan, J. (2020). Investigation on the Ca(OH)<sub>2</sub>/CaO thermochemical energy storage system with potassium nitrate addition. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 215(110646).
- Yang, X., Almojil, S. F., Yang, Y., Almohana, A. I., Alali, A. F., Alamri, S., Anqi, A. E. (2022). The effect of using phase change materials in the walls of a building on the amount of carbon dioxide production and reducing fuel consumption. *Journal of Building Engineering*, 59(105058).
- Yehya, A., & Naji, H. (2015). Thermal Lattice Boltzmann Simulation of Entropy Generation within a Square Enclosure for Sensible and Latent Heat Transfers. *Applied Sciences*, 5(4), 1904-1921.

# The Quality Characteristics of a New Sustainable Functional Kefir Fortified with *Spirulina plantensis* Microalgae During Storage

Özge Duygu Okur<sup>1</sup>

Özgün Burcu İşbecer<sup>2</sup>

## Abstract

The purpose of this study was to reveal the quality characteristics of sustainable functional kefir enriched with *Spirulina plantensis* (*S. plantensis*) microalgae, known for its health effects, during storage (4°C) for 21 days. For this purpose, four kefir samples were produced by using *S. plantensis* microalgae in different amounts (A: 0% (control), B: 0.25%, C: 0.50%, D: 1%). The physicochemical, microbiological, sensory, phenolic contents and antioxidant properties of the kefir samples were investigated during day 1, day 7, day 14 and day 21 of storage.

One of the main results was that the addition of *S. plantensis* powder was seen to increase *L. bulgaricus* and *S. thermophilus* counts in the kefir samples during storage ( $P < 0.05$ ). Among the samples, the D sample had the highest total phenolic and antioxidant activity content (respectively 1033.75 mg GAE L<sup>-1</sup> and 15.78 mMTE) ( $P < 0.05$ ).

## 1. INTRODUCTION

Kefir, which is formed as a result of the activity of a number of specific microorganisms, is a functional fermented milk product originating from the Caucasus. Lactic acid and acetic acid bacteria and several yeast species

1 Corresponding author, Asst. Prof. Dr., Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, TURKEY, [oduyguokur@beun.edu.tr](mailto:oduyguokur@beun.edu.tr), 0000-0002-5483-2983

2 M.S.c., Department of Import and Export, Antalya Seed Certification Test Directorate, Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, Antalya, TURKEY, [ozgunburcu.isbecer@tarimorman.gov.tr](mailto:ozgunburcu.isbecer@tarimorman.gov.tr)

coexist in kefir in a symbiotic association, and this microflora is responsible for acidic-alcoholic fermentation (Garrote et al. 2001; Irigoyen et al. 2005).

Kefir consumption has gained popularity in contemporary times due to its potential anticarcinogenic, antitumoral, anti-inflammatory, antimicrobial, probiotic, and prebiotic properties. Additionally, it is associated with benefits such as enhanced lactose tolerance, reduced cholesterol levels, and positive effects on both the immune system and hypocholesterolemic responses (John and Deeseenthum 2015; Sharifi et al. 2017; Yilmaz et al. 2022). Diversifying kefir's nutraceutical advantages can be achieved through the implementation of applicable strategies, such as enriching kefir with specific ingredients capable of bestowing distinctive and valuable properties upon the beverage (John and Deeseenthum 2015; Sharifi et al. 2017; Arslan 2015; Aiello et al. 2020).

Microalgae have been proposed as new model organisms in dietary supplements in animal and human nutrition (Spolaore et al. 2006; Enzing et al. 2014), as well as in wastewater bioremediation (Craggs et al. 1996) and biotechnological applications (Demirbas and Demirbas 2011). Capable of surviving under very harsh conditions compared to other algae, *Spirulina* is a cyanobacteria or blue-green microalgae with a spiral cellular structure (Ghaeni et al. 2014). With its excellent nutritional value and high protein content, *Spirulina* is the best known strain (Spolaore et al. 2006). The two most commonly used *Spirulina* species in nutritional supplements are *S. platensis* and *Spirulina maxima* (*S. maxima*). *Spirulina* is a rich source of nutrients, namely high quality proteins, gamma linolenic acid, sulfolipids, glycolipids, polysaccharides, carotenoid, omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids, vitamin E, vitamin A, various B vitamins, and minerals such as magnesium, potassium, calcium, zinc and selenium (Belay 2002; Tang and Suter 2011). Therefore, as a potential therapeutic agent, it is effective in the treatment of diseases caused by oxidative stress (Makhlouf and Makhlouf 2012). *Spirulina* has particular therapeutic effects such as reduction of hyperlipidemia and obesity, protection against some cancers, increasing intestinal lactobacilli, reducing nephrotoxicity, reducing blood cholesterol, enhancing the immune system and radiation protection (Jimenez et al. 2003; Patel and Goyal 2013; Finamore et al. 2017; Lafarga et al. 2020). In addition, *Spirulina* contains many functional bioactive components with antioxidant and anti-inflammatory activities such as phycobiliprotein C-phycoyanin (Riss et al. 2007) and phenolic phytochemicals (Machu et al. 2015). In the food industry, due to these functional properties, *S. platensis* can be used in the production of functional foods (Fadaei et al. 2013). Moreover, a trend has begun to add microalgae (cyanobacterial biomass) in fermented

milk products to increase the functional product properties by promoting the viability of probiotics and also to improve their nutritional properties (Varga et al. 2002; Beheshtipour et al. 2013). *Spirulina* is frequently used for human consumption in various forms: tablets, capsules, or food additives such as dairy products (Varga et al. 2002; Guldass and Irkin 2010; Malik et al. 2013; Agustini et al. 2016; Barkallah et al. 2017; Darwish 2017; Szmajda et al. 2018; Çelekli et al. 2019; Narayana and Kale 2019; Çelekli et al. 2020; Bosnea et al. 2021), gelatin desserts (Gouveia et al. 2008), and bakery products (De Marco et al. 2014; Ashoush and Samar 2019; Grahl et al. 2020; Da Silva et al. 2021).

This study aimed to determine the potential effect of adding microalgae on the quality properties (physicochemical, microbiological, sensory, phenolic content and antioxidant properties) during storage in a new type of sustainable functional kefir produced by adding *S. platensis* powder. When the enrichment studies on kefir as a functional product were examined, no study was found on the use of microalgae such as *S. platensis*, especially in milk kefir. Hence, it is anticipated that this research will add value to the current body of published literature.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Materials

The entirety of the UHT cow's milk utilized in the research was acquired from Pınar Sut Co. located in Izmir, Turkey. The commercial freeze-dried kefir starter culture was sourced from Danisco-Biolacta in Poland. *S. platensis* powder was obtained from Cyanotech Corp. Hawaii, USA, while 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS), 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox) and gallic acid were obtained from Acros (Morris Plains, NJ, USA). Folin Ciocalteu reagent was purchased from Merck (Darmstadt, Germany). Potassium persulphate ( $K_2S_2O_8$ ), sodium carbonate ( $Na_2CO_3$ ) and ethanol ( $C_2H_5OH$ ) were purchased from Sigma Aldrich (St. Louis, MO). All chemicals and reagents were of analytical grade.

### 2.2. Kefir production

Kefir production was carried out according to García et al. (2006) with some modifications. The freeze-dried kefir culture underwent activation in skimmed milk prior to inoculation. The inoculated skimmed milk designated for use as the culture was incubated at 25°C until reaching a pH of 4.6, followed by overnight storage at 4°C. The whole UHT milk underwent



heat treatment at 85°C for 10 minutes, after which it was enriched with *S. platensis* powder at concentrations of 0.25%, 0.50%, and 1% (w/v). Subsequently, the milk samples were cooled to 25°C and inoculated with a 3% kefir culture, then packaged into 200 mL glass containers. Incubation continued at 25°C until a pH value of 4.6 was achieved. After fermentation, the samples were cooled and stored at 4°C for 21 days for the analyses. Four different kefir samples were produced, namely A: control kefir, B: kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder, C: kefir supplemented with 0.50% *S. platensis* powder and D: kefir supplemented with 1% *S. platensis* powder (Figure 1)



*Figure 1. Kefir Samples, A: Control kefir, B: Kefir supplemented with 0.25% S. platensis powder, C: Kefir supplemented with 0.50% S. platensis powder, D: Kefir supplemented with 1% S. platensis powder*

### 2.3. Analytical methods

The titratable acid content was assessed following the method outlined by Case et al. (1985), and the total solids content was determined in accordance with AOAC (1990) guidelines. Titratable acidity was characterized through titration with 0.1 N NaOH until reaching a pH of 8.1, with results expressed as a percentage of lactic acid. The pH value of the content was measured using a digital device (Schott Instruments, Lab 860, Germany).

### 2.4. Microbiological analysis

An aliquot of 1 mL of each kefir sample was mixed with 9 mL of sterile saline solution (0.85 g 100 mL<sup>-1</sup>) in a tube. The suspension was homogenized for 1 minute and serial dilutions were prepared using the same

saline solution. The total bacterial count (TBC), *Lactobacillus* counts and *Streptococcus* counts were determined by the pour plate technique. TBC was determined using plate count agar and incubation was for 48 hours at 35°C according to Houghtby et al. (1992). M17 agar (Biolife) was used to count *Streptococcus* in the kefir samples and incubated aerobically at 37°C for 72 hours according to Torriani et al. (1996). MRS agar (Biolife) was used to count *Lactobacillus* in the kefir samples according to Tharmaraji and Shah (2003) and plates were incubated under anaerobic condition at 37°C for 72 hours.

### 2.5. Determination of the Total Phenolic Content

In the assessment of phenolic content in kefir, gallic acid served as the standard, and the Folin Ciocalteu method (Singleton and Rossi 1965) was employed. The absorbance value was measured at a wavelength of 760 nm using a spectrophotometer (Shimadzu Scientific Instruments, Inc., Tokyo, Japan). The concentration of total phenolic content in kefir was expressed in gallic acid equivalent (GAE), determined through a standard gallic acid curve. The results are reported as mg GAE L<sup>-1</sup>.

### 2.6. Determination of the Total Antioxidant Activity

#### 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline)-6-sulfonic acid (ABTS-TEAC) Assay

The 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS<sup>+</sup>) radical cation was generated by combining 7 mM of ABTS stock solution with 2.45 mM of potassium persulfate. The resulting ABTS<sup>+</sup> radical cation was then diluted with PBS to achieve a pH of 7.4 and an absorbance of 0.70 ( $\pm 0.02$ ) at 734 nm, equilibrated at 30°C. Spectrophotometric measurement of ABTS<sup>+</sup> inhibition against Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid) was conducted, with absorbance recorded at a wavelength of 734 nm using a spectrophotometer (Shimadzu Scientific Instruments, Inc., Tokyo, Japan). TEAC values for the samples were calculated from the Trolox standard curve and expressed as Trolox equivalents (in  $\mu\text{mol mL}^{-1}$  of sample) (Re et al. 1999).

### 2.7. Sensory evaluation

Sensory evaluation of the kefir samples was conducted by 10 trained panelists (4 to 5 males, 4 to 5 females) using sensory assessment scorecards. The selected panelists voluntarily gave their consent to do the sensory

evaluation of the proposed product. Kefir samples were evaluated in terms of appearance, texture, homogeneous structure, color, taste, mouthfeel, odor and general acceptability on storage days 1, 7, 14 and 21. The evaluation was carried out based on eight criteria on a 10-point scale (Lawless and Heymann 1999).

## **2.8. Statistical analysis**

Three measurements of each parameter were carried out at separate times. The experimental data was analyzed for variance (one way ANOVA) with SPSS 16 version software (SPSS 2017). The data presented are given as mean values with standard errors. For each principal effect, a multiple comparison of treatment means was performed using Tukey's pair-wise comparison at an  $\alpha$ -level of 5%.

## **3. RESULTS AND DISCUSSION**

### **3.1. Physicochemical composition**

The physicochemical composition of kefir samples are given in Table 1. It was determined that the addition of *S. platensis* to the kefir samples increased the titratable acidity and dry matter contents ( $P < 0.05$ ). Also, the addition of *S. platensis* caused a decline in pH values of the kefir samples. This decline was probably due to the stimulatory effect produced by *S. platensis* on the growth of *L. bulgaricus*, which was also supported by the higher viable cell counts of *L. bulgaricus* in the kefir samples with *S. platensis* during storage (Beheshtipour et al. 2013). Similar results were found by Varga et al. (2002); Gyenis et al. (2005); Molnár et al. (2005); Molnár et al. (2009); Guldás and Irkin (2010); Narayana and Kale (2019) and Çelekli et al. (2020).

Table 1. Physicochemical properties of the kefir samples

Sample	Storage periods (day)	Titratable acidity (LA%)	pH	Dry matter (%)
<b>A</b>	1	0.83±0.00 <sup>Aa</sup>	4.56±0.00 <sup>Aa</sup>	12.83±0.03 <sup>Aa</sup>
	7	0.87±0.00 <sup>Aa</sup>	4.49±0.00 <sup>Ab</sup>	12.83±0.03 <sup>Aa</sup>
	14	0.91±0.00 <sup>Aa</sup>	4.48±0.00 <sup>Ab</sup>	12.83±0.03 <sup>Aa</sup>
	21	0.87±0.00 <sup>Aa</sup>	4.46±0.00 <sup>Ac</sup>	12.83±0.03 <sup>Aa</sup>
<b>B</b>	1	0.86±0.01 <sup>Aa</sup>	4.49±0.00 <sup>Ba</sup>	12.90±0.00 <sup>Aa</sup>
	7	0.90±0.02 <sup>Aa</sup>	4.47±0.00 <sup>Bb</sup>	12.90±0.00 <sup>Aa</sup>
	14	0.95±0.01 <sup>Ab</sup>	4.45±0.00 <sup>Bc</sup>	12.90±0.00 <sup>Aa</sup>
	21	0.92±0.00 <sup>Aa</sup>	4.47±0.00 <sup>Ab</sup>	12.90±0.00 <sup>Aa</sup>
<b>C</b>	1	0.90±0.02 <sup>Aa</sup>	4.48±0.00 <sup>Ba</sup>	13.05±0.02 <sup>Ba</sup>
	7	0.97±0.04 <sup>Ba</sup>	4.45±0.00 <sup>Cb</sup>	13.05±0.02 <sup>Ba</sup>
	14	1.04±0.04 <sup>Bb</sup>	4.44±0.00 <sup>Bb</sup>	13.05±0.02 <sup>Ba</sup>
	21	0.97±0.01 <sup>Ba</sup>	4.43±0.00 <sup>Bc</sup>	13.05±0.02 <sup>Ba</sup>
<b>D</b>	1	0.96±0.02 <sup>Ba</sup>	4.44±0.00 <sup>Ca</sup>	13.40±0.07 <sup>Ca</sup>
	7	0.99±0.01 <sup>Ba</sup>	4.42±0.00 <sup>Db</sup>	13.40±0.07 <sup>Ca</sup>
	14	1.08±0.00 <sup>Bb</sup>	4.43±0.00 <sup>Ca</sup>	13.40±0.07 <sup>Ca</sup>
	21	1.05±0.01 <sup>Bb</sup>	4.43±0.00 <sup>Ba</sup>	13.40±0.07 <sup>Ca</sup>

*A: Control kefir, B: Kefir supplemented with 0.25% S. platensis powder, C: Kefir supplemented with 0.50% S. platensis powder, D: Kefir supplemented with 1% S. platensis powder.*

*<sup>a-c</sup>Different lowercase superscripts depict the statistical difference within a row between time ( $P < 0.05$ ).*

*<sup>ABC</sup>Different uppercase superscripts depict the statistical difference between the mean values of kefir samples ( $P < 0.05$ ).*

### 3.2. Microbiological analysis

Figure 2 presents the total microbial counts for all the kefir treatments during the storage period at 4°C. There were significant differences in the total aerobic mesophilic bacteria (TAMB) counts between the control and kefir with *S. platensis*. The TAMB count was influenced not only by adding *S. platensis* but also by the storage time ( $P < 0.05$ ). The results presented here are similar to those found by Suzery et al. (2018), and Patel et al. (2019).

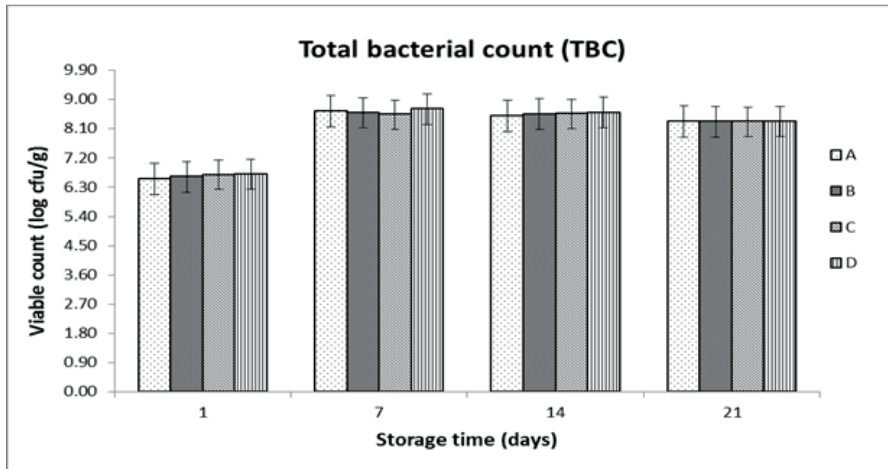


Figure 2. The effect of adding *S. platensis* on the total microbial counts ( $\log \text{cfu g}^{-1}$ ) in kefir during storage: A: Control kefir; B: Kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder; C: Kefir supplemented with 0.50% *S. platensis* powder; D: Kefir supplemented with 1% *S. platensis* powder

The storage period significantly affected the *L. bulgaricus*, *S. thermophilus* and total bacteria counts ( $P < 0.05$ ). Data in Figure 3 and 4 present the effects of *S. platensis* enrichment on the viability of *L. acidophilus* and *S. thermophilus* in kefir samples during storage.

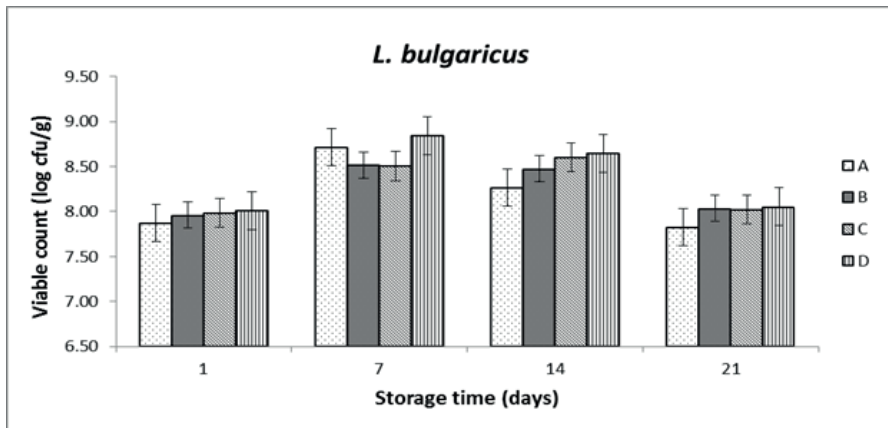
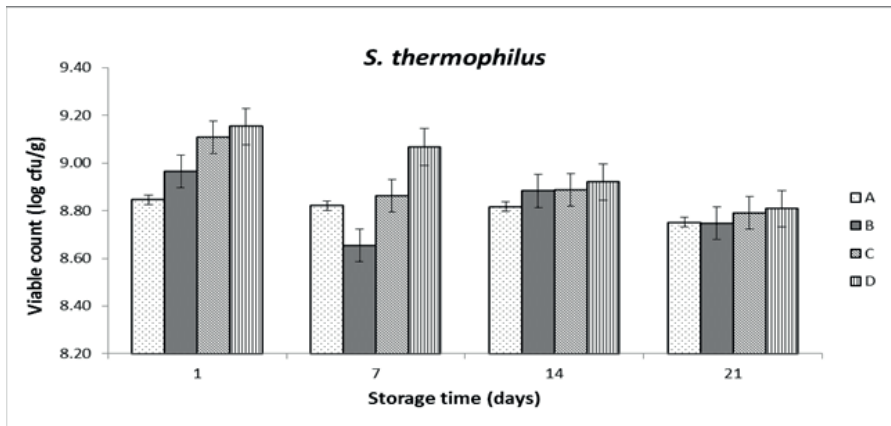


Figure 3. The effect of adding *S. platensis* on the viability ( $\log \text{cfu g}^{-1}$ ) of *L. acidophilus* in kefir during storage: A: Control kefir; B: Kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder; C: Kefir supplemented with 0.50% *S. platensis* powder; D: Kefir supplemented with 1% *S. platensis* powder.

As illustrated in Figures 3 and 4, the introduction of *S. platensis* powder into the kefir samples, in comparison to the control samples, resulted in elevated counts of *L. bulgaricus* and *S. thermophilus* throughout the storage period. Microalgae have been reported to stimulate the growth of lactic acid bacteria, and increase their viability and acid production by providing essential compounds such as adenine, hypoxanthine, free amino acids, vitamins, minerals etc (Beheshtipour et al. 2013; Omar et al. 2019). Similar results were reported by Fadaei et al. (2013); Mocanu et al. (2013); Agustini et al. (2017); Narayana and Kale (2019); Patel et al. (2019); Atallah et al. (2020) and Çelekli et al. (2020).



**Figure 4.** The effect of adding *S. platensis* on the viability ( $\log \text{cfu g}^{-1}$ ) of *Streptococcus thermophilus* in kefir during storage: A: Control kefir; B: Kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder; C: Kefir supplemented with 0.50% *S. platensis* powder; D: Kefir supplemented with 1% *S. platensis* powder

Also, because of the alkaline character of *S. platensis* and having considerable buffering capacity, *Spirulina* significantly stimulated the acid production and increased growth rates of lactic acid bacteria during the fermentation process and even during the 1st week of storage. However, viability percentages declined slowly thereafter similar to other study results (Beheshtipour et al. 2013; Guldaz and Irkin 2010; Atallah et al. 2020).

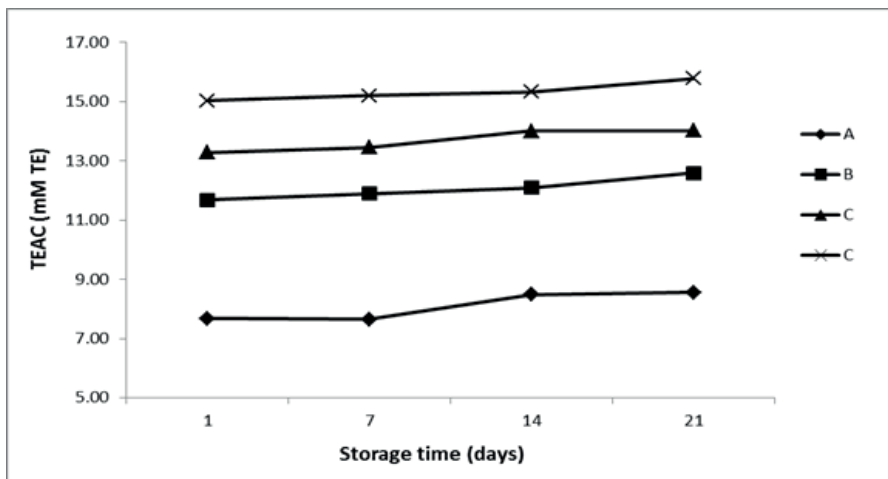
### 3.3. Evaluation of total antioxidant activity and phenolic contents

Figures 5 and 6 depict the alterations in the total antioxidant activity and total phenolic content of kefir samples, respectively. The lowest total antioxidant activity value (7.65 mMTE) was detected in the control kefir samples (A) on the 7<sup>th</sup> day of storage, and the highest total antioxidant

activity value (15.78 mMTE) was detected in the sample D on the 21<sup>st</sup> day of storage (Figure 5).

Recent investigations have demonstrated the considerable antioxidant and phenolic content found in microalgae (Goiris et al., 2012; Machu et al., 2015; Barkia et al., 2019). Phenolic compounds, known for their antioxidant capacity, have the ability to interact with free radicals without compromising their stability (Gershwin and Belay, 2007). Phenolic acids, tocopherols and  $\beta$ -carotene, which are known to exhibit antioxidant properties, are included in the composition of *Spirulina*. *S. platensis* are bioactive-rich microalgae of great potential as a source of natural antioxidant (Ghaeni et al. 2014; Jacob-Lopes et al. 2019).

The incorporation of microalgae was found to exert a significant impact on the antioxidant capacity of all samples in comparison to the control kefir samples ( $P < 0.05$ ). Especially, the addition of 1.0% *S. platensis* was found to approximately double the antioxidant capacity from 7.68 to 15.03 mMTE on day 1 of storage. Research indicates that the antioxidant activity and phenolic content in dairy products, including yogurt, cheese, ice cream, and fermented milk, show an elevation in the presence of microalgae (O'Sullivan et al., 2014; Barkallah et al., 2017; Darwish, 2017; Szmajda et al., 2018; Atallah et al., 2020; Aydemir and Öner, 2020).



*Figure 5. The total antioxidant activity of kefir samples during storage at 4°C for 21 days: A: Control kefir; B: Kefir supplemented with 0.25% S. platensis powder; C: Kefir supplemented with 0.50% S. platensis powder; D: Kefir supplemented with 1% S. platensis powder*

*S. platensis*, one of the most important microalgae, has been used as a food in Asian countries for a long time due to its high nutritional value and is gaining importance in European countries. This microalgae contains many high-value bioactive ingredients such as proteins, phenolics, antioxidants, carbohydrates, lipids, vitamins, pigments and other phytonutrients (Li et al. 2007; Hajimahmoodi et al. 2010; Priyadarshani and Rath 2012; Vo et al. 2015).

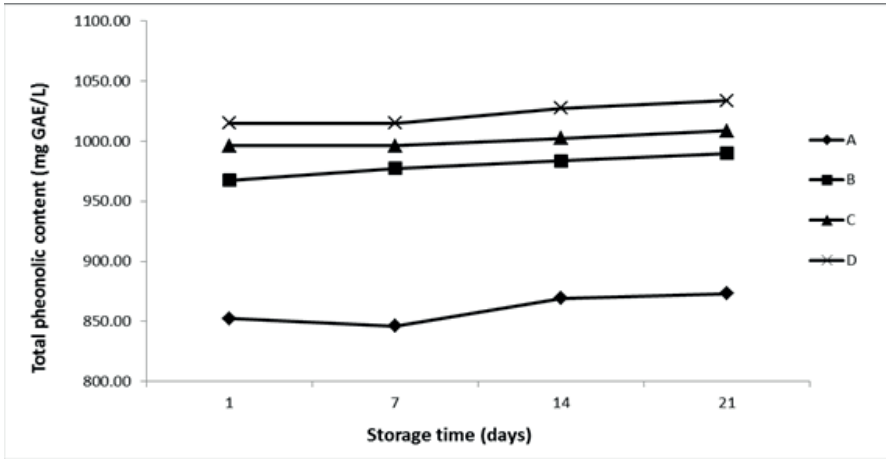


Figure 6. The total phenolic content of kefir samples during storage at 4°C for 21 days: A: Control kefir; B: Kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder; C: Kefir supplemented with 0.50% *S. platensis* powder; D: Kefir supplemented with 1% *S. platensis* powder

The lowest total phenolic content (846.25 mgGAEL<sup>-1</sup>) was found in control kefir samples (A) on day 7 of storage, while the highest total phenolic content (1033.75 mgGAEL<sup>-1</sup>) was detected in sample D on day 21 of storage (Figure 6). The addition of *S. platensis* significantly affected the total phenolic content of all samples when compared to the control kefir samples ( $P < 0.05$ ).

Particularly, the inclusion of 1.0% *S. platensis* was observed to enhance the total phenolic content from 852.50 to 1015 mg GAEL<sup>-1</sup> on the first day of storage. These findings align with the results reported by O'Sullivan et al. (2014), Barkallah et al. (2017), Darwish (2017), Szmejsda et al. (2018), Atallah et al. (2020), and Aydemir and Öner (2020).



### 3.4. Sensory analysis

The sensory evaluation results for the kefir samples are depicted in Figures 7 and 8. Overall, among the kefir samples, the control kefir (A) and the kefir enriched with 0.25% *S. platensis* powder (B) consistently earned the highest ratings across all sensory attributes. Concurrently, the kefir supplemented with 1% *S. platensis* powder consistently received the lowest scores for sensory properties ( $P < 0.05$ ). Both the control kefir (A) and the kefir enriched with 0.25% *S. platensis* powder (B) garnered favorable ratings from the panelists for positive sensory attributes, as well as for having a uniform texture and mouthfeel. Generally, sensory scores declined in all kefir samples over the course of storage. Treatments with higher microalgae concentrations (0.50 and 1%) had lower sensory acceptability for all organoleptic properties compared to the control ( $P < 0.05$ ).

*Spirulina*, like most microalgae, are known to have an undesirable odor. The addition of *S. platensis* will produce an odor that tends to be fishy or unpleasant. The fishy odor of *S. platensis* comes from its minerals contents (Beheshtipour et al. 2013). Also, higher amounts of added *S. platensis* gave a darker green color to the kefir due to the blue–green pigment (phycosianin) in it (Machu et al. 2015). These properties were noticed by the panelists as an inappropriate sensory attribute (appearance), especially in samples C and D. Alternatively, it is suggested that 1% *S. platensis* powder can be used in fruit kefir or fruit flavored kefir samples without adversely affecting the organoleptic properties. In this way, negative sensory properties can be suppressed by the addition of fruit flavoring agents.

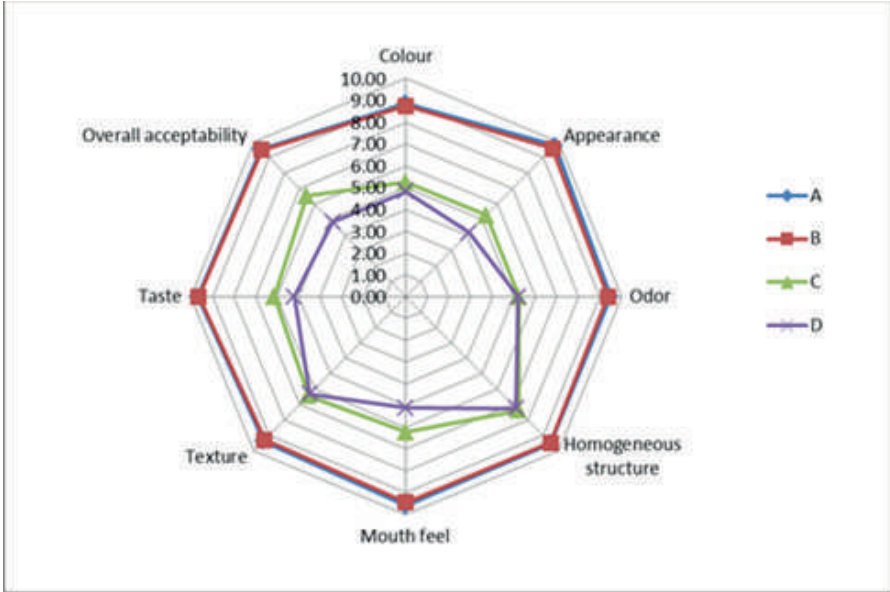


Figure 7. Sensory properties of kefir samples at day 1 of storage: A: Control kefir; B: Kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder; C: Kefir supplemented with 0.50% *S. platensis* powder; D: Kefir supplemented with 1% *S. platensis* powder

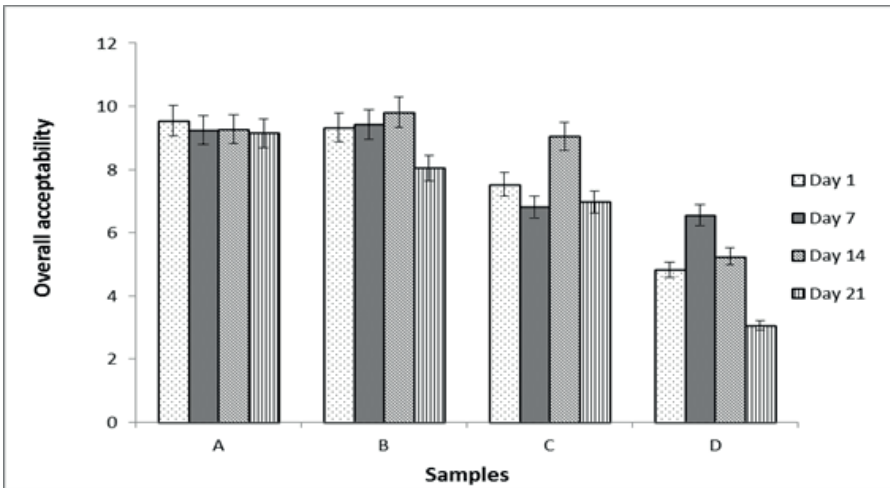


Figure 8. Overall acceptability of kefir samples during storage: A: Control kefir; B: Kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder; C: Kefir supplemented with 0.50% *S. platensis* powder; D: Kefir supplemented with 1% *S. platensis* powder

The close alignment of values between the control kefir (A) and the kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder (B) across various sensory

evaluation criteria indicates that the quantity of *S. platensis* powder employed should adhere to a specific ratio. These findings are also supported by Guldas and Irkın (2010); Malik et al. (2013); Agustini et al. (2016); Barkallah et al. (2017); Behir et al. (2019); Çelekli et al. (2019); Narayana and Kale (2019); Atallah et al. (2020) and Bosnea et al. (2021).

#### 4. CONCLUSION

In this study, *S. platensis* powder was successfully used in kefir samples and according to the results obtained, it was determined that the addition of *S. platensis* powder significantly increased the antioxidant activity and phenolic content of kefir. The addition of *S. platensis* resulted in higher dry matter, titratable acidity, and lower pH in kefir samples during storage. It was also shown that the addition of *S. platensis* powder to kefir samples increased *L. bulgaricus* and *S. thermophiles* counts compared to control samples during storage. Also, according to the observed results, the addition of *Spirulina* had a beneficial effect on the survival of the bacterial starter culture. On day 1 of storage, the control kefir (A) and kefir supplemented with 0.25% *S. platensis* powder (B) received the highest scores of 9.54 and 9.50, respectively, in terms of overall acceptability. *S. platensis* can be successfully used in kefir to further enhance its health benefits as a functional additive. In conclusion, it can be inferred that *S. platensis* has the potential to contribute to the production of a novel, sustainable functional kefir with favorable sensory attributes and antioxidant properties, contingent upon the concentration of microalgae utilized.

## 5. REFERENCES

- Agustini, T. W., W. F. Ma'ruf, W. Widayat, M. Suzery, H. Hadiyanto, and S. Benjakul. 2016. Application of *Spirulina platensis* on ice cream and soft cheese with respect to their nutritional and sensory perspectives. *J. Teknol.* 78: 245-251.
- Agustini, T. W., D. Soetrinanto, and W. F. Ma'ruf. 2017. Study on Chemical, Physical, Microbiological and Sensory of Yoghurt Enriched by *Spirulina platensis*. *Int. Food Res. J.* 24: 367-371.
- Aiello, F., D. Restuccia, U. G. Spizzirri, G. Carullo, M. Leporini, and M. R. Loizzo. 2020. Improving Kefir Bioactive Properties by Functional Enrichment with Plant and Agro-Food Waste Extracts. *Fermentation* 6: 2-16.
- AOAC. 1990. Official methods for analysis (Vol. II, 15th ed.). Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- Arslan, S. 2015. A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. *CYTA – J. Food* 13: 340-345.
- Ashoush, I. S., and M. M., Samar. 2019. Nutritional Evaluation of Cookies Enriched with Different Blends of *Spirulina platensis* and *Moringa oleifera* Leaves Powder. *J. Food Dairy Sci.* 10: 53- 60.
- Atallah, A. A., O. M. Morsy, and D. G. Gemiel. 2020. Characterization of functional low-fat yogurt enriched with whey protein concentrate, Ca-caseinate and *spirulina*. *Int. J. Food Prop.* 23: 1678-1691.
- Aydemir, S., and Z. Öner. 2020. Physical and Chemical Properties of *Spirulina platensis* Added Yoghurts in Different Concentrations. *SDU J. Nat. Appl. Sci.* 24: 553-565.
- Barkallah, M., M. Dammak, I. Louati, F. Hentati, B. Hadrich, T. Mechichi, M. A. Ayadi, I. Fendri, H. Attia, and S. Abdelkafi. 2017. Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yoghurt during fermentation and storage. *LWT-Food Sci. Technol.* 84: 323-330.
- Barkia, I., N. Saari, and S. R. Manning. 2019. Microalgae for high-value products towards human health and nutrition. *Mar. Drugs* 17: 304-332.
- Beheshtipour, H., A. M. Mortazavian, R. Mohammadi, S. Sohrabvandi, and K. Khosravi-Darani. 2013. Supplementation of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* algae into probiotic fermented milks. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 12: 144-154.
- Bchir, B., I. Felfoul, M. A. Bouaziz, T. Gharred, H. Yaich, E. Noumi, M. Snousi, H. Bejaoui, Y. Kenzali, C. Blecker, and H. Attia. 2019. Investigation of physicochemical, nutritional, textural, and sensory properties of yoghurt fortified with fresh and dried *Spirulina (Arthrospira platensis)*. *Int. Food Res. J.* 26: 1565-1576.

- Belay, A. 2002. The Potential Application of *Spirulina* (*Arthrospira*) as a Nutritional Health and Therapeutic Supplement in Health Management. *J. Am. Nutraceut. Ass.* 5: 27-48.
- Bosnea, L., A. Terpou, E. Pappa, E. Kondyli, M. Mataragkas, G. Markou, and G. Katsaros. 2021. Incorporation of *Spirulina platensis* on Traditional Greek Soft Cheese with Respect to Its Nutritional and Sensory Perspectives. *Proc.* 70: 99-105.
- Case, R. A., R. L. Bradley, and R. R. Williams. 1985. Chemical and Physical Methods. In, Richardson GH (Ed): *Standard Methods for the Examination of Dairy Products*. 15th ed., pp. 327-404, American Public Health Association, Baltimore, U.S.A.
- Craggs, R. J., W. H. Adey, K. R. Jenson, M. S. St John, F. B. Green, and W. J. Oswald. 1996. Phosphorus removal from wastewater using an algal turf scrubber. *Water Sci. Technol.* 33: 191-198.
- Çelekli, A., Z. A. Alslibi, and H. Bozkurt. 2019. Influence of incorporated *Spirulina platensis* on the growth of microflora and physicochemical properties of ayran as a functional food. *Algal Res.* 44: 1-6.
- Çelekli, A., Z. A. Alslibi, and H. Bozkurt. 2020. Boosting effects of *Spirulina platensis*, whey protein, and probiotics on the growth of microflora and the nutritional value of ayran. *Eng. Rep.* 2: 2-10.
- Da Silva, S. P., A. F. do Valle, and D. Perrone. 2021. Microencapsulated *Spirulina maxima* biomass as an ingredient for the production of nutritionally enriched and sensorially well-accepted vegan biscuits. *LWT - Food Sci. Technol.* 142: 1-7.
- Darwish, A. M. I. 2017. Physicochemical Properties, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Kareish Cheese Fortified with *Spirulina platensis*. *World J. Dairy Food Sci.* 12: 71-78.
- De Marco, E. R., M. E. Steffolani, C. S. Martinez, and A. E. Leon. 2014. Effects of *Spirulina* biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. *LWT-Food Sci. Technol.* 58: 102-108.
- Demirbas, A., and M. F. Demirbas. 2011. Importance of algae oil as a source of biodiesel. *Energy Convers. Manag.* 52: 163-170.
- Enzing, C., M. Ploeg, M. Barbosa, and L. Sijtsma. 2014. Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe. M. Viganì, C. Parisi, and E. Rodriguez Cerezo, editors. EUR 26255. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2014. JRC85709.
- Fadaei, V., F. Mohamadi-Alasti, and K. Khosravi-Darani. 2013. Influence of *Spirulina Platensis* Powder on the Starter Culture Viability in Probiotic Yoghurt Containing Spinach during Cold Storage. *Eur. J. Exp. Biol.* 3: 389-393.

- Finamore, A., M. Palmery, S. Bensehaila, and I. Peluso. 2017. Antioxidant, Immunomodulating, and Microbial-Modulating Activities of the Sustainable and Ecofriendly *Spirulina*. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 14: 1-14.
- García Fontán, M. C., S. Martínez, I. Franco, and J. Carballo. 2006. Microbiological and chemical changes during the manufacture of kefir made from cows' milk, using a commercial starter culture. *Int. Dairy J.* 16: 762–767.
- Garrote, G. L., A. G. Abraham, and G. L. De Antoni. 2001. Chemical and microbiological characterization of kefir grains. *J. Dairy Res.* 68: 639-652.
- Gershwin, M. E., and A. Belay. 2007. *Spirulina* in Human Nutrition and Health. CRC Press, Boca Raton, ISBN: 9781420052572, Pages: 328.
- Ghaeni, M., L. Roomiani, and Z. Masomozadeh. 2014. Review for uses and therapeutic effects of *spirulina*, *Spirulina platensis* microalgae. *Glob. J. Adv. Pure Appl. Sci.* 4: 365-371.
- Goiris, K., K. Muylaert, I. Fraeye, I. Foubert, J. De Brabanter, and L. De Cooman. 2012. Antioxidant potential of microalgae in relation to their phenolic and carotenoid content. *J. Appl. Phycol.* 24: 1477–1486.
- Gouveia, L., A. Batista, A. Raymundo, and N. Bandarra. 2008. *Spirulina maxima* and *Diacronema vlkianum* microalgae in vegetable gelled desserts. *Nutr. Food Sci.* 38: 492-501.
- Grahl, S., M. Strack, A. Mensching, and D. Mörlein. 2020. Alternative protein sources in Western diets: Food product development and consumer acceptance of *spirulina*-filled pasta. *Food Qual. Prefer.* 84: 1-12.
- Guldás, M., and R. Irkín. 2010. Influence of *Spirulina platensis* powder on the microflora of yoghurt and acidophilus milk. *Mljekarstvo*, 60: 237-243.
- Gyenis, B., J. Szigeti, N. Moln'ar, and L. Varga. 2005. Use of dried microalgal biomasses to stimulate acid production and growth of *Lactobacillus plantarum* and *Enterococcus faecium* in milk. *Acta Agr. Kapos.* 9: 53–59.
- Hajimahmoodi, M., M. A. Faramarzi, N. Mohammadi, N. Soltani, M. R. Oveis, and N. Nafissi-Varcheh. 2010. Evaluation of antioxidant properties and total phenolic contents of some strains of microalgae. *J. Appl. Phycol.* 22: 43–50.
- Houghtby, G. A., L. J. Maturin, and E. K. Koenig. 1992. Microbiological court methods. In: R.T. marshal (Ed). *Standard methods for the examination of dairy products* (16th ed.) pp. 213-246. American Public Health Association (APHA), Washington DC, USA.
- Irigoyen, A., I. Arana, M. Castiella, P. Torre, and F. C. Ibanez. 2005. Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. *Food Chem.* 90: 613–620.
- Jacob-Lopes, E., M. M. Maroneze, M. C. Deprá, R. B. Sartori, R. R. Dias, and L. Q. Zepka. 2019. Bioactive food compounds from microalgae: an

- innovative framework on industrial biorefineries. *Curr. Opin. Food Sci.* 25: 1–7.
- Jimenez, C., B. R. Cossio, D. Labella, and F. Xavier Niell. 2003. The feasibility of industrial production of *spirulina* in southern Spain. *Aquaculture*, 217: 179-190.
- John, S. M., and S. Deeseenthum. 2015. Properties and benefits of kefir-a review. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 37: 275–282.
- Lafarga, T., J. M. Fernández-Sevilla, C. González-López, and F. G. Ación-Fernández. 2020. *Spirulina* for the food and functional food industries. *Food Res. Int.* 137: 1-10.
- Lawless, H. T., and H. Heymann. 1999. *Sensory evaluation of food: Principles and practices*. 1st Edition. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Li, H. B., K. W. Cheng, C. C. Wong, K. W. Fan, F. Chen, and Y. Jiang. 2007. Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae. *Food Chem.* 102: 771–776.
- Machu, L., L. Misurcova, J. Vavra Ambrozova, J. Orsavova, J. Mlcek, J. Sochor, and T. Jurikova. 2015. Phenolic content and antioxidant capacity in algal food products. *Molecules* 20: 1118–1133.
- Makhlouf, R., and I. Makhlouf. 2012. Evaluation of the effect of *Spirulina* against Gamma irradiation induced oxidative stress and tissue injury in rats. *Int. J. Appl. Sci. Eng. Res.* 1: 152-164.
- Malik, P., C. Kempanna, and A. Paul. 2013. Quality characteristics of ice cream enriched with *spirulina* powder. *Int. J. Food Nutr. Sci.* 2: 44-50.
- Mocanu, G. D., E. Botez, O. V. Nistor, D. G. Andronoiu, and G. Vlăsceanu. 2013. Influence of *Spirulina platensis* biomass over some starter culture of lactic bacteria. *J. Agroalim. Process. Technol.* 19: 474-479.
- Molnár, N., B. Gyenis, and L. Varga. 2005. Influence of a powdered *Spirulina platensis* biomass on acid production of lactococci in milk. *Milchwissenschaft*, 60: 380–382.
- Molnár, N., Zs. Sipos-Kozma, A'. To' th, B. A' sva' nyi, and L. Varga. 2009. Development of a functional dairy food enriched with *Spirulina (Arthrospira platensis)*. *Tejgazdas' ag*, 69: 15–22.
- Narayana, R., and A. Kale. 2019. Functional Probiotic Yoghurt with *Spirulina*. *Asian J. Dairy Food Res.* 38: 311-314.
- Omar, H. H., K. A. Dighriri, and R. M. Gashgary. 2019. The Benefit Roles of Micro- and Macro-Algae in Probiotics. *Nat. Sci.* 17: 258-279.
- O'Sullivan, A. M., Y. C. O'Callaghan, M. N. O'Grady, D. S. Waldron, T. J. Smyth, N. M. O'Brien, and J. P. Kerry. 2014. An examination of the potential

- of seaweed extracts as functional ingredients in milk. *Int. J. Dairy Technol.* 67: 182–193.
- Patel, S., and A. Goyal. 2013. Current and Prospective Insights on Food and Pharmaceutical Applications of *Spirulina*. *Curr. Trends Biotechnol. Pharm.* 7: 696-707.
- Patel, P., H. Jethani, C. Radha, S. V. N. Vijayendra, S. N. Mudliar, R. Sarada, and V. S. Chauhan. 2019. Development of a carotenoid enriched probiotic yogurt from fresh biomass of *Spirulina* and its characterization. *J. Food Sci. Technol.* 56: 3721–3731.
- Priyadarshani, I., and B. Rath. 2012. Commercial and industrial applications of microalgae - A review. *J. Algal Biomass Util.* 3: 89-100.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. A. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26: 1231–1237.
- Riss, J., K. Décorde, T. Sutra, M. Delage, J. C. Baccou, N. Jouy, J. P. Brune, H. Oréal, J. P. Cristol, and J. M. Rouanet. 2007. Phycobiliprotein Cphycocyanin from *Spirulina platensis* is powerfully responsible for reducing oxidative stress and NADPH oxidase expression induced by an atherogenic diet in hamsters, *J. Agric. Food Chem.* 55: 7962–7967.
- Sharifi, M., A. Moridnia, D. Mortazavi, M. Salehi, M. Bagheri, and A. Sheikhi. 2017. Kefir: A powerful probiotics with anticancer properties. *Med. Oncol.* 34: 1-7.
- Singleton, V.L., and J. A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic- phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16: 144-158.
- Spolaore, P., C. Joannis-Cassan, E. Duran, and A. Isambert. 2006. Commercial applications of microalgae. *J. Biosci. Bioeng.* 101: 87–96.
- SPSS 2017. *Statistics Student Version 16.0*, 2017 SPSS Inc., Chicago, IL.
- Suzery, M., H. Hadiyanto, H. Sutanto, Y. Widiastuti, and G. Judiono. 2018. Improvement the Yoghurt Nutritional Value, Organoleptic Properties and Preferences by *Spirulina (Spirulina platensis)* Supplementation. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 349: 1-8.
- Szmejd, K., R. Duliński, L. Byczyński, A. Karbowski, T. Florczak, and K. Żyła. 2018. Analysis of the selected antioxidant compounds in ice cream supplemented with *Spirulina (Arthrospira platensis)* extract. *Biotechnol. Food Sci.* 82: 41-48.
- Tang, G., and P. A. Suter. 2011. Vitamin A, Nutrition, and health value of Algae: *Spirulina*, *Chlorella*, and *Dunaliella*. *J. Pharm. Nutr. Sci.* 1: 111-118.
- Tharmaraji, N., and N. P. Shah. 2003. Selective enumeration of *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacteria*, *Lactobacillus casei* and *Propionibacteria*. *J. Dairy Sci.* 86: 2288-2296.



- Torriani, S., F. Gardini, M. E. Guerzoni, and F. Dellaglio. 1996. Use of response surface methodology to evaluate some variable affecting the growth and acidification characteristics of yoghurt cultures. *Int. Dairy J.* 6: 625-636.
- Varga, L., J. Szigeti, R. Kovacs, T. Foldes, and S. Buti. 2002. Influence of a *Spirulina platensis* biomass on the microflora fermented ABT milks during storage (R1). *J. Dairy Sci.* 85: 1031-1038.
- Vo, T.S., D. H. Ngo, and S. K. Kim. 2015. Nutritional and pharmaceutical properties of microalgal *Spirulina*. In Chapter 9: Handbook of Marine Microalgae, Edited by S.K. Kim, the Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK, 568p.
- Yilmaz B, Sharma H, Melekoğlu E, Ozogul F (2022) Recent developments in dairy kefir-derived lactic acid bacteria and their health benefits. *Food Biosci* 46:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101592>

## New Trends in Artificial Intelligence

Fulya Aslay<sup>1</sup>

### Abstract

Nowadays, with society 5.0, where technology has reached its highest level and smart societies have been formed, artificial intelligence has entered our lives in almost every field. With artificial intelligence, which is related to many disciplines, machines that resemble the human thinking and learning system are produced. In this way, artificial intelligence is used in cases where workforce and potential processing capacity are insufficient. In this study, the development process of artificial intelligence, new trends with artificial intelligence technologies are presented and the areas of use of artificial intelligence are included with examples. Finally, information about the future of artificial intelligence is given. It is expected that this study, which explains the basic principles of artificial intelligence, will be useful to its readers.

### 1. INTRODUCTION

In today's world, computers, despite being machines that make life easier for humans and take on their workload, fall short in solving complex problems. At this point, artificial intelligence aims to enhance the capabilities of computers in complex situations such as thinking and problem-solving like humans, where computers prove to be insufficient. Artificial intelligence is related to various disciplines such as computer engineering, philosophy, cognitive science, and electronic sciences. It encompasses theories, methods, and applications related to mimicking and advancing human intelligence for solving problems or issues in various fields (Shi and Zheng, 2006, p.810). It includes various methods and tools, ranging from speech recognition and robotic applications to expert systems and natural language processing (Niu, Tang, Xu, Zhou, and Song, 2016, p.1).

---

1 Doç. Dr., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, faslay@erzincan.edu.tr,  
ORCID ID: <https://orcid.org/> <https://orcid.org/0000-0001-5212-6017>

To be called artificial intelligence, a system must possess four distinct features: the ability to act like a human, the ability to think like a human, the ability to act rationally, and the ability to think rationally (Russell and Norvig, 2010).

The development of artificial intelligence began with Turing machines in 1950 and has now become a part of our lives in almost every aspect, from health to security, from shopping to social media. With technologies such as machine learning, deep learning, natural language processing, and genetic algorithms, artificial intelligence now enables dialogue between machines and humans through chatbots.

With the continuous advancement of artificial intelligence, it is expected that virtual reality and augmented reality applications will become even more widespread in the future. Moreover, digital humans will progress further, possessing not only text and voice-based communication skills but also interacting through various modalities such as facial expressions, body language, emotions, and physical interactions, going beyond the capabilities of mere text and voice-based communication.

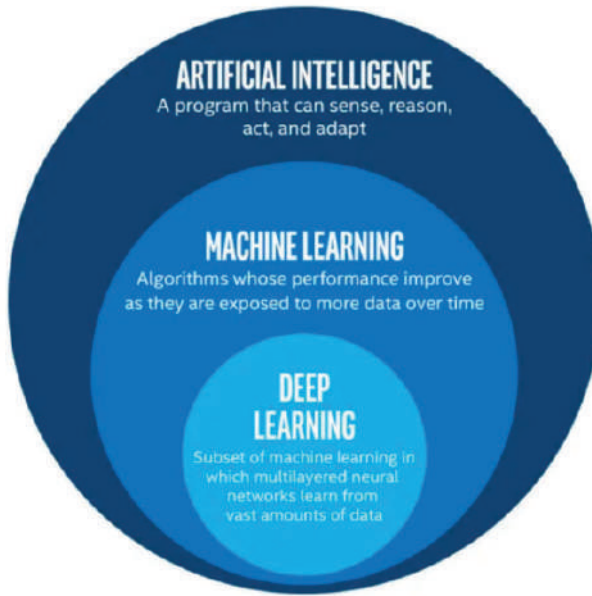
## 2. ARTIFICIAL INTELLIGENCE

John McCarthy, widely regarded as the father of artificial intelligence, defined artificial intelligence in 1956 as the “science and engineering of making intelligent machines” (Gupta, 2017). Today, artificial intelligence is recognized as a system that operates with advanced technology, generally possessing the abilities to mimic, understand, evaluate, and make superior interpretations by bringing together previously learned information (Nabiyev, 2012). The goal of artificial intelligence is to mimic human intelligence through computer means. Artificial intelligence is defined in various ways in the literature (Pirim, 2006: 81-93).

- “Artificial intelligence is the replication of behaviors termed intelligent when performed by humans, but executed by machines.”
- “A theory attempting to demonstrate how the human mind works. The goal of artificial intelligence is to mimic human intelligence through computer means.”
- “Artificial intelligence seeks to understand the structure of intelligence by creating computer programs that control intelligent machines.”

The concepts of artificial intelligence, deep learning, and machine learning have become intertwined and are sometimes even used interchangeably. However, machine learning is a subset of the artificial intelligence discipline,

and deep learning is an area that needs to be examined under machine learning. This situation is illustrated in Figure 1. (Öztemel, 2020).



*Figure 1. Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning Relationship*

Definitions of artificial intelligence are categorized into four groups: machines that think like humans (thinking humanly) (Belman, 1978), machines that act like humans (acting humanly) (Kurzweil, 1990), machines that think rationally (thinking rationally) (Winston, 1992), and machines that act rationally (acting rationally) (Nilsson, 1998).

### **2.1. The Development Process of Artificial Intelligence**

The emergence of Artificial Intelligence (AI) dates back to 1945 when the term Robotics was coined. The development of AI, along with significant milestones up to the present day, can be outlined as follows (Gupta, 2017; Ayıldız and Yılmaz, 2021; Akbulut, 2023):

1950: Alan Turing introduced the Turing Test for evaluating intelligence and published “Computing Machinery and Intelligence.” Claude Shannon published “A Detailed Analysis of Chess Playing” (Turing, 1950).

1956: John McCarthy coined the term “Artificial Intelligence” and presented the demonstration of the first AI program created at Carnegie Mellon University.

1958: John McCarthy developed the LISP programming language for AI.

1964: Danny Bobrow's thesis at MIT demonstrated that computers could accurately understand algebraic word problems in natural language.

1965: Joseph Weizenbaum at MIT created ELIZA, a natural language processing computer program capable of sustaining a dialogue in English.

1969: Scientists at Stanford Research Institute developed Shakey, a robot with motion, perception, and problem-solving capabilities.

1973: The first AI research center in Europe was established at the University of Edinburgh.

1979: Stanford Cart, the first computer-controlled autonomous vehicle, was created.

1985: Harold Cohen created and showcased the drawing program Aaron.

1990: Significant progress was made in all areas of AI, including machine learning, case-based reasoning, multi-agent planning, timing, data mining, web crawling, natural language understanding and translation, vision, virtual reality, and gaming.

1997: Deep Blue Chess Program defeated the reigning world chess champion, Garry Kasparov.

2000: Interactive robotic pets were introduced to the market. MIT created Kismet, a robot expressing emotions.

2005: The humanoid robot Asimo, equipped with artificial intelligence, was introduced.

2011: Apple introduced Siri, a virtual assistant capable of executing voice commands.

2012: Google tested self-driving cars in traffic.

2016: Google's AlphaGo defeated a top Go player in the world. The same year, Hanson Robotics introduced Sophia, a humanoid robot recognized as the first "robot citizen," with a realistic human appearance, the ability to perceive and mimic emotions, and communication skills.

2021: OpenAI released DALL-E, a project capable of generating images based on textual descriptions.

2022: ChatGPT, known to be created by OpenAI, was launched. (GPT-2 was developed in 2019, and GPT-3 Beta in 2020.)

March 2023: Google Bard, a chat robot utilizing the large language model called LaMDA, was opened to a limited user base.

## 2.2. Applications of Artificial Intelligence

Artificial intelligence (AI) has become widely prevalent in various fields today. AI and intelligent software are actively used in numerous sectors and activities, ranging from health, law, entertainment, tourism, finance, banking, security, engineering, education, socio-cultural activities, to manufacturing and storage (Komalavalli et al., 2020; Apaydın et al., 2023). Below are examples encompassing common application areas:

**Health:** AI utilizes data to predict diseases and provide accurate treatments, actively contributing to the healthcare sector.

**Finance:** AI facilitates quick access to reports that data analysts could spend hours generating in the financial sector.

**Shopping:** Online shopping platforms collect and store information about your preferences. Google Analytics can provide insights into your online activities, including the time spent on specific pages, location, browser, device, and even mouse usage.

**Social Media:** AI, employed by social media platforms like Facebook, Twitter, and Instagram, considers your past searches, interactions, and behaviors to enhance user experience.

**Autonomous Vehicles, Drones, Autopilot:** Autonomous vehicles, including self-driving cars, are prime examples of how AI influences the automotive industry. They use visual recognition systems and real-time modeling to predict static and moving obstacles and determine actions based on objectives.

**Travel:** Google Maps, powered by AI algorithms, scans route information and determines the most suitable path for biking, driving, bus, train, or walking. AI, through chatbots, is rapidly changing the travel industry, facilitating interactions that include travel suggestions, optimal reservation prices, and quick response times.

**Smart Devices:** AI-supported devices, such as smart lights that change intensity and color over time, and thermostats that adjust temperature according to user preferences, are increasingly common. Automated voice assistance systems like Alexa and Siri also exemplify AI's role in enhancing daily life.

**Music:** AI, based on data obtained from millions of conversations, can assist musicians in creating themes and generating various musical elements. Tools like SOUNDRAW, which uses AI to create royalty-free music, allow users to choose length, tempo, mood, genre, and theme to generate music with a click of a button.

**Food:** AI is utilized to make recommendations based on food compatibility and assist in developing recipes.

**Security:** AI's ability to analyze security camera footage using facial and voice recognition technologies is more efficient and practical than requiring humans to monitor streams from multiple cameras simultaneously.

**Internet of Things (IoT) and Robotics:** Technologies based on AI-driven systems, focusing on device communication and creating autonomous physical agents, encompass both the Internet of Things and robotics. They use AI to identify signals, determine responses, and manage their current situations.

### **2.3. Artificial Intelligence Technologies**

There are various techniques and technologies employed in Artificial Intelligence (AI). Below are some of the most commonly used methods (Sağiroğlu and Sinanc, 2013):

**Machine Learning (ML):** Machine Learning is a subset of AI that utilizes various methods to analyze past data, make inferences, generate solutions, and make predictions for the future. It has two main types: Supervised, Unsupervised, Semi-supervised, and Reinforcement Learning. Supervised learning is result-oriented, aiming to reach and conclude goals by accessing information from data. It uses labeled datasets to train the model. Unsupervised learning, on the other hand, focuses on exploring patterns using unlabeled datasets.

**Deep Learning:** Deep Learning, which had a significant impact on the scientific community in 2012, is a branch of machine learning that performs complex tasks through artificial neural networks. It often requires large amounts of data and high computational power but has achieved significant success in areas such as visual recognition, speech recognition, and natural language processing. Deep learning encompasses computation models with multiple processing layers to represent data at multiple abstraction levels.

**Natural Language Processing (NLP):** NLP is a technology that enables computers to understand human language. It includes various applications such as search engines, virtual assistants, text classification,

text summarization, text translation, sentiment analysis, and entity name recognition.

**Evolutionary Algorithms:** Evolutionary algorithms seek solutions by modeling natural genetic structures. They are used to find solutions in problems where information is incomplete. These algorithms are built on a random process and are generally applied to optimization problems.

**Support Vector Machines (SVM):** SVM is a supervised learning algorithm used for classification or regression tasks. It creates an n-dimensional hyperplane that optimally separates data into two categories. SVM models are closely related to artificial neural networks, featuring a two-layer, feedforward artificial neural network using a sigmoid kernel function. They divide data with limiting hyperplanes, thus distinguishing classes.

**Clustering Algorithms:** Clustering algorithms divide datasets into groups with similar characteristics. There are various clustering algorithms in the literature, and the choice of which one to use depends on the goal and data type. Main clustering methods include Partitioning methods, Hierarchical methods, Density-based methods, Grid-based methods, and Model-based methods.

**Genetic Algorithms:** Genetic Algorithms mimic biological evolution processes and are probabilistic, robust, and intuitive search algorithms based on evolutionary principles to reach specific goals. They are applied in problems related to optimization.

These technologies collectively contribute to the diverse and evolving field of artificial intelligence, enabling advancements in various applications and industries.

### **3. ARTIFICIAL INTELLIGENCE- NEW TRENDS**

#### **3.1 Artificial Intelligence with Augmented and Virtual Reality**

The combination of artificial intelligence, augmented reality, and virtual reality has the potential to revolutionize the world with its immense functionalities.

**3.1.1. Virtual Reality (VR):** VR involves the fusion of reality and imagination through digitally created scenarios. It is considered the most advanced technology that integrates computer graphics, simulation technology, artificial intelligence, sensor technology, and parallel network processing achievements. VR is acknowledged as



a highly sophisticated simulation system generated by computers (Chavez & Bayona, 2018).

3.1.2. **Augmented Reality (AR):** Augmented Reality is defined as the enhanced real-time perception of a physical real-world environment through the addition of computer-generated information. It enriches the live or indirect physical view of the environment and its contents by integrating information generated by a virtual computer. This includes sound, images, graphics, and GPS data. AR is essentially the alteration and enhancement of reality by computer technology. The concept of Augmented Reality involves the technological adaptation and design of solutions to real-life problems (Carmigniani et al., 2011). The products and services of Augmented Reality are referred to as the Metaverse.

3.1.3. **Metaverse: A Fusion of Reality and Virtual World.** Metaverse can be defined as a ‘digital world’ where real and virtual worlds merge in a science fiction-inspired environment (Zhao et al., 2022). It is a digital and online space that encompasses the digital twins of humans, objects, and spaces, featuring 3D visuals (Moro-Visconti, 2022). In this ‘world,’ people can transition between different electronic devices and communicate in a virtual environment. Metaverse is the next-generation internet, a “digital place where the digital representations of people and objects live.”

Current modern prototypes of Metaverse applications can be categorized into ‘games,’ ‘social experiences,’ ‘online collaboration,’ ‘simulation and design,’ and ‘creative economy’ (Y. Wang et al., 2023). Below are a few examples of potential applications in Metaverse:

**Enhanced Learning:** New ways of education and teaching that provide a more comprehensive learning experience are possible. Metaverse is expected to create a new learning environment for higher education and military training institutions, addressing the challenges and costs associated with real-world training areas.

**Virtual Events:** Virtual events, which have transformed the essence of business life since the pandemic, can be more integrated and interactive in Metaverse. Virtual concerts, launch meetings, entertainment environments, and various other formats may become possible.

**Retail Sector:** Opportunities may arise for the retail sector to increase customer interaction with virtual stores and offer new forms of shopping experiences. Introducing products and services, conducting demos, and

interacting with users, such as trying on new clothes or test-driving a product, can be facilitated.

**Corporate Interactions:** Companies and organizations will seek ways to not only engage with customers but also enhance interaction and collaboration with employees in Metaverse.

**3.1.4. Digital Humans:** Digital humans can be envisioned as 3D versions that respond to actions and reactions in a virtual world, similar to the virtual assistants used today. Brands can hire these digital humans to assist customers in shopping, guide them through a process, or answer questions as a customer support representative. To perform such functions, they will need to include AI-supported understanding capabilities, sustain a conversation, provide recommendations, engage in social conversations and jokes, and exhibit some emotional responses like a human. Brands will find endless ways to use these characters not only to acquire customers, sell products, and provide support but also to hire employees, encourage company participation, and increase loyalty (Şeker, 2023).

### **3.2. Artificial Intelligence in Robotics**

Robotics is taking over industries worldwide with its versatile functionalities. Robots, powered by artificial intelligence, excel in performing successful surgeries, showcasing dance moves, protecting workers in hazardous environments, and various other activities (Kurtuluş, 2023). With Industry 4.0, countries aim to enhance both efficiency and quality in production in the coming years using robots, sensors, and the analysis of the data they generate (Kaygusuz, 2023).

### **3.3. Ethical Artificial Intelligence**

Major companies like Google, Microsoft, Apple, Facebook, and others are working on ethical artificial intelligence by following an ethical framework that includes four essential principles: fairness, reliability, transparency, and explainability. This trend is gaining popularity as it provides stakeholders with an internal look into their systems. Ethical artificial intelligence raises various ethical, legal, and social issues related to the social interactions of AI-based robots, opening up different perspectives for ethicists, sociologists, and legal experts in the futuristic scenarios presented in science fiction (Doğan, 2023).

### **3.4. Explainable Artificial Intelligence (XAI)**

As deep learning models become increasingly complex, the need for “Explainable Artificial Intelligence” (XAI) has emerged to allow humans to understand and interpret the outputs generated by these models (Terzi, 2021). XAI provides a general explanation of how artificial intelligence models and machine learning work internally to produce meaningful business predictions and forecasts for the future. While companies are required to provide complete transparency with a full explanation, concerns arise in competitive markets where companies may not want to disclose all their steps and processes to the public due to patent reasons. Explainable AI provides explanation maps showing the infrastructure of the system’s decisions. By examining explanation maps, humans can detect potential mistakes made by the machine, preventing incorrect actions (Kırat & Aydın, 2023).

### **3.5. Predictive Analytics**

Artificial intelligence-based predictive analytics is achieved through the use of predictive analytical models and automated tools in AI-based auditing. Predictive analytics allows businesses to understand customer trends for better consumer behavior in current scenarios, using personalized data collected over an extended period to predict potential responses from target audiences (Ng and Alarcon, 2020).

### **3.6. Emotional Artificial Intelligence**

Emotional artificial intelligence is a popular trend in 2021 as it can perceive, learn, and interact with multiple human emotions. This technology is known for taking human-robot communication to a new level. Emotional AI can understand customer behaviors through verbal and non-verbal signals. Service robots programmed with emotional AI codes are useful in superficial acting, as they greet and interact with customers. However, for a service environment to be complete for customer satisfaction, human elements are still necessary. The automation of the service process with AI offers additional opportunities for performance and productivity improvement (Wirtz et al., 2018). Emotional AI algorithms can monitor customer preferences in real-time, offering new ways for marketers to adjust marketing strategies based on customer preferences in social media content (Verma et al., 2021).

### **3.7. Conversational Artificial Intelligence**

Since 2017, many companies have been using sophisticated chatbots and virtual assistants to provide information to users and perform various tasks.

The integration of emerging technologies such as augmented reality, virtual reality, and artificial intelligence is crucial for creating scalable and realistic virtual worlds (İrdem and Çobanoğlu, 2021). The fundamental technology behind these digital humans will be speech-based conversational artificial intelligence. One such AI application is ChatGPT, a conversational AI robot developed by OpenAI and released in November 2022. This application is built on large language models, fine-tuned using both supervised and reinforcement learning techniques (Küçüker, 2013; Wikipedia, 2023).

### **3.8. Artificial Intelligence in Cybersecurity**

Artificial intelligence can instantly detect any unusual activity within existing systems and alert employees as quickly as possible. It also makes it more challenging for hackers and fraudsters to infiltrate the system. AI enriches cybersecurity with intelligent code analysis and configuration analysis. Cybersecurity solutions integrated with AI provide more effective, high-performance protection (Kuzlu et al., 2021).

### **3.9. Artificial Intelligence in Computer Vision**

The integration of artificial intelligence into computer vision has transformed existing computer systems into intelligent computers. This approach (AI) can perform various operations such as analyzing human posture and movement, collecting data on people and vehicles for security forces, analyzing videos, and using facial recognition as needed. Computer vision, capable of performing processes like regression, classification, and segmentation, is also used in the diagnosis and treatment processes of diseases (Janiesch et al., 2021; Emmert-Streib et al., 2020).

### **3.10. Artificial Intelligence in IT**

Artificial intelligence in IT is used in various areas, including safeguarding confidential data against possible threats and data breaches, overcoming software errors and assisting developers, undertaking tedious and repetitive tasks, predicting and identifying complex problems, delivering more benefits without human intervention, and ensuring top-level security in the quality of products and services (Tugay & Tugay, 2019).

### **3.11. Artificial Intelligence in IoT**

The application of artificial intelligence to IoT allows smart devices to analyze data and make effective, intelligent decisions without human intervention. It is also used to enhance performance and optimize systems to meet the desires and needs of the target audience (Sinopoğlu et al., 2021).

## 4. THE FUTURE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

There are numerous scenarios and predictions about the future of artificial intelligence (Karamustafa & Arsan, 2022; Taştan & Taştan, 2021; Öztemel, E., 2020):

- Artificial intelligence will become more widespread in various aspects of our lives, facilitating human tasks. Through automation and robotic systems, production processes will become more efficient, medical diagnostics and treatments will be more accurate and effective, autonomous driving will enhance safety, and overall human quality of life will improve.
- Artificial intelligence may lead to job losses for humans. Automation and robotic systems may render some jobs obsolete, leading to increased unemployment in certain sectors. Already, 31% of small businesses have started using AI tools, with 82% of them claiming that these tools have increased profits and reduced expenses. A McKinsey study predicts that AI will replace at least 30% of human labor by 2030.
- Artificial intelligence has the potential to violate individuals' privacy rights and pose security risks. AI systems can collect and analyze people's data, and if these data fall into the wrong hands, security risks may emerge.
- Artificial intelligence could take control of human lives and pose risks. Uncontrolled development of AI technology might lead to errors that could jeopardize human lives or be maliciously exploited by individuals with ill intent.
- Artificial intelligence has the capacity to alter human social relationships and influence societal structures. For instance, AI systems on social media platforms can analyze people's behaviors to deliver personalized content for advertising and political campaigns, thereby influencing individuals' thoughts and behaviors.

## REFERENCES

- Akbulut, B. (2023). Yapay Zeka ve Ceza Hukuku Sorumluluğu. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 27(4), 267-319.
- Apaydın, N., Ekşi, G. G., & Dinger, E. (2023). Yapay Zekâ ve Yönetim.
- Ayyıldız, P., & Yılmaz, A. (2021). Putting things in perspective: The COVID-19 pandemic period, distance education and beyond. Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(6), 1631-1650. <https://doi.org/10.18506/anemon.946037>
- Bellman, R., An Introduction to Artificial Intelligence: Can Computers Think? Boyd&Fraser Publishing Company, San Fransisco, 1978.
- Bengio, Y. (2009). Learning deep architectures for AI. Foundations and Trends in Machine Learning 2(1), 1-127.
- Berryman, D. R. (2012). "Augmented Reality: A Review". Medical Reference Services Quarterly, 31(2): 212-218. DOI: 10.1080/02763869.2012.670604.
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). "Augmented Reality Technologies, Systems and Applications". Multimedia Tools and Applications, 51: 341-377. DOI: 10.1007/s11042-010-0660-6.
- Chavez, B. & Bayona, S. (2018). Virtual reality in the learning process. Trends and Advances in Information Systems and Technologies, 1345-1356.
- Chowdhary, (2020). Natural language processing. In Fundamentals of Artificial Intelligence (pp. 603-649). Springer, New Delhi.
- Doğan, M. (2023). Sinemada Yapay Zekâ: Robotlarda Bilinç, Duygular ve Etik. Kültür ve İletişim, 26(52), 318-343.
- Emmert-Streib, F., Yang, Z., Feng, H., Tripathi, S., Dehmer, M. (2020). An Introductory Review of Deep Learning for Prediction Models With Big Data, Front. Artif. Intell. 3 (2020). doi:10.3389/frai.2020.00004.
- Gupta, N., (2017), "A Literature Survey on Artificial Intelligence", International Journal of Engineering Research & Technology, Volume 5, Issue 19, pp.1-5.
- Haykin, S. (1999). Neural Networks: A Comprehensive Foundation [Elektronik Sürüm], Prentice Hall Inc, New Jersey.
- İrdem, İ., & Çobanoğlu, S. (2021). Yapay Zekânın İç Güvenlik Yönetimi Üzerine Yansımaları: Siber Güvenlik. Kamu Yönetimi ve Teknoloji Dergisi, 3(2), 175-202.
- Janiesch, C., Zscheck, P., Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning, Electron. Mark. 31 (2021) 685–695. doi:10.1007/s12525-021-00475-2

- Javidi, M. M., Fard, R. H., Jampour, M. (2015), "Research in Random Parameters of Genetic Algorithm and Its Application on TSP and Optimization Problems", *Walailak Journal of Science and Technology*, 12(1), 27-34.
- Karamustafa, E. Y., & Arsan, B. (2022). Yapay Zekanın Geleceği: Duygular Yapay Zekayı Nasıl Etkileyecek?. *Journal of Business in The Digital Age*, 5(1), 58-64.
- Kaygusuz, N. A. (2023). Nöropazarlama ve Yapay Zekâ İlişkisinin Tüketici Davranışları Üzerindeki Etkisine Yönelik Kavramsal Bir Model Önerisi. *Journal of Academic Social Science Studies*, 16(95).
- Kırat, S. S., & Aydın, İ. (2023). Açıklanabilir Yapay Zekâ Tabanlı Denetimsiz Öğrenme ile Ray Kusur Tespiti. *Demiryolu Mühendisliği*, (18), 1-13.
- Komalavalli, K., Hemalatha, R., & Dhanalakshmi, S. (2020). A survey of artificial intelligence in smart phones and its applications among the students of higher education in and around Chennai City. *Shanlax International Journal of Education*, 8(3), 89-95. <https://doi.org/10.34293/education.v8i3.2379>
- Koyuncugil, A., & Özgülbaş, N. (2009). Veri madenciliği: Tıp ve sağlık hizmetlerinde kullanımı ve uygulamaları . *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2.2.
- Kurtuluş, Ö. (2023). Yapay Zeka ve Sivil Toplum: İyi Amaçlar için Yapay Zeka.
- Kurzweil, R., *The Age of Intelligent Machines*, MIT Press, 1990.
- Kutlugün, M. A. (2017). Gözetimli makine öğrenmesi yoluyla türe göre metinden ses sentezleme (Master'sthesis, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı).
- Kızılı M., Fair C., and Guler O. (2021). "Role of Artificial Intelligence in the Internet of Things (IoT) cybersecurity," *Discover Internet of Things*", vol. 1, no. 7, pp:1-14, February 2021. <https://doi.org/10.1007/s43926-020-00001-4>
- Küçükker, M. (2023). Muhasebede Yapay Zekâ Uygulamaları: Chatgpt'nin Muhasebe Sınavı. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 33(2), 875-888.
- Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). "Deep learning". *Nature* 521(7553), 436.
- Moro-Visconti, R. (2022). Metaverse: A Digital Network Valuation. İçinde R. Moro-Visconti, *The Valuation of Digital Intangibles* (ss. 515-559). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-09237-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-09237-4_18)
- Nabiyev, V. V. (2012), *Yapay Zekâ: İnsan-Bilgisayar Etkileşimi*, Baskı Yeri: Seçkin Yayıncılık
- Ng, C., Alarcon, J. (2020). *Artificial intelligence in accounting: Practical applications*. Routledge

- Nilsson, N. J., *Artificial Intelligence: A New Synthesis*, Morgan Kaufmann, 1998.
- Niu J., Tang W., Xu F., Zhou,X. & Song Y. (2016). Global research on artificial intelligence from 1990–2014: Spatially-explicit bibliometric analysis. *IS-PRS International Journal of Geo-Information*, 5(5), 66.
- Özekes, S. (2003). Veri madenciliği modelleri ve uygulama alanları, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,3,65-82.
- Öztemel, E. (2020). Yapay Zekâ ve İnsanlığın Geleceği.
- Pirim, A. G. H. (2006). Yapay zekâ. *Journal of Yaşar University*, 1(1), 81-93.
- Rechenberg, I., 1973. *Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*, Fromman-Holzboog Verlag, Stuttgart.
- Ravi, D., Wong, C., Deligianni, F., Berthelot, M., Andreu-Perez, J., Lo, B., & Yang, G. Z. (2017). “Deep learning for health informatics”. *IEEE journal of Biomedical and Health Informatics* 21(1), 4-21.
- Russell, S. ve Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A modern approach*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Sagiroglu, S., and Sinanc, D., “Big data: A review”, *Collaboration Technologies and Systems (CTS) International Conference on IEEE*, 42-47 (2013).
- Shi, Z.Z. ve Zheng, N.N. (2006). Progress and challenge of artificial intelligence. *Journal of Computer Science and Technology*, 21(5), 810-822.
- Sinoplu, M., Yılmaz, Ö., Gökçaya, G., & Durak, H. (2021). Siber Güvenlik ile İlgili Nesnelerin İnterneti ve Yapay Zekâ Konularını Temel Alan Tezlerin Yöntemsel Olarak İncelenmesi. *Bilgi ve İletişim Teknolojileri Dergisi*, 3(2), 228-242.
- Song, O., Hu, W. ve Xie, W. (2002). “Robust Support Vector Machine with Bullet Hole Image Classification” [Kurşun Deliklerini Destek Vektör Makineleri ile Sınıflandırma], *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews*, 32(4): 440.
- Şeker, A. (2023). Dijital İnsan Kaynakları Pazarlaması. *Dijital İnsan Kaynakları Pazarlaması*, 47.
- Taştan, K., & Taştan, N. S. (2021). Yönetimde Yapay Zekânın Geleceği. In 8 Th International Management and Social Research Conference November (pp. 6-8).
- Terzi, R. (2021). “Sağlık Sektöründe Açıklanabilir Yapay Zeka,” in *Yapay Zeka ve Büyük Veri Çalışmaları, Siber Güvenlik ve Mahremiyet*, Ş. Sağıroğlu and U. Demirezen, Eds. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2021, pp. 157–175.
- Tugay, B., & Tugay, A. G. R. (2019). Uluslararası Sistemin Geleceğini Yapay Zekâ Üzerinden Analiz Etmek.



- Turing, A. (1950) Computing machinery and intelligence. *Mind*, 49(236), 433–460.
- Verma, S., Sharma, R., Deb, S., Ve Maitra, D., (2021). “Artificial intelligence in marketing: Systematic review and future research direction”, *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(1), 100002, 2021, s. 1-8.
- Wang, Y., Su, Z., Zhang, N., Xing, R., Liu, D., Luan, T. H., & Shen, X. (2023). A Survey on Metaverse: Fundamentals, Security, and Privacy. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25(1), 319-352. <https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3202047>
- Wikipedia (2023, Aralık), ChatGPT. Erişim Adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/chatgpt>
- Winston, P. H., *Artificial Intelligence* (third edition), Addison- Wesley, 1992.
- Wirtz, J., Patterson, P. G., Kunz, W. H., Gruber, T., Lu, V. N., Paluch, S., Ve Martins, A., (2018). “Brave new world: service robots in the frontline”, *Journal of Service Management*. 29(5), 2018, s. 907-931.
- Zhao, Y., Jiang, J., Chen, Y., Liu, R., Yang, Y., Xue, X., & Chen, S. (2022). Metaverse: Perspectives from graphics, interactions and visualization. *Visual Informatics*, 6(1), 56-67. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2022.03.002>

# Type-2 Fuzzy Logic Applications in Solar Energy Technologies: A Comprehensive Overview

Bariş Sandal<sup>1</sup>

## Abstract

This book chapter gives an overview of Type 2 Fuzzy Logic (T2FL) and its application in solar energy research. Through a comprehensive investigation, both the applications and limitations of T2FL in the context of solar energy systems are illuminated. It examines the role of T2FL methods in managing uncertainty and draws insights from contemporary academic literature. This book chapter contributes to a differentiated understanding of T2FL methods and their impact in the field of solar technologies. The chapter examines how T2FL helps improve the efficiency of solar energy forecasting models, overcome power control challenges, and improves solar system performance. Furthermore, the integration of T2FL with MCDM (Multi-Criteria Decision-Making) methods for evaluating renewable energy alternatives is discussed. By providing practical insights and addressing potential challenges, this chapter seeks to advance knowledge in these interrelated areas. The content presented here aims to provide valuable perspectives for both academic and professional audiences and to position the T2FL principles in the dynamic landscape of solar energy. In summary, the holistic view presented here enriches the discourse on T2FL methods and highlights their importance in the specific area of solar energy research.

## 1. Introduction

Traditional methodologies, designed around precise boundaries, often struggle to grapple with the multifaceted challenges of data generated by humans, inherently laden with imprecision and vagueness. These classical approaches fall short when confronted with the intricate nature of human cognitive processes. The term ‘approximate’ is commonly used in everyday discourse to pragmatically represent numerical values that are uncertain

---

1 PhD, İstanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, bsandal@iuc.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1078-7786

or undefined, especially for quantities not based on precise measurements or well-defined parameters. However, the expressed, understood, and actual values may vary due to differences in both the formulation of the magnitude indicated by this ‘approximate’ expression by the speaker and the interpretation by the recipient. In situations characterized by inherent uncertainties, such as measurement inaccuracies or linguistic ambiguities, the indicated magnitude inherently incorporates an element of unpredictability.

Fuzzy Logic (FL) is a powerful tool that effectively addresses the complexities and uncertainties found in the real world. FL possesses the unique capability to navigate the subtleties and complexities inherent in various real-world scenarios. FL excels at faithfully replicating human reasoning, embracing the inherent ambiguities of human thought processes. This robust methodology mirrors the intricate nature of human reasoning and thrives in scenarios characterized by imprecision and vagueness, making it a versatile tool with diverse applications. FL has emerged as a prominent paradigm in the realm of scientific research, finding applications across a diverse array of academic disciplines. It has positioned itself as a sophisticated algorithm with relevance to intelligent systems, garnering extensive attention and recognition in academic investigations. This is notably apparent in its utilization across various engineering domains [1], [2], medical sectors [3]–[5], and decision support systems, underscoring its versatility and efficacy as a paradigm. FL, closely related to fuzzy set theory, transcends the understanding of complex systems. The evolution and implementation of fuzzy set theory have significantly broadened our capacity to model intricate real-world phenomena, offering invaluable insights into the realms of decision-making and artificial intelligence. It plays a crucial role in shaping the advancement of artificial intelligence by empowering machines to address tasks demanding problem-solving capabilities akin to those of humans, navigating the challenges posed by uncertainty. FSs excel in handling ambiguity in calculations and the modeling and control of complex systems, proving to be invaluable in both academic research and practical applications.

In order to improve the interpretive clarity and usefulness of naturally ambiguous concepts and to represent their heuristic meaning in a way that takes into account a variety of viewpoints, this expressed magnitude can be represented as a fuzzy set (FS). This approach leads to the creation of fuzzy numbers (FNs) in accordance with the mathematics of fuzzy logic, building upon the definition of FSs [6], [7]. To address the limitations of conventional set theory, Zadeh introduced fuzzy set theory in 1965. Further expounded upon by Zadeh in 1996, this theoretical framework has

significantly revolutionized our ability to address uncertainty and vagueness across diverse fields of study.

As we navigate the escalating complexities of uncertainty, academic focus organically shifts towards Type-2 Fuzzy Sets (T2FS), drawing inspiration from the seminal contributions of Mendel and Wu in 2002 [8]. The influential work of Mendel and Wu identified four main sources of uncertainty within FL: the use of technical terminology in rule antecedents and consequences, introducing inherent uncertainty; consequents depicting a spectrum of potential outcomes, often illustrated as histograms; measurements susceptible to the influence of noise; and the presence of noisy characteristics in tuning data, further complicating the landscape.

Type 1 fuzzy sets (T1FSs), a widely used subtype of FL, successfully navigate areas of uncertainty and imprecision compared to traditional approaches. T1MFs constructed according to the T1FS structure are favored for their practicality, offering a straightforward conceptual grasp and computational efficiency, making them the preferred choice for converting input variables into their fuzzy counterparts. Among the MF forms that are available, Gaussian, trapezoidal and triangular configurations are prevalent in practical applications. In the realm of scientific inquiry, T1FSs operate under the assumption of a definitive certainty regarding the MF shape designed by the researcher to suit a specific problem. Nevertheless, a notable challenge arises as T1MFs fall short in accommodating the uncertainty emerging from their inability to comprehensively articulate the MFs shape in practical contexts. This challenge prompts a deeper consideration for employing advanced methodologies, such as T2FS, renowned for its capability to address the inherent uncertainty in MF shapes. As we navigate the growing intricacies of uncertainty, scholarly attention naturally shifts towards T2FSs, inspired by the seminal contributions of Mendel and Wu in 2002 [8]. T2FSs excel in modeling uncertainty within the MF by representing its boundaries with fuzziness. The fuzzy representation of the boundaries of Type 2 membership functions (T2MFs) provides the opportunity to model uncertainties. Essentially, T2MFs are therefore inherently blurry. Furthermore, adding a third dimension to T2MFs increases the ability to model uncertainty levels. T2FSs emerge as the preferred choice for managing multifaceted uncertainties, as emphasized by Mendel and Wu in 2002 [8]. However, comprehending and applying T2FSs poses challenges, as we will explore. Unfortunately, T2FS are more complicated to use and understand compared to their Type 1 counterparts, which may contribute to their limited distribution.

The upcoming chapters aim to illuminate the complexities of FL, meticulously examining the strengths and limitations inherent in both methodologies, with a specific focus on their relevance to solar energy. Our goal is that, upon completion of this chapter, professionals and scholars immersed in solar energy research will possess the essential knowledge to make insightful decisions regarding the practical application of FL in the context of solar technologies. The enduring scholarly and industrial fascination with FSs continues to drive extensive research efforts across diverse domains, particularly within the ever-evolving landscape of solar energy.

This chapter's main goal is to offer insights regarding Type-2 Fuzzy Logic's (T2FLs) contemporary applications in the field of solar energy, with a specific focus on Type-2 Fuzzy Numbers (T2FNs) and Type-2 Fuzzy Logic Systems (T2FLSs). Fuzzy logic finds two significant applications in fuzzy numbers and fuzzy systems. The initial stage of the book chapter imparts knowledge about T2FL theory. At this juncture, information about T2FNs and their arithmetic operations will be presented through an examination of General Interval Type-2 Triangular Fuzzy Numbers (GIT2TFNs), a type of T2FN, for enhanced comprehensibility. Subsequently, to facilitate understanding, T2FLSs will be explained comparatively with Type-1 Fuzzy Logic Systems (T1FLSs).

This book chapter is divided into multiple sections, each focusing on a different facet of T2FNs and T2FLSs in their modern solar energy applications. In the introductory section, the focus is on the theory of T2FL, highlighting its capabilities in dealing with uncertainty scenarios and emphasizing the distinctions from T1FL. The subsequent chapter, titled "Brief Introduction of the Type-2 Fuzzy Set Calculations," thoroughly examines the fundamental concepts of T2FL, making sure that its mathematical concepts and principles are fully understood. This section consists of two sub-sections, namely "Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems" and "Interval Type-2 Fuzzy Numbers." In these subsections, concepts such as Interval Type-2 Fuzzy Numbers (IT2FNs) and Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems (IT2FLS) are explored in-depth, providing a clear explanation of basic concepts and processes and laying the groundwork for the topics to be addressed in the subsequent chapters. The following sections, "Applications of T2FLSs in solar energy" and "Applications of T2FNs in solar energy," sequentially delve into the roles of T2FN and T2FLS in the complexities and uncertainties in solar energy research, highlighting novel applications in the literature. These chapters offer a comprehensive understanding of how T2FL is applied in the field of solar energy, providing readers with insights

into the latest developments. Additionally, they focus on a broad range of application areas, extending from decision-making processes involving IT2FNs to the application of T2FLSs in solar energy prediction models.

## 2. Brief Introduction of the Type-2 Fuzzy Set Calculations

The Boolean system uses a value system where 1 represents absolute truth and 0 represents absolute falsehood, as exemplified by the MF expressions below. These expressions illustrate the binary nature of the Boolean system, capturing the essence of truth and falsehood within the defined context.

$$\mu_A(x) = 1 \text{ if } x \in A \quad (1)$$

$$\mu_A(x) = 0 \text{ if } x \notin A \quad (2)$$

Fuzzy set theory allows the representation of truthfulness or falsity degrees through membership degrees. This metric determines the degree to which element 'x' is a member of a fuzzy set, represented by the letter 'A'. There is a wide range of truthfulness values in FL, from complete falsity to complete truthfulness. Membership values represent partial degrees of truthfulness and falsity and fall between 0 and 1. These degrees, which simplify as a judgment call on an element's degree of association with the set, are computed using a MF. A membership value of 0 indicates total non-membership and absolute falsity. On the other hand, a membership value of 1 denotes complete honesty and represents all members of the set. This nuanced approach to truth values, facilitated by fuzzy set theory, is instrumental for addressing uncertainty and vagueness in diverse applications, providing a sophisticated framework for decision-making and problem-solving.

As a result, Lotfi A. Zadeh introduced the concept of type-n fuzzy sets, encompassing T1FSs and T2FSs [9]. These sets form the basis of fuzzy theory, enabling the computation of membership degrees. Particularly, when dealing with a T1FS denoted as 'A' equation (3) is employed to ascertain membership characteristics. The membership function is denoted as  $\mu_A(x)$ , where  $x' \in X$ , expressed as equation (4).

$$A = \{(x, \mu_A(x) \mid x \in X \} \quad (3)$$

$$\mu_A(x) \rightarrow [0,1] \quad (4)$$

In simple terms, converting crisp input variables into fuzzy variables is the method's basic operation. In order to express the degree of membership of the variable "x" to the FS, the MF acts as a defining factor by allocating a real numerical value in the range [0-1]. Numerous MFs have been developed to accommodate different types of FSs, with TIMFs occupying a predominant

position in terms of recognition and general use. In contrast, T2FS are three-dimensional structures and are based on principle of Zadeh’s extension for fundamental operations like intersection, complement and union. Thus, in comparison to T1FS, comprehending T2FS typically involves more intricate and lengthy computations. Their wider adoption in a variety of applications has been hampered by their increased complexity.

We use linear functions to determine the boundaries of T1MFs, as shown in Figure 1-a, while the boundaries of T2MFs are determined as the interval between the upper and lower membership functions (UMF and LMF), as shown in Figure 1-b. The upper membership function (UMF) is represented by an overline, while the lower membership function (LMF) is indicated by an underline. The “Footprint of Uncertainty” (FOU), as depicted in Figure 1-b, is the area that exists between these fuzzy borders. The UMF and the LMF are both essentially two T1MFs that define the outer limits of the FOU within a T2MF. The highest degree of membership in the FOU subset is characterized by the UMF, whereas the lowest degree of membership in the subset is characterized by the LMF.

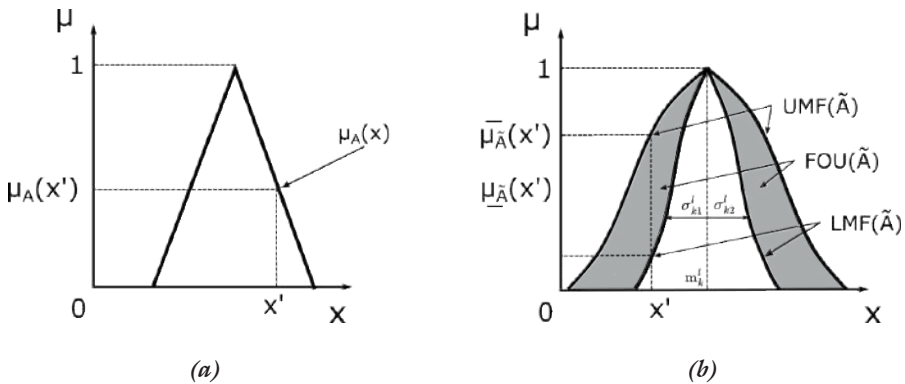


Figure 1: Illustrations of Membership Functions for Type-1 Triangular (a) and Type-2 Gaussian (b) [10]

Mendel (2014) identified four mathematical representations for a T2FS: a) A group of individual points, as shown by Equation (5). b) As shown by Equation (6), a union of vertical slices over the whole domain  $X$ , where each vertical slice is a T1FS (a secondary MF). c) A union of wavy slices, each of which stands for a T2FS embedded in it. d) A fuzzy union of horizontal slices over  $[0, 1]$ , where each horizontal slice resembles an IT2FS elevated to  $\alpha$  [11]. In this book chapter, the symbol  $\tilde{A}$  was used to denote T2FS, which can be formulated as follows.

$$\tilde{A} = \{((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) | \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1]\}; \quad 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1 \quad (5)$$

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x, u)}{(x, u)}, \quad J_x \subseteq [0,1] \quad (6)$$

In this particular context, the primary variable of a T2FS is denoted by  $x$ , while the secondary variable is represented by  $u$ . Additionally,  $J$  designates the secondary MF. For a specific value of  $x = x'$ ,  $\mu_{\tilde{A}}(x', u)$  signifies the vertical cross-section of  $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$ , and the formal expression of the T2MF of  $\tilde{A}$  is presented in equation (7). Here,  $x \in X$ ,  $u \in J_{x'} \subseteq [0,1]$ , and  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$ , as described by Mendel and John [12]. Additionally,  $f_{x'}(u)$  signifies the magnitude of the secondary MF, where  $f_{x'}(u) \subseteq [0,1]$ .

$$\mu_{\tilde{A}}(x = x', u) \equiv \mu_{\tilde{A}}(x') = \int_{u \in J_{x'}} \frac{f_{x'}(u)}{u}, \quad J_{x'} \subseteq [0,1] \quad (7)$$

When  $\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1$ ,

$\tilde{A}$  is recognized as an IT2MF. The third dimension in general T2FSs is often considered redundant, providing no additional information, and is thus treated as a special case. Specifically, an IT2FS is viewed as a distinct subtype within the broader category of T2FSs. Due to its user-friendly nature and minimal computational demands, IT2FSs find frequent application. In these sentences the third dimension is considered uninformative and is taken to stay unchanged. As a result, only the FOU is utilized to characterize IT2FSs, and the third dimension is dismissed. The MF, influenced by the distinctive traits of T2FS boundaries, can adopt values within the [0-1] range along a vertical continuum between the upper-bound  $\overline{\mu_{\tilde{A}}}(x')$  and the lower-bound  $\underline{\mu_{\tilde{A}}}(x')$ , deviating from the crisp numbers utilized in the context of T1FSs. T2FS and IT2MF are expressed in equation 8 and equation 9, respectively.

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{1}{(x, u)}, \quad J_x \subseteq [0,1] \quad (8)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x = x', u) \equiv \mu_{\tilde{A}}(x') = \int_{u \in J_{x'}} \frac{1}{u}, \quad J_{x'} \subseteq [0,1] \quad (9)$$

The values representing the highest membership degree of the FOU for the UMF and the portion with the lowest membership degree for the LMF can be expressed by equations (10) and (11), respectively. Utilizing equation (12) for an arbitrary T2MF interval  $\tilde{Q}$ , membership degrees for its lower and upper bounds can be calculated.

$$\overline{\mu_{\tilde{A}}}(x) \equiv \overline{FOU}(\tilde{A}), \quad \forall x \in X \quad (10)$$

$$\underline{\mu_{\tilde{A}}}(x) \equiv \underline{FOU}(\tilde{A}), \quad \forall x \in X \quad (11)$$



$$\mu_{Q_k^l}(x_k) = \int_{q^l \in [\underline{\mu}_{Q_k^l}(x_k), \bar{\mu}_{Q_k^l}(x_k)]} 1/q^l \quad (12)$$

The MFs in Interval Type-2 Fuzzy Sets (IT2FSs) can be of various shapes, such as triangular, trapezoidal, Gaussian and sigmoid types similar to those used in T1FSs. If we symbolize the Gaussian Membership Function as  $\tilde{g}_k^l(x_k)$ , an analogous equation can be articulated, following the framework presented by Liang and Mendel [13]. In the case of a Gaussian MF with a fixed mean  $m_k^l$  and a variable standard deviation falling within the interval  $[\sigma_{k1}^l, \sigma_{k2}^l]$ , the MF is denoted by Equation (14).

$$\mu_{Q_k^l}(x_k) = \int_{v^l \in [\underline{\mu}_{X_k^l}(x_k), \bar{\mu}_{X_k^l}(x_k)]} 1/v^l \quad (13)$$

$$\mu_k^l(x_k) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - m_k^l}{\sigma_k^l}\right)^2\right], \quad \sigma_k^l \in [\sigma_{k1}^l, \sigma_{k2}^l] \quad (14)$$

## 2.1. Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems

The typical configuration of a T2FLS is illustrated in Figure 2. The structure of a T1FLS encompasses fuzzification, a fuzzy rule base, a fuzzy inference engine and defuzzification processes. Comparatively, the structure of a T2FLS closely resembles that of T1FLSs, with the notable distinction that the type reducer, facilitating the conversion from T2FSs to T1FSs, precedes the defuzzifier. Additionally, the architecture of a T2FLS aligns with the type-1 form, differing primarily in having at least one fuzzy set in the rule base designated as type-2. Conversely, the output of a T2FLS inference engine consists of T2FSs, necessitating the use of a type reducer to transform them into T1FSs before feeding them into the defuzzification process [14].

The overall framework of a T2FLS is presented in Figure 2. The structure of a T1FLS includes key components such as fuzzification, a fuzzy rule base, a fuzzy inference engine, and defuzzification. Notably, the architecture of an IT2FLS closely resembles that of T1FLSs, with a distinctive variation: In T2FLS using T2FSs instead of T1FSs, the presence of a type reducer positioned before the defuzzifier to reduce T2FSs to T1FSs facilitates the transformation from T2FSs to T1FSs. Furthermore, the T2FLS structure aligns with the type-1 form, differing primarily in the inclusion of at least one fuzzy set in the rule base designated as type-2. Conversely, the output of a T2FLS inference engine comprises T2FSs, necessitating a type reducer

to convert them into T1FSs before feeding them into the defuzzification process [15].

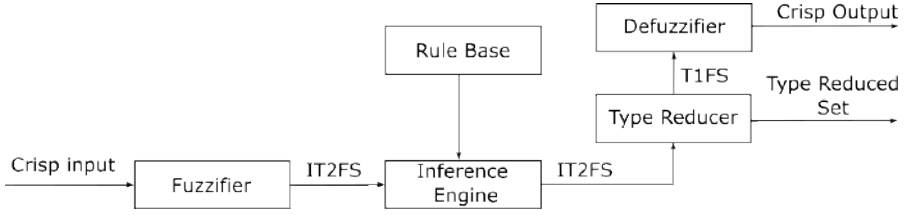


Figure 2: General architecture of the IT2FLS [10]

The operational principle of an IT2FLS can be elucidated as follows: the crisp inputs undergo mapping by the fuzzifier, resulting in input IT2FL sets. The fuzzifier of an IT2FLS may be of singleton or non-singleton type. In the case of a singleton fuzzifier, denoted as  $(i=1, \dots, p)$ , the input fuzzy set  $\tilde{A}_{x_i}$  possesses only one point of nonzero membership, expressed as follows

$$\tilde{A}_{x_i}(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i = x'_i \\ 0, & x_i \neq x'_i \end{cases} \quad (15)$$

The rule base of T2FLS is akin to that of T1FL, but in T2FLS, FSs are shaped by expert knowledge and articulated through their antecedents and consequents. The antecedents and/or the consequents are expressed by IT2FSs, yet the rules maintain a similarity to T1FLS. Mamdani rules, which result in IT2FSs, and Takagi and Sugeno (TSK) rules, which result in net functions of inputs, are the two different types of rules for IT2FLSs. [16]. IT2FSs do not impact the rule base; the rule structure of IT2FLSs aligns with that of T1FLSs. The Mamdani rule base is generally widely used because it integrates expert knowledge easily, simply, and adaptably. The form for the  $l$ th rule of an IT2FLS that has  $M$  rules,  $p$  inputs  $x_1 \in X_1, \dots, x_p \in X_p$ , and one output  $y \in Y$  is presented as shown in Equation (16).

$$R^n = \text{IF } x_1 \text{ is } \tilde{F}_1^l \text{ and } \dots \text{ and } x_p \text{ is } \tilde{F}_p^l \text{ THEN } y \text{ is } \tilde{G}^l \quad (16)$$

The fuzzy inference engine, a crucial component in FL reasoning, is employed to generate fuzzy outputs based on the fuzzified inputs. This phase involves the inference engine determining, for each IF-THEN rule, the outputs that correspond to the fuzzified inputs that were computed in the previous fuzzifier stage. The fired rules are consolidated by the inference engine, followed by a mapping process from input T2FSs to output T2FSs. It produces the IT2FS consequents from the IT2FS antecedents by combining

all the fired rules. The meet and join operations are employed to connect multiple antecedents in each rule and integrate all the rules. As can be seen below, the result of the  $k$  th input and the matching antecedent operations in the  $l$  th rule is an interval [17].

$$\mu_{F_k^l}(x_k) = \left[ \underline{\mu}_{F_k^l}(x_k), \bar{\mu}_{F_k^l}(x_k) \right] \quad (17)$$

To employ a T2FLS in practical applications, obtaining the precise output in crisp form becomes imperative. To achieve this, it is necessary to obtain the type-reduced set, which is an interval that represents a T2FS's center of gravity. The type reducer processes the T2FS outputs from the inference engine, executing a calculation that results in T1FSs known as the type-reduced sets. Subsequently, the type-reduced sets undergo processing by the defuzzifier to yield crisp outputs that must be directed to the actuators. The Karnik-Mendel (KM) algorithm, which is based on iterative operations and functions as an extension of a type-1 defuzzification procedure, is the most commonly used approach for this purpose [18].

To transform the interval set that is acquired after the type reduction operation into a precise number, defuzzification is then required. Equation (18) illustrates how to perform this process, which involves merely calculating the average of the range's left and right endpoints [12].

$$y_{out} = \frac{y_r + y_l}{2} \quad (18)$$

## 2.2. Interval Type-2 Fuzzy Numbers

Interval Type-2 Fuzzy Numbers (IT2FNs), with their two-dimensional membership function structure, enable a more comprehensive handling of uncertainties and complexities in the model, significantly reducing complexity in problem-solving. Evaluated as two-dimensional due to the absence of information in its third dimension, IT2FNs have facilitated and simplified mathematical operations. The computational efficiency of IT2FNs has positioned them at the forefront of scientific inquiry, particularly when contrasted with the computational intricacies associated with T2FNs.

In the context of IT2FSs, denoted as  $\tilde{A}$  and bounded by LMF and UMF represented as  $\tilde{A} = (A^l, A^u)$ , specific categorizations have been established. An IT2FS achieves the classification of a Perfect Interval Type-2 Fuzzy Number (PIT2FN) if both its UMF and LMF are Type-1 Fuzzy Numbers (T1FNs). Alternatively, if the UMF is a T1FN while the LMF is a Fuzzy Sub Number (FSN), the IT2FS is referred to as IT2FN. When both UMF and LMF are FSNs, the IT2FS is called an Interval Type-2 Fuzzy Sub Number (IT2FSN).

General Interval Type-2 Trapezoidal Fuzzy Numbers (GIT2TrFNs) play a fundamental role in arithmetic operations and the ranking of IT2FNs, which are characterized by rectilinear boundaries, as shown in Figure 3. In this framework, GIT2TFNs appear as a separate case within the GIT2TrFN category.

For arithmetic operations and ranking among IT2FNs with linear boundary profiles, GIT2TrFNs can be used as an exemplary model as shown in Figure 3.. It is noteworthy that from the information provided for GIT2TrFN, analogous procedures for GIT2TFNs can be easily derived.

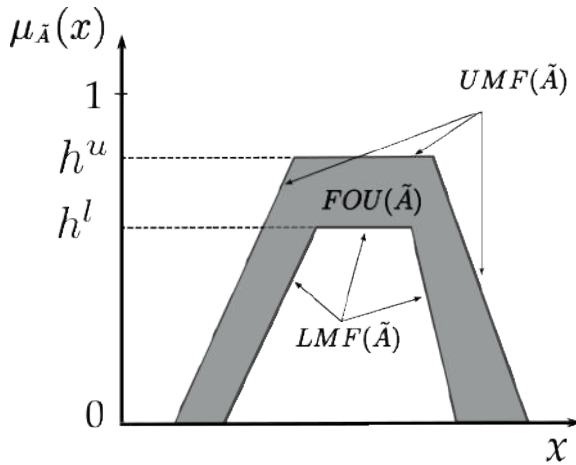


Figure 3: UMF, LMF and FOU representation for a GIT2TrFN with heights of  $l^l$  and  $l^u$  [19]

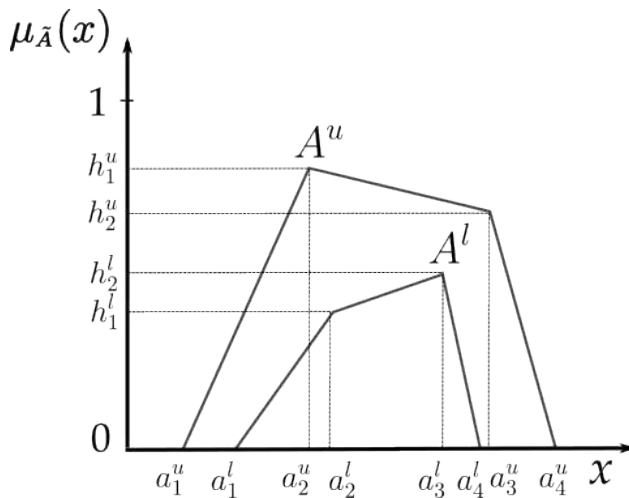


Figure 4:  $A^u$  and  $A^l$  functions of a GIT2TrFN and representation of their heights [19]

The GIT2TrFN depicted in Figure 4 can be mathematically expressed as in  $\tilde{A} = (A^l, A^u) = ((a_1^l, a_2^l, a_3^l, a_4^l, h_1^l, h_2^l), (a_1^u, a_2^u, a_3^u, a_4^u, h_1^u, h_2^u))$  and can be characterized for its MFs, denoted as  $A^l$  and  $A^u$ , as follows. When  $h_1^l = h_2^l = h^l$ ,  $h_1^u = h_2^u = h^u$ , and  $h_1^l = h_2^l = h_1^u = h_2^u = 1$  conditions are present, these numbers are respectively referred to as Interval Type-2 Flat Trapezoidal Fuzzy Number (IT2FTrFN) and Perfect Interval Type-2 Trapezoidal Fuzzy Number (PIT2TrFN).

$$\mu_{A^l}(x) = \begin{cases} \mu_{A_1^l}(x) = h_1^l \frac{x-a_1^l}{a_2^l-a_1^l} & a_1^l \leq x \leq a_2^l \\ \mu_{A_2^l}(x) = (h_2^l-h_1^l) \frac{x-a_2^l}{a_3^l-a_2^l} + h_1^l & a_2^l \leq x \leq a_3^l \\ \mu_{A_3^l}(x) = h_2^l \frac{a_4^l-x}{a_4^l-a_3^l} & a_3^l \leq x \leq a_4^l \\ \mu_{A_4^l}(x) = 0 & x \leq a_1^l, x \geq a_4^l \end{cases} \quad (19)$$

and

$$\mu_{A^u}(x) = \begin{cases} \mu_{A_1^u}(x) = h_1^u \frac{x-a_1^u}{a_2^u-a_1^u} & a_1^u \leq x \leq a_2^u \\ \mu_{A_2^u}(x) = (h_2^u-h_1^u) \frac{x-a_2^u}{a_3^u-a_2^u} + h_1^u & a_2^u \leq x \leq a_3^u \\ \mu_{A_3^u}(x) = h_2^u \frac{a_4^u-x}{a_4^u-a_3^u} & a_3^u \leq x \leq a_4^u \\ \mu_{A_4^u}(x) = 0 & x \leq a_1^u, x \geq a_4^u \end{cases} \quad (20)$$

For the case where

$$\tilde{A} = (A^l, A^u) = ((a_1^l, a_2^l, a_3^l, a_4^l, h_{1A}^l, h_{2A}^l), (a_1^u, a_2^u, a_3^u, a_4^u, h_{1A}^u, h_{2A}^u))$$

$$\tilde{B} = (B^l, B^u) = ((b_1^l, b_2^l, b_3^l, b_4^l, h_{1B}^l, h_{2B}^l), (b_1^u, b_2^u, b_3^u, b_4^u, h_{1B}^u, h_{2B}^u))$$

and  $k$  is crisp, certain arithmetic and ranking operations for GIT2TrFNs are defined as follows [20]–[22]:

**Addition Operation:**

$$\begin{aligned} \tilde{A} \oplus \tilde{B} &= (A^l \oplus B^l, A^u \oplus B^u) \\ &= (a_1^l + b_1^l, a_2^l + b_2^l, a_3^l + b_3^l, a_4^l + b_4^l, \min\{h_{1A}^l, h_{1B}^l\}, \min\{h_{2A}^l, h_{2B}^l\}), \\ &\quad (a_1^u + b_1^u, a_2^u + b_2^u, a_3^u + b_3^u, a_4^u + b_4^u, \min\{h_{1A}^u, h_{1B}^u\}, \min\{h_{2A}^u, h_{2B}^u\}) \end{aligned} \quad (21)$$

**Subtraction Operation:**

$$\begin{aligned} \tilde{A} \ominus \tilde{B} &= (A^l \ominus B^l, A^u \ominus B^u) \\ &= (a_1^l - b_1^l, a_2^l - b_2^l, a_3^l - b_3^l, a_4^l - b_4^l, \min\{h_{1A}^l, h_{1B}^l\}, \min\{h_{2A}^l, h_{2B}^l\}), \\ &\quad (a_1^u - b_4^u, a_2^u - b_3^u, a_3^u - b_2^u, a_4^u - b_1^u, \min\{h_{1A}^u, h_{1B}^u\}, \min\{h_{2A}^u, h_{2B}^u\}) \end{aligned} \quad (22)$$

**Multiplication Operation:**

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \left( (c_1^l, c_2^l, c_3^l, c_4^l, h_{1C}^l, h_{2C}^l), (c_1^u, c_2^u, c_3^u, c_4^u, h_{1C}^u, h_{2C}^u) \right) \quad (23)$$

where

$$\begin{aligned} c_1^l &= \min\{a_1^l \times b_1^l, a_1^l \times b_4^l, a_4^l \times b_1^l, a_4^l \times b_4^l\} \\ c_2^l &= \min\{a_2^l \times b_2^l, a_2^l \times b_3^l, a_3^l \times b_2^l, a_3^l \times b_3^l\} \\ c_3^l &= \max\{a_2^l \times b_2^l, a_2^l \times b_3^l, a_3^l \times b_2^l, a_3^l \times b_3^l\} \\ c_4^l &= \max\{a_1^l \times b_1^l, a_1^l \times b_4^l, a_4^l \times b_1^l, a_4^l \times b_4^l\} \\ h_{1C}^l &= \min\{h_{1A}^l, h_{1B}^l\} \\ h_{2C}^l &= \min\{h_{2A}^l, h_{2B}^l\} \\ c_1^u &= \min\{a_1^u \times b_1^u, a_1^u \times b_4^u, a_4^u \times b_1^u, a_4^u \times b_4^u\} \\ c_2^u &= \min\{a_2^u \times b_2^u, a_2^u \times b_3^u, a_3^u \times b_2^u, a_3^u \times b_3^u\} \\ c_3^u &= \max\{a_2^u \times b_2^u, a_2^u \times b_3^u, a_3^u \times b_2^u, a_3^u \times b_3^u\} \\ c_4^u &= \max\{a_1^u \times b_1^u, a_1^u \times b_4^u, a_4^u \times b_1^u, a_4^u \times b_4^u\} \\ h_{1C}^u &= \min\{h_{1A}^u, h_{1B}^u\} \\ h_{2C}^u &= \min\{h_{2A}^u, h_{2B}^u\} \end{aligned} \quad (24)$$

**Scalar Multiplication Operation:**

$$\text{if } k \geq 0 \quad k\tilde{A} = (kA^l, kA^u) = \left( (ka_1^l, ka_2^l, ka_3^l, ka_4^l, kh_{1A}^l, kh_{2A}^l), (ka_1^u, ka_2^u, ka_3^u, ka_4^u, kh_{1A}^u, kh_{2A}^u) \right) \quad (25)$$

$$\text{if } k \leq 0 \quad k\tilde{A} = (kA^l, kA^u) = \left( (ka_4^l, ka_3^l, ka_2^l, ka_1^l, kh_{1A}^l, kh_{2A}^l), (ka_4^u, ka_3^u, ka_2^u, ka_1^u, kh_{1A}^u, kh_{2A}^u) \right) \quad (26)$$

**Ranking of IT2FNs:** The IT2FS ranking is indispensable due to its widespread use in decision-making processes and its critical role in facilitating a deeper study of fuzzy systems. The importance of the IT2FN ranking cannot be overlooked as it plays an important role in decision-making processes and allows for a further investigation of fuzzy systems. Although the field of ranking methods on IT2FS is noticeably narrow and requires new approaches, similarity and uncertainty measures have drawn broad methodology. While there exists extensive methodology and research interest in similarity and uncertainty measures for IT2FSs, the field of ranking methods is constrained, requiring fresh perspectives and innovative solutions [20], [22]–[25].

The ranking method proposed by Lee and Chen for IT2TrFSs for the interval type-2 trapezoidal fuzzy set expressed as  $\tilde{A}_i = (A_i^l, A_i^u) = \left( (a_{i1}^l, a_{i2}^l, a_{i3}^l, a_{i4}^l, h_{1A_i}^l, h_{2A_i}^l), (a_{i1}^u, a_{i2}^u, a_{i3}^u, a_{i4}^u, h_{1A_i}^u, h_{2A_i}^u) \right)$

is presented below [22]. In the equations, the ranking value is denoted as  $\text{Rank}(\tilde{A})$ .

$$\begin{aligned} \text{Rank}(\tilde{A}) = & M_1(\tilde{A}_i^l) + M_1(\tilde{A}_i^u) + M_2(\tilde{A}_i^l) + M_2(\tilde{A}_i^u) + M_3(\tilde{A}_i^l) + M_3(\tilde{A}_i^u) \\ & - \frac{1}{4}(S_1(\tilde{A}_i^l) + S_1(\tilde{A}_i^u) + S_2(\tilde{A}_i^l) + S_2(\tilde{A}_i^u) + S_3(\tilde{A}_i^l) + S_3(\tilde{A}_i^u) + S_4(\tilde{A}_i^l) + S_4(\tilde{A}_i^u)) \quad (27) \\ & + H_1(\tilde{A}_i^l) + H_1(\tilde{A}_i^u) + H_2(\tilde{A}_i^l) + H_2(\tilde{A}_i^u) \end{aligned}$$

$$M_p(\tilde{A}_i^j) = \frac{\alpha_{ip}^j + \alpha_{i(p+1)}^j}{2}$$

denotes the average of the elements  $\alpha_{ip}^j$  and  $\alpha_{i(p+1)}^j$  for  $1 \leq p \leq 3$ ,

$$S_q(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} \left( \alpha_{ik}^j - \frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} \alpha_{ik}^j \right)^2} \quad \text{denotes the standart}$$

deviation for  $1 \leq q \leq 3$ ,

$H_p(\tilde{A}_i^j)$  denotes the membership value of the element  $\alpha_{i(p+1)}^j$  in the trapezoidal MF  $\tilde{A}_i^j$  for  $1 \leq p \leq 2, j \in \{U, L\}$  and  $1 \leq i \leq n$

### 3. Applications of T2FLSs in solar energy

In recent years, the utilization of T2FLSs has gained prominence in the realm of solar energy research, offering a robust framework for addressing uncertainties and complexities inherent in various aspects of solar energy studies. This text explores the diverse scientific domains where T2FLSs have found application within solar energy investigations, providing a comprehensive overview of their contributions.

The integration of solar energy with other Renewable Energy Sources (RESs), such as wind or biomass, has been facilitated through the application of type-2 fuzzy control systems (T2FLCs). This integration aims to create more reliable and efficient hybrid energy solutions. The use of electric vehicles is rapidly expanding in contemporary times, with users frequently charging their electric vehicles at home. Beheshtikhoo et al. have designed a T2FLC for the energy management system of a smart home equipped with an electric vehicle charging station and a RES. Their proposed algorithm effectively controls a small hybrid renewable energy system, combining photovoltaic (PV), vertical axis wind turbines, fuel cells, electric vehicles and energy storage systems, in a climate-independent manner. In their study, they observed that the controller could significantly reduce daily electricity consumption from the grid, electricity costs and the peak-to-average ratio of the system [26].

To address the challenges posed by continuous and severe output power variations in the integration of solar energy power systems with each other or with traditional and other renewable power sources, controllers are employed to manage load frequency control problems. Soliman et al. have proposed a T2FLC, not only to mitigate the impact of solar irradiance changes on the power system but also to regulate the output of the solar park on cloudy days, instead of relying on maximum power point trackers. In order to improve the suggested controller's dynamic performance, a meta-heuristic, nature-inspired optimization algorithm such as the Whale Optimization Algorithm (WOA) has been suggested for offline tuning of controller gains [27]. To reduce the total harmonic content in grid-tied solar energy systems using boost converters for integrated solar multi-level inverters, Gopinath et al. have proposed a solar-powered cascaded topology with Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller (IT2FLC). This topology aims to predict the switching frequency for multi-level inverters, enhancing performance in minimizing total harmonic distortion and ensuring a stable output power [28]. In the solar PV integrated power system, another challenge related to power control is the reduction of Low-Frequency Oscillations (LFOs), which impact the stability of the power system. Paital et al. have proposed a robust Power System Stabilizer (PSS) based on Interval Type-2 Fuzzy Proportional Integral Derivative (IT2FPID), considering uncertainties, aiming to address and optimize the solution to this problem in their study [29].

T2FLS have proven valuable in improving solar energy prediction models. By accommodating uncertainties related to factors like sunlight intensity and weather conditions, these systems enhance the accuracy of energy production forecasts. The random nature of RESs often leads to an inability to provide continuous energy, prompting their frequent combination with energy storage systems or other energy sources. To overcome this weakness in RESs, predictions can be made using meteorological data, specifically reducing uncertainties in the sizing of energy projects. Jafarzadeh et al. utilized fuzzy logic to model the predicted temperature and irradiance data, employing type-1 and Interval Type-2 Takagi-Sugeno-Kang (TSK) fuzzy systems for modeling and forecasting solar power plants. The significant advantage of using IT2FL models is that, in addition to predicting the power generation value, it provides an uncertainty range. Information related to uncertainty in the prediction enables operators to develop effective bidding strategies in the electricity market [30].

Researchers utilize type-2 fuzzy systems to address optimization challenges in the design and operation of solar energy systems. These systems



provide solutions for complex problems involving multiple objectives and constraints. Hydrogen energy, a green energy type, becomes even more crucial for sustainable development when produced by using a RES as solar energy. Benghanem et al. investigated the power loss and efficiency of a PV-electrolyzer system comprising a PV source and electrolyzer stack in both direct and indirect-coupled scenarios. To enhance energy transfer, they proposed a type-2 fuzzy logic controller to regulate the operating point of the PV array by adjusting the duty cycle of the control signal of a buck converter placed between the PV array and the electrolyzer stack. In the study, the indirectly-coupled hydrogen system achieved a higher energy transfer rate by ensuring the continuous extraction of the maximum power from the PV source [31].

Researchers have integrated T2FLS into studies aimed at enhancing the efficiency of solar energy systems. By modeling the interactions of various parameters and variables, these systems assist in optimizing the performance of solar installations. In the field of energy production using PVs, various Maximum Power Point (MPP) tracking methods have been developed to achieve maximum energy output. Key environmental conditions such as solar radiation and temperature are critical to achieving maximum energy and these conditions are often uncertain and irregular. The traditional method cannot track the Maximum Power Point (MPP) when solar irradiance and/or panel temperature changes rapidly because rapid changes in PV current and PV voltage cannot be distinguished under real environmental conditions. In Kayisli's study, a super twist slide mode controller was developed for maximum power point tracking. It has been adapted to a Type 2 fuzzy cluster system to mitigate chatter problems, and the parameters of both the super twisting sliding mode and the Type 2 fuzzy cluster have been optimized for improved performance [32]. The traditional incremental conductivity (AIC) method cannot efficiently track the maximum power point (MPP) because it is unable to distinguish rapid changes in photovoltaic (PV) current and voltage under actual environmental conditions. Gani et al. found that their approach, based on the combination of AIC and T2FL, provides a significant advantage in terms of maximum power transfer in long-term weather conditions with frequent cloudburst occurrence over a 40-month test period [33]. Pandey et al. have designed an Asymmetric Interval Type-2 Fuzzy Logic controller-based MPPT to cope with sudden irradiance changes commonly encountered in PV applications, which adversely affect the operation of the Maximum Power Point Tracking (MPPT) system. They compared the results with P&O (Perturb and Observe), PID and T1FLC [34]. Verma et al. have developed an asymmetric interval Type-2 fuzzy logic controller for

the MPPT algorithm to perform best performance, when photovoltaic (PV) array is partially irradiated under uniform solar irradiance. They compared their developed algorithm with other approaches, such as perturb & observe (P&O) and T1FLC, to assess for GMPP tracking, fill factor, shading losses, mismatch loss and efficiency [35].

#### 4. Applications of T2FNs in solar energy

Type-2 fuzzy systems contribute to decision-making processes in solar energy projects by considering uncertainties and multiple criteria. This facilitates the formulation of effective and informed strategies in the planning and execution of solar initiatives. The FL approach is often integrated with many multi-criteria decision-making (MCDM) methods, offering application-centric approaches to complex decision-making challenges involving multiple criteria and inherent uncertainties. FL integrated standard techniques are referred to as fuzzy hybrid techniques. This integration approach is widely embraced to obtain comprehensive and realistic results when dealing with complex real-world decision-making problems. This is attributed to FLs robust utility as a powerful tool for effectively managing such uncertainties in numerous decision-making processes where the natural presence of uncertainty and imprecise information is acknowledged [19].

The theoretical foundations of MCDM processes, such as Technique for Analytical Network Process (ANP), Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), and VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR), Analytical Hierarchy Process (AHP), along with the arithmetic operations employed in these processes, are conducive to the utilization of FN. Decision-making methods based on T1FNs are extensively applied in a diverse range of academic studies [15], [36]–[38], due to both the ease of calculations compared to other fuzzy numbers and their proficiency in addressing problems characterized by uncertainty [39].

Methods based on T2FSs in MCDM mostly aim to make decisions considering the advantages and disadvantages of renewable energy alternatives (REAs) based on various selection criteria that encompass both quantitative and qualitative factors [39], [40]. In their study to determine the best RES for Turkey, Balin & Baraçlı used the Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS (IT2FTOPSIS) method to compare solar, biomass, geothermal, hydraulic and hydrogen renewable energy sources. According to the results of the study, the best alternative for energy investments in Turkey is wind energy, followed by solar, biomass, geothermal, hydraulic and hydrogen energies, respectively [41]. In a comparable study, Çolak et al. applied an integrated

MCDM model for prioritizing REAs in Turkey. In their suggested fuzzy MCDM model, they combine the Interval Type-2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process (IT2AHP) method for determining the weights of decision criteria with the hesitant fuzzy TOPSIS method for prioritizing REAs. The study also includes a sensitivity analysis examine the effects of main criteria weights in ranking. When applied to Turkey, their proposed model ranks the RES as Hydraulic Energy, Wind Energy, Geothermal Energy, Solar Energy, Biomass Energy, Wave Energy, and Hydrogen Energy [42]. The specific characteristics of countries will also influence the comparative results of RESs, another study to compare RESs is the application of a Gaussian IT2FSs-based prospect theory method by He et al. The authors introduce a Gaussian interval type-2 fuzzy distance measure and A Gaussian interval type-2 fuzzy entropy model in their research. With their developed evaluation approach, they rank hydraulic, solar, biomass, wind and electrochemical energy types in Anhui, China. The study compares the results with the rankings of extended fuzzy TOPSIS-based RES evaluation method [43], interval type-2 fuzzy prospect theory method and IT2FTOPSIS [44].

The increasing sensitivity towards sustainability has become a factor influencing the choice of RES and alternative fuels [45]. Hendiani & Grit Walther propose a new MCDM method based on the concept of Interval Type-2 Fuzzy Ideal Solution Distance to assess the sustainability performance of renewable energy systems and determine the existing degree of sustainability. The notion of distance to the ideal solution is introduced and generalized with Interval Type-2 fuzzy sets. In the study, social, economic, and environmental aspects are identified as three separate indicators of sustainability. The results reveal that factors such as “Filling station availability” from an economic perspective, “NO<sub>x</sub> emissions”, “Need for waste disposal” and “Land requirements” from an environmental perspective and “Social acceptability” from a social perspective are identified as low-performing factors contributing significantly to both individual and overall sustainability performance [46]. In another study on sustainability, Abdullah & Najib applied an Interval Type-2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process (IT2FAHP) through a seven-step calculation process to select a sustainable energy source among seven identified alternatives. The results indicate that solar energy emerges as the most viable alternative among sustainable energy sources [47].

Decision-making methods can be employed not only for the selection of RES, but also, as in the study by Li et al., to explore consumers’ expectations from RESs. Li et al. employed the Interval Type-2 Fuzzy DEMATEL (IT2FDEMATEL) method to determine the weights of strategies for

solar energy investments based on the priorities assigned by customers to 8 different TRIZ-based innovative strategies. Through this approach, they identified the more significant strategies by weighting them. According to the results, the best TRIZ-based investment strategy for solar energy projects, for both commercial and non-commercial customers, emerged as replacing the mechanical system. [48]

Technical decisions can also be made using MDCM methods, such as the solar panels selection or the decision on a sun-tracking system in a solar energy facility. Tüysüz & Kahraman aimed to create a reliable three-dimensional decision environment by integrating Z-numbers into Picture Fuzzy Sets (PFS) in the literature to evaluate solar panel alternatives in Turkey. The AHP method was expanded with picture fuzzy Z-numbers to weigh evaluation criteria and the TOPSIS method was extended with picture fuzzy Z-numbers to prioritize the considered alternatives. The study revealed that Monocrystalline PERC is among the good solar panels, while Cadmium Telluride thin film is identified as the least favorable [49]. Umer et al. have introduced an expanded TOPSIS method in the context of Interval Type-2 Trapezoidal Pythagorean Fuzzy Numbers (IT2TrPFN). They compared widely used tracking systems, including Active Tracking (AT), Manual Tracking (MT) and Passive Tracking (PT), based on reliability, response and accuracy criteria [50].

## 5. Conclusion

In conclusion this book chapter collectively embark on a comprehensive exploration of T2FL methodologies specifically within the domain of solar energy research and delves into the intricate landscape of Type-2 Fuzzy Logic (T2FL) within the realm of solar energy research drawing inspiration from existing scholarly works. Leveraging insights from contemporary scientific literature the content presented in this volume contributes to a nuanced understanding of T2FL methodologies and their implications within the realm of solar technologies. The elucidation of numerical operations notably arithmetic intricacies and ranking dynamics within IT2FNs contributes to the foundational understanding of T2FL methodologies. By situating T2FL principles within the dynamic context of solar energy these chapters provide valuable perspectives for both academic and professional audiences. In summary this book chapter aspire to provide a holistic view of T2FL methodologies contextualizing their significance within the specific domain of solar energy research.

## References

- [1] Y. Hacıoglu, “Multiple-input multiple-output proportional-integral-proportional-derivative type fuzzy logic controller design for a twin rotor system,” *J. Vibroengineering*, vol. 17, no. 6, pp. 3104–3110, 2015.
- [2] Y. Taskin, Y. Hacıoglu, and N. Yagiz, “Experimental evaluation of a fuzzy logic controller on a quarter car test rig,” *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 7, pp. 2433–2445, 2017.
- [3] B. Sandal, Y. Hacıoglu, N. Yagiz, and E. Salihoglu, “Determination of Preanesthetic High-Risk Using Fuzzy Risk Evaluation for Surgical Operations,” *Turkiye Klinikeri J. Med. Sci.*, vol. 39, no. 1, pp. 19–25, 2019.
- [4] B. Sandal, Y. Hacıoglu, Z. Salihoglu, and N. Yagiz, “Fuzzy Logic Preanesthetic Risk Evaluation of Laparoscopic Cholecystectomy Operations,” *Am. Surg.*, vol. 89, no. 3, pp. 414–423, Mar. 2023, doi: 10.1177/00031348211029872.
- [5] S. Yağız, B. Sandal, D. Karabulut, and Z. Salihoglu, “A Fair Computer Aided Approach in Intensive Care Unit Patient Admission: A Method Research,” *Turkiye Klin. J. Med. Ethics-Law Hist.*, vol. 30, no. 3, pp. 221–300, 2022, doi: 10.5336/mdethic.2021-85397.
- [6] J. . Dijkman, H. van Haeringen, and S. . de Lange, “Fuzzy numbers,” *J. Math. Anal. Appl.*, vol. 92, no. 2, pp. 301–341, Apr. 1983, doi: 10.1016/0022-247X(83)90253-6.
- [7] J. M. Mendel, *Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems*, 2nd ed. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-51370-6.
- [8] J. M. Mendel and Hongwei Wu, “Uncertainty versus choice in rule-based fuzzy logic systems,” in *2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence. 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. FUZZ-IEEE’02. Proceedings (Cat. No.02CH37291)*, IEEE, 2002, pp. 1336–1341. doi: 10.1109/FUZZ.2002.1006698.
- [9] L. A. Zadeh, “Quantitative fuzzy semantics,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 3, no. 2, pp. 159–176, 1971, doi: [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(71\)80004-X](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(71)80004-X).
- [10] A. Ergin and B. Sandal, “Mobbing among seafarers: Scale development and application of an interval type-2 fuzzy logic system,” *Ocean Eng.*, vol. 286, p. 115595, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115595>.
- [11] J. M. Mendel, “General Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple: A Tutorial,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 22, pp. 301–341, 2014, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:31362188>
- [12] J. M. Mendel and R. I. B. John, “Type-2 fuzzy sets made simple,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 117–127, Apr. 2002, doi: 10.1109/91.995115.

- [13] Q. Liang and J. M. Mendel, "Interval type-2 fuzzy logic systems: theory and design," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 8, no. 5, pp. 535–550, 2000, doi: 10.1109/91.873577.
- [14] I. Abadi, A. Musyafa, and A. Soeprijanto, "Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System," *Int. Rev. Electr. Eng.*, vol. 10, no. 3, p. 390, Jun. 2015, doi: 10.15866/iree.v10i3.6090.
- [15] A. Ergin, G. Alkan, B. Sandal, and S. Özçelebi, "Application Of Fuzzy Among Airlines Which Transport An Air Export Cargo," in *6th International Logistics & Supply Chain Congress*, Istanbul, 2008, pp. 103–111.
- [16] D. Wu and J. M. Mendel, "Recommendations on designing practical interval type-2 fuzzy systems," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 85, pp. 182–193, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.engappai.2019.06.012.
- [17] R. Antão, *Type-2 fuzzy logic: uncertain systems' modeling and control*. Springer, 2017.
- [18] N. N. Karnik, J. M. Mendel, and Q. Liang, "Type-2 fuzzy logic systems," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 7, no. 6, pp. 643–658, 1999, doi: 10.1109/91.811231.
- [19] B. Sandal and A. Ergin, "Navigating Uncertainty: From Type-1 to Interval Type-2 Fuzzy Logic in Decision Making," in *Academic Studies in Engineering*, 2023.
- [20] M. Javanmard and H. Mishmast Nehi, "Rankings and operations for interval type-2 fuzzy numbers: a review and some new methods," *J. Appl. Math. Comput.*, vol. 59, no. 1–2, pp. 597–630, Feb. 2019, doi: 10.1007/s12190-018-1193-9.
- [21] I. B. Türkşen, "Type 2 representation and reasoning for CWW," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 127, no. 1, pp. 17–36, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(01\)00150-6](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(01)00150-6).
- [22] Y.-J. Wang and H.-S. Lee, "The revised method of ranking fuzzy numbers with an area between the centroid and original points," *Comput. Math. with Appl.*, vol. 55, no. 9, pp. 2033–2042, May 2008, doi: 10.1016/j.camwa.2007.07.015.
- [23] H. B. Mitchell, "Ranking type-2 fuzzy numbers," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 287–294, Apr. 2006, doi: 10.1109/TFUZZ.2005.864078.
- [24] D. Wu and J. M. Mendel, "A comparative study of ranking methods, similarity measures and uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets," *Inf. Sci. (Nij.)*, vol. 179, no. 8, pp. 1169–1192, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.12.010>.
- [25] C. Kahraman, B. Öztayşi, İ. Uçal Sarı, and E. Turanoğlu, "Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets," *Knowledge-Ba-*

- sed Syst.*, vol. 59, pp. 48–57, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.02.001>.
- [26] A. Beheshtikhoo, M. Pourgholi, and I. Khazace, “Design of type-2 fuzzy logic controller in a smart home energy management system with a combination of renewable energy and an electric vehicle,” *J. Build. Eng.*, vol. 68, p. 106097, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106097>.
- [27] A. M. A. Soliman, M. B. Eldin, and M. A. Mehanna, “Application of WOA Tuned Type-2 FLC for LFC of Two Area Power System With RFB and Solar Park Considering TCPS in Interline,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 112007–112018, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3215530.
- [28] B. Gopinath, S. Suresh, and M. Geetha, “Solar Integrated Cascaded Topology of Multilevel Inverter Using Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller,” *Electr. Power Components Syst.*, vol. 51, no. 20, pp. 2450–2463, Dec. 2023, doi: 10.1080/15325008.2023.2210565.
- [29] S. R. Paital and P. K. Ray, “An optimised Interval type-2 fuzzy PID-based PSS for stability improvement in solar-PV integrated power system considering uncertainties,” *Int. J. Ambient Energy*, vol. 43, no. 1, pp. 5184–5198, Dec. 2022, doi: 10.1080/01430750.2021.1919553.
- [30] S. Jafarzadeh, M. S. Fadali, and C. Y. Evrenosoglu, “Solar Power Prediction Using Interval Type-2 TSK Modeling,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 2, pp. 333–339, 2013, doi: 10.1109/TSTE.2012.2224893.
- [31] M. Benganem, N. Chettibi, A. Mellit, and H. Almohamadi, “Type-2 fuzzy-logic based control of photovoltaic-hydrogen production systems,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 48, no. 91, pp. 35477–35492, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.360>.
- [32] K. Kayisli, “Super twisting sliding mode-type 2 fuzzy MPPT control of solar PV system with parameter optimization under variable irradiance conditions,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 14, no. 1, p. 101950, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101950>.
- [33] A. Gani and M. Sekkeli, “Experimental evaluation of type-2 fuzzy logic controller adapted to real environmental conditions for maximum power point tracking of solar energy systems,” *Int. J. Circuit Theory Appl.*, vol. 50, no. 11, pp. 4131–4145, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1002/cta.3374>.
- [34] N. Kumar Pandey, R. Kumar Pachauri, S. Choudhury, and R. Kumar Sahu, “Asymmetrical interval Type-2 Fuzzy logic controller based MPPT for PV system under sudden irradiance changes,” *Mater. Today Proc.*, vol. 80, pp. 710–716, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.074>.
- [35] P. Verma, R. Garg, and P. Mahajan, “Asymmetrical interval type-2 fuzzy logic control based MPPT tuning for PV system under partial shading

- condition,” *ISA Trans.*, vol. 100, pp. 251–263, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.01.009>.
- [36] K. Papageorgiou, G. Carvalho, E. I. Papageorgiou, D. Bochtis, and G. Stamoulis, “Decision-Making Process for Photovoltaic Solar Energy Sector Development using Fuzzy Cognitive Map Technique,” *Energies*, vol. 13, no. 6. 2020. doi: 10.3390/en13061427.
- [37] P. Ziemba and M. Szaja, “Fuzzy Decision-Making Model for Solar Photovoltaic Panel Evaluation,” *Energies*, vol. 16, no. 13, p. 5161, 2023.
- [38] A. Mostafaeipour, M. Alvandimanesh, F. Najafi, and A. Issakhov, “Identifying challenges and barriers for development of solar energy by using fuzzy best-worst method: A case study,” *Energy*, vol. 226, p. 120355, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120355>.
- [39] E. Celik, M. Gul, N. Aydin, A. T. Gumus, and A. F. Guneri, “A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 85, pp. 329–341, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.06.004>.
- [40] N. Kedir, P. H. D. Nguyen, C. Pérez, P. Ponce, and A. R. Fayek, “Systematic Literature Review on Fuzzy Hybrid Methods in Photovoltaic Solar Energy: Opportunities, Challenges, and Guidance for Implementation,” *Energies*, vol. 16, no. 9. 2023. doi: 10.3390/en16093795.
- [41] A. Balin and H. Baraçlı, “A fuzzy multi-criteria decision making methodology based upon the interval Type-2 fuzzy sets for evaluating renewable energy alternatives in Turkey,” *Technol. Econ. Dev. Econ.*, vol. 23, no. 5, pp. 742–763, Sep. 2017, doi: 10.3846/20294913.2015.1056276.
- [42] M. Çolak and İ. Kaya, “Prioritization of renewable energy alternatives by using an integrated fuzzy MCDM model: A real case application for Turkey,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 80, pp. 840–853, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.194>.
- [43] P. Rani, A. R. Mishra, A. Mardani, F. Cavallaro, M. Alrasheedi, and A. Alrashidi, “A novel approach to extended fuzzy TOPSIS based on new divergence measures for renewable energy sources selection,” *J. Clean. Prod.*, vol. 257, p. 120352, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120352>.
- [44] S.-F. He, Y.-M. Wang, and L. Martínez, “Gaussian IT2FSs-based prospect theory method with application to the evaluation of renewable energy sources,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 169, p. 108266, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108266>.
- [45] A. Ergin and E. M. Fatih, “ALTERNATIVE FUELS IN THE FUTURE OF THE MARITIME INDUSTRY,” in *International Theory, Research and Reviews in Engineering*, C. ÖZALP and S. BARDAK, Eds., Serüven Publishing, 2023, pp. 147–163.



- [46] S. Hendiani and G. Walther, “Sustainability performance evaluation of renewable energy systems using a new multi-expert multi-criteria interval type-2 fuzzy distance to ideal solution approach,” *Appl. Energy*, vol. 347, p. 121436, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121436>.
- [47] L. Abdullah and L. Najib, “Interval Type-2 fuzzy analytic hierarchy process for sustainable energy sources selection,” *Int. J. Fuzzy Syst. Appl.*, vol. 6, no. 3, pp. 124–137, 2017.
- [48] Y. Li, Z. Wu, H. Dinçer, H. Kalkavan, and S. Yüksel, “Analyzing TRIZ-based strategic priorities of customer expectations for renewable energy investments with interval type-2 fuzzy modeling,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 95–108, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.167>.
- [49] N. Tüysüz and C. Kahraman, “An integrated picture fuzzy Z-AHP & TOPSIS methodology: Application to solar panel selection,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 149, p. 110951, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110951>.
- [50] R. Umer, M. Touqeer, A. H. Omar, A. Ahmadian, S. Salahshour, and M. Ferrara, “Selection of solar tracking system using extended TOPSIS technique with interval type-2 pythagorean fuzzy numbers,” *Optim. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 2205–2231, 2021, doi: [10.1007/s11081-021-09623-1](https://doi.org/10.1007/s11081-021-09623-1).

## Value of Human Interference in Supply Chain Decisions: Comparison of Human Decision-Makers with Automation<sup>1</sup>

Ümmühan Akbay<sup>2</sup>

### Abstract

With numerous case studies and a great number of experimental research conducted in the field of behavioral operations management, it is now well-established that under supply chain scenarios, human decision-makers do not make the decisions that are predicted by theoretical solutions. The randomness of the customer demand, strategic interaction with other decision-makers, cognitive abilities and personality traits of the decision-makers are among the reasons of this deviation from the optimal.

In this chapter, we compare supply chain contracting decisions made by human decision-makers with randomized decisions using simple supply chain scenarios. We analyze under which contract type and contract price human decision-makers perform better in terms of supply chain efficiency and earn higher profit than the randomized decisions. This analysis is based on data from three experiments conducted with human decision-makers. The first and second experimental studies are based on a single-player setting where decision-makers are making decisions against the computer. The third study, on the other hand, is based on a human-human two player setting where strategic interaction between the decision-makers is also at play. In all settings we consider a single-supplier-single retailer setting where the retailer is faced

- 1 This chapter is produced from the analyses conducted in the Conclusion chapter of the author's doctoral dissertation, "Behavioral Experiments on Supply Chain Contracting (2016). The analysis of the first experimental study mentioned in the present chapter is detailed in Chapter 6 of the said dissertation, while the examination of the third experimental study is performed in Chapter 3 of the same dissertation. The latter experimental study received support from TÜBİTAK Grant #111K454. Finally, the second experimental study discussed in this chapter is not part of the author's dissertation. However, its inclusion here ensures a comprehensive analysis.
- 2 Assistant Professor, Piri Reis University, uakbay@pirireis.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8679-4117

with a newsvendor problem of which the parameters are determined by the supplier.

In the first study, decision-makers undertake the role of a retailer and make stock quantity decisions under a predetermined wholesale price contract. In the second and third studies wholesale price contract, buyback and revenue sharing contracts are considered. The second study consists of retailer and supplier treatments. The retailer treatments of this study are similar to the first study except for the additional contract types. In the supplier treatments the decision-makers take the role of the supplier and determine contract prices against a computerized retailer who places the newsvendor optimal order. Finally, in the third study half of the decision makers undertake the role of the supplier and the other half take the role of the retailer and make decisions against each other.

For the randomized decisions we simulate 10000 random data points for each experimental study. We then compare the performance of the human decision-makers with the randomized system. Our analyses reveal that, surprisingly, the random system does not necessarily perform worse than the humans. On the contrary, when there is high involvement of personal conflicts and biases, the random system has higher contract efficiency. However, when the profit margin is small, when there is high inventory risk or when the other firm is making rational decisions, the random system underperforms. These findings suggest that when the profit margin is high, when the inventory risk is reduced via a high buyback price under the buyback contract or a low wholesale price under the revenue sharing contract supply chain contracting decisions can be automated.

The comparison reveals that This study, albeit in a highly constrained context, represents an important step in understanding when human intervention in supply chain decisions is beneficial, under what conditions automation can be considered in supply chain decisions, and the values of factors such as contract type, price, and strategic interaction that affect the performance of human decision-makers.

## **1. Introduction**

Supply chains consist of various firms, each acting to optimize its own interests. Even in scenarios where consumer demand is stable or predictable, coordinating the objectives of the firms within the supply chain is challenging. This challenge amplifies when the random nature of consumer demand is introduced. Due to the potential for significant profit losses and inefficiencies in the absence of supply chain coordination, scientists have developed numerous analytical models in pursuit of supply chain coordination. For instance, the buyback and revenue sharing contract schemes can theoretically

coordinate the supply chain by allocating the inventory risk and the total profit between the producer and the retailer. (Cachon, 2003).

All these analytical models assume rational profit-maximizing decision-makers. However, recent case studies, experimental, and empirical studies have shown that human decision-makers do not always adhere to theoretical expectations. Systematic deviations between decisions made by individuals and theoretical expectations have been consistently observed. Even controlled laboratory experiments indicate a disparity between the performance of analytical models and human decision-makers, highlighting the insufficiency of existing theoretical models in predicting human behavior and the gap between theory and application.

In the face of these consistently suboptimal human decisions in various operations contexts, also considering the recent advances in computing technologies and artificial intelligence, automating these business decisions seems an obvious alternative. However, despite all these technological advances, the human factor remains and is expected to remain in the making of business decisions, at least, as a finer tuner. (Liozu, 2016). Mendling et al. (2017) claim that although artificial intelligence and machine learning perform well, for them to be economically feasible alternative to humans making the business decisions, the company revenue must be greater than a billion dollars. So for the high number of small and medium sized companies human decision makers seem to be the only viable alternative. Moreover, even when the company is large enough human, intervention is not completely forgone. For instance, in the largest airline companies, which have revenues above Mendling et al. (2017)'s threshold and which clearly have access to the latest computing technologies, human decision makers update and finalize the reservation level and pricing decisions suggested by the software. For instance, United Airlines maintains the "human touch" in their revenue management decisions. (Knight, 2014).

Hence it is of significant importance to study the performance differences between human decisions and a completely automated system. Taking a conservative approach and assuming the worst automated system, this study examines the value of human intervention in supply chain contracts by comparing the decisions made by humans and a randomized system. Clearly a randomized system which just completely disregards the parameters of the system and randomly chooses a decision from the allowable range is no comparison to the advanced aforementioned technologies. However, comparing this system with human decisions gives a conservative baseline for comparing more advanced automation systems.

In this chapter, we consider three different laboratory experiments, of which the first two are single-player experiments where decision-makers are playing against a computer. In the third study the decision-makers are playing against each other. We consider wholesale price, buyback, and revenue sharing contracts.

The rest of the chapter is organized as follows: section 2 presents a brief review of the relevant literature. Section 3 provides the analytical solution of the experiment scenarios while section 4 presents the analysis results. Finally, section 5 concludes the chapter.

## 2. Literature Review

Behavioral Operations Management is a scientific field aiming to reassess existing decision-making models by testing whether human decision-makers adhere to theoretical expectations when confronted with complex operational problems. If disparities exist between theory and practice, this field seeks to identify factors causing these differences and subsequently recalibrate decision-making models with these factors in mind.

The field gained momentum after Schweitzer and Cachon's 2000 study. In this paper the authors showed that decision-makers do not place the newsvendor optimal order decisions and in fact there is a consistent deviation from the optimal. Under high profit margin, the subjects tend to order below the optimal and under low profit margin, they order above the optimal. This too-low-too-high pattern, which the authors named as the pull-to-center effect has been observed by many other studies. Some of the earlier studies include Bolton and Katok (2008), Bostian et al. (2008), Lurie and Swaminathan (2009) and Ho et al. (2010). For a longer list and a meta-analysis of 24 studies see Zhang and Siemsen (2019).

As for the contract decisions, studies have shown that producers make less than optimal contract decisions leading to a more equitable share of the total supply chain profit. (Keser & Paleologo, 2009; Katok & Wu 2009; Akbay, 2016) Additionally, studies with human interaction have established that retailers' stock quantity decisions are affected by the fairness of the contracts offered to them. In other words, the retailers do not just make decisions to optimize their profit, they make decisions to reciprocate with the producers. (Loch & Wu, 2008; Wu 2013, Akbay 2016) Furthermore, mathematically equivalent contracts, such as buyback and revenue sharing contracts, may lead to different outcomes in practice due to the differences in their framing. (Katok Wu 2009; Akbay 2016).

### 3. Analytical Model and Experimental Procedure

In this section, we will explain the analytical model used in the experiments through a hypothetical hybrid contract. Subsequently, we will analytically solve this model and demonstrate theoretical solutions for the contract types employed in the experiment. Finally, we will explain the procedure followed in the experimental setup.

#### 3.1 Analytical Model

In all studies considered in this chapter the experiment is built upon a simple single-producer-single-retailer supply chain model, as depicted in Figure 1. The product for sale is a perishable item with a single selling season, losing its value at the season's end. Before the selling season commences, the producer decides on the wholesale price (at which to sell the product to the retailer), the buyback price (at which to repurchase unsold products from the retailer), and the revenue share (the revenue share to get from the retailer for each unit sold). These decisions are communicated to the retailer. The retailer, considering random consumer demand and the contract prices communicated by the producer, determines the stock quantity. Before the selling season begins, the producer manufactures the quantity of products requested and delivers them to the retailer, charging the retailer the wholesale price per unit. Throughout the selling season, for each unit sold, the retailer pays the producer the revenue share. If the consumer demand is less than the stock quantity, then the leftover products are bought by the producer at buyback price. If consumer demand exceeds the stock quantity, only the available stock satisfies a portion of the demand, with the surplus demand remaining unfulfilled.

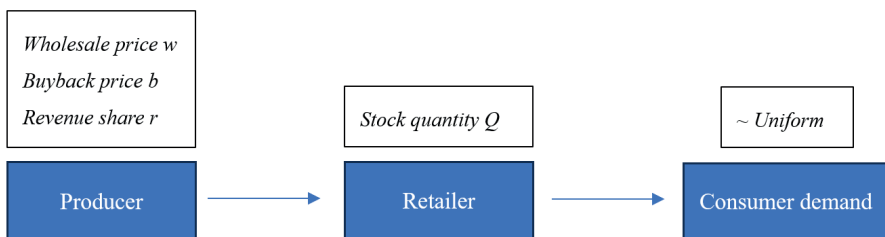


Figure 1. The supply chain model used in the study

Here, a hypothetical hybrid contract type is used to explain the three contract types employed in the experiment collectively. In the wholesale price-based contract, only the wholesale price is determined; in the buyback-

based contract, both the wholesale price and the buyback price are set; in the revenue-sharing-based contract, both the wholesale price and the revenue-sharing price are established. Under the buyback contract, unsold products at the end of the season are repurchased by the producer, while under the other two contracts, unsold products lose their value and are discarded. In all three contract types, both the producer and the retailer make their decisions before the realization of random consumer demand.

### 3.2 Theoretical Solution of the Model

In this section, we will determine the subgame perfect equilibrium of the decision-making game mentioned earlier using the backward induction method. In this model, firms are considered risk-neutral decision-makers, each aiming to optimize their own expected profits. The solution begins with the resolution of the problem faced by the second decision-maker, the retailer. The retailer faces a newsvendor model of which the price parameters are set by the producer. Consequently, the retailer's problem involves determining the optimal newsvendor stock quantity based on the price parameters set by the producer. Given the stock quantity ' $Q$ ', the retail price ' $p$ ', the wholesale price ' $w$ ', the buyback price ' $b$ ', the revenue-sharing price ' $r$ ', and the demand realization ' $D$ ', the expected profit for the retailer can be written as:

$$E[\pi_r(Q, w, b, r)] = (p - r)E[\min(Q, D)] + bE[\max(0, Q - D)] - wQ \quad (1)$$

Given the cumulative distribution function of random consumer demand as  $F(\cdot)$ , the optimal order quantity of the retailer is derived as:

$$Q^*(w, b, r) = F^{-1}\left(\frac{p-w-r}{p-b-r}\right) \quad (2)$$

As for the producer, given the unit production cost ' $c$ ', the expected profit for the producer is derived as:

$$E[\pi_p(Q, w, b, r)] = (w - c)Q + rE[\min(Q, D)] - bE[\max(0, Q - D)] \quad (3)$$

From there the optimal contract decisions of the producer are computed using numerical methods. For more details see Akbay (2016).

### 3.3 Experimental Procedure

#### 3.3.1. First Experimental Study

This study is a single-player experiment. It consists of decision-makers, or retailers, placing stock quantity decisions against a fixed wholesale price

contract. The participants of the experiment are recruited from the industrial engineering student body of a research university. As compensation for their participation in the experiment, the participants are awarded 1% course credit. No other incentives are provided during the study. Each student participated in exactly one treatment.

The experiment scenario is based on a product that retails at 90 units and has a uniform demand distribution between 50 and 150. The study consists of low and high profit margin treatments and the participants are randomly assigned to the treatments. The wholesale price is fixed at 55 units and 35 units for the low and high profit margin treatments respectively. The experiment duration is 40 independent periods. For this study only, since the sample is large enough, male and female subjects' decisions are analyzed separately. The sample sizes are given Table 1. The experiment is conducted using MS Excel and VBA.

*Table 1: Treatment sample sizes for the first experimental study*

	High profit margin ( $w=35$ )	Low profit margin ( $w=55$ )
Female	54	51
Male	51	85

### 3.3.2. Second Experimental Study

This study is also a single-player experiment. The decision-makers are assigned to either the producer or the retailer role and make decisions against a computerized opponent. The retailer setup of the experiment is similar to the first study. As for the producer setup of the experiment, the producer is matched with a retailer placing newsvendor optimal order decisions against the contract decisions made by the producer. The producer is able to see this optimal retailer order on their decision screen before finalizing their contract decision. A sample decision screen for the producer is presented in Figure 2. In both the retailer and the producer treatments three contract types are considered, namely the wholesale price, buyback and revenue sharing. In all treatments the consumer demand is uniform between 51 and 150. The production cost is 3 units and the retail price is 12 units. The experiment duration is 40 periods. The subjects of the experiment are recruited from undergraduate student body of a research university and awarded with between 1 and 2% bonus course credit proportional to their experiment performance. Each student participated in exactly one treatment. The experiment is conducted using MS Excel and VBA.



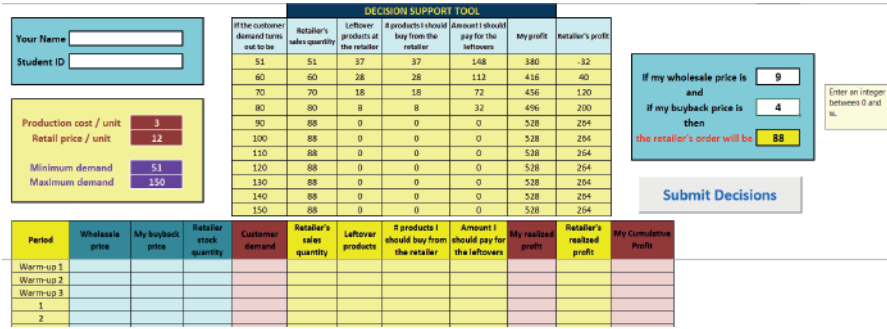


Figure 2: Decision screen of the producer for the buyback treatment

The sample sizes for the treatments are given in Table 2. For the producer treatments the contract parameters are determined by the decision-makers. As for the retailer, under the wholesale price treatment the wholesale price is fixed at 10, under the buyback contract the wholesale price is 9, the buyback price is 8, finally under the revenue sharing contract the wholesale price is 1 and the revenue share is 8. These latter two contracts are mathematically equivalent to each other in the sense that they give the same expected profit values to the producer and the retailer. Additionally, these contract parameter combinations have the potential to coordinate the supply chain by achieving the optimal supply chain profit.

Table 2: Treatment sample sizes for the second experimental study

	Wholesale price contract	Buyback contract	Revenue sharing contract
Producer	9	11	17
Retailer	9	10	14

### 3.3.3. Third Experimental Study

This experiment has a two-player setup. Other than the fact that decision makers are matched with another human decision-maker and the retailer can reject the contract leading to both parties earning 0 profit for that period, the treatments and parameter setting is similar to the second study. Participants are randomly assigned to the role of a producer, or a retailer and they play the same role with the same partner throughout the experiment. The production cost is 3 units and the retail price is 12. The demand is uniformly distributed between 51 and 150. There are three treatments for

the wholesale price, buyback and revenue sharing contract. The sample size for each treatment is 22 producer-retailer pairs.

This study is supported by TÜBİTAK Grant #111K454. The subject of the study are recruited from undergraduate students and awarded monetary compensation for experiment participation. The subjects received payments proportional to their experiment performance. The average payment is 22 dollars. Each subject participated in exactly one treatment. The experiment is conducted using MUMS software. The user interface of the software is MS Excel based; hence the decision screen was similar to the one presented in Figure 2.

#### 4. The Random Decision Simulation and Comparison Results

For the simulation of the random decision, for each experimental study and for each treatment, a random choice is simulated with equal probability within the allowable range of the participants' decisions. For instance, for the first experimental study the decision makers are supposed to make stock quantity decisions within the demand range, that is between 50 and 150. Hence the random system for this study is designed to pick a number between 50 and 150 with equal probability. Then 10 thousand replications of 40 period experiment runs have been generated. The average of these replications forms one data point in our comparison. Simulation of retailer decisions for the second and third studies are similar. For the producer decisions, the wholesale price can be between the production cost and the retail price. Only under the revenue sharing contract the wholesale price can go below the production cost as the producer will earn revenues from the revenue sharing scheme. The buyback price is limited from above by the wholesale price, and the revenue share is limited by the difference between the retail price and the wholesale price.

##### 4.1 Comparison Results for the First Experimental Study

Table 3 displays the comparison results for the first experimental study. As expected, the random system's average order decision is close to the mean of the demand range. Thus, for the high profit margin, this average lies below the optimal and for the low profit margin it is above the optimal. Since the human decision-makers tend to overorder under low profit margin and underorder under high profit margin settings the difference between the random system and human decisions is smaller compared to the optimal. In terms of expected profit, the gap between the random system and human decisions is not significantly wide. There is about 5% and 11% difference under high and low profit margin expected profits.

*Table 3: Comparison results for the first experimental study*

		Optimal	Female Decision-Makers	Male Decision-Makers	Random Decisions
High profit margin	Order Quantity	111	99.27 (9.57)	103.39 (7.47)	99.87 (4.57)
	Expected Profit	4420	4171.8 (134)	4244.5 (133.1)	3983.21 (68.56)
Low profit margin	Order Quantity	89	94.00 (9.57)	96.56 (7.43)	99.89 (4.64)
	Expected Profit	2420	2202.9 (126.3)	2234 (146.2)	1988.75 (68.92)
<i>Average (std. dev.)</i>					

Here, we need to note that due to the setup of the parameters of the experiment the optimal order quantities are very close to the demand average. The narrowness of the gap between the random system and the human decisions can be attributed to this fact.

## 4.2 Comparison Results for the Second Experimental Study

Here we present the comparison results for the retailer and producer treatments separately.

### 4.2.1. Retailer's Decisions

Table 4 tabulates the comparison results. For the wholesale price contract, the experiment scenario is a low profit margin setting. Thus, the random decisions turned out to be significantly above the optimal, resulting in an almost 0 expected profit for the retailer. As for the human decision-makers, although the order decisions are skewed towards the demand mean, they still earn more than 60% of the expected profit. This suggests that when the profit margin is sufficiently low, human decisions outperform the random system.

*Table 4: Comparison results for the retailer decisions of the second experimental study*

		Optimal	Human Decision-Makers	Random Decisions
Wholesale price contract	Order Quantity	67	88.55 (9.62)	99.91 (7.13)
	Expected Profit	118	73.4 (30.54)	2.15 (19.84)
Buyback contract	Order Quantity	125	109.99 (12.49)	100.52 (4.57)
	Expected Profit	264	246 (10.64)	234.79 (5.1)
Revenue sharing contract	Order Quantity	125	103.54 (8.93)	100.3 (4.6)
	Expected Profit	264	246.39 (8.27)	234.68 (5.16)
<i>Average (std. dev.)</i>				

For the buyback and revenue sharing setting the profit margin is above 50% and thus the optimal order quantity is above the demand average. Under this setting human decision makers tend to underorder which is also apparent in the experiment results. As a result, the human decisions are close to the demand average and the average expected profit earned by the human decision makers is just about 5% above that of the random system. The expected profit earned by the random system is also about 88% of the optimal expected profit. This suggests that under high profit margin settings automation may be a good enough alternative to human decisions.

### 4.2.2. Producer's Decisions

*Table 5: Comparison results for the producer decisions of the second experimental study*

		Optimal	Human Decision-Makers	Random Decisions
Wholesale price contract	w	10	9.57 (0.96)	7.52 (0.47)
	Expected Profit	466.7	450.65 (44.21)	325.81 (24.97)
Buyback contract	w	11	10.22 (0.76)	7.52 (0.46)
	b	10	8.13 (2.17)	3.75 (0.46)
	Expected Profit	677.5	591.9 (71.61)	320.93 (32.52)
Revenue sharing contract	w	1	2.67 (1.42)	6.03 (0.58)
	r	10	7.18 (2.03)	2.99 (0.47)
	Expected Profit	677.5	556.94 (65.81)	388.65 (31.13)
<i>Average (std. dev.)</i>				

Next, we analyze the producer treatments of the second experimental study. The comparison results are shown in Table 5. Here we observe significant gaps between the human decision-makers and the random system. Random system offers significantly lower contract prices and earn significantly lower expected profit. The difference is about 28%, 46% and 30% for each of the contract types.

So for pricing decisions we can conclude that human decision makers significantly outperform the random system. The reason behind this observation may be that human decision makers are better at pricing decisions than inventory decisions and thus the comparison gap is wider for the pricing decisions. This finding is also parallel with the findings of Akbay and Çavdaroglu (2022) who find that pricing decisions of the subjects are not necessarily worse than the optimal.

## 4.3. Comparison Results for the Third Experimental Study

### 4.3.1. Retailer's Decisions

Here we present the comparison results as proportion of the expected profit earned by the random retailer to the expected profit corresponding to the order decisions of the human retailers under the contract parameters offered to them by the producers during the experiment. Note that not

all contract parameter combinations are offered by the producers and the comparison is done over the accepted contracts only.

Table 6 shows the comparison results for the wholesale price contract treatment. Parallel to our earlier observations, under relatively high profit margins the difference between random decisions and the human decisions is not terribly high. The difference is minimized when the profit margin is exactly 50% ( $w=6$ ). When the profit margin is 25% or lower ( $w \geq 9$ ), we see that the random decisions significantly lead to low or negative profits.

*Table 6: Proportion of random system's expected retailer profit to the average human expected retailer profit – third experimental study wholesale price contract*

Wholesale price								
3	4	5	6	7	8	9	10	11
93%	91%	95%	99%	94%	85%	64%	2%	-189%

Table 7 presents a similar result to our earlier findings, specifically unless the profit margin is very low, the random system performs quite well compared to the human decisions. One factor affecting this result is the inter-human interaction between the decision makers in the experiment. As per the findings of the earlier literature, retailers may sometimes make order decisions as a reaction to the producer. Here also note that as the buyback price increases the inventory risk of the retailer decreases reducing the cost of overage. Thus ordering higher quantities has less adverse results and thus the performance of the random system improves.

Similar results are shown in Table 8. For low profit margins the performance of the random system is terribly lower than the human decision-makers. For the buyback contract low profit margin happens when the wholesale price is high, and the buyback price is low. For the revenue sharing contract when the sum of the wholesale price and the revenue share approach the retail price the profit margin decreases.



### 4.3.2. Retailer's and Producer's Decisions

Next, we present the comparison results for the producer decisions along with the retailer decisions. Here the comparison is made with a system where both the retailer and the producer decisions are randomly selected. Table 9 presents the comparison results. For the wholesale price contract, the average wholesale price decision is more or less same in the human decision-makers and the random system. Retailer stock quantity decisions are pull to the center of the demand mean and thus the difference between the random system stock quantity decisions is small. In terms of expected profit, the random system producer earns higher profit than the human counterpart whereas the random retailer earns lower profit. In both cases the difference is about 10%.

*Table 9: Comparison results for both the retailer and producer decisions of the third experimental study*

		Optimal	Human Decision-Makers	Random Decisions
Wholesale price contract	w	10	7.5 (0.51)	7.51 (0.48)
	Order Quantity	67	96.36 (9.85)	100.57 (4.7)
	Expected retailer profit	118	281.8 (51.7)	251.5 (50.46)
	Expected producer profit	469	418.94 (66.3)	453.21 (53.73)
	Expected contract efficiency	0.74	0.88 (0.05)	0.89 (0.02)
Buyback contract	w	11	8.72 (0.71)	7.48 (0.47)
	b	10	5.02 (1.48)	3.73 (0.47)
	Order Quantity	100	100.02 (9.33)	100.6 (4.53)
	Expected retailer profit	75.5	232.84 (62.63)	316.8 (45.27)
	Expected producer profit	677.5	482.11 (75.36)	388.12 (47.29)
Expected contract efficiency	0.95	0.90 (0.04)	0.89 (0.02)	
Revenue sharing contract	w	1	4.31 (1.61)	5.98 (0.61)
	r	10	4.05 (1.73)	3.02 (0.48)
	Order Quantity	100	95.55 (11.77)	100.67 (4.65)
	Expected retailer profit	75.5	256.85 (100.29)	150.74 (48.03)
	Expected producer profit	677.5	438.6 (95.15)	554.13 (51.25)
Expected contract efficiency	0.95	0.88 (0.06)	0.89 (0.02)	
<i>Average (std. dev.)</i>				



Even though buyback and revenue sharing contracts are mathematically equivalent, both the experiment results and comparison with the random system point to a difference between the contract performances. Under the buyback contract, the random producer earns less profit than the human producer while the random retailer makes more profit than the human retailer. This comparison is opposite under the revenue sharing contract. That is to say the random producer earns higher expected profit and the random retailer earns lower expected profit.

*Table 10: Contract efficiency comparisons*

	Optimal	Human Decision-Makers (only accepted contracts)	Human Decision-Makers (all contracts)	Random Decisions
Wholesale price contract	0.74	0.88 (0.05)	0.81 (0.11)	0.89 (0.02)
Buyback contract	0.95	0.90 (0.04)	0.80 (0.09)	0.89 (0.02)
Revenue sharing contract	0.95	0.88 (0.06)	0.79 (0.14)	0.89 (0.02)
<i>Average (std. dev.)</i>				

Finally, Table 10 presents the comparison results for the contract efficiency. When we consider only the accepted contracts, we see that the performance of the random system is just 1% off from the performance of the human-human supply chain. However, since human interaction involves some of the contracts being rejected by the retailer, when all contracts are taken into consideration, the random system has about 9-10% higher contract efficiency.

### 5. Conclusion

In this study we compare the supply chain contracting decisions made by humans and a completely random system. The purpose of the study is to investigate if it is worth investing in automation. A conservative approach is taken, and human performance is compared with possibly the worst automation by randomizing the decisions. We find the following:

1. When the profit margin is relatively low, it is better to let the humans make the decisions. Or in such settings the decisions made by the automated system should be carefully checked and updated by the humans.

2. When inventory risk is high human inference have significant value over the automation. Nevertheless, when the inventory risk is relatively low (high buyback price or under the revenue sharing contract low wholesale price) inventory decisions can be automated with reasonably good performance outcomes.
3. When there is high interpersonal interaction, conflict and biases, automated system may lead to better results. In other words when human judgement is clouded by emotions, automation can improve the performance.
4. In supply chain contracting when the other firm is making rational decisions and will make use of any bad decision you may make, human intervention is again valuable.

These findings suggest that when supported with an automated decision support system, performance outcome of the human participants can improve significantly. For future studies human judgement can be compared with a more educated automated system using machine learning. Furthermore, a machine learning based decision support system may be incorporated to the decision screen of the participants, and the performance improvement can be measured.

## References

- Akbay, Ü. (2016). Behavioral experiments on supply chain contracting (Doctoral dissertation).
- Akbay, Ü., & Çavdaroğlu, N. A. (2022). Pricing Decisions in Revenue Management: An Experimental Investigation. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, pp. 1217-1228, Istanbul, Turkey, March 7-10, 2022. ISSN: 2169-8767 (U.S. Library of Congress), ISBN: 978-1-7923-6131-9.
- Bolton, G. E., & Katok, E. (2008). Learning by doing in the newsvendor problem: A laboratory investigation of the role of experience and feedback. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(3), 519-538.
- Bostian, A. A., Holt, C. A., & Smith, A. M. (2008). Newsvendor “pull-to-center” effect: Adaptive learning in a laboratory experiment. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(4), 590-608.
- Cachon, G. P. (2003). Supply chain coordination with contracts. In S. Graves, & T. d. Kok, *Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management*, Vol. 11. Cambridge: North-Holland.
- Ho, T. H., Lim, N., & Cui, T. H. (2010). Reference dependence in multilocation newsvendor models: A structural analysis. *Management Science*, 56(11), 1891-1910.
- Katok, E., & Wu, D. Y. (2009). Contracting in supply chains: A laboratory investigation. *Management Science*, 55(12), 1953-1968.
- Keser, C., & Paleologo, G. (2006). Experimental investigation of supplier-retailer contracts. Stefan Seifert/Christof Weinhardt (Eds.), 92.
- Knight, M. (2014, December 13). United gets smarter at the ticket pricing game. *Crain's Chicago Business*.  
<https://www.chicagobusiness.com/article/20141213/ISSUE01/312139981/united-continental-ticket-pricing-changes-improve-margins>
- Liozu, S. M. (2016). The evolution and future of pricing capabilities. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 15, 306-316.
- Loch, C. H., & Wu, Y. (2008). Social preferences and supply chain performance: An experimental study. *Management Science*, 54(11), 1835-1849.
- Lurie, N. H., & Swaminathan, J. M. (2009). Is timely information always better? The effect of feedback frequency on decision making. *Organizational Behavior and Human decision processes*, 108(2), 315-329.
- Mendling, J., Decker, G., Hull, R., Reijers, H. A., & Weber, I. (2018). How do machine learning, robotic process automation, and blockchains affect the human factor in business process management?. *Communications of the Association for Information Systems*, 43(1), 19.

- Schweitzer, M. E., & Cachon, G. P. (2000). Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence. *Management science*, 46(3), 404-420.
- Wu, D. Y. (2013). The impact of repeated interactions on supply chain contracts: A laboratory study. *International Journal of Production Economics*, 142(1), 3-15.
- Zhang, Y., & Siemsen, E. (2019). A meta-analysis of newsvendor experiments: revisiting the pull-to-center asymmetry. *Production and Operations Management*, 28(1), 140-156.



## Investigation Of Thermal And Flow Characteristics Of Forced Convection Operating Blankets

Sertan Yıldırım<sup>1</sup>

Celal Kıstak<sup>2</sup>

Nevin Çelik<sup>3</sup>

### Abstract

In this study, operating theatre blankets, which are one of the measures taken against the risk of the patient's body temperature drop during surgery, were examined from various angles. Textile processing method was applied using spot welding method. Within the scope of the study, the hot air vents coming out of the blankets were analysed in terms of system pressure and air outlet velocity. Instead of performing experiments on real patients, an aluminium plate assembly heated from the bottom under constant temperature conditions in the laboratory environment was used. In the second stage, values such as pressure and velocity were measured with the set-up, but heat transfer calculations could not be performed more precisely. Therefore, some calculations were performed using the ANSYS-CFX package programme. In the third stage, several different models of non-perforated blankets, which have only warm air inside and therefore cover the patient partially or completely, were compared in terms of energy consumption. Finally, different models of blankets were tested on the same plate assembly in terms of the temperature generated on the surface. It was concluded that there are clinically significant differences between forced air heated blankets and other types of blankets

1 Yüksek Makine Mühendisi, Fırat Üniversitesi,, sertanyldrm.23@gmail.com, 0000-0003-2075-7943

2 Arş.Gör, Fırat Üniversitesi, ckistak@firat.edu.tr, 0000-0003-4621-5405

3 Prof.Dr, Fırat Üniversitesi, nevincelik@firat.edu.tr, 0000-0003-2456-5316

## 1. Introduction

Thermoregulation is a process by which our body maintains its core internal temperature. All thermoregulation mechanisms are designed to return our body to a state of homeostasis, or equilibrium. One of the moments when thermoregulation is disrupted in the living body is the moment of surgical intervention. During surgical intervention under general anesthesia, the patient's body experiences a decrease in body temperature due to the effect of the anesthesia drugs used and peripheral vasodilation (dilation of the vessel by relaxation of the smooth muscle in the vessel wall) on the thermoregulatory centers. Therefore, temperature control of the body during surgery is a very important issue.

Medical and biomedical studies have clearly shown that, as general anaesthesia can cause shivering and potentially lower body temperature levels, it may be necessary to warm patients for any procedure requiring anaesthesia to prevent hypothermia. It is vital that the patient is warmed before and, if necessary, during the operation, as there is a danger of the body temperature dropping for various reasons during the operation. Sometimes the body temperature drops more during the operation. During the operation, warming is provided with a blanket and the body temperature can be maintained at the desired level throughout the operation.

In this study, operating room blankets, which are used as a precaution against the danger of the patient's body temperature drop during the operation in operating rooms, are discussed in many aspects. The study consists of 4 chapters. In the first part, there is an introductory section where a brief introduction is made. In the second part, there is a detailed literature review on the medical uses of blankets and thermoregulation. In the third part, some of the blankets with forced air heating (heating of air by forced convection) are compared in terms of determining the pressure and speed values of the blower fan. In the fourth section, some well-known forced air heated blankets are compared with direct contact conduction heated blankets in terms of energy consumption. Finally, in the fifth section, heat transfer analysis of forced air heated blankets is carried out with the help of ANSYS-CFX, which performs computational fluid dynamics analysis. Finally, general evaluations are made in the Results section.

## 2. Literature Review

### 2.1. Thermoregulation and Homeostasis

The human body maintains a temperature of 37°C, also called body core temperature or core temperature, by using various physical processes.

These include sweating to lower body temperature, shivering to raise it, and constricting or relaxing blood vessels to change blood flow. If body temperature is not regulated, the body can overheat, leading to “hyperthermia”. Hyperthermia, also known as heat stroke or sunstroke, is a condition in which the body’s thermoregulatory mechanisms become inadequate and overheat, usually as a result of prolonged exposure to high temperatures, prolonged or intense physical exertion or drug use [1].

The body’s thermoregulatory balance is the best illustration of homeostasis. Temperature-sensitive receptors are present in the skin. The control center alerts the blood vessels and sweat glands in our skin to changes in temperature outside, allowing them to adjust appropriately. The body temperature drops when the temperature is too high because the blood vessels dilate, or vasodilate. In addition, sweat is produced by the sweat glands in tandem with vasodilatation. Vasoconstriction, or the narrowing of blood vessels in response to extreme cold, helps the body retain heat. A flow chart representing thermoregulation in the human body is shown in Figure 2.1 [2].

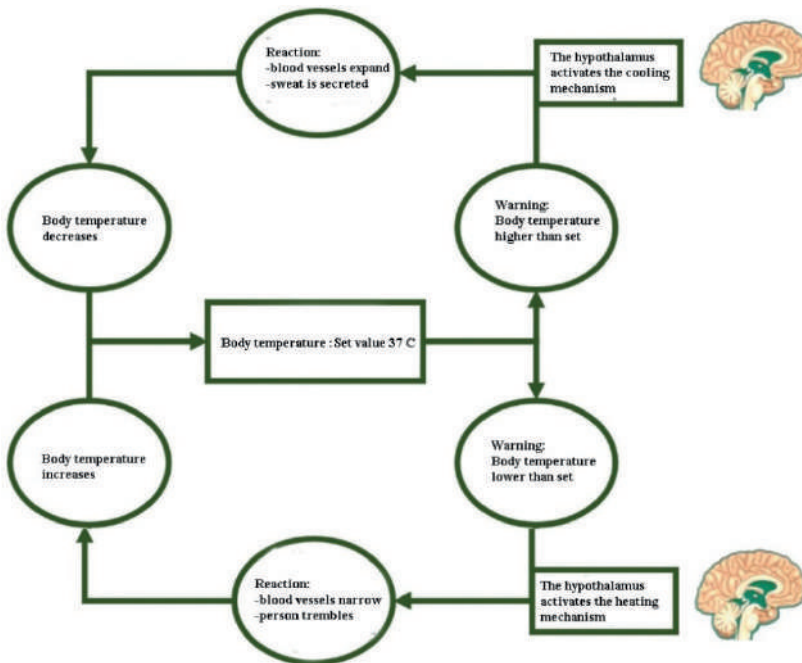


Figure 2.1. Thermoregulation in the human body



The capacity of an organism to retain internal stability in the face of environmental changes is known as homeostasis. The best illustration of homeostasis is thermoregulation, the regulation of the body's internal temperature. The nervous and endocrine systems are essential for preserving the body's homeostasis. Still, other organs are involved in the preservation of homeostasis. A self-regulating mechanism called homeostasis manages the internal factors required to maintain life. Sweating is the body's attempt to remain cool in a hot environment. Furthermore, blood vessels close to the skin's surface enlarge. This aids in reducing body temperature. In contrast, the blood vessels constrict and retain body heat in a cold environment. As a result, the skin keeps its equilibrium [3].

A fundamental understanding of thermoregulation and homeostasis is necessary for many physiological and therapeutic applications. 37°C is the typical core (or center) temperature. It is restricted to a small range (33.2–38.2°C), which gets even smaller when rectal, tympanic, or axillary measurements are substituted for oral measurements [4]. Throughout the day, during the menstrual cycle, and as we age, there are regular fluctuations that happen. The body's thermoregulatory systems will be tested by abnormal core temperature deviations of a few degrees, and temperature swings outside of the normal range can be lethal. For instance, cytotoxicity with protein denaturation and reduced DNA synthesis happens over 42°C [5]. Failure of internal organs follows from this. Serious hypothermia, or a body temperature below 27°C, can also have fatal consequences for the respiratory, cardiovascular, neuromuscular, and haematological systems [6]. Humans are able to push the limits of their thermoregulatory capacity and survive in the most extreme environments, despite the necessity for strict regulation of core temperature. Think about the fact that some people can partake in ice diving, where the water can be just a few degrees above freezing, or the Marathon Des Sables, a 251-kilometer endurance running race held in the Sahara Desert, where daytime temperatures can reach 50°C. Many of us find it incomprehensible that they can do these things and still live. But the reason is obvious. To ensure optimal physiological function and survival, humans must be able to maintain core body temperature (in the head, chest and abdomen) in the face of environmental temperature challenges.

Heat input into the body must equal heat output from the body in order to maintain core body temperature. Humans are endothermic, or homeothermic, meaning that they can control their body temperature and produce their own heat. The primary means of achieving a high core temperature is through heat production brought on by metabolism. As will be covered in more detail later, heat transfer always occurs along a thermal

gradient, or from hot to cold, via radiation, conduction, and/or convection. Since people are typically the hottest objects in a given environment, heat transfer normally occurs in this direction. Nevertheless, heat loss via evaporation takes over as the main method of heat dissipation when the core temperature rises [3].

The following heat balance equation addresses the internal and external factors that contribute to thermal equilibrium and thus to the maintenance of core temperature:

*Heat storage = metabolism - work - evaporation ± radiation ± conduction ± convection* here;

- Chemical reactions that take place within the body are referred to as metabolism.
- The working muscle produces a lot of heat when exercising.
- Work is the done external labor.
- As water evaporates from the skin's surface and respiratory tract, heat is lost to the surrounding air.

The following three variables determine the total amount of sweat that evaporates from the skin:

- The body's surface area exposed to the environment.
- The ambient air's temperature and relative humidity.
- and the convective air currents surrounding it.

**Radiation**, electromagnetic heat transferred to non-contact bodies, including ultraviolet light radiation from the sun penetrating the earth's surface and infrared radiation from the body.

**Conduction**, is the movement of heat from the body directly to objects in contact with the body. Usually the amount of heat exchanged in this way is minimal.

**Convection**, is the transfer of heat to a moving gas or liquid. When a body heats up, the air molecules in contact with the body heat up, reducing their density, which causes the molecules to move, rise and are replaced by cooler air. Convective heat exchange is enhanced by the movement of the body in air or water, or by the movement of air or water across the skin.

The core and peripheral shell (skin) temperatures are typically discussed when talking about body temperature. The temperature of the "deep" bodily tissues, or the organs with high basal metabolic rates (the brain,

heart, and liver), is reflected in the core temperature. Skin blood flow, which increases with a high core temperature and outside temperature, affects shell temperature. Usually, the skin on the hands and feet is used to measure it. These regions have high surface-to-mass ratios; the hands, for instance, have a ratio of four to five times that of the body [7].

The central integration or coordinating center for thermoregulation is the hypothalamus. The most significant area for autonomic temperature regulation appears to be the hypothalamus [8]. The hypothalamus receives its input from both central and peripheral thermoreceptors. There are two subtypes of thermoreceptors, one for the cold and one for the temperature: peripheral and central. The skin contains peripheral thermoreceptors, with a higher concentration of cold than warm receptors. There are more warm-centered thermoreceptors than cold thermoreceptors in the hypothalamus, spinal cord, internal organs, and large vessels. The most significant impact of central thermoreceptor activation is on core temperature, and it appears that activation of warm thermoreceptors inhibits activation of cold receptors [9].

## **2.2. Researches on Operating Room Blankets**

Under general anesthesia, a surgical procedure results in a 1-3 °C drop in body temperature, which suppresses the thermoregulatory center and causes peripheral vasodilatation [10]. According to reports, hypothermia can raise the risk of bleeding, lengthen hospital stays, increase surgical site infections, and raise medical expenses. It has been demonstrated that maintaining a normal body temperature of  $\geq 36^{\circ}\text{C}$  during the perioperative period is crucial for postoperative recovery [11]. Studies on preoperative warming and the avoidance of postoperative complications have also been carried out. Decreased hepatic drug metabolizing enzyme activity has been linked to hypothermia [12]. Furthermore, hypothermia may lead to significant complications such as arrhythmias, coagulopathies, increased transfusion requirements, increased susceptibility to infections, and longer hospital stays [13, 14].

As was already mentioned, the human body uses three different forms of heat transfer—radiation, convection, and conduction—to regulate its temperature [15]. By including evaporation, we can actually raise this to four. This surface needs to safely transfer large amounts of heat to the patient, as 90% of heat is conducted through the skin [16]. In the past, specialized patient warming techniques have been employed to circulate hot water and produce heat through radiation and conduction. Hot water circulation heaters only heat the area in contact with the patient; hot air heaters, which

surround the patient with warm air and transfer heat by convection, have reportedly been shown to be more effective in recent years [17, 18].

In terms of use, there are two types of warming blankets: over-body blankets, which warm the patient from above, and under-body blankets, which warm the patient from below. However, with the recent development of laparoscopic surgery, the number of operations performed in lithotomy (the position in which the patient is placed and secured in the supine position with the legs raised together and bent at the knees and placed and secured on pre-adjusted footrests) has increased rapidly and the number of cases of hypothermia has risen dramatically. Because lithotomy typically necessitates immobilizing the upper limbs, it is imperative to enhance techniques for controlling body temperature and the body heat field. Nevertheless, the warming field is frequently restricted to the anterior thorax and neck. The patient is heated from the head to the buttocks when an under-body blanket is utilized. This approach is probably going to be more successful in avoiding hypothermia. Without supporting data, it is challenging to adopt the under-body heating system widely due to its higher cost. While prior research has indicated the effectiveness of under-body heating systems for supine surgery [19, 20], no reports of their efficacy for procedures carried out in the lithotomy position exist [21].

The most effective way to prevent hypothermia is to warm the skin. Forced air heating blankets, conduction heating blankets or electric heating blankets can be used for this purpose [22]. However, until recently, the use of electric blankets was restricted due to concerns about electrical hazards and thermal injuries [23].

Active air heating in air heated blankets is done by using fan type forced air heating devices. Passive heating is heating using reflective blankets. The use of active prewarming (active heating before anaesthesia) in combination with intraoperative heating methods has been shown to be more effective than intraoperative heating in isolation in producing higher core temperatures and maintaining normothermia [24, 25].

Active or forced air heating devices rely on convection heating to increase skin temperatures and total body heat content, minimise the heat gradient between core and peripheral tissues and reduce heat redistribution [26]. Forced air heated blankets have a warm air flow that releases the airflow up to 43°C. This extra thermal energy causes temperature gradients that can impede laminar airflow in the operating room [27]. When this unidirectional laminar airflow is disrupted, there is the potential for increased surgical site contamination.

It has been shown that potentially pathogenic organisms can be detected in the tubing of devices connected to forced air heated blankets [28-30]. Although alternatives to forced air heated blankets have been shown to be passive heating devices that utilise a conductive energy mechanism by reflecting radiant body heat to prevent overheating [13], they may not always offer high thermal efficiency [40]. The use of such blankets eliminates any laminar airflow interruption and the absence of reusable parts eliminates the transfer of potentially pathogenic organisms by the device. Although studies have shown that reflective blankets are not as effective as active heating devices in maintaining intraoperative normothermia, none of these studies included the use of preheating of patients [13, 14, 25, 32].

Maintenance of the patient's normothermia (36°C) during surgery is essential to reduce the risks and complications associated with hypothermia. Several studies have shown that both general and regional anaesthesia can induce hypothermia due to iatrogenic thermoregulatory dysfunction and secondary heat loss from redistribution of core body temperatures. Hypothermia can lead to significant complications such as arrhythmias, increased transfusion requirements, greater susceptibility to infections, and subsequent longer hospital stay [13, 33].

It is appropriate to use upper body blankets during lower limb and abdominal surgeries. The use of upper body blankets suggests a decrease in both heat gain and loss in a relevant area. The enclosed region makes up roughly 0.35 m<sup>2</sup>, or 15%–25% of the total surface area. With forced air heating systems and upper body blankets, the heat balance in this area can be adjusted between 46.1 W and 55 W. In conjunction with insulation and fluid heating, forced air heating with upper body blankets can effectively prevent perioperative hypothermia, depending on the type of surgery and the resulting fluid demand [33].

### **2.3. Blankets Used in the Medical World**

The literature review to date has clearly shown that hypothermia is a major problem [34-41]. A number of things, such as the low operating room temperature, the patient's lack of insulating clothing, the application of cold or volatile solutions to the patient's skin to prepare it, and losses from incisions made on the patient, can result in heat loss from the patient. The effects of anesthesia during surgery make it harder for the patient's body to regulate its temperature, which exacerbates the problem. In patients with hypothermia from excessive exposure to cold unrelated to surgery, returning the body temperature to normal is also a concern. It is crucial to warm the patient as soon as possible as a result [42-43].

As mentioned above, the two most common forms of patient warming systems are forced convection air heated blankets and conduction heated blankets [44]. Forced convection air-heated blankets provide a flow of warm air through pores (holes) drilled in the surface in contact with the patient's body. The air coming out of the holes acts like an air jet and hits the patient's body and heats the body. In conduction heating blankets, the mechanism is that a heated pad covering the body maintains the patient's body temperature. Both approaches are effective in preventing hypothermia; however, it has been reported that the use of forced convection air-heated blankets is more effective in increasing the patient's body temperature compared to conduction-heated blankets [44].

Other solutions have been proposed to prevent hypothermia during surgery. Some involve preheating, i.e. providing heat to the patient bed from an external source, such as the application of electric hospital blankets. This is an inexpensive, simple solution, but it has the disadvantage that the heat rapidly decreases, as electricity would be hazardous during surgery and therefore heating would not be available (Figure 2.2).



*Figure 2.2. Preoperative bed warming with electric blanket [45]*

Blankets through which heated water is passed have also been used with some degree of success. Nonetheless, because of the weight of the liquid, these blankets frequently have an external heat source and are large and bulky (Figure 2.3). Because they are used frequently and eventually begin to leak, water blankets can also be unhygienic. Increase the temperature of the operating room, or at least the area surrounding the patient, with heat lamps is another prior art method for managing the patient's body temperature. The disadvantage of this method is overheating of the surgical team, which is already usually heavily clothed [40].



*Figure 2.3. A blanket with hot water inside [46]*

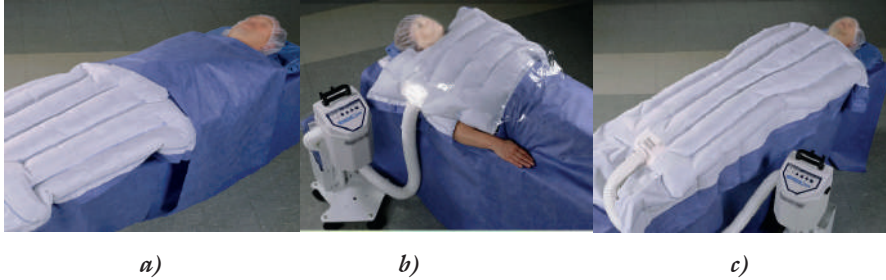
Today, forced air blown blankets are preferred in many countries of the world. Hot air is passed through these blankets. Some are laid under the patient and some are laid on top [48]. Figure 2.4 shows an example of a blanket laid under the patient.



*Figure 2.4. Example of an air blown blanket with bottom heating [47]*

Some of the blanket types that are usually covered on the patient have holes on the face in contact with the patient, through which the air is impinged on the body. In some models, there are no perforations, just heat passing through the blanket fabric to the patient, which is heated by warm air. A disadvantage of this approach is that they are double-walled blankets with an internal chamber for air passage. The natural thickness of the blanket fabric creates a physical barrier to heat transfer. When air is introduced into the blanket, the blanket “puffs” so to speak and can interfere with surgery.

With the emergence of this problem, types that cover the parts of the patient to be operated on and leave the other parts exposed have been produced. Figure 2.5a, and Figure 2.5b show partial area warming blankets, and Figure 2.5c shows an example of a blanket covering the whole body.



*Şekil 2.5. Examples of top heated air blown blankets [49]*

### 3. Investigation Of The Holes Drilled In Forced Air Heated Blankets In Terms Of Pressure And Velocity According To The Method Of Opening

As seen in the literature, there are many studies on the use of forced air heated surgical blankets [40-44, 48, 50]. It has been concluded that there are clinically significant differences between forced air heated blankets and other types of blankets [48, 50] and that forced air heating systems are more effective in keeping the body at the desired temperature. In the medical market, there is an ever-increasing number of forced air heated blankets. However, there are few studies investigating the physical background of these devices and aiming to find the most suitable one. For example, the heat flow generated by the power units of a blanket depends on the air temperature at the nozzle and the air flow rate [50]. It is obvious that engineering investigations are required on many subjects such as energy capacity and efficiency, heat transfer, pressure, flow rate and speed settings. Some pioneering studies have already been initiated by the supervisor of this study. For example, Çelik and Bayazıt [51] measured the outlet air pressure of two types of blankets with air holes drilled on the patient contact surface and discussed which blanket would be more efficient. In another study by Bayazıt and Sparrow [52], which also inspired this study, various blanket types were compared in terms of their energy efficiency. Brauer et al. [16] measured the temperature changes on the inanimate model, also called patient surrogate, using various blankets. At this stage of the study,



extensive research has been carried out especially in the light of the 3 cited studies, and the stages followed are given below;

Firstly, blankets with hot air coming out of the holes were analysed in terms of system pressure and air outlet velocity. Instead of conducting experiments on real patients, an aluminium plate set up in the laboratory, heated from the bottom under constant temperature conditions, was used.

1. Several different models of blankets, which are not forced air heated, but heated by direct contact conduction, that is, not perforated, but only partially or completely covered on the patient with hot air or other heating system inside, were tested on the installed plate assembly and compared in terms of energy consumption.
2. Although values such as pressure and velocity were measured with the set-up, heat transfer calculations could not be performed accurately. Therefore, some calculations were performed using ANSYS-CFX programme. While performing the calculations, the different geometries of the holes were also compared.
3. Finally, different models of blankets were tested on the same plate assembly, this time in terms of the temperature they caused on the surface.

### **3.1. System Pressure in Air Blown Blankets**

As already emphasised, some surgical blankets with forced heating have some holes under the inner chamber. Through these holes, hot air hits the patient during the operation. A disadvantage of such blankets is that the exhaust of the heated air around the patient may cause the surgical team to overheat. In this case, the air conditioner consumes more energy.

In this part of the study, the effects of opening the air holes with two different methods on the working pressure of the system are analysed. Then, the effects of opening the holes in two different geometries on the working pressure of the system are analysed. The flow rate provided by the blower fan is closely related to the operating pressure. The pressure at the outlet of the fan and the velocity at the inlet of the blanket are the tested parameters of the system.

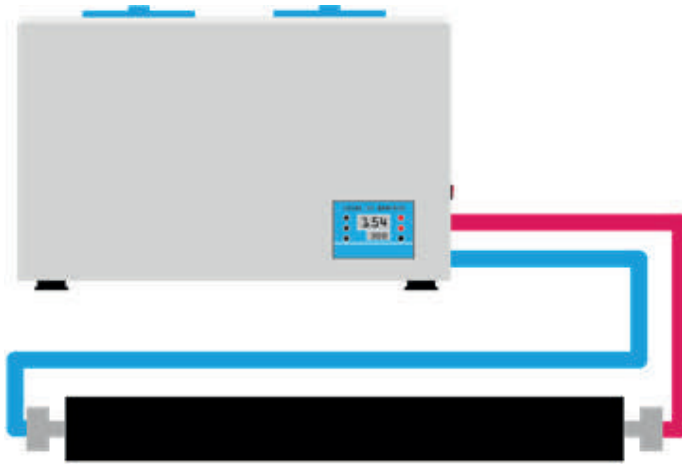
#### **3.1.1. The Effect of the Shape and Geometry of the Air Blowing Holes on Pressure**

The blanket used in the experiments has a length of 185 cm and a width of 90 cm. The mass of the blanket is 135 g. In fact, the blanket considered

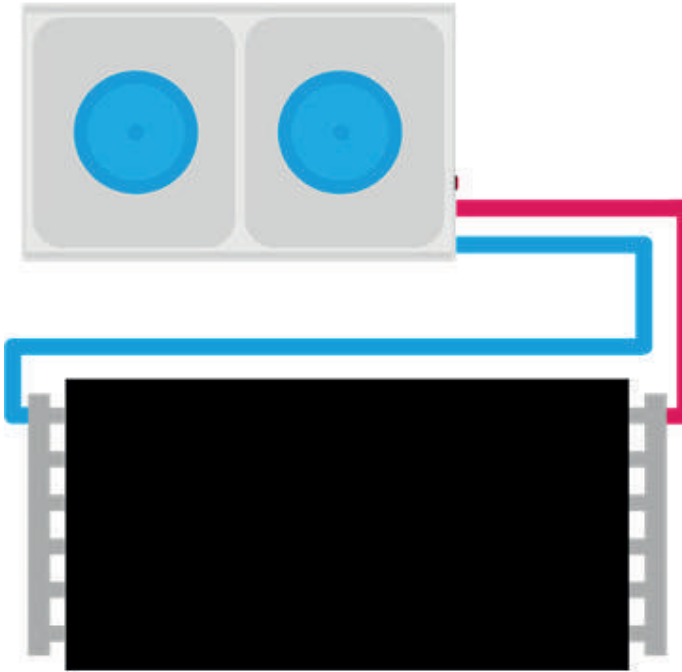
is a forced air heating type that does not blow air, only hot air is sent into it. In order to obtain a blanket that blows air on the surface in contact with the patient, various processes were applied to the blankets. It will be useful to state immediately that such perforated blankets are available in the market. However, in our study, our aim is to test whether the existing holes are efficient. For this reason, circular holes were first drilled under the inner chamber of the blanket sewn with a simple duvet cover technique. The diameter of each hole is 1 mm. The distance between two holes is 3 cm along both length and width. The holes were obtained in two ways: by hot burning and punching. In hot burning, a 1 mm diameter rod heated to a glowing ember was pressed onto the wire fabric and pulled. Air was blown through the hole formed by the burning parts. In the second type, i.e. punching, holes with a diameter of 1 mm were formed with a punching device, which is a textile tool. It was examined whether there was a difference in the pressure and speed of the air blown from the blanket in terms of the formation of the hole.

The geometry of the holes is as important as the way they are formed. Because sending hot air to the patient's body is a real impact jet application. In impinging jets, the geometry of the nozzle or pipe from which the air comes out is an important factor parameter. For this reason, blankets were tested in three different situations such as triangular, square and circular holes. Triangular and square holes were drilled with a hydraulic diameter of 1 mm at 3 cm intervals, just like the circular hole. Thus, their sizes were equalised.

In the experiments, the air from the air-blowing blanket was impinged on a smooth fixed plate called a surrogate patient (manikin) instead of real patients. The use of this plate, schematically illustrated in Figure 3.1, as a surrogate patient was investigated for compliance with the standards. It was found to be accepted by ASTM (F2196-02, 2002) and TS (60601-2-35, 1996) [53].



a)

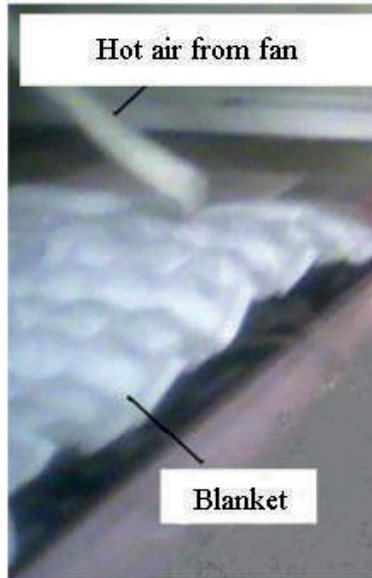


b)

Figure 3.1. Plane designed as human body a) Front View b) Top View

The plate is made of aluminium sheet 6 mm thick, 1.5 m long and 1 m wide, whose upward facing surface is painted with matt black paint to provide a radiation equal to that of human skin ( $\epsilon=0.90-0.95$ ). A total of

16 strings of water-carrying copper tubes were placed under the downward facing surface of the plate. In the pressure and velocity experiments, no attention was paid to heating measurements; in the thermal tests to be described later, the constant body temperature condition was ensured by the hot water passing through these pipes. Figure 3.2 shows a photograph of the blanket on the plate. Both pressure and velocity were measured using a small diameter Pitot tube.



*Figure 3.2. Tested Blanket*

The first motivation for the pressure measurements was the determination of the operating point of the system when making air outlet measurements from the blower fan. The operating point represents the intersection point of the fan curve and the system curve. The variation of the operating pressure in combustion-formed perforated blankets compared to puncture-formed perforated blankets is due to the change in flow resistance.

Measuring the static pressure at the outlet of a blower is a challenging task. This is because the fluid flow lines at that location are by no means straight and mutually parallel. Two approaches have been used to deal with this complexity. One is to place a Pitot tube with the pulse opening facing the direction of flow. The measurement of the pressure at the pulse opening was expected to be a reasonable estimate of the static pressure. The second approach is to measure the pressure in the static orifices of the Pitot tube while the pulse aperture is positioned facing downstream.

The results of the pressure measurements are presented in Figure 3.3. The static pressure measured at the blow opening facing the flow direction was 0.05334 mSS for the blanket with holes formed by puncture and approximately 0.03556 mSS for the blanket with holes formed by burning. These numbers were then checked by removing and replacing the Pitot tube at the blower outlet. Although the numerical values were not reproduced per se, the relative differences between the two cases are negligible. The static pressures at the hole mouths were 0.04572 mSS in the case of holes formed by spotting and 0.03048 mSS in the case of holes formed by burning.

The pressures measured in the static holes of the Pitot tube reinforced the trend described in the previous paragraph. In fact, the results are not surprising. Before the experiment, it was observed that the perforated blanket created by combustion produced more regular holes. Problems such as small crumbs on the edges and uneven hole perimeter were observed while drilling holes in punching. For this reason, lower pressure drop was expected for the perforated blanket formed by burning compared to the perforated blanket formed by punctuating. Since this expectation is a visual assumption, it is useful to measure the air velocities at the inlet of the blanket to be sure of the results.

The average velocity calculated from the pitot tube impact pressures are 9.4488 m/s and 10.0584 m/s for the puncture-formed perforated blanket and the burn-formed perforated blanket, respectively. Statistically speaking, the difference between these two numbers should not be considered. This is because the measurements are limited to a single diameter. Since the holes created by burning are smoother, they do not block the air flow, so it is expected that the air velocity will be higher in the blanket with holes created by burning, just like the result of low pressure loss.

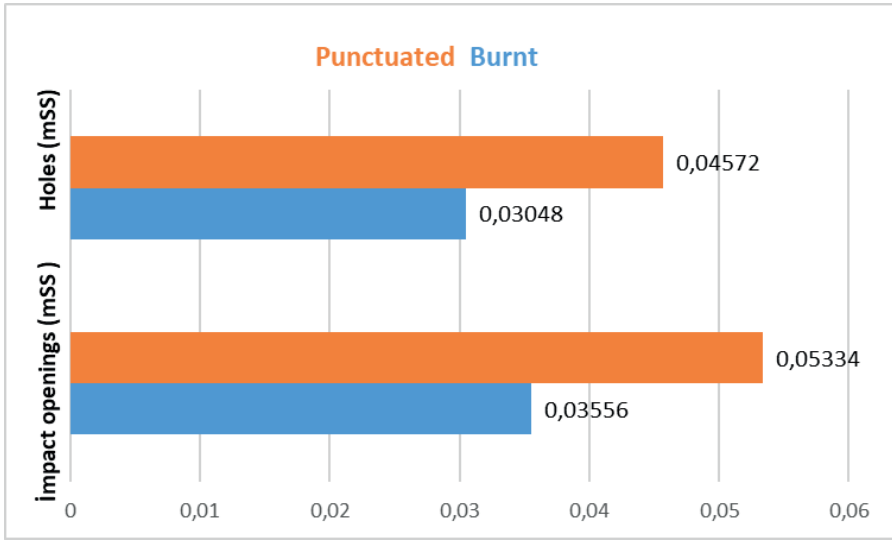


Figure 3.3. Measured pressures at the impact opening and in the bores

Although the types of holes created by burning gave better results among the circular perforated blankets, spotting has been a more preferred method as a textile processing method. For this reason, in this part of the study, air pressure and velocities were measured from the triangular and square hole blankets by spotting method as well as the circular holes. The data were summarised in a single graph. Figure 3.4 shows the pressure drop.

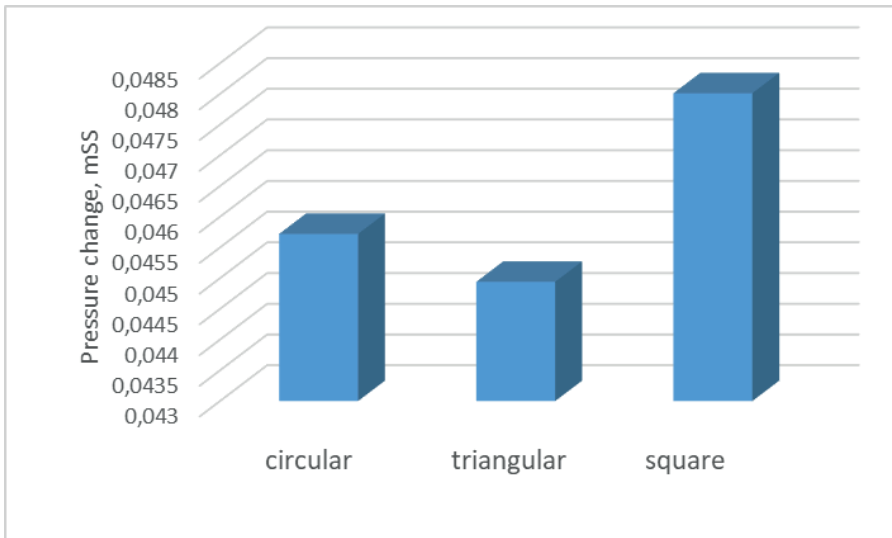
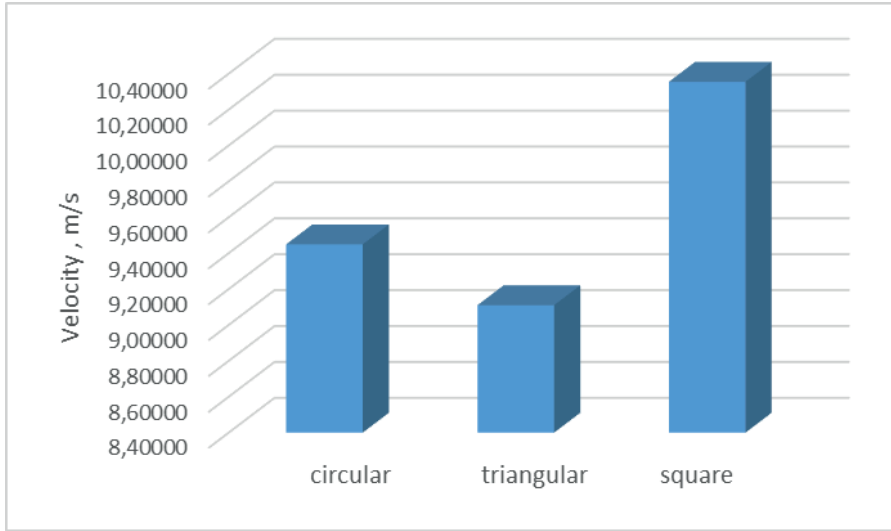


Figure 3.4. Static pressures measured in holes according to geometry type

In the pressure drop tests, the highest pressure difference was detected in the square pipe, then in the circular pipe and finally the lowest pressure difference was detected in the triangular pipe. Similarly, velocity values are given in Figure 3.5.



*Figure 3.5. Outgoing air velocities by geometry type*

As can be seen in the figure, the highest velocities were measured in the square tube, then in the circular tube and then in the triangular tube. This was confirmed by Celik [54], who had previously performed impinging jet studies with three different geometries. The highest velocity and momentum were obtained with square geometry. This was followed by circular and triangular tubes.

#### **4. Temperature And Heat Transfer Estimates Obtained By Numerical Analysis**

At this stage of the study, the air jet hitting a flat surface was modelled from a plate with holes drilled on it. The holes were designed as circular, triangular and square. For each geometry, the hydraulic diameter was taken equal to 1 mm. A specific cross-section through the fabric was considered. Figure 4.1a shows the surface (orifice plate) where the circular holes based on the numerical model are located. Figure 4.1b shows the free jet shape between the surface with the holes and the surface that replaces the patient's body. Since the hot air hitting the plate through the holes of the blanket

can leak out of the gaps on the edges, the jet stream is considered free, that is, the edges between the opposite orifice plate and the impact surface are open. Figure 4.2 shows the position of the holes and the impact surface from another point of view.

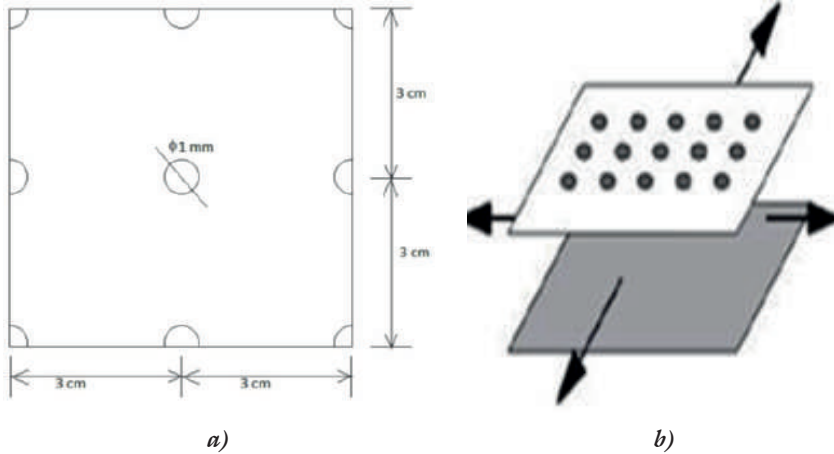


Figure 4.1. Schematic representation of the modelled drilled surface

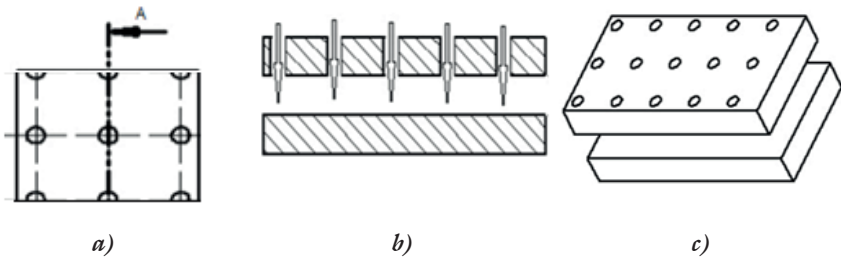


Figure 4.2. Illustration of the impact surface with holes from various angles

The problem was solved under laminar flow conditions using ANSYS-CFX commercial package programme used in computational fluid dynamics studies. The boundary conditions are defined as the mass flow rate of the air entering through the holes “inlet”, the impact surface “wall” with constant 35°C temperature, the edges “opening”, the part of the blanket outside the holes “wall” without thermal condition. The problem was solved as time dependent. In this way, it will be possible to find out how long the temperature will become constant in the patient’s body. A starting temperature of 35°C was chosen. The total time was determined as 300 s, i.e. 5 min. The initial temperature of 35°C was chosen on the grounds that the patient was about to enter hypothermia. Mass flow rate values are the reference values obtained in the experiments. It was assumed that there



was a 6 mm gap between the holes and the impact surface. Since the flow is laminar according to the flow rate values, the following equations were solved under laminar flow conditions:

Continuity equation:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4.1)$$

Reynolds averaged Navier-Stokes momentum equation:

$$\rho \left( u_i \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad j = 1, 2, 3 \quad (4.2)$$

where  $\mu$  is the fluid viscosity. Its value at the appropriate temperature for air was found from the tables. Finally, CFX energy equation was used to solve the thermal problem.

$$\rho c_p \left( u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (4.3)$$

where  $k$  is thermal conductivity,  $\rho$  is density,  $C_p$  is specific heat.

The appropriate network structure for the solution domain was found by comparing the temperatures and velocities after several trials. When the results of the tested network structures were close to each other by 0.5%, the final network structure was used. Figure 4.3 shows the network structure.

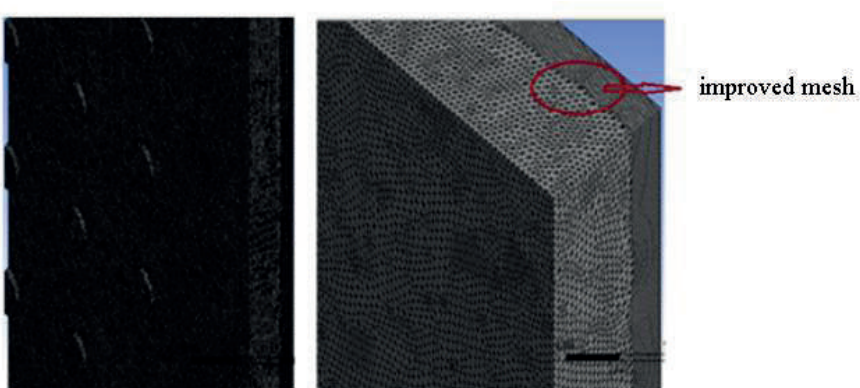
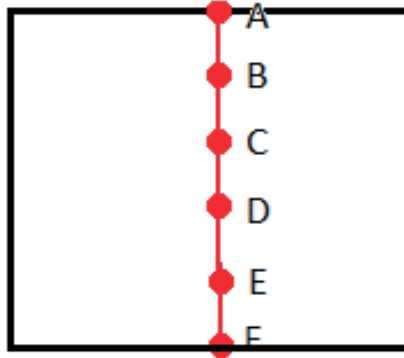


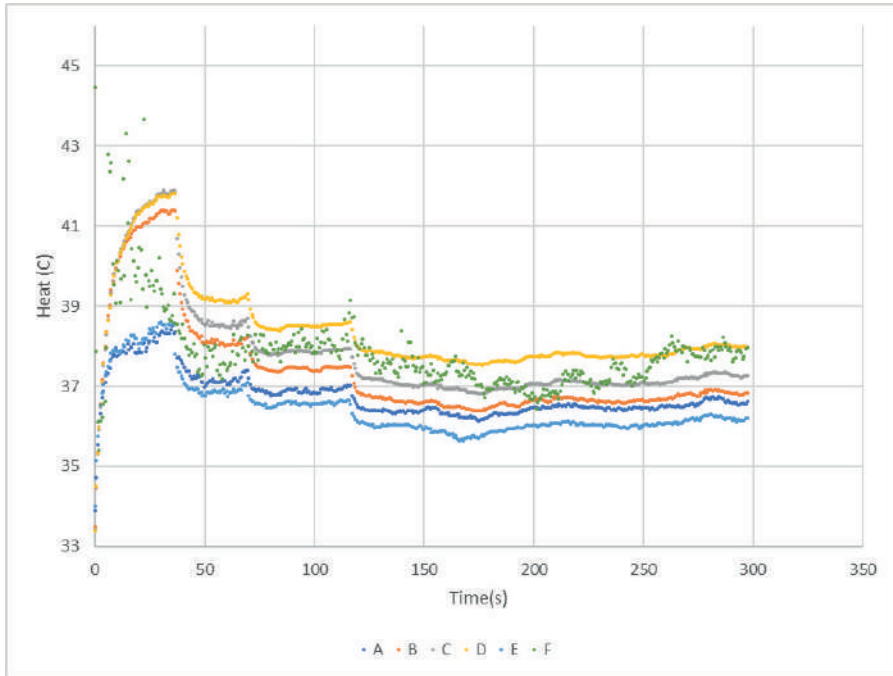
Figure 4.3. Solution area mesh structure

The results will be shown graphically below. However, it should be noted that local values are given by selecting some measurement points on the plate. The 6 cm long plate was assumed to have a line passing through the centre of the plate at a level distance and points were determined at 1 cm intervals on this line. These points are given in Figure 4.4.



*Figure 4.4. Local points*

The results will be shown graphically below. However, it should be noted that local values are given by selecting some measurement points on the plate. The 6 cm long plate was assumed to have a line passing through the centre of the plate at a straight distance and points were determined on this line at 1 cm intervals. These points are given in Figure 4.4.

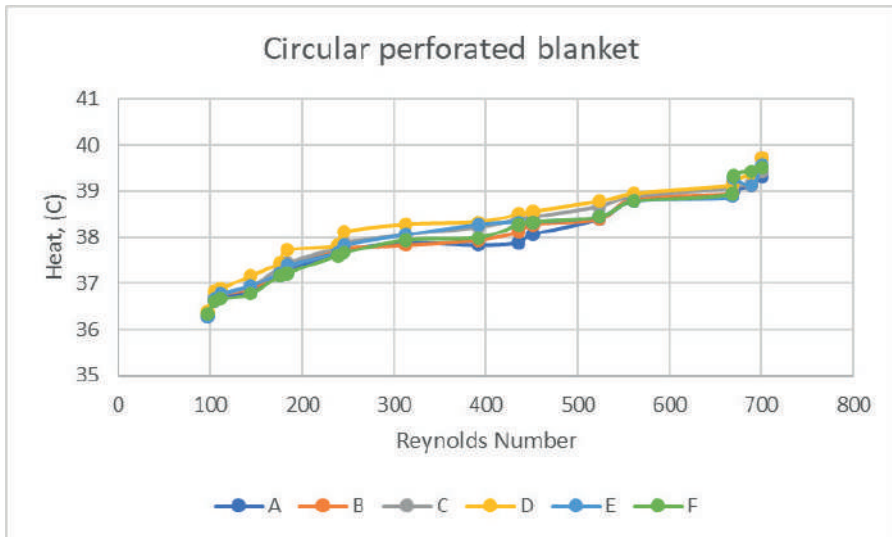


*Figure 4.5. Time-dependent temperature change*

Table 4.1 shows the variation of temperatures at local points A, B, C, D, E, F when the flow rate of the hot air coming out of the blower fan is increased in case of using a circular hole. The flow rate increase is shown in terms of Reynolds number. In Figure 4.6, the variation of temperature values with Reynolds number is shown graphically.

*Table 4.1. Reynolds number dependent temperatures of local measurement points for a circular hole*

Re	A	B	C	D	E	F
96.76096	36.27778	36.33333	36.33333	36.38889	36.27778	36.33333
105.0534	36.61111	36.66667	36.72222	36.83333	36.66667	36.61111
111.6172	36.72222	36.77778	36.77778	36.88889	36.77778	36.66667
143.5665	36.83333	36.88889	36.94444	37.16667	36.94444	36.77778
175.5732	37.16667	37.22222	37.33333	37.44444	37.22222	37.16667
182.9526	37.27778	37.38889	37.44444	37.72222	37.38889	37.22222
238.6707	37.66667	37.72222	37.77778	37.83333	37.66667	37.61111
245.2231	37.72222	37.77778	37.88889	38.11111	37.83333	37.66667
312.1753	37.88889	37.83333	38.05556	38.27778	38.05556	37.94444
392.1013	37.83333	37.94444	38.22222	38.33333	38.27778	38
436.1178	37.88889	38.11111	38.38889	38.5	38.33333	38.27778
450.819	38.05556	38.27778	38.44444	38.55556	38.33333	38.33333
523.8972	38.38889	38.38889	38.66667	38.77778	38.44444	38.44444
561.6035	38.77778	38.83333	38.88889	38.94444	38.77778	38.77778
667.8714	38.88889	38.94444	39.05556	39.11111	38.88889	38.94444
669.02	39	39.22222	39.11111	39.22222	39.27778	39.33333
689.4064	39.11111	39.11111	39.16667	39.38889	39.11111	39.44444
700.1	39.33333	39.72222	39.44444	39.72222	39.55556	39.5



*Figure 4.6. Variation of Reynolds number with temperature in case of using circular perforated blanket*

It is useful to remember that the temperature here is the constant 35°C temperature on the impact surface before the hot air is blown. Accordingly, the temperature rises to a maximum of 39.5°C in the range of approximately 97 to 700 Reynolds number as shown below in the circular perforated blanket. This value may lead to a change from hypothermia to hyperthermia. According to the table, the temperatures corresponding to the values of the Reynolds number between 97 and 500 are within the tolerance limits.

As for the local points, A and F are at the ends, that is, they are closer to the free current called “opening”. Points C and D are more in the centre. Therefore, the highest temperatures were obtained at C and D and then at B and E. The lowest temperatures were found at A and F.

Table 4.2 shows the temperatures varying with Reynolds number at the local measurement points for the triangular hole. Similarly, Figure 4.7 shows the graphical representation of the table. As can be seen, the values here are close to the values of the circular hole. However, the temperatures are slightly lower at each point compared to the circular hole. This means that heat transfer is less.

*Table 4.2. Reynolds number dependent temperatures of local measurement points for a triangular hole*

Re	A	B	C	D	E	F
96.76096	36.12568	36.25479	36.29652	36.30214	36.25123	36.12258
105.0534	36.52121	36.60156	36.70198	36.69845	36.60145	36.51465
111.6172	36.61237	36.69878	36.71249	36.78254	36.69725	36.61789
143.5665	36.73223	36.77658	36.84322	36.83387	36.77554	36.73145
175.5732	37.06557	37.25152	37.36298	37.38456	37.22362	37.07897
182.9526	37.16878	37.43567	37.45944	37.51254	37.42791	37.16978
238.6707	37.58967	37.61489	37.77778	37.78324	37.61112	37.57894
245.2231	37.61232	37.69158	37.70889	37.80154	37.69222	37.59781
312.1753	37.78689	37.71233	37.98716	38.96778	37.75513	37.79258
392.1013	37.72153	37.83159	38.01222	38.09833	37.85778	37.70175
436.1178	37.73149	37.98795	38.39450	38.46664	37.93978	38.01551
450.819	37.99156	38.13597	38.45844	38.44156	38.10145	38.10155
523.8972	38.21589	38.28889	38.66667	38.68554	38.29444	38.35895
561.6035	38.56838	38.67893	38.73322	38.73124	38.65898	38.61245
667.8714	38.78229	38.84788	38.95518	38.99781	38.80889	38.71254
669.02	38.97821	39.00212	39.01166	39.01546	39.02712	38.92891
689.4064	39.00153	39.10122	39.15467	39.38889	39.10250	39.10054
700.1	39.22293	39.50782	39.56328	39.72222	39.60158	39.23548

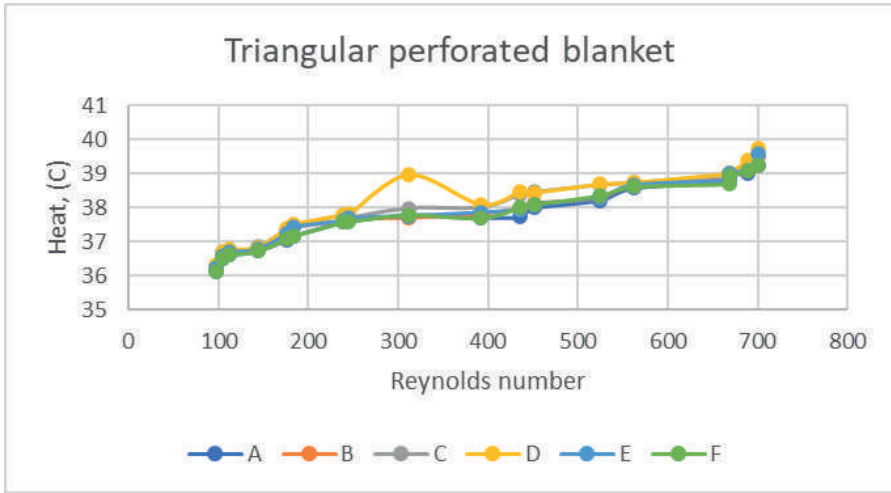
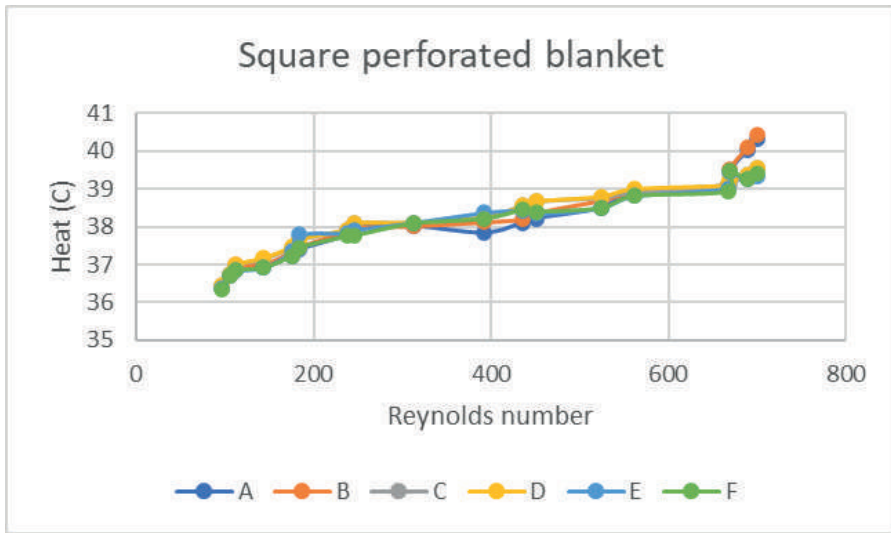


Figure 4.7. Variation of Reynolds number with temperature in a triangular perforated blanket

Table 4.3 shows the temperatures of the local measurement points for the square hole varying with Reynolds number. Figure 5.8 shows the data graphically.

Table 4.3. Reynolds number varying temperatures of local measurement points for square hole

Re	A	B	C	D	E	F
96.76096	36.381212	36.40785	36.45673	36.45789	36.3727	36.35478
105.0534	36.73884	36.70667	36.72222	36.73333	36.72452	36.71652
111.6172	36.85112	36.98425	36.97456	36.98889	36.85122	36.84458
143.5665	36.92312	37.01248	37.14444	37.16667	36.92128	36.92148
175.5732	37.23357	37.34582	37.44548	37.46878	37.35445	37.23455
182.9526	37.38764	37.45769	37.64545	37.66789	37.78929	37.44667
238.6707	37.78555	37.91245	37.92545	37.92154	37.83137	37.75445
245.2231	37.98454	37.99238	38.10045	38.10011	37.91245	37.76454
312.1753	38.01245	38.01984	38.10556	38.10725	38.10524	38.08478
392.1013	37.83333	38.12533	38.24544	38.24978	38.36787	38.21555
436.1178	38.10454	38.20111	38.56889	38.55121	38.43158	38.45178
450.819	38.21544	38.36645	38.67244	38.6756	38.34578	38.39971
523.8972	38.48889	38.69458	38.76667	38.79778	38.49551	38.49754
561.6035	38.89454	38.90122	38.91240	39.00012	38.81234	38.81245
667.8714	39.10545	39.12544	39.05556	39.10123	39.01889	38.94444
669.02	39.45878	39.51298	39.12545	39.25787	39.43258	39.48981
689.4064	40.01455	40.10111	39.36667	39.38381	39.25445	39.24454
700.1	40.32455	40.42128	39.54648	39.54789	39.34555	39.38785



*Figure 4.8. Variation of Reynolds number with temperature in case of using square hole blanket*

It is obvious from both tables and figures that the highest body temperature values in terms of temperature were obtained from the square hole blanket. A serious temperature increase was observed in the square hole blanket, especially at Reynolds number values above 500, which could damage healthy tissues and even put the body into an unwanted hyperthermia.

The relationship between heat transfer coefficient and Reynolds number is shown in Figure 4.9, which is drawn to make a comparison in terms of heat transfer in the system. It is seen that the highest heat transfer is observed for the blanket with square holes. However, it should be remembered that the thermal problem considered here is not a problem where continuous increase in temperature is desired. After a certain temperature, increasing temperature is not beneficial but harmful.

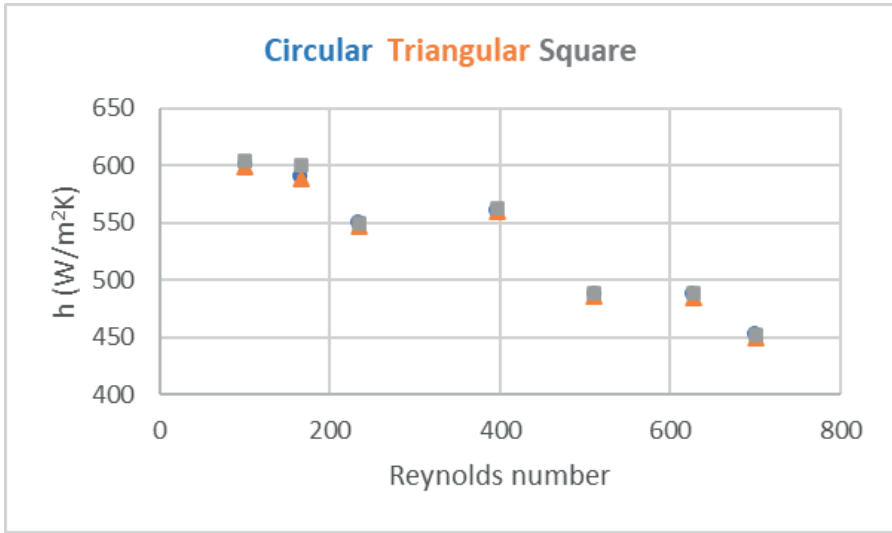


Figure 4.9. Variation of the Reynolds number with the coefficient of heat transfer

## 5. Results

This work is believed to be one of the pioneering investigations considering the energy efficiency of therapeutic heating devices. An operating room has several energy-using apparatus and their energy inefficiencies are compounded by the need to remove energy from the operating room that is not used for therapeutic purposes.

The equipment used to extract the wasted energy is itself highly energy-intensive. At a time when energy saving issues are being taken seriously, considerations such as the one made here are important. Indeed, there is considerable interest in whether new technologies in the operating room are cost-effective from society's perspective [12]. For the specific heating devices studied here, which serve to defend against hypothermia, the experimental results show a wide range of energy efficiency among the various products investigated. In order to achieve a level playing field, care was taken to study two commercial versions of each of the selected categories of heating devices, convection heating using preheated air and direct contact conduction heating, respectively. The primary expectation was that direct contact conduction devices as a category would be more energy efficient than convective air heating as a category. The experimental data reveal that the characteristics of the individual devices play a greater role in terms of energy efficiency than the category. In particular, the most efficient device was a direct contact heating device, the second most efficient device was a



convective heating device, the third device was a direct contact device and the last was a convection heating device. These findings suggest that the use of appropriate insulation and the suppression of external heat loss pathways should be considered in the design of patient heating devices. It is these factors that create significant differences in the energy use efficiencies of the analysed devices in the same category.

## References

- [1] Çelik, N, Bayazıt, Y. (2008). İnsan Vücudunun Modellenmesinde Kişisel Değişikliklerin Termo- Regülasyon Üzerindeki Etkileri. *Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi*, 28(1), 17-22.
- [2] URL:<https://www.bezelyedergi.net/post/canl%C4%B1larda-homeostazi-ve-mekanizmalar%C4%B1> (25/12/2022)
- [3] Etain AT Christopher D J. Recent advances in thermoregulation, *Adv. Physiol Educ.* 36: 139-148, 2015.
- [4] Sund-Levander M, Forsberg C, Wahren LK. Normal oral, rectal, tympanic and axillary body temperature in adult men and women: a systematic literature review. *Scand J Caring Sci* 16: 122–128, 2002.
- [5] Lepock JR. Cellular effects of hyperthermia: relevance to the minimum dose for thermal damage. *Int J Hyperthermia* 19: 252–266, 2003.
- [6] Mallet ML. Pathophysiology of accidental hypothermia. *Q J Med* 95:775–785, 2002.
- [7] Taylor NA, Machado-Moreira CA, van den Heuvel AM, Caldwell JN. Hands, and feet: physiological insulators, radiators and evaporators. *Eur J Appl Physiol* 114: 2037–2060, 2014.
- [8] Romanovsky AA. Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 292: R37–R46, 2007.
- [9] Höfler W. Changes in regional distribution of sweating during acclimatization to heat. *J Appl Physiol* 25: 503–505, 2019.
- [10] Morris RH, Wilkey BR. The effects of ambient temperature on patient temperature during surgery not involving body cavities. *Anesthesiology* 32:102–107, 1970.
- [11] Kurz A, Sessler DI, Lenhardt R. Perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. *N Engl J Med* 334:1209–1215, 1996.
- [12] Nieh HC, Su SE. Meta-analysis: effectiveness of forced-air warming for prevention of perioperative hypothermia in surgical patients. *J Adv Nurs* 72:2294–2314, 2016.
- [13] Bennett J, Ramachandra V, Webster J, et al. Prevention of hypothermia during hip surgery: effect of passive compared with active skin surface warming. *Br J Anaesth* 73(2):180, 1994.
- [14] Berti M, Cadati A, Torri G, et al. Active warming, not passive heat retention, maintains normothermia during combined epidural-general anesthesia for hip and knee arthroplasty. *J Clin Anesth* 9(6):482, 1997.
- [15] English MJ, Farmer C, Scott WA. Heat loss in exposed volunteers. *J Trauma* 30:422–425, 1990.

- [16] Bräuer, A., Quintel, M. Forced-air warming: Technology, physical background and practical aspects, *Current Opinion in Anaesthesiology*, 22 (6), 769-774, 2009.
- [17] Sessler DI. Mild perioperative hypothermia. *N Engl J Med* 336:1730–1737, 1997.
- [18] Luck AJ, Moyes D, Maddern GJ, Hewett PJ. Core temperature changes during open and laparoscopic colorectal surgery. *Surg Endosc* 13:480–483, 1999.
- [19] Insler SR, Bakri MH, Nageeb F, Mascha E, Mihaljevic T, Sessler DI. An evaluation of a full-access underbody forced-air warming system during near-normothermic, on-pump cardiac surgery. *Anesth Analg* 106:746–750, 2008.
- [20] Pu Y, Cen G, Sun J, Gong J, Zhang Y, Zhang M, Wu X, Zhang J, Qiu Z, Fang F. Warming with an underbody warming system reduces intraoperative hypothermia in patients undergoing laparoscopic gastrointestinal surgery: a randomized controlled study. *Int J Nurs Stud* 51:181–189, 2014.
- [21] Hara K, Kuroda H, Matsuura E, Ishimatsu Y, Honda S, Takeshita H, Sawai T. Underbody blankets have a higher heating effect than overbody blankets in lithotomy position endoscopic surgery under general anesthesia: a randomized trial, *Surgical Endoscopy* 36:670–678, 2022.
- [22] Hynson JM, Sessler DI. Intraoperative warming therapies: A comparison of three devices. *Journal of Clinical Anesthesia* 4: 194–199, 1992.
- [23] Camus Y, Delva E, Just B, Lienhart A. Leg warming minimizes core hypothermia during abdominal surgery. *Anesthesia and Analgesia* 77: 995–999, 1993.
- [24] Horn EP, Bein B, Bohm R, et al. The effect of short time periods of pre-operative  $\epsilon$  warming in the prevention of peri-operative hypothermia. *Anaesthesia* 67(6):612, 2012.
- [25] Clarissa T, Vikram D, Atlas Ko, Raphael H. Reflective blankets are as effective as forced air warmers in maintaining patient normothermia during hip and knee arthroplasty surgery, *The Journal of Arthroplasty*, 32: 624-627, 2017.
- [26] Rathinam S, Annam V, Steyn R, et al. A randomised controlled trial comparing Mediwrap® heat retention and forced air warming for maintaining normothermia in thoracic surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 9(1):15, 2009.
- [27] McGovern PD, Albrecht M, Belani KG, et al. Forced-air warming and ultra-clean ventilation do not mix: an investigation of room ventilation, patient warming and joint replacement infection in orthopaedics. *J Bone Joint Surg Br* 93(11):1537, 2011.

- [28] Dasari KB, Albrecht M, Harper M. Effect of forced-air warming on the performance of operating room laminar flow ventilation. *Anaesthesia* 67(3):244, 2012.
- [29] Gastmeier P, Breier AC, Brandt C. Influence of laminar airflow on prosthetic joint infections: a systematic review. *J Hosp Infect* 81(2):73, 2012.
- [30] Legg AJ, Hamer AJ. Forced-air patient warming blankets disrupt unidirectional airflow. *Bone Joint J* 95B(3):407, 2013.
- [31] Borms S, Engelen S, Himpe D, et al. Bair Hugger forced-air warming maintains normothermia more effectively than thermo-lite insulation. *J Clin Anesth* 6(4):303, 1994.
- [32] Diaz M, Becker DE. Thermoregulation: physiological and clinical considerations during sedation and general anesthesia. *Anesth Prog* 57(1):25, 2010.
- [33] Perl T, Rhenius A, Eich CB, Quintel M, Heise D, Brauer A. Conductive warming and insulation reduces perioperative hypothermia. *Central European Journal of Medicine* 7, 284–289, 2012.
- [34] Pathi V, Berg G.A, Morrison J, Cramp G, McLaren D, Faichney A. The benefits of active re-warming after cardiac operations: a randomized prospective trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 111:637–41,1996.
- [35] Villamaria FJ, Baisden CE, Hillis A, Rajab MH, Rinaldi PA. Forced-air warming is no more effective than conventional methods for raising postoperative core temperature after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 11:708–711, 1997.
- [36] Janke EL, Pilkington SN, Smith DC. Evaluation of two warming Systems after cardiopulmonary bypass, *Br JAnaesth*, 77: 268–270, 1996.
- [37] Insler SR, O'Connor MS, Leventhal MJ, Nelson DR, Starr NJ. Association between postoperative hypothermia and adverse outcome after coronary artery bypass surgery, *Ann Thorac Surg* 70: 175–181, 2000.
- [38] Harrison SJ, Ponte J. Convective warming combined with vasodilator therapy accelerates core re-warming after coronary artery bypass surgery, *Br J Anaesth*, 76: 511–4, 1996.
- [39] Hanhela R, Mustonen A, Korhonen I, Salomaki T. The effects of two re-warming strategies on heat balance and metabolism after coronary artery bypass surgery with moderate hypothermia. *Acta Anaesthesiol Scand* 43:979–88, 1999.
- [40] Bräuer A, English MJM., Steinmetz N, Lorenz N, Perl T, Weyland W, Quintel M. Efficacy of forced-air warming systems with full body blankets, *Canadian Journal of Anaesthesia*, 54 (1):34-41, 2007.
- [41] Papay FA, Budac S, Blanket system for temperature regulation of a patient, Patent Report no: 6800087, 2004.

- [42] Galvão CM, Marck PB, Sawada NO, Clark AM. A systematic review of the effectiveness of cutaneous warming systems to prevent hypothermia, *Journal of Clinical Nursing*, 18 (5):627-636, 2009.
- [43] Hynson JM, Sessler DI. Intraoperative warming therapies: A comparison of three devices, *Journal of Clinical Anesthesia*, 3:194-199, 1992.
- [44] Dasari KB, Albrecht M, & Harper M. Effect of forced-air warming on the performance of operating room laminar flow ventilation. *Anaesthesia*, 67(3):244–249, 2012.
- [45] URL: <https://electricalcontractingnews.com/news/octopus-energys-electric-blanket-scheme-saves-customers-300-on-bills/>
- [46] URL: <https://mms.mckesson.com/product/310492/Gentherm-Medical-274>
- [47] URL: <https://mms.mckesson.com/product/491002/3M-54500>
- [48] Tominaga A, Koitabashi T, Ouchi T, Ban R, Takano E. Efficacy of an underbody forced air warming blanket for the prevention of intraoperative hypothermia, *Annular Meeting Abstracts in American Society of Anesthesiologists*, October 17-21, 2009, New Orleans.
- [49] URL: <https://www.medicalexpo.com/prod/gentherm-medical/product-68046-651415.html>
- [50] Ng V, Lai A, Ho V. Comparison of forced-air warming and electric heating pad for maintenance of body temperature during total knee replacement, *Anaesthesia*, 61 (11):1100-1104, 2006.
- [51] Celik N, Bayazit Y. Experimental analysis of a surgical blanket by means of operating pressure and fluid flow 5th International Ege Energy Symposium and Exhibition (IEESE-5) 27-30 June 2010, Pamukkale University, Denizli, Turkey
- [52] Bayazit Y, Sparrow EM. Energy efficiency comparison of forced-air versus resistance heating devices for perioperative hypothermia, / *Energy* 35: 1211–1215, 2010.
- [53] URL: <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?0811180511151080511041>
- [54] Çelik N., Optimum Lüle Şeklinin Çarpan Jet Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat

## Sera Gazlarının Azaltılmasında Biyokütlenin Rolü ve Çözüm Önerileri

Kamil Kaygusuz<sup>1</sup>

### Özet

Üzerinde yaşadığımız yer kürenin iklimi son yarım yüzyılda atmosfere salınan insan kaynaklı sera gazlarının doğal sera etkisini artırmasından dolayı ısınmaktadır. Sera gazı emisyon salınım senaryolarına dayanan farklı iklim modelleri, 21'nci yüzyılda yaşadığımız yerkürede önemli iklim değişikliklerinin olacağını öngörmektedir. Bu iklim değişikliklerini önlemenin ve bu değişikliklerin, doğal ekosistemler ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmenin en iyi yolu ise, insan kaynaklı sera gazı salınımlarını azaltmak ve ormanlar gibi karbon tutucu ortamları çoğaltmaktır. İnsan kaynaklı sera gazı salınımlarının önemli bir bölümü enerji üretimi ve kullanımıyla ilişkili olduğu için, yeni teknolojilerin çoğu, fosil yakıt yakan sistemlerin verimliliğinin iyileştirilmesine, enerji tasarrufunun artırılmasına ve düşük ya da sıfır karbonlu enerji kaynaklarının geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu bağlamda başta ormanlar olmak üzere canlılar için hayati öneme sahip tüm biyokütle kaynaklarının etkili ve verimli bir şekilde artırılıp kullanılması sera gazı emisyonlarının azaltılmasında da önemli bir rol oynayacaktır.

### 1. GİRİŞ

Enerji, canlılar için her zaman vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Günümüzde ihtiyaçların arttığı ve çağın getirdiği yeni alanlara ilişkin tüketim alışkanlıklarının değiştiği bilinmektedir. Yüksek tüketim alışkanlığına dayalı ihtiyaçların üretim yoluyla piyasa tarafından karşılanması önem arz etmektedir. Söz konusu üretimin ise en temel iki girdisi hammadde ve enerjidir. Enerjinin, tükenme tehlikesi altında olan yenilenemeyen enerji kaynakları tarafından üretilmesinin yarattığı çevresel tahribat, sosyo-ekonomik sorunlar ve 1973 Birinci Petrol Krizi olarak tabir edilen enerji darboğazının yıkıcı

1 Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Bölümü, 61080 Trabzon, Türkiye  
E-mail: kamilk@ktu.edu.tr

etkileri sonucunda, enerjiye duyulan ihtiyacın karşılanması için dünyada alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerji kaynakları arayışı ise zaten çeşitli şekilde kullanılmakta olan ancak fosil yakıtlar ile rekabet edemediğinden arka planda kalan yenilenebilir enerji kaynaklarını tekrar gündeme getirmiştir (Akova, 2008; Acaroğlu, 2013).

Enerji talebinin artması ve beraberinde fosil yakıtların kullanımının artırılması sonucunda kirletici gazların atmosfere salınımı artmıştır. İklim değişikliği ve sera gazı etkisinin küresel ısınmaya yönelik duyarlılığın arttığı günümüzde uluslararası çerçeve anlaşması Kyoto Protokolünü ve bunu takip eden Paris anlaşmasını imzalayarak karbondioksit ve sera gazı salınımı azaltmayı taahhüt eden ülkeler için en azından üretim aşamasında atmosfere sera gazı emisyonu vermeyen yenilenebilir enerji kaynakları çözüm olarak görülmektedir. Hiçbir üretimin çevreye etkisi olmadan yürütülemeyeceği gerçeğiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevreye etkileri olacağı göz ardı edilmemelidir.

Devletlerin ekonomik büyüme hedefleri, sanayileşme, nüfus artışı, teknolojinin yaygınlaşması ve refah seviyesinin yükselmesi ile doğru orantılı olarak enerji tüketiminde artışın karşılanması amacıyla Türkiye gibi fosil yakıt rezervinin enerji ihtiyacını karşılayamadığı ekonomilerde enerji talebinin ithalat yoluyla giderilmesi gerekmektedir. İthalat ise ödemeler bilançosu üzerinde baskı oluşturmakta ve cari açığa neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ise enerjinin yerleştirilmesi ve enerji güvenliğinin sağlanması noktasında büyük öneme sahip olduğu bilinmektedir (ETKB, 2022).

Günümüzde Türkiye başta olmak üzere küresel ölçekte bütün ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarını ve çeşitliliğini arttırma stratejisi içerisinde. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi yeryüzünde en yaygın bulunan ve insanlık tarihi kadar eski bir enerji kaynağı durumundadır. Bununla birlikte biyokütle enerji kaynağı materyalleri elektrik, ısı ve yakıt ihtiyacının karşılanması, depolanabilir olması, enerji üretiminde iklimsel koşullardan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha az etkilenmesi ve atıkların bertaraf edilmesi başta olmak üzere diğer birincil enerji kaynaklarına göre birçok üstün tarafı bulunmaktadır (EİGM, 2020 ve 2022).

## **2. SERA GAZI EMİSYONLARI VE SERA ETKİSİ**

Atmosfer çeşitli gazların karışımından oluşur ve buna ek olarak da daha küçük miktarlarda asal gazlar bulunur. Atmosferi oluşturan ana gazlar, Azot

(% 78.08), Oksijen (% 20.95) ve Argondur (% 0.93). Bunlara göre daha küçük bir orana sahip olan diğer bir önemli gaz ise Karbondioksittir (% 0.03). Yeryüzünün termal dengesi için, güneşten aldığı enerji kadar enerjiyi uzaya vermesi gerekir. Güneş enerjisi yeryüzüne kısa dalga boyuna sahip radyasyon (ışınım) olarak ulaşır ve gelen radyasyonun bir bölümü yeryüzünün yüzeyinde, bir bölümü troposferde, bir kısmı ise atmosfer tarafından tekrar uzaya yansıtılır (Güler, 2020).

Atmosferdeki gazlar yeryüzündeki ısının bir kısmını tutar ve yeryüzünün ısı kaybına engel olur. CO<sub>2</sub> havada en çok ısı tutma özelliği olan gazdır. Atmosferin, ışığı geçirme ve ısıyı tutma özelliği vardır. Atmosferin ısıyı tutma yeteneği sayesinde suların sıcaklığı dengede kalır. Böylece nehirlerin ve okyanusların donması engellenmiş olur. Bu şekilde oluşan atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine sera etkisi denir. Atmosfer cam seralara benzer bir özellik gösterir (Güler, 2020).

Atmosfer de ısıyı tutan gazlar, sera gazları olarak adlandırılırlar. Bazı sera gazları doğal olarak oluşur fakat insan faaliyetlerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenir. Diğer bazı sera gazları ise tamamen insan faaliyetleri sonucu (antropojenik) meydana gelir. Doğal olarak oluşan sera gazlarından bazıları şunlardır:

- Su buharı (H<sub>2</sub>O),
- Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>),
- Ozon (O<sub>3</sub>),
- Metan (CH<sub>4</sub>),
- Nitrit oksit (N<sub>2</sub>O)

İnsan faaliyetleri sonucu oluşan sera gazları ise; kloroflorokarbon (CFCs), hidrokloroflorokarbon (HCFCs), hidroflorokarbon (HFCs) (hepsine genel olarak halokarbonlar da denir) ve florid bileşiği olan kükürt hekzaflorid (SF<sub>6</sub>) gazlarıdır.

Sanayi devrimi ile birlikte, 19. yüzyıl ortalarından itibaren, özellikle fosil yakıtların kullanımı, yanlış arazi kullanımı ya da süregelen arazi kullanımının değişimi, ormansızlaşma, sanayileşme gibi insan kökenli ekinliklerin sonucunda atmosferde sera gazları oranında hızlı bir artış görülmüştür. Küresel bazda ortalama hava sıcaklıkları, geçen yüzyılda 0,4-0,8 °C arasında artmıştır. Bu ısınma geçen 1000 yılın herhangi bir dönemindeki artıştan daha büyük ve dikkat çekicidir. Küresel iklimde gözlenen ısınmanın yanı sıra, en gelişmiş iklim modelleri, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 1990-2100 döneminde 1,4-5,8 °C arasında bir artış olacağını öngörmektedir. Küresel

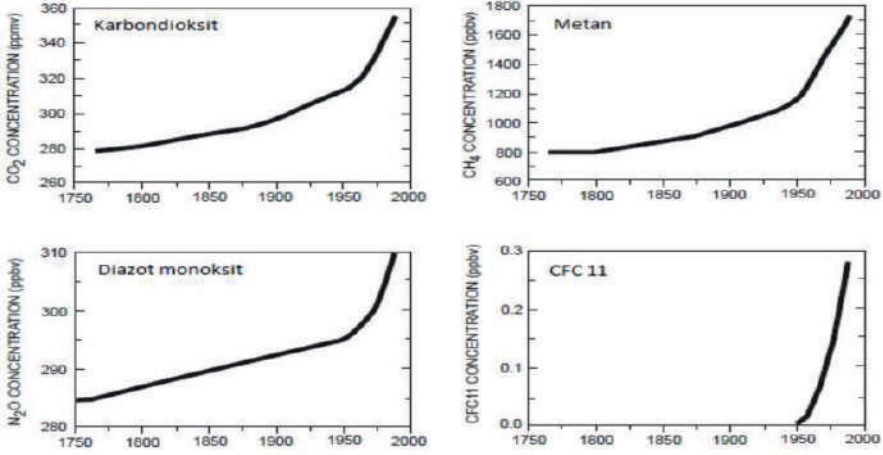


sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir (Nelson, 2011; Güler, 2020; IPCC, 2022).



Şekil 1. Sera etkisinin şematik olarak izahı.

Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir. Şekil 2 de son 250 yılda bazı sera gazlarının konsantrasyonlarındaki artış görülmektedir.



Şekil 2. Son 250 yıldan itibaren bazı sera gazları konsantrasyonlarındaki artış (IPCC, 2022).

Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir. Diğer taraftan, iklimbilimciler tarafından dünyanın ikliminde bir bozulma olduğu kabul edilmektedir ve gerekli tedbirler alınmadan doğal dengenin bozulmasına sebep olan etkinliklerin devam etmesi neticesinde, sonucun dünya için çok olumsuz sonuçlar doğurabileceğini açıkça belirtmektedir. Beşerî nedenlerden dolayı atmosferde sera gazı birikimi ve partikül madde miktarında meydana gelecek olan artışın, küresel ısınma ile sonuçlanacağı düşünülmektedir (Kaygusuz, 2010; Sözen ve diğ. 2017; Güler, 2020; IEA, 2022; Ayan, 2022).

İklim sistemi için önemli olan doğal etmenlerin başında sera etkisi gelmektedir. Bitki seraları kısa dalgali güneş ışınımını geçirmekte, buna karşılık uzun dalgali yer (termik) ışınımının büyük bölümünün kaçmasına engel olmaktadır. Sera içinde tutulan termik ısınım seranın ısınmasını sağlayarak, hassas ya da ticari değeri bulunan bitkiler için uygun bir yetiştirme ortamı oluşturmaktadır. Benzer şekilde CO<sub>2</sub> örtüsü, yerküreden yansıyan uzun dalga radyasyonunu tutar. Uzun dalga radyasyonunun yakalanması kuantum mekaniği tarafından belirlenir. CO<sub>2</sub>'deki Oksijen atomu, merkezde bulunan Karbon atomu ile titreşir ve bu titreşimin frekansı uzun dalga radyasyonunun kızılötesi dalga boylarının bazıları ile çakışır. Dünya

yüzeyindeki ve atmosferdeki radyasyonun frekansı, CO<sub>2</sub> titreşim frekansı ile çakıştığına, radyasyon CO<sub>2</sub> ile emilir ve diğer hava molekülleriyle çarpışarak ısıya dönüştürülür ve daha sonra yüzeye geri verilir. Bu emilimin bir sonucu olarak, giden uzun dalga radyasyonu CO<sub>2</sub>'yi arttırarak azaltılır. Net gelen güneş radyasyonunu dengelemek için fazla ısı kaybedilmez. Bu da gezegende fazla ısı olduğu anlamına gelmektedir, yani sistemdeki enerji dengesiz durumdadır. CO<sub>2</sub> zaman içerisinde arttıkça, bu kızılötesi katman kalınlaşmakta ve Dünya bu enerji fazlalığını biriktirmektedir (Güler, 2020).

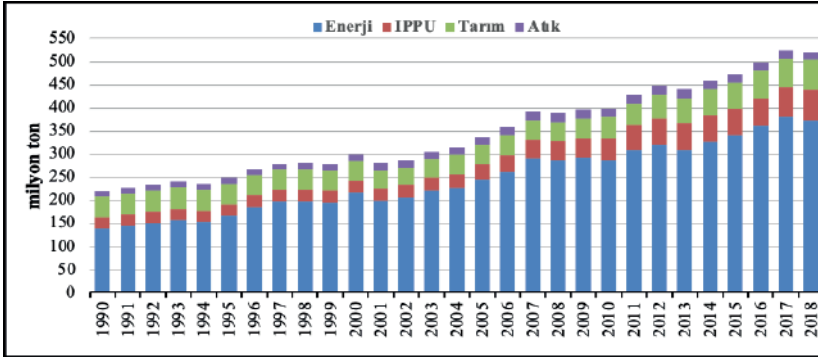
Ortalama koşullarda, uzaya kaçan uzun dalgalı yer ışınımı gelen Güneş ışınımı ile dengede olduğu için, Yerküre/atmosfer birleşik sistemi, sera gazlarının bulunmadığı bir ortamda olabileceğinden daha sıcak olacaktır. Atmosferdeki gazların gelen Güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle Yerküre'nin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç sera etkisi olarak adlandırılmaktadır (Güler, 2020).

Dünyanın enerji dengesindeki değişime küresel ısınma denmektedir. Doğal etmenlerden çok insan faaliyetleri sonucu atmosferdeki miktarları hızla artan sera gazları, küresel ısınma ve buna bağlı olarak da iklim değişikliği problemini önemli hale getirmiştir. Yaklaşık 30 yıl önce, hava kirliliğinden dolayı troposferik ozonun artması ile (NO<sub>x</sub>, CO ve diğerleri) bunun önemli bir sera gazı etkisi dönemi olduğu fark edilmiştir. Modern iklim değişikliği, doğal değişkenliğin sınırlarını aşacak kadar büyük olan insan etkileri tarafından kontrol edilmektedir. Özellikle atmosferdeki birikimi ve yaşam süresi dikkate alındığında, bu sera gazları arasında CO<sub>2</sub> öne çıkmaktadır çünkü sera gazları arasında ısıyı en fazla tutma özelliğine sahip olan gaz CO<sub>2</sub>'dir (IPCC, 2022).

Sera etkisinin %20'sini meydana getiren diğer bir gaz ise Metandır. Karbondioksit nazaran 20 misli daha ısı tutucu bir rol oynamaktadır. Metan gazı, organik atıkların anaerobik ortamlarda parçalanması sonucu, fosil yakıtların tam olarak yanmaması durumlarında, kömür, doğalgaz ve petrolün üretim ve taşınması sırasında atmosfere salınabilmektedir. Diğer Metan kaynakları ise çöplük, bataklık pirinç tarlası gibi düşük oksijen seviyesine sahip ortamlar ile gübrelerdir. Azot oksitleri içinde en önemlisi diazot monoksittir. Sera etkisinin %15'inin bu gazdan kaynaklandığı düşünülmektedir. N<sub>2</sub>O, tarım, enerji, endüstriyel ve atık yönetimi gibi alanlarında, topraktaki ve sudaki biyolojik prosesler ve çeşitli antropojenik faaliyetlerle üretilir (IPCC, 2022).

Diğer taraftan N<sub>2</sub>O üreten insan kaynaklı faaliyetler, tarımsal toprak yönetimi, sabit yakma, motorlu taşıtlarda yakma, gübre yönetimi ve nitrik asit üretimidir. Toplam N<sub>2</sub>O emisyonları CO<sub>2</sub> emisyonlarından çok daha düşük olmakla birlikte, N<sub>2</sub>O, atmosferde oluşabilecek ısınmada CO<sub>2</sub>'den yaklaşık 300 kat daha güçlüdür. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), çeşitli sera gazlarının sera etkisi kapasitelerini karşılaştırabilmek amacı ile Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) kavramını geliştirmiştir. Burada referans gaz olarak CO<sub>2</sub> kullanılmaktadır ve GWP ağırlıklı emisyonlar CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak verilmektedir.

Ülkemizde ise TÜİK (2020) verilerine göre 2018 yılında gerçekleşen toplam 521 Metrik ton düzeyindeki sera gazı emisyonu, 1990 yılına göre %138 artış ve 2017 yılına göre %0,5 düşüş gerçekleştiğini işaret etmektedir. 2018 yılında katı yakıtların elektrik üretimindeki payındaki farklılaşma sonucunda emisyonlar, önemli olmayan bir düzeyde azalmıştır. Ayrıca Şekil 1'de görüldüğü üzere 1990 ve 2018 yılları arasında CO<sub>2</sub> emisyonları ile birlikte toplam emisyonlarda da artış eğilimi söz konusuysen, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve Florlu gazların (F-gases) emisyonlarında önemli ölçüde bir değişiklik gözlenmemektedir. Bu durumun yanı sıra 1990 yılı ile karşılaştırıldığında 2018 yılında toplam CO<sub>2</sub> emisyonları %176,7, CH<sub>4</sub> emisyonları %35,8 ve N<sub>2</sub>O emisyonları %56,8 düzeyinde artmış göstermiştir. Şekil 3, Türkiye'de sektörlere göre gerçekleşen sera gazı emisyon değerlerini göstermektedir (TÜİK, 2020).



Şekil 3. Türkiye'de sektörlere göre gerçekleşen sera gazı emisyonları (CO<sub>2</sub> eşdeğeri) TÜİK (2020).

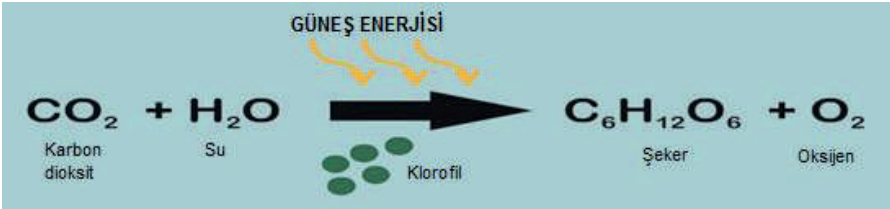
Dünya kadar yenilenebilir enerji yatırımlarının en büyük deavantajı ilk kurulum maliyetlerinin yüksekliği idi. Fakat son yıllarda maliyetlerdeki düşüş yenilenebilir enerjiden elektrik üretimini fosil kaynaklara göre daha

avantajlı hale getirmiştir. Birde buna çevresel etkiler ilave edildiğinde yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları önümüzdeki yıllarda çok daha önemli ve kullanışlı hale gelecektir. Bu maliyetlerin karşılanmasında finansman ve destekleme mekanizmalarının tercihi önem arz etmektedir. Globalleşen dünyada yenilenebilir enerji kullanım trendi hızlı bir şekilde yükselmeye devam etmektedir. Bu yükseliş trendi özellikle güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyokütle enerjisinde yoğunlaşmıştır.

### 3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

#### 3.1. Giriş

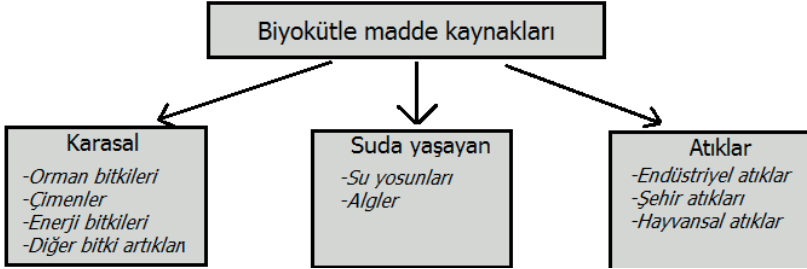
Biyokütle, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemenin genel adıdır. Yüz senelik bir dönemden daha kısa ya da bir insan ömrü süresince kendisini yenileyebilen, içerisinde hidrokarbon barındıran, yetişen bitkiler, tarımsal atıklar, hayvan atıkları, gıda endüstrisi, orman atıkları ve kentsel atıkları içeren tüm organik maddeleri içerir. Güneş ışığı vasıtasıyla fotosentez yapan yeşil bitkilerin ürettikleri kimyasal enerjiyi depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları bitkisel biyokütle olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4'de ürün olarak karbon içerikli şeker oluşumunu veren fotosentez reaksiyonu görülmektedir.



Şekil 4. Şeker oluşumunu gösteren fotosentez reaksiyonu. Bu reaksiyon endotermik (dışarıdan ısı alan) bir reaksiyon olup gerekli enerji güneş tarafından sağlanmaktadır.

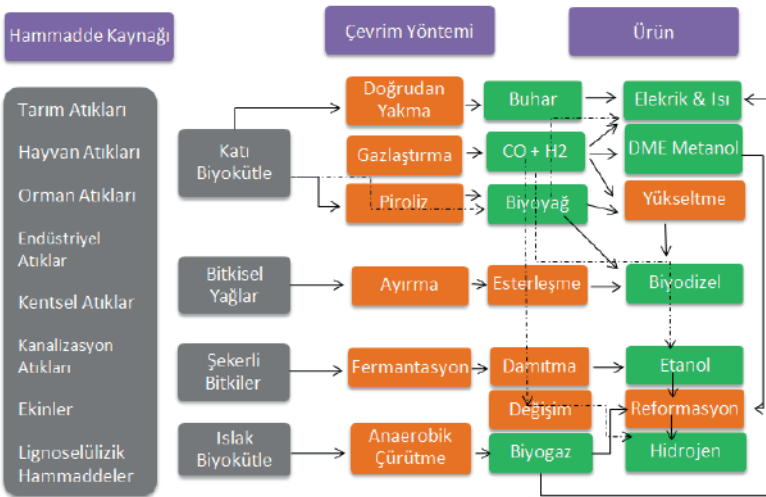
Biyokütle; biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütesidir. Biyokütlenin kimyasal içeriğinde karbonun yanı sıra hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve daha küçük oranlarda alkali, alkali toprak ve ağır metaller içeren atomlar vardır. Ana bileşenleri, karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, yüzyıllık dönemden daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler biyokütle olarak

tanımlanabilir. Biyokütle madde kaynakları çok çeşitli olmakla beraber genel anlamda karasal, su kaynaklı ve atıklar olmak üzere üç farklı kategoride sınıflandırılabilirler. Şekil 5'de biyokütle hammaddelerinin sınıflandırılması gösterilmiştir (Sözen ve diğ., 2017).



Şekil 5. Biyokütle madde kaynaklarının sınıflandırılması.

Biyokütle, gelişmekte olan ülkeler için uygulama alanının geniş olması ve yerel bazlı kaynaklar içerisinde yer almasından ötürü enerji ihtiyacı konusunda dışa bağımlılığı azaltabilecek önemli bir unsurdur. Biyokütle, sadece yenilenebilir enerji kaynağı olması değil, aynı zamanda hammaddenin her yerde yetiştirilebilmesi, çevrenin korunumuna destekte bulunması, sosyo-ekonomik gelişim sağlaması ve özellikle motorlu taşıtlar için yakıt eldesi vermesi nedeniyle de önem arz etmektedir. Biyokütle canlıların yaşamında hayati öneme sahiptir. Şekil 6'da biyokütleden enerji üretiminde alternatif yöntemler gösterilmektedir.



Şekil 6. Biyokütleden enerji üretiminde alternatif yöntemler (Acaroğlu, 2013).

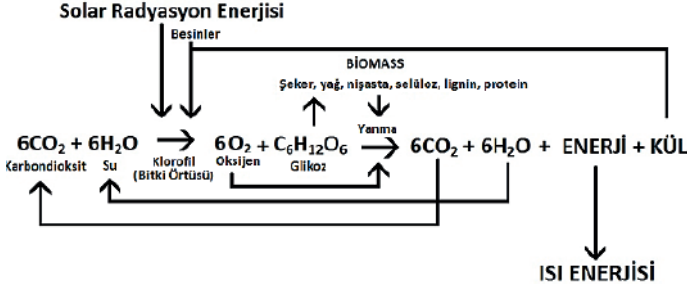
Biyokütle; biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütesidir. Biyokütlenin kimyasal içeriğinde karbonun yanı sıra hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve daha küçük oranlarda alkali, alkali toprak ve ağır metaller içeren atomlar vardır. Ana bileşenleri, karbonhidrat bileşikler olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, yüzyıllık dönemden daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler biyokütle olarak tanımlanabilir. Ayrıca 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'da "Organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat artıkları dahil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen katı, sıvı ve gaz halindeki yakıtlar olarak" da tanımlanmıştır (Tırınk, 2022).

Biyokütle enerjisi güneş ve rüzgâr gibi kesintili değil, sürekli enerji sağlayan tükenmez bir enerji kaynağıdır. Her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyal ve ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağıdır. Biyokütle madde kaynakları çeşitli olmakla beraber genel kapsamda karasal, su kaynaklı ve atıklar olmak üzere üç farklı kategoride sınıflandırılabilirler (Ayan, 2022).

Biyokütle doğrudan yakılarak veya çeşitli süreçlerle yakıt kalitesi artırılıp mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar (biyodizel, etanol, biyogaz) elde edilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir. Biyokütleden elde edilen yakıtlardan en çok kullanılanı biyodizel; kanola, ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların ya da hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol ya da etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilirler. Karıştırma oranı 2005 yılında %2 olarak gerçekleşirken, 2030 yılına kadar %30'a çıkarılması hedeflenmiştir. Ayrıca ülkemizde 16.06.2017 tarihli ve 30098 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğin 5. Maddesinde "Dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolmuş üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az %0,5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biodizel'in harmanlanmış olması zorunludur." ibaresine yer verilmiş olup, söz konusu tebliğ 01.01.2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Resmî Gazete, 2017; EPDK, 2018).

### 3.2. Biyokütle Enerjisi Oluşumu

Bitkiler doğal denge ve ekosistemin yaşamsal döngüsü içerisinde besin, enerji ve endüstriyel hammadde kaynağıdır. Yeşil bitkiler her daim bir enerji kaynağıdır.



Şekil 7. Yarı açık bir ekosistemde biyokütle den enerji üretimi (TOB, 2021).

Yeşil bitkiler ekosistemdeki yaşamsal döngünün sağlanması, her daim besin, endüstriyel hammadde ve enerji kaynağı olarak kullanılması Şekil 7'de görüldüğü gibi güneş yardımı ile ışık enerjisinin kimyasal enerjiye veya organik maddeye dönüşümü ile gerçekleştirilmektedir. Bu dönüşüm sırasında gerçekleşen tepkime ise fotosentez tepkimesidir. Fotosentez tepkimesi ile oluşan organik yapıları moleküller üretilirken, solunum için zorunluluk durumundaki O<sub>2</sub> atmosfere salınır. Biyokütle enerji kaynağı materyallerin büyümesi ve gelişimini sürdürebilmesi için ışık miktarı ve klorofil katalizörü başta olmak üzere birçok parametre önemli etki göstermektedir. Güneş ışığının biyoenerji kaynağı materyal tarafından tutulma miktarı maksimum %1 düzeyinde olduğu öngörülmektedir (Ayan, 2022). Biyokütle, organik madde yapıları tanecikleri kapsayan bir terim olarak kullanılır. Biyokütle tanımı ormansal atıklar, tarımsal atıklar, kentsel atıklar, endüstriyel atıklar, su içinde veya toprakta yetişen bütün bitkiler, enerji ormanları ve enerji bitkiler vb. organik yapıları maddeler ve atıklar bu tanımlamanın içerisinde yer almaktadır. Biyokütle enerji kaynağı envanter ve atıkların hepsinin ortak özelliği yüz seneden daha az bir zaman diliminde tekrardan yenilenebilir olmasıdır. 150 yıl öncesine kadar en önemli biyokütle enerjisi kaynağı odun olmuştur. 19. yy. da biyokütle enerjisinden yararlanma sadece odun, çalı-çırpı yakılması ile sınırlanmaktaydı. Sanayi devrimi ile 20. yy. ortalarında biyokütle enerji kaynağı olarak odunun yanında şeker pancarı, mısır başta olmak üzere birçok tarımsal ürünlerden de yararlanılmıştır. Günümüzde ise biyokütle enerji kaynakları elektrik, yakıt ve ısınma ihtiyacının karşılanması noktasında gerekli



modern dönüşüm teknolojilerinde gerçekleşen çevirim teknikleri yardımı ile gerçekleştirilmektedir (Toklu, 2017; Kandemir ve Sarptaş, 2022).

### 3.3. Biyokütle Enerji Kaynakları

Biyokütle, bir canlı türüne ait veya ayrışık canlı türlerinden meydana gelen bir topluma mensup hayatını devam ettiren organizmaların muayyen bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak ifade edilir (ETKB, 2022). Biyokütle enerjisini oluşturan organik etmenler bitkisel ve hayvansal kökenli moleküllerden oluşan etmenlerdir. Bu biyokütle enerjisini oluşturan materyaller ormanlardaki ağaçlar, zirai, kentsel ve endüstriyel kökenli atıklar başta olmak üzere birçok bitkisel ve hayvansal kökenli organik yapıllı bileşiklerden biyokütle enerjisi üretilmektedir (Toklu, 2017; Yıldırım ve Koçer, 2022).

Literatürde yapılan bütün tanımlamalara bakıldığında bitkilerin fotosentez yapması neticesinde dolaylı veya doğrudan oluşan organik karbon yapısına sahip özlerin olduğu ifade edilebilir. Bitkisel ve hayvansal materyaller doğrudan oluşan biyokütle enerji kaynağı olarak örnek gösterilebilir. Biyokütle enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları arasında dünyada her noktada bulunabilen çok geniş bir yayılış alanı olan enerji kaynaklarıdır.

Biyokütle enerjisinin en küçük ve basit metotlarla kullanımını yemek pişirmek, evlerin sıcak su ihtiyacını karşılamak hedefiyle yakılan ateşlerdir. Ortaya çıkan klasik teknoloji yapıllı biyokütle enerjisini daha etkin ve verimli bir biçimde kullanabilmek için çevirim ve dönüşüm teknolojileri bulunmaktadır. Bu modern dönüşüm ve çevirim teknolojilerinin etkin ve verimli kullanılması sonucunda hem daha fazla enerji üretimi hem de havaya bırakılacak sera gazları miktarında önemli ölçüde bir azalış ön görülmektedir (Rosillo-Calle et al., 2007).

#### 3.3.1. Bitkisel Kökenli Biyokütle Enerji Kaynaklar

Bitkisel kökenli biyokütle enerji kaynağı materyalleri şu şekildedir;

- Yağ değeri yüksek tohumlu bitkiler (ayçiçeği, çığit, soya, yarfıstığı, v.b.)
- Şeker değeri yüksek ve nişasta bazlı bitkiler (bakla, piriç, şeker pancarı patates mercimek v.b.)
- Lif değeri oldukça yüksek elyaf bitkileri (pamuk, keten, kenevir, jüt, rami Hindistan cevizi v.b.)
- Biyokütle enerji kaynağı protein bitkileri (karabuğday bezelye, mercimek, kinoa v.b.)

- Bitkisel kökenli ve tarımsal biyokütle enerji potansiyeli yüksek atıklardır (saman, gübre, yaprak, ot vb.).

### 3.3.2. Orman Biyokütle Kaynakları

Odun ve odun dışı orman ürünlerinden elde edilen kaynaklardır. Bu kaynaklar ağaç ve ormanda yapılan silvikültürel işlemler sonucu ortaya çıkan atıklardır (biyokütle enerji potansiyeli yüksek ağaçlar, biyokütle enerjisi yüksek özellikle oluşturulan ormanlar ve enerji bitkileri).

### 3.3.3. Hayvansal Biyokütle Enerji Kaynakları

Hayvansal kökenli biyokütle enerji kaynağı sağlayan materyaller elektrik ve ısı ihtiyacını karşılanması noktasında oldukça önemli yer tutmaktadır. Büyükbaş hayvan dışkıları, küçükbaş hayvan dışkıları ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbahane atıkları vb. atıklar hayvansal kökenli biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (EİGM, 2022).

### 3.3.4. Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Enerji Kaynakları

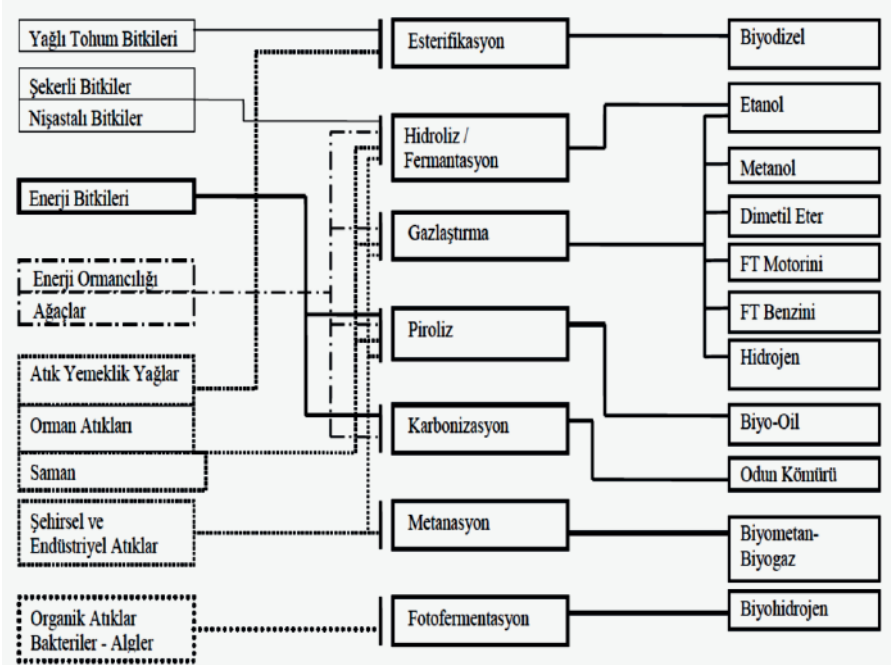
Plastikler, karışık kağıt, mukavva kanalizasyon atıkları, dip çamurları, sanayi ve gıda sanayi atıkları, makinelerden arta kalan yağlar, cüruf ve maden atıkları, belediyeye ait tesislerin atıkları ve büyük ölçekli sanayi tesislerine ait atıklar örnek olarak gösterilebilmektedir (EİGM, 2022).

## 3.4. Biyokütle Enerji Teknolojileri

Elektrik, ısı ve yakıt üretimi amaçlı kullanılan biyokütle, kullanım yeri ve misyonuna göre, klasik ve modern biyokütle olarak ikiye ayrılır. Klasik biyokütle, yemek pişirmek, evlerin sıcak su ihtiyacını karşılamak gibi insanın temel ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde çok daha yaygın biyokütle enerjisi üretim yöntemidir. Modern biyokütle enerjisi gerekli dönüşüm ve çevirim teknolojileri ile daha büyük ölçekte kullanılan, ortaya çıkan enerjiyi daha etkin ve verimli kullanılmasını sağlayan biyokütle enerji üretim yöntemleridir (Ayan, 2022). Bunlar orman atıkları, tarımsal atıklar, şehirselle atıklar, enerji bitkileri, endüstriyel atıklar ve biyogaz gibi biyoyakıtları kapsar. Ayrıca son zamanlarda trend olan modern biyokütle enerjisi üretim kaynaklarından birisi de uygulamalarda, odun ve atıkların yanı sıra “enerji bitkileri” olarak adlandırılan enerji üretimi misyonuyla hasat edilen bitkileri de kapsamaktadır (Karayılanlar ve diğ. 2011; Basu, 2011; Acaroğlu, 2013).

Geleneksel olarak biyoenerjiden faydalanma neredeyse insanlık tarihinin başlangıcı olarak kabul edilen çağlara kadar gitmektedir. İnsanlığın ateşi

bulduğu süreçten sonra ısınmak ve yemek pişirmek için biyokütle enerjisi kaynağı olan odunu kullanmışlardır. Modern biyoenerji üretimi anlamında Pers İmparatorluğunun ve Asurluların yıkanma yerlerinin ısıtılmasında biyogaz biçiminde biyokütle enerjisinden faydalandığı bilinmektedir (Akavo, 2008). Büyük Britanya’da 1800’lü yıllarda lağım gazlarının cadde ve sokakların ışıklandırılmasında değerlendirildiği belirtilmektedir (Basu, 2011).



Şekil 8. Biyokütle Dönüşüm Teknolojileri (İllez, 2020).

Biyoenerji kaynakları, biyokütle enerjisi çevirim ve dönüşüm prosesleri ve son ürün olarak elde edilen biyoyakıtlar yukarıdaki Şekil 8’de detaylı olarak belirtilmiştir. Modern dönem biyoyakıt teknolojileri ile üretilip kullanıma hazır hale getirilen bu yakıtlar arasında en geniş kapsama sahip ve ticari olanlar; biyodizel, biyogaz, bioetanol ve odun hammaddesi kaynaklı kömürdür. Şekil 8’de görüldüğü gibi atık yağ oranı yüksek yemelik yağlardan ve soya, ayçiçeği, çığıt gibi yağ oranı yüksek tohumlu bitkilerden esterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmektedir. Glikoz oranı yüksek bitkiler, kentsel ve endüstriyel atıklar, orman atıkları, saman, enerji bitkileri, niştalı bitkiler, enerji ormanlığı vb. biyokütle enerjisi kaynaklardan fermantasyon veya hidroliz ile bioetanol üretilmektedir. Kentsel atıklar ve endüstriyel

atıklardan ekzotermik bir reaksiyon olan metanlaştırma ile biyometan ve biyogaz üretilmektedir. Biyokütle enerji kaynağı olarak yetiştirilen enerji bitkileri kuvvetli asit çözeltilisinden geçirilip ısının etkisini kullanarak yakma yani karbonizasyon yöntemi ile odun kömürü elde edilmektedir. Algler, biyobozunur atıklar ve bakterilerin biyohidrojen üretimi için kullanılan fotofermantasyon ile biyolojik kökenli yakıtlar elde edilebilmektedir.

Birbirinden farklı biyoenerji kaynaklarının rutubet, kül ve göreceği ısı işlem değerlerinin farklılık göstermesi, biyokütlenin enerjiye çevirim ve dönüşüm proseslerinde zamansal kayıplar başta olmak üzere birçok problem ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Biyoenerjinin çevirim ve dönüşümünde fiziki olarak ortaya konulan fırına sürme, fiziki form küçültme, yoğunlaştırma ve kurutma vb. işlemlerin, termokimyasal reaktör ve dönüşüm veya biyoürün oluşumu için mikrobiyal çevirim prosesleri öncesinde gerçekleştirilmesi gerçekleşen dönüşüm işlemlerinin uygulanabilirliğini kolaylaştırmaktadır (Karaca, 2009; Avcıoğlu, 2011).

Biyoenerjiden elde edilecek enerjinin niceliğini çoğaltmak için biyokütle kaynağından nemi büyük ölçüde kaldırma yani kurutma işlemine bazı durumlarda ihtiyaç duyulabilmektedir. Biyokütleden nemi büyük ölçüde kaldırma işlemi bulutsuz bir günde güneş ışıklarının desteği ile düşük maliyetlerle yapılabileceği gibi; çok yüksek ısıya sahip fırınlar ile endüstriyel kurutma proseslerinde çok kısa zaman diliminde, daha etkin ve verimli bir biçimde de yapılabilmektedir (Kaputhan, 2014; Demir, 2017; Ayan, 2022).

Biyoenerjinin yakıt formu olarak değerlendirilmesinde, pelet ve briketlerin üretilmesinde fiziki olarak form küçültme hemen hemen her zaman gereksinim duyulan bir metottur. Biyokütle enerji kaynaklarının boyutlarının küçültülmesinin depolama boyutu ve taşıma maliyetlerinin azaltılmasına da olumlu etkisi bulunmaktadır (Işık ve Yavuz, 2022).

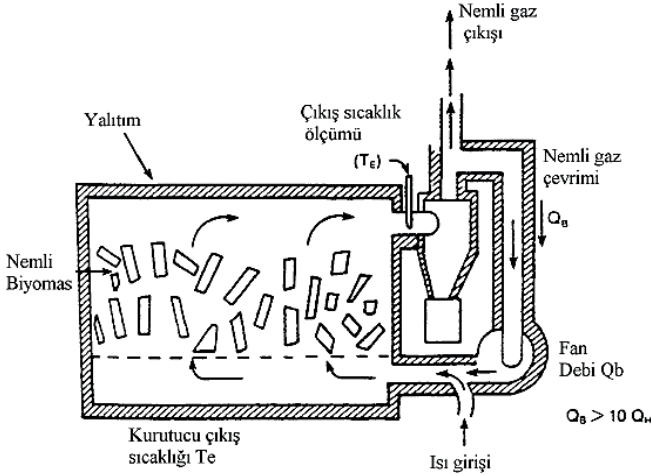
### 3.4.1 Biyokütle Dönüşüm İşlemleri ve Teknolojileri

Biyokütle yeryüzünde bulunan en yaygın yenilenebilir enerji kaynağıdır. Modern çevirim ve dönüşüm teknolojileri ile biyokütle ısı, elektrik ve yakıt ihtiyacını karşılama noktasında daha etkin ve verimli olarak kullanılabilir. Günümüzde biyokütle dönüşüm işlemleri ve teknolojileri ile modern biyokütle enerji üretimi anlayışına katkı sunmaktadır. Bu prosesler fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler ve biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşmaktadır (Ayan, 2022).

### 3.4.1.1. Fiziksel Prosesler

Bu prosesler öğütme, kurutma, pelletleme ve biriktleme işlemlerini kapsamaktadır.

**1. Kurutma:** Kurutmanın temel hedefi, biyoenerji kaynağının çürümeden veya enerji değerini kaybetmeden uzunca bir zaman dilimince saklanabilir ve depolanabilir olmasına imkan sağlamaktır. Biyokütle enerji kaynağını kurutma işlemi; sıcak hava ile kurutma, güneşte ışınları ile belirli bir zaman diliminde biyokütle enerji kaynağının kurumasını bekleme ve vakum ile kurutma gibi fiziksel bir proses olarak da uygulanabilir. Endüstriyel fırın, mikrodalga, rotari kurutma gibi modern teknolojiler ile biyokütle enerji kaynağının fiziksel olarak nemini alarak yapılan kurutma metotları da vardır (Üçgül & Akgül, 2010).

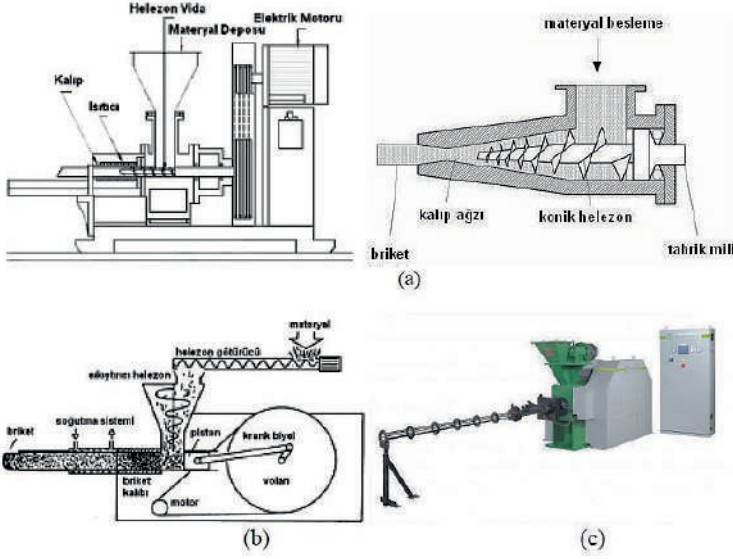


Şekil 9. Biyokütle Kurutma Sistemi (MMO, 1999).

Odunun gazlaştırıcı sistemde kullanılabilmesi için odun içindeki nem miktarının ayarlanması gerekir. Bu da ancak kurutma işlemi ile gerçekleşir. Enerji yoğunluğunu birim hacim başına artırmak için biriktleme işlemi yapılır. Böylece daha kolay taşıma ve stoklama sağlanır. Şekil 9'da basit bir biyokütle kurutma sistemi verilmiştir. Burada kapalı bir hacimde bulunan biyokütle parçalarının üzerine sıcak hava gönderilerek biyokütlenin kurutulması sağlanmaktadır (OGM, 2020).

**2. Öğütme:** Kuru biyoenerji kaynağının tanecik boyutu, kullanıldığı proses öncesinde amaçlanan şekil ve boyuta getirilene kadar miller, bıçaklar, bilyeler vb. yöntemlerle kırılarak prosese hazır hale getirilme işlemidir.

**3. Pelletleme ve Biriketleme:** Pellet, ormansal biyokütle enerji kaynağı olan odun artıklarının içindeki nem miktarının klasik veya modern biyokütle enerjisi yöntemleri ile talaş halini alıncaya kadar kırılıp yüksek basınçla sıkıştırılması ile oluşturulan maddedir. Boyutları 6-10 mm arasında bir çapa sahiptir. Briket ise yine aynı uygulamalarla oluşturulan pelletten çok daha büyük boyutlarda çapa sahip maddelerdir. Boyutları 5-20 cm arasındadır. Tarım ve orman artıklarının heterojen olmaları ve boyutları itibari ile çok fazla yer kaplamaları sebebiyle doğrudan yakıt ihtiyacının karşılanması şeklinde değerlendirilmesi oldukça zordur. Bu sorun, bu tür biyoenerji kaynaklarının boyutlarının küçültülüp ve sistematik bir biçimde madde yoğunluğunun fazlalaştırılmasıyla çözülebilir. Bir başka ifade ile biriket veya pellet uygun boyut değerlerine getirilmesiyle biyokütle enerji kaynağı olarak etkin ve verimli bir biçimde kullanılmış olabilmektedir. Tarım ve orman artıklarının istenen biriket veya pellet boyutlarına piston yardımı ile yüksek basınç altında presslenmesi, bu fiziksel prosesin temel ilkesini oluşturmaktadır. Odun pelletleri direkt olarak yüksek basınca maruz bırakılarak meydana getirilir. Bu işlem sırasında kimyasal bağlayıcı kullanılmaz. Biyoenerji kaynağı içerisinde bulunan başta reçine olmak üzere kendiliğinden bulunan moleküller bağlayıcı işlevi de görmektedir. Pellet veya biriket haline dönüştürülmüş tarım ve orman artıklarından yakılarak ısınma amaçlı da faydalanılabilmektedir (Üçgül & Akgül, 2010). Yakacak oduna kıyasla odun briketi eşit ağırlıkta olacak şekilde yakıldığında çevreye daha fazla ısı veren bir kaynak oluşturmaktadır. Aynı zamanda yakacak çevreyi daha az kirletir ve daha uzun zaman dilimi boyunca yanar (Ayan, 2022).



Şekil 10. Helezon (a) Ve Piston Presli (b) Ve Hidrolik (c) Biriketleme Makinası (TOB, 2021).

Şekil 10'da farklı tipteki biriketleme işlemi yapan teknolojik makinalar görülmektedir. Biriketleme fiziki prosesi ile; biyoenerji kaynağının karakteristik özelliklerinde olumlu yönde değişim, boyutsal ısı değerinde artış, transport ücretlerinde düşüş, saklama maliyetlerinde azalma, boyutsal olarak küçüldüğünden dolayı sobalarda rahatlıkla yakılabilme olmak üzere birçok avantaja sahiptir (Ayan, 2022). Yeryüzüne yayılan tanecik emisyonları azalmakta ve aynı zamanda hacimsel formu itibarı ile yakıt elde edilmektedir. Yaşadığımız zaman diliminde biyoenerji kaynaklarının biriketlenmesi amacıyla helezon tipi biriketleme, piston tipi biriketleme ve hidrolik tip biriketleme teknolojileri kullanılmaktadır (Ayan, 2022).



Şekil 11. Diş Kalıplı (a) Ve Çember Kalıplı (b) Pelletleme Teknolojisi (TOB, 2021).

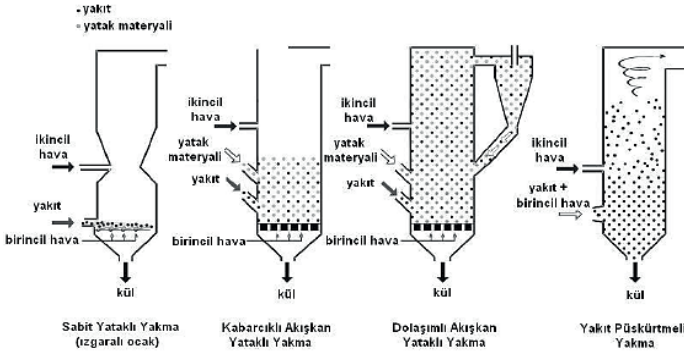
Modern pelletleme teknolojileri olarak düz ve çember biçimli basınçlı pelletleme teknolojisi kullanılmaktadır (Şekil 11). Düz biçimli basınçlı pelletleme teknolojisinde disk üzerinde arka arkaya birden çok sıkıştırma silindiri bulunmaktadır. Bu sıkıştırma silindirleri 2 m/s ile 3 m/s hızında dönme hızına sahiptir. Diskler sayesinde biyokütle enerji materyali deliklerinde sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan biyoenerji kaynağı istenen pelletleme boyutunun şeklini almaktadır. Çember biçimli pelletleme teknolojisinde delikli çemberin çevresinde iki veya üç tane sıkıştırma silindiri mevcuttur. Bu silindirler devamlı hareket halinde olup biyokütle enerji materyallerini istenen kalıpta sıkıştırarak elde etmiş olur (Ayan, 2022).

#### 3.4.1.2. Termokimyasal Prosesler

Termokimyasal proseslerin başlıcaları yakma, piroliz (ön ısıtma, yavaş piroliz ve hızlı piroliz) ve gazlaştırma ve hidrotermal proseslerden oluşmaktadır.

**1. Yakma:** Biyoenerji kaynağından enerji üretmek amacıyla kullanılan en eski çevirim metodudur. Teknolojinin gelişmesi ile enerji üretmek amacıyla en eski termokimyasal proses olan yakma ısı, yakıt ve elektrik üretiminde kullanılması için uygulanan dönüşüm teknolojisidir. Termokimyasal dönüşüm teknolojisi olan yakma işlemi yüksek ısıl randıman sağlama ve etkin ve randımanlı bir yanma ile ısının geri kazandırılması başta olmak üzere birçok avantaja sahiptir. Modern yakma teknolojileri sadece ağaç kabukları gibi ormansal ve tarımsal katı biyoenerji kaynaklarının yakmanın ötesinde, kentsel atıkların ve endüstriyel atıkların yakılabileceği yönünde geliştirilmiştir (Tırınk, 2022). Orman kaynaklı biyokütle enerji kaynakları, termokimyasal yakma işlemi sonucunda ortaya çıkan enerji miktarı ile petrol ve kömüre oranla daha düşüktür. Bundan dolayı ormansal biyoenerji kaynakları diğer yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları ile karıştırılarak da yakılabilmektedir. Orman kaynaklı biyokütle enerji kaynakları kömür, tarımsal ve kentsel atıklar başta olmak üzere karıştırılıp yakılarak istenen enerji değerini elde etmesi amaçlanmaktadır. Orman kaynaklarının diğer enerji kaynakları ile beraber yakma proseslerinin en temel amacı yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının oluşturduğu başta NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> gazlarının atmosfere salınımlarını azaltmaktır (Kandemir ve diğ., 2022).





Şekil 12. Biyokütle Enerjisi Yakma Teknolojileri (Karaca, 2009).

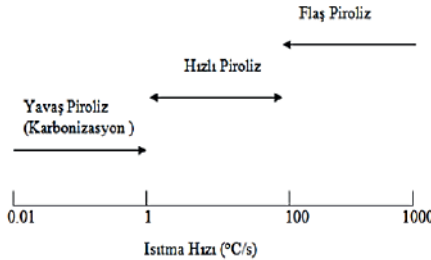
Sabit yataklı yakma, kabarcıklı akışkan yataklı yakma, dolaşımli akışkan yataklı yakma ve yakıt püskürtmeli yakma prosesleri Şekil 12’de detaylı olarak gösterilmiştir. Sabit yataklı yakma teknolojileri ızgaralı ocaklar ve alttan yakıt beslemeli proseslerdir. Sabit bir yatak boşluğundan birincil hava akışı sağlanmaktadır. Bu yatakta yanma, biyokütle enerji kaynağının nemini alma, ve gazlaştırma işlemleri gerçekleşmektedir. Gerçekleştirilen işlemde sonra yanma karakteristik özelliği yüksek olan gazlar sekonder hava ilave edilmesi sürecinin ardından yanma işlemi gerçekleşmiş olur. Akışkan yatak yakma termokimyasal biyokütle enerjisi teknolojilerinde biyoenerji kaynağının yakıtı, gazın kendi bileşiminin içinde ve yanma gazının dip kısımdan prosese giren katı biyokütle enerji materyali içinde yanar. Sıvılaştırma hızına göre, dolaşımli akışkan yataklı termokimyasal biyokütle enerji teknolojisi veya kabarcıklı akışkan yataklı termokimyasal biyokütle enerji teknolojisi yakma teknolojisi uygulanmaktadır. Boyutu 2 mm’den ufak tanecikler için yakıt püskürtmeli yakma biyokütle termokimyasal enerji teknolojisi kullanılır. Yakıt bileşimi yanma odasına aktarılır. Bununla birlikte primer yanma havası da yanma odasına aktarılır. Daha sonrasında sekonder havanın ortama girişi ile yanma işlemi gerçekleşir (Karaca, 2009). Biyokütle termokimyasal yakma işleminin ardında kalan katı atıklar yüksek sıcaklık altında eritilip bertaraf edilebilir. Yine yakma işleminin ardında kalan atıklar çimento kullanarak, çeşitli kimyasal maddeler kullanarak bertaraf edilebilir.

**2. Piroliz:** Piroliz (Pyrolysis) sözcüğü etimolojik olarak yunanca bir sözcük olup pyr sözcük karşılığı olarak ateş; olysis sözcüğü meydana gelmek anlamını taşımaktadır. Piroliz, biyoenerji kaynaklarının anaerobik ortamda organik moleküllerin ayrışıp gaz haline dönüştürme işlemidir. Organik maddeler anaerobik ortam koşullarında 600 °C’a kadar yapılan termal ısıtmada; odun kömürü, gaz partikülleri ve kül gibi maddeler açığa çıkar.



Şekil 13. Piroliz Reaktörü Ve Kurutucu Ünite (Üçgül & Akgül, 2010).

Piroliz prosesinin gerçekleştirildiği piroliz çevirim ünitesi reaktör ve kurutma ünitesinin tam donanımlı bir şekilde görünüşü Şekil 13’de verilmiştir. Odun kömürü üretimi dünya üzerinde en çok bilinen piroliz işlemidir. Piroliz işleminin neticesinde katı, sıvı ve gaz halinde maddeler elde edilir. Dünya üzerinde günümüzde piroliz işlemi ile biyoenerji kaynağı organik maddeler sıvılaştırılarak biyolojik kökenli yağlara dönüştürülmektedir. Yakıt türü, reaksiyonun gerçekleşme zaman dilimi, sıcaklık, press, ısıtma hızı, vb. parametrelerin bir araya gelmesiyle meydana gelen ürünün niceliği ve çeşidi de etkilemektedir. Piroliz termokimyasal prosesi sonucunda meydana gelen ürünün randımanı ve kompozisyonu; sıcaklık tolerans değerleri, piroliz reaktöründe geçirilen zaman dilimi, tanecik fiziksel formu, maruz kaldığı basınç gibi parametrelere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Piroliz reaktöründe düşük ısıtma hızında meydana gelen çar miktarı fazlalır. Bu proses yavaş piroliz olarak isimlendirilir. Piroliz reaktöründe ise sıvı ürün meydana gelmesi ve miktarının fazlalaşması yüksek ısıtma hızı ile doğru orantılıdır (Ulu, 2011).



Şekil 14. Isıtma Hızına Dayalı Piroliz Çeşitleri (Ayan, 2022).

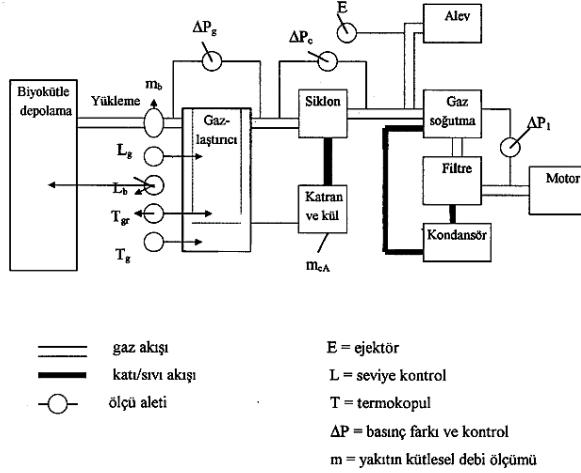
Şekil 14’de organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtma hızına bağlı olarak gerçekleştirilen karbonizasyon, hızlı piroliz ve flaş piroliz çeşitleri

gösterilmektedir. Odun kömürü ve turba başta olmak üzere organik yapılı maddeler anaerobik koşullar altında ve termokimyasal biyokütle sabit yatak reaktörlerinde, 300 °C düzeyindeki ortam şartlarında, uzun ısıtma süresi boyunca yavaş piroliz yöntemiyle katı ve sıvı maddelere çevirimi gerçekleşmektedir. Akışkan yatak reaktörlerde hızlı piroliz yöntemi ile biyoenerji kaynağı, yüksek sıcaklıklarda çok hızlı bir biçimde maddenin gaz haline getirilmektedir. Meydana gelen gaz, akışkan yatak reaktörünün reaksiyon sistemi yardımı ile uzaklaştırılır. Daha sonrasında akışkan yatak reaktöründe oluşan gaz soğutulur. Isısı düşen gaz yoğunlaşarak yoğunluğu akışkan olmayan bir sıvı oluşturur. Bu sıvı, aldehydler, fenol, halojen ve halojenli bileşikler vb. yapıdaki maddelerce oldukça zengindir.

**3. Gazlaştırma ve Hidrotermal Prosesler:** Gazlaştırma çok eski dönemlerden beri kullanılan bir teknolojidir. Gazlaştırma tekniğinin biyoenerji kaynakları üzerinde uygulanması, klasik biyokütle enerjisi üretim yöntemlerine göre daha az doğaya zararlı, daha temiz ve farklı amaçlar için kullanılabilen gaz üretimi olduğu için günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Biyoenerji kaynağının termokimyasal olarak gazlaştırılması, ıslak (gübre, meyve sanayi atıkları vb.) ve kuru (nemli olmayan kütük, ağaç kabukları) biyoenerji kaynağı için uygulanan bir işlemdir. Organik madde 800–900 °C tolerans değerindeki sıcaklıklarda gerçekleşen yüksek sıcaklıktaki bölümsel yükseltgenme tepkimesi ile yanıp maddenin gaz formuna dönmesi sağlanmaktadır. Kuru olmayan biyoenerji kaynağı en az 220 atm basınçta ve en az 300°C sıcaklıkta termokimyasal işleme tabii tutulursa gazlaşma işlemi gerçekleşmiş olur (Üçgül & Akgül, 2010). Bu yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen kısmi oksidasyon tepkimesi sonucu büyük miktarda CO ve H<sub>2</sub> elde edilirken, kısmi düzeyde CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> ve su buharı elde edilmektedir. Bununla birlikte hızlı piroliz termokimyasal prosesi ile üretilen kömür, gazlaştırma tekniği kullanılarak da maddenin gaz haline dönüştürülebilmektedir (Kalaycı, 2011). Böylece başta ıslak ve kuru biyoenerji kaynakları da maddenin gaz haline dönüştürülerek enerji kaynağı olarak kullanımına olanak sağlamaktadır (Ayan, 2022).

Biyokütle termokimyasal prosesinin gazlaştırma işlemini gerçekleştiren bileşenler; biyoenerji kaynağının uygun ortamda saklanması, biyokütle enerji kaynağının neminin alınması, biyoenerji kaynağının gazlaştırma işleminin yapıldığı ortama aktarılması, katran ve külün gazlaştırma işleminin yapıldığı mekanizmadan alınması, gazın prosesten alınması, gazın temizlenmesi, gazın yakılması, yakıtın kütle debi miktarının değeri, basınç farkı ve kontrol ünitesi Şekil 15’de verilmiştir ve aynı zamanda komple gazlaştırıcı özelliği de taşımaktadır. Zaman zaman gaz kaçakları ve sıvı sızıntıları sebebiyle biyoenerji kaynağı materyalinin gazlaştırma işleminin yapılacağı üniteye

aktarılması esnasında sorunlar oluşabilmektedir. Sanayi atıkları ve tarımsal katı yakıtların gazlaştırma işleminin yapılacağı prosese aktarımı için titreştirici, biyokütle enerji kaynaklarını birleştirici, taraklı ve dişli mekanizmalar tercih edilir. Biyoenerji kaynağı materyalin standart atmosfer basıncı koşullarında bekletilmesi ve kapalı depolarda korunması gerekmektedir. Biyokütle enerji kaynağı materyali her türlü dış faktör ve yağıştan korunması sağlanmalıdır (Basu, 2011).



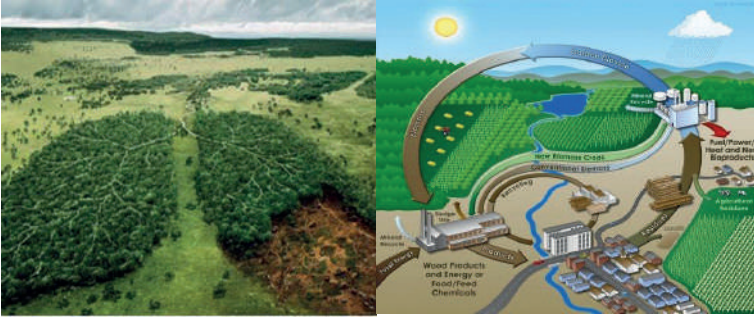
Şekil 15. Gazlaştırıcı Sistem Ünitesinin Şematik Görünüşü (MMO, 1999).

Diğer taraftan, gücü 10 kW'dan küçük gazlaştırıcı reaktörlerde yakıtın aktarılması el ile transfer edilebilir. Otomatik aktarılma tekniği küçük ölçekli sistemlerde uygulanmaz. Daha büyük gazlaştırma teknolojilerinde biyokütle düzensiz bir aktarımla yüklemeye hunisinden aşağı yavaşça ilerler. Biyoenerji kaynağı organik madde yakıtı bitişik veya dikey olarak bir kayış veya dişli taşıma düzeneği ile hareket ettirilebilir. Gazlaştırma işlemi hava ile gazlaştırma, oksijen ile gazlaştırma, buhar ile gazlaştırma başta olmak üzere birçok farklı teknikte kullanılmaktadır. Hava ile gazlaştırma maliyet açısından uygun ve aynı zamanda en yaygın yöntemdir. Oksijen üretmek zorunda kalmadığı için çok yüksek çevirim verimi imkanı sunmaktadır. Reaktör tepkimesi sonucunda 4–6 MJ/Nm<sup>3</sup> ısı değere sahip ürünler ortaya çıkmaktadır (Basu, 2011). Oksijen ile gazlaştırma hava ile gazlaştırmaya göre daha kaliteli gaz üretimi gerçekleştirmektedir. Reaktör sıcaklığında 1000–1400 °C sıcaklığı arasında olup ısı değeri 10–15 MJ/Nm<sup>3</sup> değerleri arasındadır. Pahalıdır ve güvenlik açısından büyük sorunlara da sebebiyet verebilmektedir. Buhar ile gazlaştırma işleminde ise H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve kömür

başta olmak üzere reaktörden ürünler elde edilebilmektedir. Dezavantajı ise zehirlenme vakalarının yaşanmasıdır. Buharla gazlaştırmada temel hedef hidrojen elde etmektir (Ayan, 2022).

#### 4. ORMANLARIN SERA GAZI AZALTIMINDAKİ ROLÜ

Yapılan bilimsel çalışmalara göre dünyadaki ormanlar tüm CO<sub>2</sub> emisyonlarının %30'unu emmektedir. Ormansızlaşma, bu doğal karbon yutağını aşındırır ve ormanlarda depolanan karbon, ağaçlar öldüğünde salındığı için emisyonların artmasına neden olur. 2019-20 yılları arasında tropik orman kaybı, 570 milyon arabanın yıllık emisyonlarına eşdeğer 2,6 milyar metrik ton CO<sub>2</sub> yaydı. Küresel Orman Finansmanı Taahhüdü, 12 ülkenin ormanları korumak ve restore etmek için 2021 – 2025 yılları arasında 12 milyar dolarlık kamu fonu oluşturma taahhüdünü içeriyor. Buna ek olarak, 7,2 milyar dolarlık özel sektör yatırımı harekete geçirilecek. Finansman taahhüdü veren 12 ülke; Birleşik Krallık, Norveç, Kore Cumhuriyeti, Hollanda, Belçika, Danimarka, Japonya, Fransa, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, AB ve Almanya'dan oluşuyor. Şekil 7 de ormanlar insan akciğerine benzetilmiştir.



*Şekil 16. Bir ülkenin orman kaynağı demek onun akciğerleri demektir.*

Ormanlar üzerinde radikal önlemler alınmadan küresel ısınma artışını 1,5°C'nin altında tutulması mümkün değil. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ye göre, bu yüzyılda ısınmayı 2°C ile sınırlamaya yönelik tüm senaryolar, ormansızlaşma ve orman bozulmasının azaltılmasına dayanıyor. Ayrıca, mevcut ormanları korumanın, küresel iklimi stabilize etmenin yeni ağaçlar dikmekten daha hızlı, daha iyi ve daha ucuz bir yol olduğunu ortaya koyuyor. Ormanlar aynı zamanda yerel ve bölgesel hava düzenlerini düzenleyerek iklim değişikliğine karşı bir tampon görevi görüyor. Dünyanın en yoksul kesimlerinin %90'ından fazlası geçimlerini ormanlardan sağlıyor (IPCC, 2022).

Orman Mutabakatı, ormansızlaşmayı durdurmak üzere önemli bir küresel çabayı temsil ediyor. Bu anlaşma, ormanlarımızı korumaya yönelik önemli ilk adım niteliği taşıyor ve ormansızlaşmadan arındırılmış temin zincirlerinin günümüzde norm haline gelmesi gerekliliğine işaret ediyor. Uluslararası camia, uzun vadeli çözümler geliştirirken, orman ekosistemleri içerisinde ve çevresinde yaşayan insanların sosyo-ekonomik ihtiyaçlarının ve taleplerinin karşılanmasını da ele almalı. Küresel ısınmayı 1.5°C ile sınırlandırmayı öngören bir gelecek, ancak ormanların korunmasını ve doğanın restorasyonunu kapsadığı koşulda mümkün görünmektedir. Birleşmiş Milletler Paris İklim Değişikliği Konferansı, 2015 yılında Paris'te gerçekleşti. İklim Zirvesi sonucunda üzerinde mutabık kalınan metin olan Paris Anlaşması, herhangi bir bağlayıcılık taşımamakla birlikte hükümetlerin, iklim değişikliğini önümüzdeki dönemde sıklıkla gündem edeceği anlamına geliyor. Ülkemizde 2021 yılının son aylarında bu anlaşmayı imzaladı. En son İngiltere de yapılan iklim zirvesi 2050 yılına kadar emisyonların tamamen yok edilmesini (yani sıfır emisyon) hedeflemektedir (IPCC, 2020).

İklim değişikliği ile mücadele süreci birçok sektör gibi ormancılığı da küresel ölçekte hareketlendirmiştir. Bu süreçte ormancılık, hem yeni proje tipleri, hem diğer sektörlerle entegrasyon, hem de kapsam bakımından zenginleşmiştir. İklim değişikliği ile mücadelede ormancılığın önemi yüksek oranda karbon tutma ve iklim değişikliğinin etkilerine uyum bakımından sağladığı pozitif etkilerdir. Dahası ormanların azaltım ve uyum kapasiteleri bazı iyi yönetim uygulamaları ile artırılabilir. İklim değişikliğinin ve iklim değişikliği ile mücadelenin ekonomi genelinde etkileri söz konusu olmakla beraber her sektörü aynı derecede etkilediği veya etkileyeceği söylenemez. Ormancılık ve tarımın, doğaya açık işletme şekilleri olmaları ve atmosferik olaylarla doğrudan ilişkileri nedeniyle diğer sektörlerle nazaran daha çeşitli ve ciddi risklere maruz kalmaları olasıdır.

Öte yandan iklim değişikliği ile mücadelede genellikle sadece ağaçlandırma çalışmalarının gündeme geliyor olması sektör ve sektör dışında konunun yeterince bilinmediği gerçeğini ortaya koymaktadır. İklim değişikliği ile ormancılık sektörünü uyumlulaştırmaya dönük kavramlardan birisi "iklim destekli ormancılık" olup ormanlardan ve ormancılık sektöründen iklim değişikliği ile mücadele sürecinde diğer ekosistem hizmetleri ile sinerji yaratacak şekilde daha fazla katkı sağlamayı hedefleyen, Avrupa Ormancılık Enstitüsü (EFI) tarafından da desteklenen yeni bir yaklaşımdır. Bu kapsamda uyum ve karbon tutma kapasitesi yüksek orman ekosistemleri geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ormancılık sektörüne yeni bir motivasyon kaynağı olma potansiyeline sahip bu kavram üç temel dayanak üzerine yapılmaktadır. Bunlar; (1) sera gazlarının tutumu veya salımının azaltılması, (2) iklim

değişikliğinin etkilerine karşı daha adaptif ve dirençli ormanlar oluşturmaya yönelik planlama ve yönetim, (3) karbon dahil tüm ekosistem hizmetlerini artırmaya yönelik aktif veya adaptif ormancılık. Kısaca azaltım ve uyumu ön plana çıkarmaya yönelik, bunun yanında diğer ekosistem hizmetlerini de dikkate alan bir ormancılık konseptinden söz edilmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, insanların yaşamındaki ihtiyaçlarının karşılanması ve yaşamın sürdürülebilirliği için hem yerel hem küresel ölçekte en önemli vazgeçilmez gereksinimler arasındadır. Sanayi devriminden sonra yaşanan hızlı teknolojik gelişmeler, teknolojinin insan yaşamında daha etkin kullanılmaya başlanması ve hızlı nüfus artışı ile her geçen gün bireyler ve ülkeler için enerjiye olan gereksinim artarak devam etmektedir. Fosil yakıtların doğaya vermiş olduğu zararlar ve yakın gelecekte de tükenme ihtimali, enerji gereksiniminin yenilenebilir kaynaklardan karşılama anlayışını günümüzde geçerli kılmıştır. Türkiye ve diğer ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılama noktasında enerji temin kaynaklarını çeşitlendirmeye, yenilenebilir kaynaklardan enerji gereksinimini karşılamaya ve enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltma stratejisi izlemektedir. Tam da bu noktada biyokütle enerjisi insanlık tarihi kadar eski ve yeryüzünde en yaygın bulunan enerji kaynağı olma özelliği ile dikkat çekmektedir. Biyokütle enerjisi sadece ısınma amaçlı değil, elektrik üretimi, yakıt olarak kullanımı ve aydınlatma gereksiniminin karşılaması sebebi ile çok yönlü kullanılabilen birincil enerji türüdür. Kentsel, hayvansal, ormansal ve tarımsal atıklar başlıca biyokütle enerji kaynakları arasındadır.

Günümüzde biyokütle enerji teknolojileri yemek pişirme, soba ateşinde ısınma gibi geleneksel yöntem ve çeşitli dönüşüm teknolojileri ile elektrik, yakıt ve ısınma ihtiyacın karşılanmasında yararlanılan modern yöntem olmak üzere biyokütleden enerji elde edilmesinde iki temel yöntem bulunmaktadır. Modern biyokütle dönüşüm işlem ve teknolojileri; fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler, biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşmaktadır. 2019 yılında küresel ölçekte yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimi en fazla biyokütle enerjisinden sağlanmıştır. Biyokütle, biyoyakıt ve atıklardan üretilen enerji değeri 56,539 EJ değerindedir. Biyokütle enerji materyallerinin depolanabilir olması, her zaman temin edilebilir olması ve aynı zamanda yeryüzünde en yaygın bulunan yenilenebilir enerji kaynağı olması sebebi ile en fazla enerji üretimi, ithalatı ve ihracatı gerçekleşen yenilenebilir enerji kaynağı pozisyonundadır. 1980 ile 2000 yılları arasında dünya birincil enerji kaynakları tüketimindeki payı %10,5 düzeyindeyken 2000'li yıllardan sonra azalışa geçmiş olup 2018 yılındaki payı %9,5 olarak belirlenmiştir. 2035 yılında ise bu payın %9,3'e ineceği ön görülmektedir. Bu azalışın başlıca sebepleri

modern biyokütle enerjisi teknolojisindeki gelişmeler, diğer yenilenebilir enerji yatırım ve teknolojilerinde olan gelişmeler ve aynı zamanda küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin getirdiği sonuçlar olduğu öngörülmektedir. Küresel ölçekte birincil enerji kaynakları tüketimi kapsamında biyokütle kaynaklı enerji tüketim miktarı günümüze kadar sürekli artmış olup, gelecekte 2035 projeksiyonuna kadar da artacağı öngörülmektedir.

Türkiye dört mevsimi belirgin bir şekilde yaşayan, genç nüfusu oldukça fazla, biyoçeşitlilik açısından zengin kaynaklara sahip, Akdeniz, Karadeniz ve karasal iklimin hüküm sürdüğü zengin biyokütle enerjisi materyaline sahip ülke durumundadır. Çeşitli kaynaklarda yapılan çalışmalarda Türkiye'nin enerjisi potansiyeli 14 MTEP ile 32 MTEP arasında olduğu belirtilmiştir. Bu farklılığın sebebi hesaplama yönteminin farklılık göstermesi ve biyokütle enerjisi potansiyelinde görülebilecek materyal seçimindeki farklılıklar başta gelen nedenler arasındadır. Tahıl üretim ve çeşitliliği açısından Türkiye'nin İç Anadolu bölgesi oldukça zengin olup biyokütle enerji potansiyeli 8 Milyar kWh düzeyinin üzerindedir. Benzer şekilde Türkiye'nin Marmara, Güney Ege, Güney Anadolu'nun doğusu ile Akdeniz'in doğusu biyokütle enerji potansiyeli açısından zengin özellikler taşımaktadır. Türkiye her geçen yıl biyokütle enerji santralleri kurulu gücünü ve elektrik üretim miktarını arttırmıştır. 2020 yılında Türkiye'nin biyokütle enerjisi kurulu güç miktarı 1.485 MW düzeyindedir. 2020 yılında yenilenebilir atık ile atık ısıdan toplam 5.736,6 GWh elektrik üretmiş olup toplam elektrik üretimindeki payı %1,87 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Biyokütle enerji santrallerinin ilk yatırım maliyeti 4.114 \$/kW düzeyinde gerçekleşmektedir. Diğer yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarına göre ortalama bir ilk yatırım maliyetine sahiptir. Sabit işletme maliyeti anlamında biyokütle enerji santralleri tüm enerji kaynakları arasında 105,63 \$/kW ile yıllık en fazla maliyete sahip enerji kaynağı durumundadır. Bununla birlikte değişken işletme maliyeti olarak da 5,26 \$/MWh ile en fazla maliyete sahip enerji santrali yine biyokütle enerji santralleridir. Bu yüksek maliyetlerin azaltılması için biyokütle enerji santrallerinde kullanılacak makinelerin ve ekipmanların Türkiye'de yerli olarak üretilmesi çalışmalarına hız verilmelidir. İlk yatırım maliyetini azaltmak için enerji santralinin kurulacağı saha çok daha hassas bir şekilde incelenmeli ve tüm fizibilite çalışmaları dikkatli bir biçimde yapılmalıdır. İlk yatırım maliyetini arttıracak gereksiz harcamalardan kaçınılmalıdır. Periyodik yenileme gerektiren makine ve ekipman değişimi zamanında yapılmalıdır. Bununla birlikte bakım gerektiren işlemler zamanında yapılarak enerji santralinde meydana gelecek arızaların ve arıza süresinin işletmeyi zarara uğratmasının önüne geçilmelidir. Bununla birlikte enerji santraline saha tahsisi, makine ve ekipman alımı ile birlikte



her türlü harcama için teşvik, vergi indirimi, vergi muafiyeti imkanı ve nakdi destek miktarları arttırılmalıdır. Ekonomik ömrü diğer yenilenebilir enerji kaynaklı santrallere ortalamasının üzerinde olan ve teknik ömrü en uzun ikinci yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerji santralleri için her türlü ömrünü uzatacak tedbirler ve destek donatılarının satın alınması, işletmenin karı ve üretecek enerji miktarı açısından oldukça önemli kriterler olup dikkat edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde ülkeler baltalık orman işletme şekline geçiş sürecini hızlandırmıştır. Bu kapsamda Türkiye’de 2000’li yılların başından itibaren bu politikayı uygulamaya hız vermiştir. Böylelikle ağaç endüstrisi ve enerji hammaddesi elde edilmesinde daha etkin, verimli ve sürdürülebilir bir strateji izlemiştir. Türkiye 2005 yılında 1.439.595 ha baltalık orman alanına ve 5.749.152 ha koru ormanına sahipken 2020 yılında 1.276.634 ha baltalık ormanına ve 21.656.366 ha koru ormanına sahiptir. Bu anlayış değişikliği ile birlikte Türkiye’nin de orman alanı artmış olması karbon ayak izi miktarının azaltılmasında önemli rol oynamıştır. Son on yılda orman ve orman endüstrisinden elde edilen atık miktarı artış göstermiştir. Bu veriler doğrultusunda Türkiye’nin verimliliği oldukça düşük makilik ve çalılık alanların enerji bitki yetiştiriciliğinde değerlendirilmesine, ormansal kaynaklı biyokütle materyalinden enerji üretim miktarının arttırılmasına, ormansal kaynaklı atıkların sınıflandırılmasının detaylandırılmasına, ormansal kaynaklı atık miktarının arttırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler, kimyasal prosesler ve biyolojik prosesler ile orman biyokütlesi elektrik, konut ısınması ve yakıt ihtiyacının karşılanması noktasında önemli rol oynamaktadır. Bazı biyokütle kaynakları ve kömürün ısı değerleri, odunun ısı değeri materyalin kaynağına göre 10 MJ/kg ile 20 MJ/kg, bağ bozumu ile ortaya çıkan kalıntılarda 14 MJ/kg ile 18 MJ/kg, pirinç kabuğunda 12 MJ/kg ile 14 MJ/kg değerleri arasındadır. Talaşın ısı değeri 12 MJ/kg, ahşap peletlerin 20 MJ/kg, yosunun ise 33 MJ/kg değerine sahiptir. Odun peletinin enerji yoğunluğu kömüre göre daha az olmasına karşın bir aile için yıllık maliyeti daha düşük olup atmosfere bırakılan zararlı gaz miktarı daha az durumdadır. Bu yüzden Türkiye’de odun peleti üretimi oldukça az miktardadır. Türkiye’de odun peleti üretiminin arttırılmasına, ormanda kalan biyokütle enerji materyallerinin üretim sahasından çıkarılıp pelet halinde üretilip ısınma ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynaması oldukça önemlidir. Bununla birlikte karasal ve deniz kaynaklı yosundan enerji üretimi çok daha yeni kavram durumundadır. Türkiye bu konuda gereken arge çalışmalarına ayrıca hız vermesi yararlı olacaktır. Giderek artan sera gazı emisyonlarının azaltılması için bazı çözüm önerileri aşağıda verilmektedir:

- Enerjeyi tasarruflu ve verimli kullanmak;

- Elektrikli taşıtların kullanımını yaygınlaştırmak;
- Binalarda ısı yalıtımı uygulamak;
- Mevcut ormanların korunması ve yeniden ormanlaştırmanın artırılması;
- Ormansızlaşmanın ve meraların yok edilmesinin önlenmesi;
- Bozulan tarım arazilerinin ve çayır/meraların onarılması;
- Tarımsal ormancılığın özendirilmesini içeren gelişmiş orman, çayır/mera ve tarım arazisi yönetiminin desteklenmesi;
- Ürün ve hayvan artık ve atıklarının değerlendirilmesi;
- Toprak ve bitki gereksinimini dikkate alan azotlu gübre kullanımının sağlanması;
- Geviş getiren hayvanların ıslahı ve yem kalitesinin iyileştirilmesi;
- Yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanımının artırılması;
- Bilimsel ve teknolojik gelişmelere yönelik olumlu değişikliklerinin desteklenmesi
- Toplu ısıtma ve soğutma sistemlerinin teşvik edilmesi.
- Alternatif Yakıtların Kömür Yerine Kullanılması.
- Mevcut Konutlarda Enerji Verimliliği Standardının Arttırılması.
- Kamu Aydınlatmasının Kalitesinin ve veriminin Arttırılması.
- Akıllı Enerji Uygulamalarının yaygınlaştırılması
- Belediye binalarında enerji verimliliğinin arttırılması
- Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi
- Atık yönetimi için yeni teknolojilerden yararlanılması
- Büyükbaş hayvan çiftliklerinde metan emisyonlarını azaltmak amacıyla biyogaz tesislerinin kurulmasını yaygınlaştırmak.
- Atık su arıtma tesisleri ve çamur yakma tesisinin enerji verimliliğinin arttırılması
- Belediyelerin su temini yapısında enerji verimliliğinin arttırılması
- Karbondioksitten kimyasallar üreten tesisleri yaygınlaştırmak.

**Teşekkür:** Bu bölümün yazılmasında maddi katkılarından dolayı Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) ya teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Acaraoğlu, M. 2013. Alternatif Enerji Kaynakları. 3. Baskı, Nobel Yayınları, Ankara.
- Akavo, İ. 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Ankara: Nobel Yayınları.
- Avcıoğlu, AO (Editör). 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler ve Biyoyakıtlar. Nobel Yayınları, Ankara.
- Ayan, A. 2022. Biyokütle enerjisinin Türkiye’deki kullanım olanaklarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran, 2022.
- Basu, P. 2011. Biomass gasification, pyrolysis, and torrefaction: practical design and theory. Second Edition, Elsevier/AP, Oxford.
- Demir, M. 2017. Kars ilinin biyokütle enerji potansiyeli ve kullanılabilirliği. Türk Coğrafya Dergisi, 31-41.
- Enerji Atlası. (2019). Türkiye’nin En Büyük Biyokütle, Biyogaz, Enerji Atlası. <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/> adresinden alındı
- EİGM, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2020). Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası. <https://bepa.enerji.gov.tr/> adresinden alındı
- EİGM, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2022). Biyokütle Enerji Kaynakları. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>
- EPDK, Enerji Piyasası Denetleme Kurulu. 2018. Elektrik Enerjisi istatistikleri. Ankara.
- ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2022. Enerji İstatistikleri, Ankara.
- Güler, Y. 2020. Sera Gazları, İklim Değişikliğinde Sera Gazı Emisyonlarının Rolü ve Emisyon Ticareti. Academic Platform. <http://www.ishad.info>
- IEA, International Energy Agency. 2022. World Energy Outlook 2022, IEA, Paris.
- İllez, B. 2020. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi. Biyokütle Dergisi; 2: 23-36.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. IPCC, available from [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- Işık, S., ve Yavuz, S. 2022. Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlara genel bir bakış. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 193-201.
- Kalaycı, I. 2011. Türkiyenin Biyokütle Enerji Potansiyeli. Nobel Yayınları, Ankara.
- Kandemir, A., ve Sarptaş, H. 2022. Toprak Üstü Biyokütle Potansiyelinin CBS ve Uzaktan Algılama ile Belirlenmesi – Yeni Bir Yaklaşım. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi.
- Kaputhan, E. 2014. Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: biyokütle enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki kullanım durumu. Marmara Coğrafya Dergisi, 97-125.

- Karaca, C. 2009. Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri Anabilim Dalı Doktora Tezi.
- Karataş, H. 2019. Karabaş H. Sakarya İlinin Bitkisel Biyokütle Açısından Atık Miktarının ve Enerji Potansiyelinin Araştırılması. . Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 35-43.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çubuk, Y., & Kurt, R. 2011. Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 63-75.
- Kaygusuz, K. Climate Change and Biomass Energy for Sustainability. Energy Sources, Part B; 2010: 5 (2):133-146.
- Nelson, V. Introduction to Renewable Energy. CRC Press, Boca Raton, FL, 2011.
- MMO, Makina Mühendisleri Odası. 1999. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. İzmir.
- OGM, Orman Genel Müdürlüğü. 2020. Ormancılık İstatistikleri . OGM, Ankara.
- Resmi Gazete. 2019. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği.
- Rosillo-Calle, F, de Groot., Hemstock, SL., Woods, J. The Biomass Assessment Handbook: Bioenergy for a Sustainable Environment. EARTHSCAN, London, 2007.
- Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D., Güngör, E. 2017. Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Haziran 2017; 19: 148-160.
- TOB, Tarım ve Orman Bakanlığı. 2021. Üretim artıkları enerjiye dönüşüyor. <https://www.ogm.gov.tr/tr/haberler/uretim-artiklari-enerjiye-donusuyor>
- Tırınk, S. 2022. Hayvansal atıkların biyogaz üretim potansiyelinin hesaplanması: Iğdır İli Örneği. Journal of the Institute of Science and Technology; 8: 3-77.
- Toklu, E. 2017. Biomass energy potential and utilization in Turkey. Renew Energy, 235-244.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. 2020. Türkiyenin Sera Gazı Emisyonları. Ankara.
- Üçgül, İ ve Akgül, G. 2010. Biyokütle Teknolojisi. Yekarum. <https://dergipark.org.tr/>
- Yıldırım, A., ve Koçer, N. 2022. Diyarbakır İli Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27-40.



## Görme Engelli Yol Tasarımlarının YOLOv8 ile Segmantasyonu

Ömer Kaya<sup>1</sup>

Muhammed Yasin Çodur<sup>2</sup>

### Özet

Özel gereksinimli bireylerin toplum ile iç içe entegre yaşamasının temel işlevlerinde bir tanesi de kentsel altyapının uygun olmasıdır. Özellikle görme engeline sahip bireyler için yürüme yüzeyi işaretleri yani görme engelli yolların durumu son derece önemlidir. Bireyleri yönlendirme açısından kolaylık sağlayarak seyahatlerinin güvenli olması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu bireylerin topluma entegresini daha da artıracak teknolojik gelişmelere ihtiyaç vardır. Kafa üstü ve gözlük yanı entegre kamere veya sensörler yardımıyla yürüme yüzeyi işaretleri hakkında yönlendirme ve uyarıda bulunabilecek sistemlerin geliştirilmesi bu bireylere avantaj sağlayacaktır. Bu teknolojinin uygulanması dikkate alındığında çalışma kapsamında görme engelli yolların örnek segmantasyon süreci YOLOv8 nesne algılama algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Farklı bölgelerden elde edilen veriler ile eğitim süreçleri tamamlanmış ve yüksek güven değerleri elde edilmiştir.

### 1. Giriş

Karayolu güvenli sistem yaklaşımı tüm yol kullanıcıları için güvenli bir ulaşım sistemi sağlamayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, insanların trafik kazaları nedeniyle ciddi yaralanmalara karşı savunmasızlığını göz önünde bulundurmakta ve sistemin insan hatasını azaltacak şekilde tasarlanması gerektiğini göstermektedir. Bu yaklaşımın temel taşları güvenli yollar, güvenli hızlar, güvenli araçlar ve güvenli yol kullanıcılarıdır. Buna rağmen Dünya Sağlık Örgütü (WHO) [1], dünya çapında her yıl 1,25 milyon kişinin trafik kazalarında öldüğünü bildirmektedir. Bu ölümlerin yaklaşık %50'si

1 Erzurum Teknik Üniversitesi, ORCID: 0000-0003-1037-5546, omer.kaya@erzurum.edu.tr

2 Erzurum Teknik Üniversitesi – American University of the Middle East,  
ORCID: 0000-0001-7647-2424, mycodur@erzurum.edu.tr

korunmasız yol kullanıcılarından oluşmaktadır. Ölümlerin neden olduğu sebeplerin detaylı gösterimi Şekil 1’de verilmektedir. Şekil 1, ilk 10 ölüm nedeninin bir listesini sunmakta ve 2004 yılına kıyasla 2030 yılına kadar trafik kazaları sonucu ölümlerin konumundaki değişimi göstermektedir [1].

2004		2030	
Rank	Disease or injury	Rank	Disease or injury
1	Ischaemic heart disease	1	Ischaemic heart disease
2	Cerebrovascular disease	2	Cerebrovascular disease
3	Lower respiratory infections	3	Chronic obstructive pulmonary disease
4	Chronic obstructive pulmonary disease	4	Lower respiratory infections
5	Diarrhoeal diseases	5	Karayolu trafik yaralanmaları
6	HIV/AIDS	6	Trachea, bronchus, lung cancers
7	Tuberculosis	7	Diabetes mellitus
8	Trachea, bronchus, lung cancers	8	Hypertensive heart disease
9	Karayolu trafik yaralanmaları	9	Stomach cancer
10	Prematurity & low-birth weight	10	HIV/AIDS

Şekil 1. En yüksek 10 ölüm nedeni, 2004 ve 2030

Trafik kazalarından sonra birçok bireyin engelli olarak hayatına devam ettiği bilinmektedir. Hem kazalar sonucunda oluşan engellik hem de kalıtsal olarak kazanılan engellik durumları mevcuttur. Özellikle görme engelli bireylerin toplumsal katılımının sağlanması ve sosyo-kültürel ilişkilerinin geliştirilmesinde uygun fiziksel düzenlemeler önem taşımaktadır. Dünya nüfusun yaklaşık %10’u engelli bireylerden oluşmaktadır [2]. Bu bireylerin aileleri de bu engel durumundan etkilenmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2021 verileri dikkate alındığında dünya üzerinde 1 milyar görme engelli birey bulunmaktadır. Bu bireylerin görme engel durumları farklı kategorilere ayrılmıştır. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığının 2020 yılında sağladığı çalışma neticesinde ülkemizde görme engelli birey sayısının yaklaşık 1 milyon olduğu ifade edilmiştir [3].

Bu özel kişilerin toplumdan kopuk, eve kapanık yaşamaması açısından özellikle çevresel altyapı düzenlemelerinin çok önemli olduğu bilinmektedir. Bu bireylerin ihtiyaçlarına yönelik kentsel mekân düzenlemeleri, yapay zekâ tabanlı teknoloji kullanımı, baston veya rehber köpek kullanımı ile sınırlı görmenin sağlanması toplumsal eşitlik sağlayacaktır. Kentsel altyapı çalışmaları ilk olarak 1965 yılında Japonya’da gerçekleştirilmiştir. Hissedilebilir yüzeyler olarak tasarlanmış ürünler “Tenji blocks” olarak adlandırılmıştır. İlerleyen yıllarda Japonya’nın diğer kentlerinde de kullanımı sağlanmıştır [4]. Bu ürünlerin maliyet yönünden uygun olması görme engelliler için

en verimli altyapı elemanı olarak görülmüştür. Bu altyapı elemanları görme engelli bireyler için uyarıcı ve yönlendirici blok olarak farklı anlamlar ifade etmektedir. Bu elemanların kullanım renkleri çoğunlukla sarı olarak dizayn edilmiş olsa da kırmızı renk olarak da kullanılmaktadır. Ülkemizde 2012 yılında TS İSO 23599 sayılı Görme Özürlü veya Az Görenler İçin Yardımcı Mamuller - Hissedilebilir Yürüme Yüzeyi İşaretleri isimli standart hazırlanmıştır. Bu standardın temel amacı görme engeli bulunan bireylerin hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri yardımı ile istedikleri bölgeye güvenli şekilde ulaşılmasıdır. Ancak ülkemizdeki uygulamada yetersizlik, yanlış uygulama biçimi, gerekli bakım ve onarım süreçlerinin sağlanmaması verimsiz ve güvensiz bir süreç oluşturmaktadır.

Yapılan bu çalışma da gelişen teknoloji ve görme engelli bireylerin hareketlilik isteği de dikkate alınarak nesne algılama tabanlı bir örnek segmentasyon sağlanmıştır. Yürüme yüzeyi işaretlerinin örnek segmentasyon ile algılanarak farklı teknolojiler için altyapı hazırlığı tamamlanmıştır. İki aşamalı çözüm yaklaşımı önerilmiştir. İlk olarak yüzey işaretlerinin görüntü verileri elde edilmiştir. Son olarak en yeni teknoloji algılama modeli olan YOLOv8 ile örnek segmentasyon süreci yürütülmüştür.

## 2. Literatür Taraması

Yürüme yüzeyi işaretleri görme engelli bireylerin topluma bağlanması ve güvenlikleri açısından son derece önemli kentsel altyapı elemanlarıdır. Bu kısımda görme engelli bireyler ve yüzey işaretleri hakkında sağlanan çalışmalar yer almaktadır. Koç [2], görme engelliler için büyük öneme sahip hissedilebilir yüzeylerde olması gereken özellikler ve uygulama alanlarını ele almıştır. Bu kapsamda uluslararası literatür ve TS ISO 23599 standardı incelenmiştir. Dünyadaki ve ülkemizdeki uygulamalar ele alınarak Diyarbakır kentindeki hissedilebilir yüzey kullanımı değerlendirilmiştir [2].

Ibanez ve arkadaşları [5], engelli yayalar ile sürücüsüz araçlar arasındaki etkileşimi kolaylaştıracak, derin öğrenme ve 802.11p kablosuz teknolojisine dayanan bir mimari önermektedir. Yardımcı teknolojinin uygulanması yoluyla engelli yayaların karayolu trafik ekosistemi içerisinde yerinin tespit edilmesi ve engelli kişilerin el hareketlerinin tanımlanmasına yönelik bir dizi işlevsellik tanımlanmıştır. Bu işlevler, engelli yayaların niyetlerini ifade etmelerine olanak tanıyarak karşıdan karşıya geçmek gibi yol ekosistemi içindeki görevlerde güven ve güvenlik seviyelerini artırmaktadır [5].

Bai ve arkadaşları [6], görme engelli kullanıcıları hedefe yönlendirmek ve aynı zamanda engelleri aşmalarına yardımcı olmak için dinamik bir alt hedef seçme stratejisi kullanan yeni bir şema önerdiler. Bu şema, görme engelli



insanların günlük yürüyüşlerinde kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla bir çift giyilebilir optik şeffaf gözlük üzerine yerleştirilen eksiksiz bir navigasyon sisteminin temel bileşeni olarak hizmet etmektedir. Önerilen navigasyon cihazı bir grup kişi üzerinde test edilmiş ve iç mekân navigasyon görevlerinde etkili olduğu kanıtlanmıştır [6].

Cao ve arkadaşları [7], görme engelli yolların ve yaya geçitlerinin tanımlanmasında yüksek doğruluk elde etmenin engelli bireyler için çevredeki ortamı algılamasına yardımcı olabilecek ekipman tasarımı açısından önemli olduğunu vurgulamıştır. Ağın segmentasyon doğruluğunu sağlamak amacıyla farklı açılardan özellik bilgilerini ve bağlam özellik modüllerini çıkarmak için yoğun şekilde bağlı bir atrous uzamsal piramit havuzlama modülü kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, bazı son teknoloji yaklaşımlarla karşılaştırıldığında önerilen yaklaşımın daha iyi veya benzer doğruluk elde ederken segmentasyon hızını büyük ölçüde artırdığını göstermektedir [7].

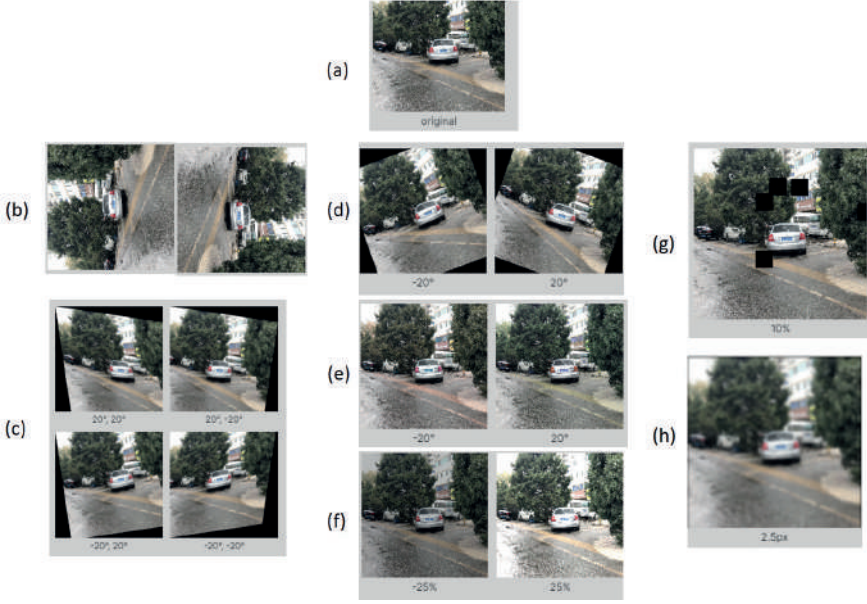
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde görme engelli bireylerin kullanıldığı yürüme yüzeyi işaretleri hakkındaki çalışmaların sayısı oldukça azdır. Son zamanlarda gelişen teknoloji ve otonom araç hedefleri araştırmacıların savunmasız trafik bileşenlerine ilgisini artırmaktadır. Bu çalışma ile literatürde var olan bu boşluğun doldurulması hedeflenmektedir. Bildiğimiz kadarıyla yürüme yüzeyi işaretlerinin örnek segmentasyon ile algılanması ve farklı teknolojiler için altyapı hazırlığı sağlanması ilk defa gerçekleştirilmiştir.

### 3. Ön Hazırlıklar

Engelli bireylerin toplum hareketliliğine katılması için kentsel altyapı elemanlarının eksiksiz olarak sunulması gerekmektedir. Özellikle yürüme yüzeyi işaretleri görme engeline sahip bireyler için hayati öneme sahiptir. Yol gösterici ve uyarıcı anlamı taşıyan bu işaretler standartlara uygun olarak cadde, sokak, metro, sosyal alanlar, kamu kurumları gibi birçok alanda bulunmaktadır. Ancak bazı durumlarda yüzey işaretlerinde kopma ve dağılma oluşmaktadır. Bu durum görme engelli bireyler açısından zorluk ve yön kaybı problemlerine neden olmaktadır. Ayrıca bireylerde korku, panik ve güvensizlik hissiyatı oluşturacağı için toplumdan kopukların başlamasına neden olabilir. Böyle bir oluşumun önüne geçilmesi sorumlu kişilerin yüzey işaretlerini sıkı bir denetimden geçirilmesi ile mümkündür. Ancak denetimin gerçek zamanlı olmadığı dikkate alınırsa yüzey işaretleri bakım ve onarımında aksaklıklar oluşacaktır.

Çalışma kapsamında yüzey işaretlerinin görüntüleri toplanmıştır. Hem internet kaynaklarından hem de yazarların mobil telefon ile topladığı

görüntüler örnek segmentasyon sürecinde değerlendirilmiştir. Örnek segmentasyon işlemi YOLOv8 ile yürütülmüştür. 172 adet yüzey işaret görüntüsüne veri çoğaltma işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan veri çoğaltma işlemleri ile görüntü sayısı 477'ye ulaşmıştır. Şekil 2'de uygulanan veri çoğaltma işlemlerinin örnekleri yer almaktadır.



Şekil 2. Veri çoğaltma teknikleri

(a) orijinal görüntüyü, (b) döndürme, (c) perspektif değişikliği, (d) kısmi döndürme, (e) renk tonu değiştirme, (f) parlaklığı değiştirme, (g) kesme ve (h) bulanıklık işlemlerini ifade eden veri çoğaltma tekniklerini simgelemektedir. Örnek segmentasyonun yapılmasının temel amacı gerçek zamanlı algıyacının sağlanması için gerekli altyapının oluşturulmasıdır. Örnek bir prototipin elde edilmesi durumunda sistemin karşılaştığı bazı zorluklar bulunmaktadır. Bunlar; yüzey işaretlerinde kopukluk, görme engelli bireyin düşmesi, bireyin farklı açılardan yüzey işaretlerini araması, olumsuz hava durumu olarak sıralanabilir. Tüm bunlar da dikkate alınarak farklı açılarda döndürme, kırpma, renk tonu değişimi, keskinlik, bulanıklık ve parça kesimi veri çoğaltma teknikleri veri kümesine uygulanmıştır.

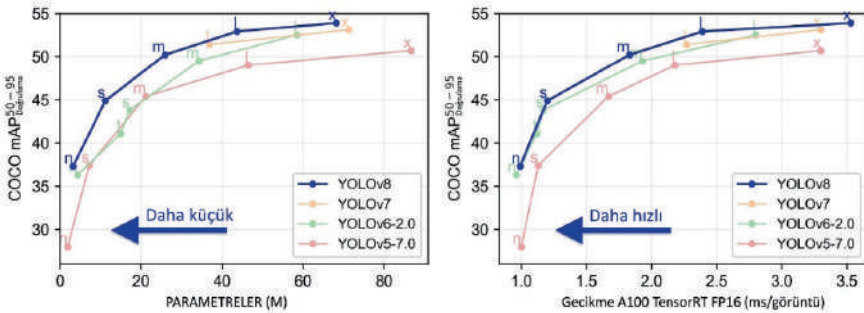
#### 4. Yöntem

Nesne algılama süreci 2012 yılından itibaren hız kazanmıştır [8]. Birçok sektör temsilcisinin sorunlarına çözüm araması ve çözüm önerilerinin derin

öğrenme tabanlı olmasını istemesi bu süreci daha da hızlandırarak günümüze ulaşmasını sağlamıştır. Mevcut durumda birçok araştırmacı nesne algılama algoritmalarını literatüre kazandırmışlardır. Ancak bu algoritmaların birçoğu yüksek doğruluk sunmasına karşın gerçek zamanlı algılamada (>30FPS) yetersiz performans sergilemektedir. Bu durum algoritmaları tek ve çift aşamalı olarak ikiye ayırmıştır. Tek aşamalı olarak isimlendirilen algoritmaların gerçek zamanlı algılama yapma yeteneği bulunmaktadır. Ayrıca doğruluk oranında da oldukça iyi sonuçlar vermektedir [9]. Tüm bu süreçler ve çalışmanın amacı dikkate alındığında son teknoloji nesne algılama modeli olan YOLOv8 çalışma kapsamında kullanılmıştır.

#### 4.1. YOLOv8

Ultralytics tarafından 2022 yılında geliştirilen ve YOLO ailesinin son üyesi olan YOLOv8 sektör temsilcileri ve geliştiriciler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır [10]. YOLOv8, önceki YOLO sürümlerinin başarısını temel alan, performansı ve esnekliği daha da artırmak için yeni özellikler ve iyileştirmeler sunan son teknoloji ürünü bir modeldir. YOLOv8 hızlı, doğru ve kullanımı kolay olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu özelliği araştırmacıların amaçları doğrultusunda çeşitli nesne algılama ve izleme, örnek segmantasyon, görüntü sınıflandırma ve poz tahmin görevleri için mükemmel bir seçim haline getirmektedir. YOLOv8'in diğer bazı YOLO modellerine göre sağladığı üstün performans sağladığı grafiksel gösterim Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. YOLOv8 modelinin diğer YOLO modelleri ile karşılaştırılması

YOLOv8 beş adet farklı varyantlara sahip olmakla birlikte diğer algılama modellerine ait varyant türlerine göre de doğruluk ve çıkarım oranında daha üstün performans sergilemiştir. Çıkarım hızı arttıkça doğruluk oranında da artış olması normal bir süreçtir. Bu durum tek ve çift aşamalı

dedektörler arasındaki temel farkı oluşturmaktadır. Özellikle gerçek zamanlı algılama süreçlerinde tek aşamalı dedektörlerin kullanılmasının temel amacı budur. Hızlı çıkarım süresi ve kabul edilebilir doğruluk oranı gerçek zamanlı algılayıcılar için tercih sebebidir. Örnek segmentasyonu, nesne tespitinden bir adım daha ileri gider ve bir görüntüdeki nesnelerin tek tek tanımlanmasını ve bunların görüntünün geri kalanından segmentasyonunu içerir. Örnek segmentasyon modelinin çıktısı, görüntüdeki her nesnenin ana hatlarını çizen bir dizi maske veya konturun yanı sıra her nesne için sınıf etiketleri ve güven puanlarıdır. Örnek segmentasyonu yalnızca nesnelerin bir görüntüde nerede olduğunu değil aynı zamanda tam şeklinin ne olduğunu da bilmeniz gerektiğinde kullanışlıdır. Bu çalışma kapsamında YOLOv8x-seg varyantı kullanılmıştır. mAPbox ve mAPmask değerlerini diğer varyantlara göre oldukça yüksektir. Yüksek parametre içerdiği için algılama hızı diğer varyantlara göre biraz daha düşüktür.

## 5. Araştırma Bulguları

Görme engelli bireylerin topluma entegrasyonunun önündeki en büyük engellerden birisi olan kentsel altyapı elemanlarından yürüme yüzeyi işaretlerinin örnek segmentasyon işlemi yapılmıştır. Gelişen teknoloji ile kafa üstü, gözlük bağlantılı kamera yardımıyla yürüme yüzeyi işaretlerinin nerede olduğu ve nasıl gidileceği yönlendirilmesi son derece önemlidir. Bu teknolojinin sağlanması için ilk olarak yürüme yüzeyi işaretlerinin örnek segmentasyonu yapılmalıdır. Bu amaçla YOLOv8x-seg varyantı dikkate alınmıştır. Mevcut altyapı olanakları da dikkate alınarak bu çalışmada farklı bölgelerdeki görüntülerinden faydalanılmıştır. Bu veri kümesinde toplam 172 yürüme yüzeyi işaretlerinin görüntüsü bulunmaktadır. İlk olarak Roboflow tool'u ile engelli yolları etiketlenmiştir. Eğitim işlemlerinden önce veri seti %90 eğitim ve %10 doğrulama olarak ayrılmıştır. Eğitim süreci Google Colab Tesla T4 GPU desteği üzerinden sağlanmıştır. Ancak yazarlar bu sistemin gerçekleşmesi durumunda mevcut veri seti ile bazı olumsuzluklar yaşanacağını ön görmüşlerdir. Görme engelli bireyin olası bir düşmesi, hava durumunun kötüleşmesi ve önündeki bazı engellerin yürüme yüzeyi işaretlerini kapatması gibi durumlarda dikkate alınarak veri çoğaltma işlemi yürütülmüştür. Yaşanabilecek olumsuzluklar mümkün olduğunca modelimize tanımlanmıştır. Ham veri ( $n\_veri$ ) ve veri çoğaltma işlemi uygulanmış veri kümesi ( $aug\_veri$ ) üzerinden iki farklı eğitim analizi sağlanmıştır. Tablo 1'de YOLOv8 modeline ait hiper parametreler yer almaktadır.

Tablo 1. YOLOv8 için hiper parametrelerin değerleri

Model	İlk öğrenme oranı	Batch Size	Momentum	Ağırlık Azalması	Epoch
YOLOv8x-seg	0,01	8	0.8	0,0005	30

YOLOv8 algılama modeli ile sağlanan eğitim süreci sonunda elde edilen sonuçlar detaylı olarak Tablo 2'de verilmektedir. Precision, Recall, mAP ve F1 skor değerleri nesne algılama modellerinde değerlendirme kriterleri olarak kullanılmaktadır [11]. Tablodan da anlaşıldığı üzere tüm değerlerde düzenlenmiş aug\_veri kümesi daha iyi performans sergilemiştir.

Tablo 2. Model değerlendirme kriterlerinin analiz sonuçları

Sınıf	Precision				Recall			
	n_veri		aug_veri		n_veri		aug_veri	
disabled-way	Box	Mask	Box	Mask	Box	Mask	Box	Mask
	0,832	1	0,872	0,873	0,709	0,845	1	1
	<b>mAP50</b>				<b>mAP50-95</b>			
	n_veri		aug_veri		n_veri		aug_veri	
	Box	Mask	Box	Mask	Box	Mask	Box	Mask
	0,727	0,925	0,960	0,960	0,543	0,702	0,733	0,751

Değerlendirme kriterlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıda eşitlikleri verilmektedir. Denklemlerdeki ifadeler; TP (Doğru Pozitif), doğru şekilde tespit edilen görme engelli yol oluşumunu, FP (Yanlış Pozitif), görme engelli yol olarak tespit edilen diğer nesnelerin sayısını ve FN (Yanlış Negatif), tespit edilmemiş/gözden kaçan görme engelli yol oluşumunu temsil eder [11].

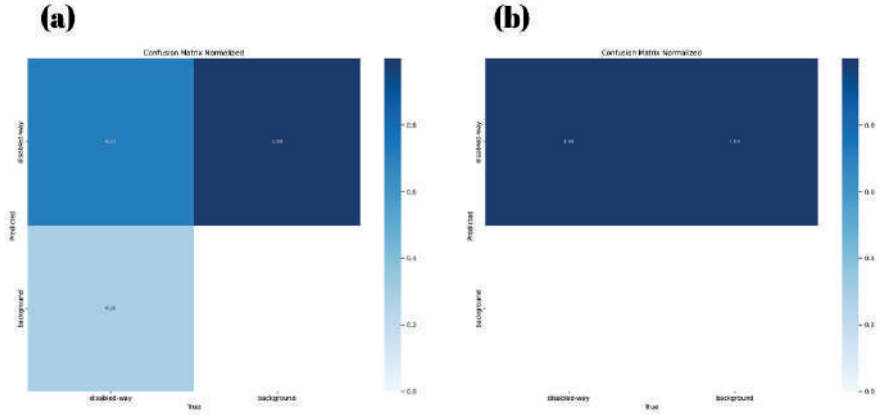
$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$\text{F1 score} = 2x \frac{(\text{Precision} \times \text{Recall})}{(\text{Precision} + \text{Recall})} \quad (3)$$

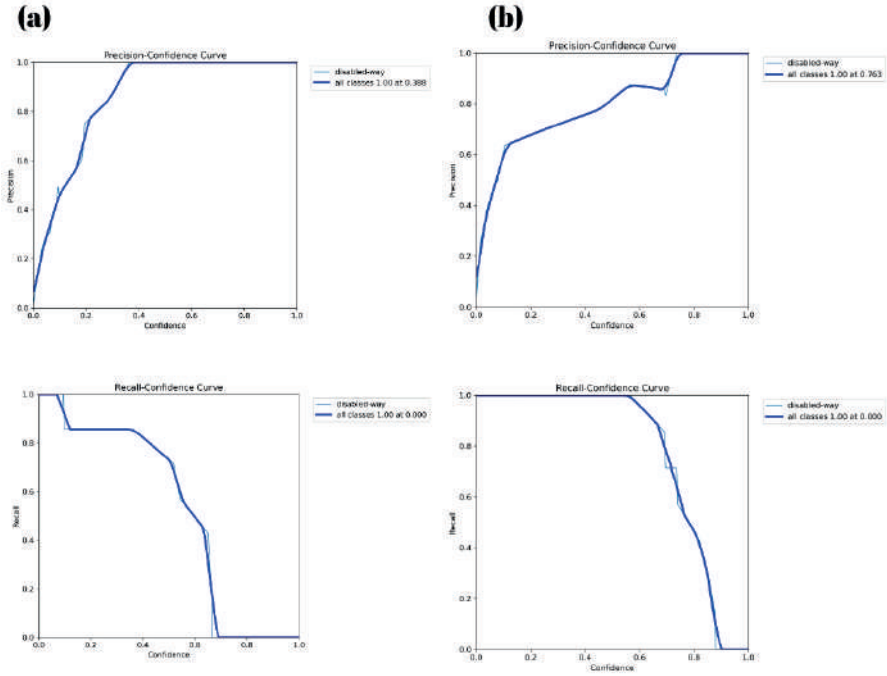
$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n} AP_k \quad (4)$$

Eşitliklerden de görüldüğü üzere TP, FP ve FN oluşumları değerlendirme kriterlerinin temelini oluşturmaktadır. Bu değerler eğitim analizleri sonucunda elde edilen karışıklık matrisinde sunulmaktadır. Şekil 4'de  $n\_veri$  ve  $aug\_veri$  veri kümesine ait karışıklık matrisleri yer almaktadır.  $aug\_veri$  veri kümesine göre yapılan analiz sonuçlarında doğruluk oranının daha yüksek olduğu görülmektedir.

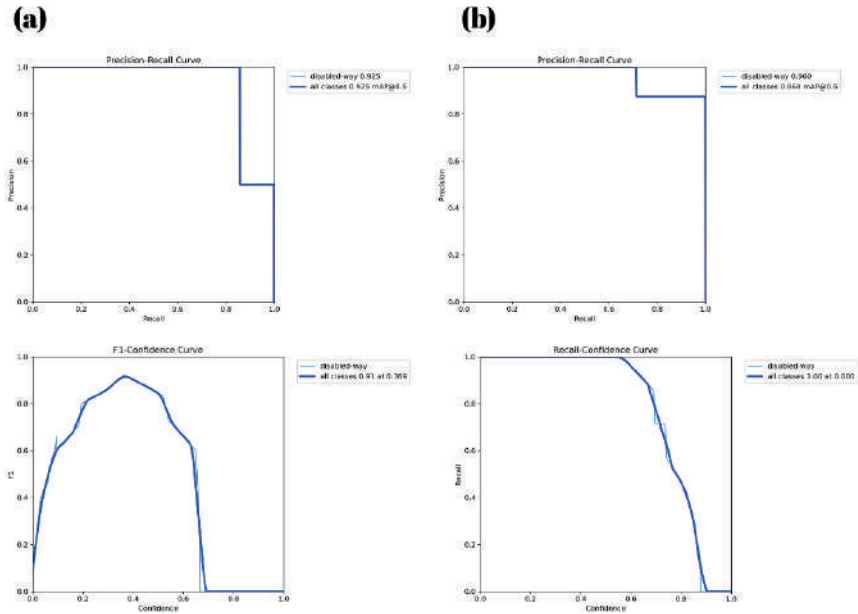


Şekil 4. Karışıklık matrisleri, (a)  $n\_veri$ , (b)  $aug\_veri$

Değerlendirme kriterlerinin grafiksel gösterimleri Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmaktadır. Özellikle Precision ve Recall değerlerin anlamı algılanan nesneye göre değişkenlik göstermektedir. Precision, TP ve FP'ye bağlı iken Recall, TP ve FN'ye bağlıdır. Eğer bir düşman savaş uçağını algılayan sistem inşa ediliyorsa FN oluşumun olması asla istenmez. Yani Recall değerinin kesinlikle 1 değerine ulaşılması istenir. Farklı bir örnekte ise kanserli hücre tespitinde de FP oluşumu istenmez. Ancak görme engelli yolları algılamak ciddi bir süreç gerektirse de hata oluşumları geri dönülemez sonuçlar doğurmamaktadır.



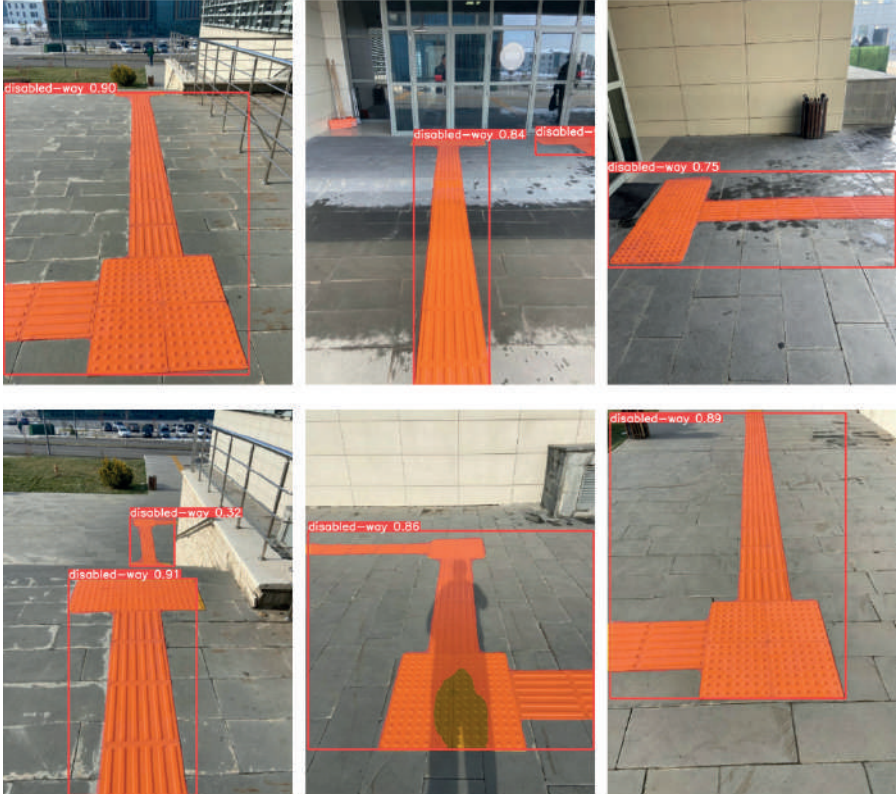
Şekil 5. Precision ve Recall eğrileri, (a) n\_veri, (b) aug\_veri



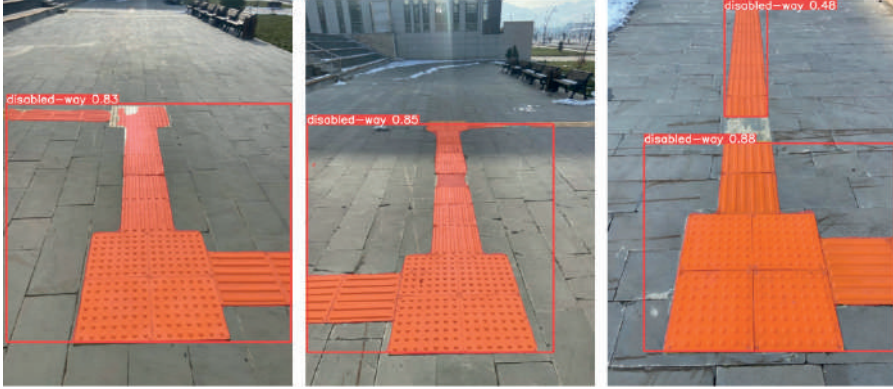
Şekil 6. PR eğrisi ve F1 puanı, (a) n\_veri, (b) aug\_veri

n\_veri ve aug\_veri olarak adlandırılan iki farklı veri kümesi üzerinden yapılan analiz sonuçlarının detayları incelendiğinde veri çoğaltma işleminin başarılı olduğu görülmektedir. Model değerlendirme kriterlerinden F1 puanı literatürde sıklıkla değerlendirme aşamalarında kullanılmaktadır. aug\_veri kümesine ait F1 puanı daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ayrıca diğer değerlendirme kriterleri olan Precision, Recall ve mAP değerlerinde de aug\_veri kümesi daha üstün performans sergilemiştir.

YOLOv8 ile gerçekleşen eğitim işlemlerinden sonra her iki veri kümesi içinde test süreçleri gerçekleştirilmiştir. Farklı bölgelerden elde edilen görme engelli yol görüntülerine ait test işlemleri modelin sağlamlığını ispat etmek için önemlidir. Test işlemlerinde güven değeri 0,25 olarak belirlenmiştir. Bu değer FN ve FP oluşumlarının en düşük olduğu durumdur. Şekil 7'de test sonuçları yer almaktadır.







Şekil 7. YOLOv8x-seg test sonuçları

Test sonuçları incelendiğinde görme engelli yollarının örnek segmantasyonları yüksek güven oranları ile elde edilmiştir. Yürüme yüzeyi işaretlerinde kopma olmasına rağmen o alanının model tarafından ayrı tutulması oldukça önemlidir. Bu durum model de aşırı uyum olmadığını yeterli uyum olduğunu göstermektedir.

## 6. Sonuçlar

Görme engeline sahip bireylerin yürüme yüzeyi işaretlerinin yönlendirmesi ile hayatlarını daha rahat ve güvenli olarak sürdürdüğü bilinmektedir. Ancak bazı durumlarda yüzey işaretlerinde kopma ve dağılma yaşanmaktadır. Bakım ve onarımda yaşanacak gecikme görme engelli bireyler için güvensiz bir ortam oluşturur. Ayrıca gelişen teknoloji ile birlikte kamera ve sensör donanımlarının kafa üstü ve gözlük yanında kullanılması engelli bireye yönlendirme yapılabilir. Bu teknolojinin uygulanmasında örnek segmantasyon anahtar rol oynamaktadır. Bu amaçla çalışma kapsamında görme engelli yolların örnek segmantasyon süreci YOLOv8 ile yürütülmüştür. Bu teknolojinin kullanılması durumunda yaşanacak olumsuzluklar dikkate alınarak farklı veri çoğaltma işlemi yürütülmüştür. Bu durum modelin sağlığını artırmıştır. Test görüntülerinden elde edilen sonuçlar yüksek güven oranıyla segmantasyon çıkarımı yapıldığını göstermektedir.

## Kaynaklar

1. World Health Organization (WHO) *Decade of Action for Road Safety 2011-2020*; 2014.
2. Koç, C. Görme engelliler için hissedilebilir yüzey uygulamaları: Diyarbakır örneği. *Ufku Ötesi Bilim Dergisi* **2021**, *1*, 125–157.
3. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni Available at: <https://www.aile.gov.tr/eyhgm/sayfalar/istatistikler/engelli-ve-yasli-istatistik-bulteni/> (erişim Eki 10, 2023).
4. Lalit, S. Meanings of Tactile Paving: A Blessing for Persons with Visual Impairment Available at: <https://wecapable.com/tactile-paving-tiles-meaning-blind-persons/>.
5. Guerrero-Ibañez, J.; Contreras-Castillo, J.; Amezcua-Valdovinos, I.; Reyes-Muñoz, A. Assistive Self-Driving Car Networks to Provide Safe Road Ecosystems for Disabled Road Users. *Machines* **2023**, *11*, 1–21, doi:10.3390/machines11100967.
6. Bai, J.; Lian, S.; Liu, Z.; Wang, K.; Liu, D. Virtual-Blind-Road Following-Based Wearable Navigation Device for Blind People. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* **2018**, *64*, 136–143, doi:10.1109/TCE.2018.2812498.
7. Cao, Z.; Xu, X.; Hu, B.; Zhou, M. Rapid Detection of Blind Roads and Crosswalks by Using a Lightweight Semantic Segmentation Network. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* **2021**, *22*, 6188–6197, doi:10.1109/TITS.2020.2989129.
8. Krizhevsky, A.; Hinton, G.E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* **2012**, 1–9.
9. Kaya, Ö.; Çodur, M.Y. Modern Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Algılama Modellerinin İncelenmesi. *Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar - II*; Özalp, C., Hürdoğan, E., Ed.; Serüven Yayınevi: İzmir, 2022; s. 249 ISBN 978-625-6399-09-9.
10. Ultralytics YOLOv8 Available at: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (erişim Ocak 12, 2023).
11. Kaya, Ö.; Çodur, M.Y.; Mustafaraj, E. Automatic Detection of Pedestrian Crosswalk with Faster R-CNN and YOLOv7. *Buildings* **2023**, *13*, 1–17, doi:10.3390/buildings13041070.



# Tavuk Sürüsü Optimizasyon Algoritmasıyla Amazon Müşteri Yorumları Üzerinde Duygu Analizi

Nagihan Yağmur<sup>1</sup>

## Özet

İnternet kullanımının artışıyla birlikte çeşitli platformlarda duygusal ve fikrinsel ifadelerin paylaşılmasının önemini vurgulanmakta ve bu bağlamda metin madenciliği ve makine öğrenmesi tekniklerinin duygu analizi üzerindeki etkileri incelenmektedir. İnternet üzerindeki kullanıcı yorumları, ürünler, filmler ve hizmetler hakkında geri bildirim sağlamak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın odak noktası, UCI Machine Learning Repository'den elde edilen 1000 İngilizce Amazon müşteri yorumları üzerinde Tavuk Sürüsü Optimizasyon Algoritması (TSO) kullanarak duygu analizi gerçekleştirmektir. Kelime çantası (Bag of Words) özniteliği ve metasezgisel algoritma kullanılarak yapılan sınıflandırma işlemi, doğrusal ve karesel modellerle gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, önerilen yöntemin her iki model için de yüksek başarı gösterdiğini ve TSO algoritmasının metin madenciliği çalışmalarında etkili bir araç olabileceğini göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda, daha fazla öznitelik kullanımının daha iyi sonuçlara yol açabileceği ve TSO algoritmasının metin madenciliği alanında daha sık kullanılacağı düşünülmektedir.

## 1. Giriş

İnternet kullanımının son yıllarda artması, insanlara duygu ve düşüncelerini farklı platformlarda ifade etme konusunda geniş bir imkan sunmaktadır. İnternet, bilgi keşfi ve erişim konusunda kullanıcılara büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Tatil veya otel rezervasyonu yapmak, bir ürün hakkındaki duygularını diğer potansiyel kullanıcılara iletmek, film izlemeden önce yapılan yorumları okumak gibi faaliyetler öncesinde, insanlar genellikle başkalarının düşüncelerini öğrenmek amacıyla interneti ilk

1 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, nagihan.yagmur@dpu.edu.tr, 0000-0002-6407-4338

başvurdukları kaynak olarak kullanmaktadırlar. İnsanlar, internet aracılığıyla aldıkları hizmetlerle ilgili deneyimlerini paylaşarak, olumlu veya olumsuz düşüncelerini diğerleriyle internet ortamında paylaşma eğilimindedirler. Kullanıcılar tarafından yapılan bu yorumlardan elde edilen faydalı bilgiler, hem tüketiciler hem de üreticiler için büyük önem taşımaktadır. Bir ürün satın almayı düşünen bir kişinin tüm yorumları okuması zaman alıcı bir süreç olduğundan, ürünle ilgili bilgileri çıkarmak için metin madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri önemli bir rol oynamaktadır. Metin madenciliği, yapılandırılmamış metinlerden anlamlı bilgiler çıkarma sürecini ifade eder. Bu bağlamda, müşteri etkileşimlerini kayıt altına almak, kullanıcıların yorum ve görüşlerini incelemek için çeşitli duygu analizi yöntemlerinin geliştirilmesi büyük bir öneme sahiptir. Duygu analizi, bir metnin duygu içerip içermediğini ve içeriyorsa bu duygunun olumlu veya olumsuz olup olmadığını belirleme sürecini ifade eder [1]. Bu veri analizi yöntemi, metindeki kelimeleri ve kelime öbeklerini kullanarak metnin duygusunu çıkarmaya odaklanır. Duygu analizi problemine dair literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Farklı makine öğrenmesi tekniklerinin uygulandığı bir duygu analizi çalışmasında, IMDB platformundan alınan film yorumları olumlu ve olumsuz olarak sınıflandırılmıştır [2]. Başka bir çalışmada ise Türkçe dökümanlardaki sık geçen kelimeler (stop words), 2 ve 3-gram'lar, istatistik ve dilbilgisi nitelikleri kullanılarak özellik vektörleri çıkarılmıştır [3]. Başka bir metin sınıflandırma çalışmasında ise Anadolu Ajansı'ndan alınan 2600 haber verisi ile ekonomi, sağlık, spor ve politika kategorilerindeki makaleler sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada KNN ve naive Bayes sınıflandırma algoritmaları, bit frekansı ve TF-IDF ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada en iyi başarı TF-IDF kelime ağırlıklandırma metodunu kullanan naive Bayes modeli tarafından elde edilmiştir [4]. Twitter platformunda "Torku" kelimesi ile ilgili paylaşımların incelenerek, kullanıcıların duygusal tepkileri TextBlob ve VaderSentiment kütüphaneleri kullanılarak yapılan bir çalışmada etiketlenmiş veri seti üzerinde dört farklı makine öğrenmesi modeli eğitilerek, duygu ağırlıkları belirlenmiştir [5]. Bu modeller daha sonra karşılaştırılarak, "Torku" kelimesiyle ilgili genel görüşleri en iyi şekilde ifade eden model tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu süreç sonucunda, kullanıcıların "Torku" hakkındaki duygusal eğilimleri oranlarıyla birlikte ortaya çıkarılmıştır. Destek vektör makineleri, naive Bayes ve yapay sinir ağları kullanılarak Arapça metin sınıflandırılması yapılan bir çalışmada 1400 Arapça dökümandan veri seti oluşturulmuş ve en yüksek performans yapay sinir ağından elde edilmiştir. Başka bir çalışmada makine öğrenmesi ve kelime dizilimi (lexical sequence) kullanılarak metinlerin polaritesini otomatik bir şekilde ifade eden

algoritmalar geliştirilmiştir [6]. Yapılan başka bir çalışmada [www.hepsiburada.com](http://www.hepsiburada.com) adlı web sitesinden alınan tüketici yorumları üzerinden çalışılmıştır [7]. Yorumların morfolojik analizinin yapılmasından sonra, sözcük türleri ve aldıkları ekler belirlenmiştir. Metinlerden negatif veya pozitif anlamlar taşıyan bilginin çıkarılması için, ürün özelliğini belirten kelimeler ile bunları niteleyen sıfatlar önceden tespit edilmiştir. Yorum cümleleri için cümle dizilişine ve Türkçe dilbilgisi kuralları göre ağaç yapısı oluşturulmuştur. İstenilen özelliklerin tespit edilmesi için oluşturulan bu ağaç yapısı üzerinde, Derinlik Öncelikli Arama (DFS) algoritmasıyla arama yaparak sonuca ulaşan bir yazılım geliştirilmiştir. Bir araştırmada, Twitter kullanıcılarının İyi Tarım, organik tarım ve sürdürülebilir tarım konularındaki duygu ve düşünceleri duygu analizi yöntemi kullanılarak incelenmiştir [8]. Toplam 15,984 tweet, tarımla ilgili üç farklı hashtag grubunda metin madenciliği tekniğiyle değerlendirilmiştir. Duygu analizi sonuçları, kullanıcılar arasında bu tarım teknikleri hakkında anlamlı farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. İyi Tarım uygulamasının Twitter kullanıcıları arasında en popüler ve güvenilir tarım uygulaması olduğu belirlenmiştir. Müşteri yorumlarının polarizasyonunu hedefleyen bir analizin yapıldığı çalışmada Destek Vektör Makineleri, Naive Bayes, Maksimum Entropi, C4.5 ve Yapay Sinir Ağları gibi makine öğrenimi algoritmaları kullanıldığı bir çalışmada ve performansları karşılaştırılmıştır [9]. Başka bir çalışmada ise yapay sinir ağları kullanılarak Bitcoin fiyatları ve sosyal medyadaki beklentilerin analizi gerçekleştirilmiştir [10]. Toplam 2,819,784 tweet kullanılarak sınıflandırma algoritmaları uygulanmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre, Yapay Sinir Ağları'nın metin sınıflandırma konusunda %90'lık bir doğruluk oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Avrupa'daki otellerin incelendiği ve otel yorumlarının sınıflandırıldığı bir çalışmada 12,500 otel yorumu olumlu ve olumsuz kategorilere ayrılmıştır. [11]. Metinler TF-IDF matrisi ile temsil edilmiş ve Rastgele Orman, Naive Bayes, DVM, Karar Ağaçları gibi algoritmalar kullanılarak sınıflandırılmıştır. Amazon'dan alınan ürün yorumları veri seti kullanılarak makine öğrenimi metodlarıyla duygu analizi sınıflandırma performansları analiz edilmiştir başka bir çalışmada 12,500 otel yorumu olumlu ve olumsuz kategorilere ayrılmıştır. [12]. Bu çalışmanın amacı, yorumlarda duygu bulunup bulunmadığını tespit etmek ve duygu içeriyorsa bu duygunun olumlu, olumsuz veya tarafsız olma durumunu belirlemektir.

Bu çalışmada, analizde kullanılan veri kümesi UCI Machine Learning Repository'nin açık erişimde bulunan sitesinden indirilmiş 1000 adet İngilizce Amazon müşteri yorumlarını içermektedir [13]. Alınan yorumlar üzerinde kelime çantası (Bag of Words (BoW)) öznitelikleri ile metasezgisel bir algoritma olan Tavuk Sürüsü Optimizasyon Algoritması (TSO) kullanılarak

doğrusal ve karesel formda modelleme ile sınıflandırma işlemi yapılarak sınıflandırıcıların performansları kıyaslanmıştır. Sonuç olarak önerilen yöntemin her iki model için de başarılı sonuç gösterdiği görülmüştür.

## 2. Yöntem

Metin Önışleme, Öznitelik Çıkarımı, Özellik Seçimi, Veri Madenciliği ve Değerlendirme adımlarından oluşmaktadır [14].

### 2.1. Ön İşlemler

Metinler üzerinde ön işleme yapmak, metin analizi süreçleri için gerekli olan bir adımdır. Metinleri analiz edebilmek ve metinsel verilerin sayısallaştırılmasını kolaylaştırmak için verilerin tutarlı hâle getirilmesi işlemleri ön işleme aşaması olarak adlandırılmaktadır. Metinlerin analizinde veri setinin toplanmasının ardından bir sonraki aşama metin ön işleme aşamasıdır. Bu aşamanın amacı, metni sayısallaştırmak için uygun bir formata getirebilmektir. Aşamalar genel olarak, metnin kelimelere ayrılması, metin içindeki kelimelerin büyük/küçük harf dönüşümlerinin sağlanması, metin içinde gereksiz noktalama işareti veya rakamların temizlenmesidir. Daha sonra metin içinde anlamsız olarak tabir edilen durak kelimelerin (stop words) çıkarılması sağlanarak metnin gereksiz kelimelerden temizlenmesi sağlanmaktadır. Sonraki aşamada kelimelerdeki eklerin (zaman, iyelik vb.) çıkarılarak kök bulma işlemleri yapılmaktadır. Böylece metinler, sayısallaştırılarak, analiz edilmeye uygun formata dönüştürülmüş olur.

Tablo 1’de UCI Machine Learning Repository’den alınan 1000 adet etiketli müşteri yorumlarını içeren veri setinden ilk 10 yorum gösterilmiştir.

*Tablo 1. Veri setinden alınan tüketici yorumları örneği.*

Sıra	Yorumlar	Sonuçlar
1	So there is no way for me to plug it in here in the US unless I go by a converter.	0
2	Good case, Excellent value.	1
3	Great for the jawbone.	1
4	Tied to charger for conversations lasting more than 45 minutes. MAJOR PROBLEMS!!	0
5	The mic is great.	1
6	I have to jiggle the plug to get it to line up right to get decent volume.	0
7	If you have several dozen or several hundred contacts, then imagine the fun of sending each of them one by one.	0
8	If you are Razr owner...you must have this!	1
9	Needless to say, I wasted my money.	0
10	What a waste of money and time!.	0

Metin ön işleme sürecinde, veri seti üzerinde ilk olarak metinler kelimelere ayrılmıştır. Daha sonra cümleler noktalama işaretlerinden temizlenmiştir. Kök indirgeme işlemi yapılarak her bir kelime köklerine indirgenmiştir. En son aşamada da metin içinde bulunan durak kelimeler metinden atılmıştır. Tablo 1’de görülen ilk 10 cümle için ön işleme sonucu Tablo 2’de verilmiştir.

*Tablo 2. Ön işleme sonucu ilk 10 cümle.*

Sıra	Yorumlar						
1	wai	plug	unless	convert			
2	good	case	excel	valu			
3	great	jawbon					
4	charger	convers	last	minut	major	problem	
5	mic	great					
6	jiggly	plug	get	line	right	decent	volum
7	sever	dozen	hundr	contact	imagin	fun	send
8	razr	owner	thi				
9	needless	sai	wast	monei			
10	wast	monei	time				

## 2.2. Öznitelik Çıkarımı

Öznitelik çıkarımı, veri setinden ilgili özniteliklerin seçilerek ilgisiz özniteliklerin veri setinden ayrılmasını içerir. Öznitelik seçiminde amaç, ele alınan veri setini en iyi ifade eden alt kümeyi oluşturmaktır [15], [16]. Yani öznitelik çıkarımı sayesinde, veri setinde ilgili olmayan veriler çıkarılmış olup, veri kümesi sayısı azaltılır. Böylece daha az veriyle algoritmalar daha hızlı çalışır ve elde edilen anlamlı veriler ile modelleme başarısı da artar.

Literatürde bir çok öznitelik seçim yöntemi bulunmaktadır [17]. Fisher Skor, Ki- Kare Testi, BoW, Fasttext, Word2Vec, Terim Sıklığı – Döküman Sıklığı (TF-IDF), Glove, LSA, N-gram bunlardan bazılarıdır. Bu çalışmada öznitelik vektör oluşturmada BoW yöntemi kullanılmıştır. BoW’da metin içerisindeki tüm kelimelerin dökümandaki kullanım sıklığı hesaplanarak bir çantada toplanır [18].



**Tablo 3. Negatif cümlelerdeki 10 kelime için BoW özniteliğinin çıkarımı.**

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kelimeler	wai	plug	unless	convert	charger	convers	last	minut	major	problem
Sayı	5	12	3	1	12	4	11	5	2	15

**Tablo 4. Pozitif cümlelerdeki 10 kelime için BoW özniteliğinin çıkarımı.**

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kelimeler	good	case	excel	value	great	jawbon	mic	razr	owner	thi
Sayı	61	23	28	5	92	3	2	3	1	105

Tablo 4'e göre, "good" kelimesi pozitif cümlelerde 61 kere, Tablo 3'e göre "problem" kelimesi negatif cümlelerde 15 kere geçmiştir.

Tablo 5'te veri setindeki 10 yorum için, her bir yorumun pozitif ve negatif olmak üzere 1x2 boyutunda Bag of Words'ü oluşturulmuştur.

**Tablo 5. Verisetindeki ilk 10 cümle için BoW değerleri.**

Sentences Row	Positive BoW (PBoW)	Negative BoW (NBoW)	Result
1	5	21	0
2	117	26	1
3	95	5	1
4	23	49	0
5	94	7	1
6	30	48	0
7	8	16	0
8	109	99	1
9	6	42	0
10	14	54	0

### 2.3. TSO Yönteminin Duygu Analizi Problemine Uygulanması

Tavukların, horozların ve civcivlerin yiyecek arayışındaki davranışlarını modellemek amacıyla geliştirilen doğa tabanlı bir algoritma olan TSO, 2014 yılında Xianbing Meng, Yu Liu, Xiaozhi Gao ve Hengzhen Zhang tarafından literatüre kazandırılmıştır [19], [20]. Bu algoritma, tavukları sürü halindeki doğal davranışlarına dayanarak kategorize eden bir modeli temsil etmektedir.

HSO algoritması, sürüde horozlar, tavuklar ve civcivlerden oluşan gruplara dayanmaktadır [19], [20]. Horozlar, en yüksek uygunluk değerine sahip bireyler olarak belirlenir ve aynı zamanda sürüde lider olarak hareket ederler. Civcivler ise sürüdeki en düşük uygunluğa sahip bireyler olarak tanımlanır. Geriye kalan bireyler ise tavuk olarak adlandırılır. Her alt gruptaki tavuklar, yiyecek arayışında lider konumundaki horozları takip ederler. Arada sırada, diğer tavuklardan yiyecek çalma durumları da yaşanabilir. Civcivlerin, diğer bireyler tarafından bulunan yiyecekleri rastgele çalabileceği ve her civcivin yiyecek arama sırasında annesini takip ettiği varsayılır. Sürü içindeki hiyerarşik düzen, rastgele seçilen tavuklara, rastgele seçilen civcivlerin annesi rolü verilerek korunur [19], [20].

Pozisyon değiştirme işlemleri, yiyecek arama sürecinde önemli bir rol oynar. Bu işlemler, horozlar, tavuklar ve civcivler için farklı şekillerde gerçekleştirilir. TSO algoritmasının hiyerarşik yapısı, Şekil 2’de gösterilmiştir.

Algoritmada kullanılan denklem 2, denklem 1’e bağlı olarak horozların konum değiştirme formülünü ifade etmektedir. Bu formül, horozların en iyi uygunluk değerlerine dayanarak yiyeceğe ulaşma stratejilerini belirler. Horozlar, en yüksek uygunluk değerlerine sahip oldukları için, yiyeceğe ulaşma konusunda öncelikli konumlandırılırlar ve bu durum daha geniş bir alanı kapsamalarını sağlar [21].

$$\sigma = \begin{cases} 1, & \text{if } pfit_i \leq pfit_k, \\ \exp\left(\frac{pfit_k - pfit_i}{|pfit_i| + \epsilon}\right), & \text{otherwise} \end{cases} \quad k \in [1, N], k \neq i \quad [19], [21] \quad (1)$$

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t * (1 + \text{Randn}(0, \sigma)) \quad [19], [21] \quad (2)$$

Denklemden,  $x_{i,j}^t$ , sembolü,  $i$ . üyenin  $t$  zamanındaki konum bilgisini temsil eder. Horoz grubundan rastgele seçilmiş bir horoz,  $k$  ile gösterilir ve uygunluk değeri  $pfit$ ’e sifıra bölme probleminden kaçınmak amacıyla sabit bir değer ( $\epsilon$ ) ile düzeltilir [19], [21].  $r1$  ve  $r2$  ise sürüden seçilen rastgele bir tavuğu veya horozu temsil eder.

$$S_1 = \exp\left(\frac{pfit_i - pfit_{r1}}{\text{abs}(pfit_i + \epsilon)}\right) \quad [19], [21] \quad (3)$$

$$S_2 = \exp(pfit_{r2} - pfit_i) \quad [19], [21] \quad (4)$$

$S_2$ , iki tavuğun uygunluk değerleri arasındaki farkı ifade eden bir ölçüdür; yani, tavukların konumları arasındaki mesafenin büyük olduğunu belirtir. Bu durum, tavukların diğer tavuklardan kolayca yiyecek çalamayacakları

anlamına gelir.  $S_2$ 'nin küçük olması, sürü içindeki bireyler arasındaki uzaklığın arttığını ve rekabetin azaldığını gösterir.  $S_1$  formülü,  $S_2$ 'den farklı bir ölçüdür çünkü grup içinde rekabet söz konusudur. Eğer  $S_2$ 'nin değeri 0 ise, bu durum tavuğun kendi bölgesinde horozu takip ettiği anlamına gelir, yani yiyecek arama stratejisinin daha bağımsız olduğu bir durumu ifade eder. Tavukların hareketi, Denklem 5'te belirtilen bir formül ile ifade edilir.

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t + S_1 * rand(x_{r1,j}^t - x_{i,j}^t) + S_2 * rand(x_{r2,j}^t - x_{i,j}^t) \quad [19], [21] \quad (5)$$

Bu formül, tavukların mevcut konumlarına ve sürü lideri olan horozun konumuna dayanarak, yiyecek arama sırasında izledikleri yolun matematiksel bir ifadesini sunar.

Yiyecek arama sürecindeki civcivlerin konumlandırılması, algoritmada Denklem 6 ile belirtilmiştir. Bu denklem, civcivlerin anneleri etrafında nasıl hareket edeceklerini ve yiyecek arama stratejilerini ifade eder.  $FL$  sembolü ise bir civcivin annesini ne kadar hızlı takip edeceğini gösteren temsili bir parametreyi temsil eder [21].

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t + FL * (x_{mother,j}^t - x_{i,j}^t) \quad [19], [21] \quad (6)$$

Veriler, Model-1TSO doğrusal formu ve Model-2TSO karesel formu iki farklı formda modellenmiş ve test edilmiştir. Bu modellerin her biri, duygu analizi veri setini sınıflandırma konusundaki performanslarını belirlemek amacıyla çeşitli formüllerle ifade edilmiştir.

*Tablo 6. TSO'nun uygulandığı modeller.*

TSO uygulanan Model İsmi	Model Tipi
Model-1TSO	Çoklu Lineer Form
Model-2TSO	Çoklu Karesel Form

Tablo 6'da gösterildiği gibi, Model-1TSO doğrusal formu ve Model-2TSO karesel formu her birinin kendi içerisinde benzersiz bir matematiksel ifade ve modelleme şekline sahiptir. Bu modeller, TSO algoritmasının kullanıcı yorumlarını sınıflandırmak için farklı matematiksel formülleri nasıl kullandığını ve bu formüllerin hangi durumlarda daha etkili olduğunu anlamak amacıyla oluşturulmuştur.

Elde edilen negatif ve pozitif BoW öznitelikleri Denklem 7'de sunulmuştur.

$$Q = [Q_1, Q_2] \quad (7)$$

Denklem 7'ye göre, özellik vektörünün 1. sütunu ( $Q_1$ ) pozitif BoW sayısını verirken, 2. sütun ( $Q_2$ ) negatif Bow sayısını vermektedir.

Denklem 8'de, özniteliklerin kombinasyonu cinsinden uygulanan çoklu doğrusal regresyon modelinin denklemi sunulmaktadır. Bu denklem, duygu analizinde sınıflandırma probleminde kullanılan özellik vektörünün veri seti değişkenleriyle olan kombinasyonunu ifade eder. Bu bağlamda, NBoW ve PBoW değişkenleri, çoklu doğrusal regresyon modelinde yer alır problemi sınıflandırmak için kullanılan katsayılarla ilişkilendirilir.

$$y = Q_0 + Q_1 \text{PBoW} + Q_2 \text{NBoW} = Q_0 + \sum_{i=1}^k Q_i x_i \quad (8)$$

Duygu analizi değişkenlerinin kombinasyonu cinsinden uygulanan çoklu ikinci dereceden regresyon modelinin denklemi, denklem 9'da ifade edilmiştir.

$$y = Q_0 + Q_1 \text{PBoW} + Q_2 \text{NBoW} + Q_3 \text{PBoW}^2 + Q_4 \cdot \text{PBoW} \cdot \text{NBoW} + Q_5 \cdot \text{NBoW}^2 \quad (9)$$

Eşitlik 8 ve 9'daki değerler sırasıyla  $0 \leq i \leq 2$  ve  $0 < i < 5$ 'tir. Bu parametreler, Eşitlik 8 ve 9 için belirlenecek olan değerlerdir ve bunlar TSO kullanılarak belirlenecektir.

$$J(Q) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y - X_i Q^T)^2 \quad (10)$$

Denklem 10'da  $X$ , girdi kümesini yani kullanıcı yorumlarını,  $X_i$  ise  $i$ . cümle kaydındaki kayıtları temsil eder, cümle sayısı  $N$ ,  $Y$  ise etiket değerlerini ifade eden çoklu doğrusal formdaki maliyet fonksiyonu örnek olarak verilmiştir.

Bu araştırma, veri madenciliği parametre optimizasyonunu ele alarak TSO algoritmasını kullanarak model parametrelerini ( $Q$ ) tahmin etmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın temel odak noktası, duygu analizi ile tüketici yorumlarının sınıflandırması yaparak veriyi analiz etmektir.

Bu bağlamda, Tablo 7'de aşamaları verilen TSO algoritması kullanılarak elde edilen model parametreleri, tüketici yorumlarının sınıflandırılmasındaki etkinliği değerlendirmek amacıyla optimize edilmeye çalışılacaktır.

*Tablo 7. Model-ITSO için TSO algoritmasının aşamaları.*

Adım 1	Veri kümesi tanıtılır ve xtrain, ytrain, xtest ve ytest olarak ayrılmıştır.
Adım 2	Popülasyon büyüklüğü ( $N$ ), maksimum iterasyon sayısı ( $T$ ) tanımlanmıştır. (Çalışmada $N=50$ ve $T=100$ alınmıştır.)
Adım 3	Popülasyon büyüklüğü kadar bir $Q$ matrisi üretilir. ( $-5 < Q_0 < 5$ ve $-3 < Q_1, Q_2 \dots Q_N < 3$ )
Adım 4	Amaç fonksiyonu Denklem 11 dikkate alınarak hesaplanır $J = \frac{1}{2} (Q_0 + \sum_{i=1}^k y_i - Q_i x_i)^2 \quad (11)$
Adım 5	En düşük hata değerine sahip amaç fonksiyonuna ait $Q$ matrisi bulunur ve saklanır.
Adım 6	Tavukların uygunluk değerleri sıralanarak hiyerarşik bir düzen kurulur. Sürü daha sonra birçok gruba ayrılacaktır.
Adım 7	$i$ 'nin değerine bağlı olarak a) Horozlar için çözüm kümesi denklem 2 kullanılarak güncellenir. b) Tavuklar için çözüm kümesi denklem 5 kullanılarak güncellenir. c) Yavru tavukların çözüm kümesi denklem 6 kullanılarak güncellenir.
Adım 8	Elde edilen sonuç saklanan sonuçtan daha üstünse, güncellenecektir.
Adım 9	Çift yer değiştirme mutasyonu uygulanacaktır.
Adım 10	Popülasyon optimize edilecektir.
Adım 11	Yineleme tamamlanana kadar 5. adıma geri dönün.

Tablo 8 ve Tablo 9'da gösterilen katsayılar, TSO algoritmasının doğrusal ve karesel modellere uygulanması sonucunda elde edilmiştir.

*Tablo 8. Model-ITSO ile bulunan parametre ağırlıkları.*

Parameter	Ağırlık
$1(Q_0)$	0.499
<b>PBoW</b> ( $Q_1$ )	1.699
<b>NBoW</b> ( $Q_2$ )	-1.313

Tablo 9. Model-2TSO ile bulunan parametre ağırlıkları.

Parametre	Ağırlık
1	-3.308
<b>PBoW</b>	0.530
<b>NBoW</b>	-0.286
<b>PBoW<sup>2</sup></b>	2.483
<b>PBoW x NBoW</b>	1.663
<b>NBoW<sup>2</sup></b>	-0.212

### 3. Deneysel Çalışma

Çalışma kapsamında 1000 adet veri seti %80 eğitim ve geri kalanı test verisi olarak ayrılmış ve 2 farklı deney gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1 Veri Seti

Çalışma kapsamında analiz edilen veri, UCI Machine Learning Repository'nin açık erişimde bulunan sitesinden indirilmiş 1000 adet İngilizce <https://www.amazon.com/> sitesinden alınan etiketli müşteri yorumlarını içermektedir. 500 olumlu, 500 olumsuz olmak üzere toplamda 1000 adet yorum ele alınmıştır. Bu yorumlar etiketli olup, olumlu ve olumsuz yorum şeklide 2 kategoridedir. Veri setinin %80'i tanesi eğitim seti, %20'si test seti olarak ayrılmıştır.

Bu çalışmada TSO algoritması kullanılarak Bag of Words özneliğiyle 2 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerle İngilizce tüketici yorumlarını içeren ve <https://www.amazon.com/> 'dan alınan veri seti üzerinde duygu analizi ile sınıflandırma amaçlanmıştır. Sınıflandırıcıların performansını kıyaslamak için ROC analizi ölçütünden yararlanılmıştır. ROC analizinin amacı, çeşitli metodlar ile elde edilen sonuçların performansını karşılaştırabilmek için, sonuçların duyarlılık, özgüllük ve doğruluk olarak değerlendirilebilmesini sağlayan bir metottur [22]. Analizde kullanılan ROC parametreleri TP, TN, FP ve FN'dir. TP (Doğru Pozitif); olumlu olarak sınıflandırılmış bir yorumun, analiz sonucunda olumlu olarak tespit edilmesiyken, TN (Doğru Negatif); olumsuz olarak sınıflandırılmış bir yorumun, analiz sonucunda olumsuz olarak tespit edilmesidir. FP (Yanlış Pozitif); olumlu olarak tespit edilen bir yorumun analiz sonucu test sonuçlarının olumsuz olarak tespit edilmesiyken, FN (Yanlış Negatif);

olumsuz olarak tespit edilen yorumun analiz sonucu test sonuçlarının yanlış olarak yani olumlu olarak tespit edilmesidir.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (12)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (13)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (14)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (15)$$

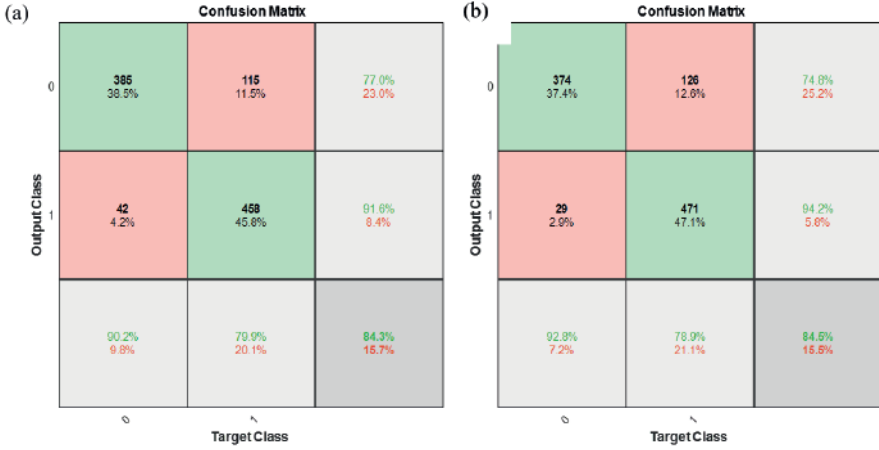
$$F1 - Score = 2 \frac{TP}{(2TP + FP + FN)} \quad (16)$$

Denklem 11-15 ROC analizi parametrelerinin formülasyonları verilmiştir. Bu parametreler incelendiğinde Accuracy parametresi, genel doğruluğu ifade ederek, sınıflandırılan yorumlardan yüzde kaçının önerilen yöntemle doğru sınıflandırıldığı bilgisidir. Sensitivity, gerçekte olumlu olarak etiketlenmiş yorumların yüzde kaçının önerilen yöntemle olumlu sınıflandırıldığı bilgisidir. Specificity parametresi, gerçekte olumsuz olarak etiketlenmiş yorumların yüzde kaçının önerilen yöntemle olumsuz sınıflandırıldığı bilgisidir. Precision, tüm olumlu etiketlenmiş yorumlardan kaçının doğru tahmin edildiği bilgisidir. F1-Score, Precision ve Sensitivity değerlerini harmonik ortalamasıdır. Yapılan deneylerde Sensitivity, Specificity, Precision, Accuracy, F1-Score değerleri bulunarak Tablo 10'da listelenmiştir.

*Tablo 10. ROC performans analizleri.*

Model Name	Accuracy	Precision	Recall	Specificity	F1-Score
Model-1TSO	0.843	0.799	0.916	0.770	0.854
Model-2TSO	0.845	0.928	0.748	0.942	0.828

2 farklı model için elde edilen konfüzyon matrisleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen modeller için konfüzyon matrisleri; (a) Model-ITSO için konfüzyon matrisi, (b) Model-2TSO için konfüzyon matrisi.

Şekil 1 (a)'daki karışıklık matrisi değerlendirildiğinde Model-ITSO ile veri setinde toplamda 157 tüketici yorumunun doğru sınıflandırılmadığı görülmüştür. Şekil 1(b)'deki karışıklık matrisi değerlendirildiğinde Model-2TSO ile toplamda 155 tüketici yorumunun doğru sınıflandırılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada, tüketici yorumlarına ait bir veriseti üzerinde BoW öznitelikleri çıkarılarak öznitelikler arasındaki ilişkiyi daha etkili bir şekilde modelleyebilmek amacıyla doğrusal ve karesel senaryolarda çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde, TSO metodu, her iki senaryo üzerinde kullanılan farklı modellerle detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan araştırmada, her iki modelin de sınıflandırma başarısının yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, parametreler arasındaki ilişkinin tüketici yorumlarının sınıflandırılarak duygu analizi yapma problemine katkısının önemli olduğunu göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında UCI Machine Learning veri tabanından alınan <https://www.amazon.com/> deki 1000 adet İngilizce müşteri yorumlarını içeren veri seti üzerinde duygu analizi gerçekleştirilmiştir. Ele alınan tüketici yorumlarının %80'i eğitim geri kalan %20'si eğitim setine ayrılarak metasezgisel bir algoritma olan Tavuk Sürü Optimizasyon Algoritması kullanılarak çoklu doğrusal form ve karesel formda modelleme ile sınıflandırma işlemi yapılarak BoW özniteliğiyle sınıflandırıcıların performansları test



edilmiştir. Testler sonucunda TSO algoritmasının uygulandığı iki modelin de yüksek başarı gösterdiği görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda, TSO algoritmasıyla daha iyi performansta modelleme ve sınıflandırma yapabilmek için daha çok öznelik kullanılmasıyla daha iyi sonuçların alınacağı ve TSO algoritmasının metin madenciliği çalışmalarında sıklıkla kullanılacağı düşünülmektedir.

## REFERANSLAR

1. Liu B., Sentiment Analysis and Subjectivity, in *Handbook of Natural Language Processing*, 2010. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:13908471>
2. Pang B., Lee L., Vaithyanathan S., Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques, arXiv preprint cs/0205070, 2002.
3. Amasyalı M.E., Diri B., Automatic Turkish text categorization in terms of author, genre and gender, in *International Conference on Application of Natural Language to Information Systems*, Springer, 2006, 221–226.
4. Pilavcılar İ.F., Metin madenciliği ile metin sınıflandırma, 2007.
5. Bahar M.A., Twitter verileri ile makine öğrenmesi kullanılarak duygu analizi: Torku örneği , Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2023.
6. Pajupuu H., Altrov R., Pajupuu J., Identifying polarity in different text types, *Folklore: Electronic Journal of Folklore*, 64, 125–142, 2016.
7. Ergün K., Metin madenciliği yöntemleri ile ürün yorumlarının otomatik değerlendirilmesi, Doktora, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2012.
8. TEMİZHAN E., M.M., Tarım hakkında atılan tweetlerin duygu analizi değerlendirmesi, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27 (3), 352–361, 2023.
9. Zubrinic K., Sjekavica T., Milicevic M., Obradovic I., A Comparison of Machine Learning Algorithms in Opinion Polarity Classification of Customer Reviews, *International Journal of Computers*, 3, 2018.
10. ÇILGIN C., Ceyda Ü., ALICI S., AKKOL E., GÖKŞEN Y., Metin Sınıflandırmada Yapay Sinir Ağları ile Bitcoin Fiyatları ve Sosyal Medyadaki Beklentilerin Analizi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4 (1), 106–126, 2020.
11. Campos D., Silva R.R., Bernardino J., Text Mining in Hotel Reviews: Impact of Words Restriction in Text Classification., in *KDIR*, 2019, 442–449.
12. Göçgün Ö.F., Aytuğ O., Amazon ürün değerlendirmeleri üzerinde derin öğrenme/makine öğrenmesi tabanlı duygu analizi yapılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 445–448, 2021.
13. Kotzias D., Denil M., De Freitas N., Smyth P., From group to individual labels using deep features, in *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*, 2015, 597–606.
14. Zohar Y.E., Introduction to text mining, University of Illinois, 2002.

15. Forman G., An extensive empirical study of feature selection metrics for text classification., J. Mach. Learn. Res., 3 (Mar), 1289–1305, 2003.
16. Budak H., Özellik seçim yöntemleri ve yeni bir yaklaşım, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22, 21–31, 2018.
17. Onan A., Korukoğlu S., Metin sınıflandırmada öznelik seçim yöntemlerinin değerlendirilmesi, Akademik Bilişim, 2016.
18. Aksu M.Ç., Karaman E., FastText ve Kelime Çantası Kelime Temsil Yöntemlerinin Turistik Mekanlar İçin Yapılan Türkçe İncelemeler Kullanılarak Karşılaştırılması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (20), 311–320, 2020.
19. Meng X., Liu Y., Gao X., Zhang H., *A new bio-inspired algorithm: chicken swarm optimization*. Springer, 86–94.
20. Verma S., Sahu S.P., Sahu T.P., MCSO: Levy's Flight Guided Modified Chicken Swarm Optimization, IETE Journal of Research, 1–15, 2023.
21. Gullu M., Author Identification Based On The Ensemble Learning Approach Supported By Ooptimiazation – Based Feature Selection Methods.
22. Obuchowski N.A., ROC analysis, American Journal of Roentgenology, 184 (2), 364–372, 2005.

## Üç Fazlı Fotovoltaik Eviricinin P&O ve DQ Tabanlı Kontrol Yöntemi Kullanılarak Kontrolü

Yasemin Onal<sup>1</sup>

### Özet

Gün geçtikçe dünyadaki insan nüfusu arttıkça kullanılan elektrik enerjisi de artış göstermektedir. Günümüzde temiz enerji kullanımını hedefleyen birçok ülkede ve üniversite kampüsünde fotovoltaik (FV) sistemler kullanılarak yüksek oranda enerji tasarrufu yapılmakta ve çevreye zarar veren gaz emisyonu azaltılmaktadır. Son çeyrek asırda ilk yatırım masraflarında sağlanan düşüişlere paralel olarak, FV sistemlerin hızla artan bir kullanımı söz konusudur. FV sistemler üniversite aydınlatması, üç fazlı eviriciler, sulama sistemleri, çiftlik evleri, şebekeden uzak binalar, uzay araçları, askeri uygulamalar gibi birçok alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat sistem tasarımları, teknolojideki gelişmeler ve çevresel faktörler ile beraber üretilen elektrik enerjisinde harmonik, gerilim çökmesi, gerilim yükselmesi gibi güç kalitesi bozulmaları oluşmaktadır. Oluşan bozulmalar FV güç sistemi çıkışındaki güçte kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada, FV evirici sisteminden maksimum güç elde edebilmek, elde edilen gerilim ve akımdaki bozulmaları azaltabilmek ve FV sistemden elde edilen gücü AC şebekeye aktarabilmek için Değişir & Gözle (P&O) MPPT algoritması ve DQ algoritmasından oluşan akım kontrol yöntemi önerilmiştir. Şebekeye bağlı eviricilerde kullanılan referans akım sinyali, P&O algoritması kullanılarak elde edilmekte ve güç sisteminde kullanılan aktif anahtarların PWM sinyalleri senkron DQ algoritması kullanılarak üretilmektedir. Böylece eviricide elde edilen güç önerilen yöntem tarafından kontrol edilmektedir. Önerilen yöntemin MPP izleme başarısı, P&O algoritması ve DQ algoritmasının birleştirilmesi ile geliştirilmiştir. MATLAB/Simulink programı kullanılarak değişken ışınımlı FV beslemeli üç fazlı şebeke bağlantılı bir eviricinin simulasyon çalışması yapılmış ve yöntemin doğruluğu, simüle edilen sistemde güç verimliliği ve harmonikler analizi yapılarak test edilmiştir. Önerilen akım kontrol yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlardan şebeke akımındaki toplam harmonik bozulma değerinin 2.74% olduğu görülmektedir. Bu değer harmonik standartlarda yer alan değer aralığında bulunmaktadır.

1 Doç. Dr. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gülümbe Kampüsü, Bilecik, Türkiye, yasemin.onal@bilecik.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-0173-0948

## 1. Giriş

Fosil kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin çevresel etkilerini azaltmak amacıyla dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynakları ve yeni teknolojik sistemlerin kullanımı artmaktadır. Bu kapsamda güneş enerjisi sistemlerinin kurulum maliyetlerindeki azalma, fotovoltaik (FV) panel sistemlerinin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Østergaard ve ark., 2022; Sabo ve ark., 2022). Türkiye, bu küresel eğilime paralel olarak güneş enerjisi sistemlerinin benimsenmesinde önemli bir artış yaşamaktadır. Ülke genelinde büyük ölçekli güneş enerjisi tesisleri bulunmasa da, Mayıs 2019'a kadar kurulan sistemlerin toplam kapasitesi 53746 MW seviyesine ulaşmıştır (Akçay, 2020).

Son yıllarda, güneş enerjisiyle elektrik üretimi alanında araştırmalar hızla gelişmekte ve özellikle Fotovoltaik (FV) enerji sistemleri üzerine yapılan tasarım ve kontrol çalışmaları artmaktadır (Zhang ve ark., 2022; Al-Shahri ve ark., 2022). FV enerji sistemleri, doğrusal olmayan yapılarıyla bilinirler. Bu sistemlerde, tek tip güneş ışığı altında belirli bir akım-gerilim karakteristiği ve buna bağlı olarak güç-gerilim karakteristiğinde tek bir maksimum güç noktası (MGN) bulunmaktadır. Ayrıca, bu MGN'nin konumu güneş ışınımı ve sıcaklık seviyelerine bağlı olarak değişmektedir. Kaynaklar ile yük arasındaki güç farklılıkları, FV sistemlerinden elde edilebilecek maksimum gücü kısıtlamakta ve önemli güç kayıplarına sebep olmaktadır. MGN takibi (MGNİ), FV sistemlerinden maksimum güç almak için yapılan optimizasyon çalışmalarını ifade etmektedir (Boghdady ve Mohamed, 2023).

Literatürde, FV evirici sistemlerden maksimum gücü elde etmek için birçok MGNİ algoritması bulunmaktadır. Bu geleneksel yöntemler arasında Değiştir & Gözle (P&O) (Ahmad ve ark., 2019; Saravanan ve Babu, 2016), tepe tırmanma (HC) (Bendib ve ark., 2015; Danandeh ve ark., 2018), artımlı iletkenlik (IC) (Kjaer, 2012), artımlı direnç (IR) (Podder ve ark., 2019) ve bulanık mantık (FL) (Rezk ve ark., 2017) algoritmaları bulunmaktadır. Bu algoritmalar genellikle hesaplanan yeni çıkış gücünü önceki panel çıkış gücü ile karşılaştırarak bir referans sinyali üretmektedir. Ancak, tek tip güneş ışınımı altında olan FV sistemler için uygun olup, değişken koşullarda verimli çalışmazlar.

FV sistemlerinden maksimum güç çıkışını artırmak ve evirici sistemin verimliliğini artırmak için meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları, yapay sinir ağları (ANN) ve bulanık mantık denetleyici (FLC) gibi akıllı algoritmalar kullanılmaktadır (Rezk ve ark., 2017; Ali ve ark., 2021; Zafar ve ark., 2021; Daraban ve ark., 2014; Radjai ve ark., 2014). Ancak, bu algoritmaların etkin kullanımı için FV enerji sistemine dair detaylı bilgiye

sahip olmak ve ışınlım, sıcaklık, açık devre gerilimi, kısa devre akımı gibi panelin çeşitli parametrelerini online olarak ölçmek gerekmektedir. Ayrıca, FLC tabanlı algoritmalar için ilgili parametrelerin belirlenmesi uzman bilgisini gerektirmektedir (Radjai ve ark., 2014).

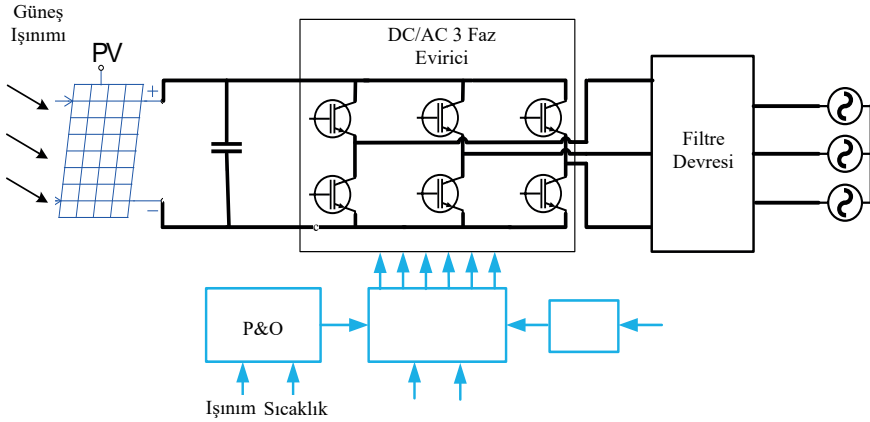
Bu zorlukları aşmak için, uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) gibi yapay sinir ağları ve bulanık mantık birleşimi gibi hibrit yöntemler geliştirilmiştir (Guerra, ve ark., 2022; İbrahim ve ark., 2022). Bu sistemler, ANN'nin paralel hesaplama ve öğrenme yeteneklerini, bulanık mantığın çıkarım özellikleriyle birleştirilerek daha etkili bir şekilde kullanabilmektedir.

Diğer yandan, şebekeye bağlı FV eviricilerin şebekeye bağlanmasında en büyük sorunlardan biri eviricilerden kaynaklanan harmoniklerdir. Bu çalışmada, harmonikleri azaltmak ve PWM sinyalleri üretmek için MGNİ tabanlı bir kontrol yöntemi önerilmiştir. Tek aşamalı FV enerji sistemi kullanarak, sistemin toplam maliyetini artıran iki aşamalı sistemler yerine daha ekonomik bir çözüm önerilmiştir (Kumar ve Singh, 2017; Sahoo ve ark., 2018).

Tasarlanan sistemde, bir FV panel sistemi ve MGNİ tabanlı DQ yöntemiyle kontrol edilen üç fazlı bir evirici bulunmaktadır. Evirici için P&O MGNİ algoritması tarafından bir referans akım sinyali üretilmektedir. Elde edilen bu referans akım sinyali, DQ kontrol yöntemiyle anahtarlama sinyallerine dönüştürülür ve 50 kW'lık üç fazlı eviriciden 380V 50Hz AC gerilimi elde etmek mümkün olur. Önerilen DQ kontrol yöntemi, şebeke akımındaki Total Harmonik Distorsiyon (THD) değerini %2.74 seviyesine düşürerek, MGN takibini sürdürürken FV panelden ve eviriciden elde edilen gücü artırmakta ve harmonikleri azaltmaktadır. Güç ve kontrol sistemi MATLAB Simulink üzerinde modellenmiş ve harmonik etkileri simulasyonlar aracılığıyla değerlendirilmiştir.

## 2. P&O ve DQ Kontrol Yöntemi

Şekil 2.1'de gösterilen sistem modeli, şebekeye bağlı olan 50 kW'lık tek aşamalı üç fazlı bir FV eviricinin yapısını içermektedir.

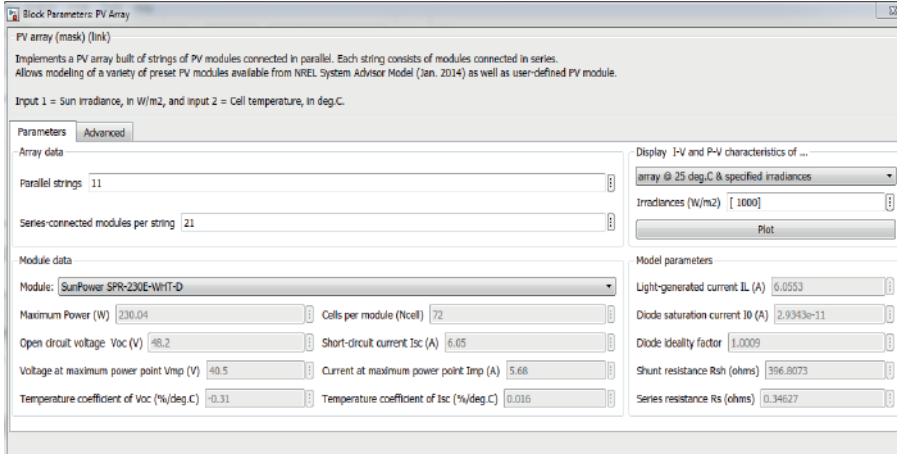


Şekil 2.1. Tek kademeli şebeke bağlantılı üç fazlı FV eviricinin sistem modeli.

Bu sistem modeli, FV panelleri, AC/DC evirici ve filtre devresi bileşenlerini içermektedir. MGNİ algoritmasının çıkışında FV panel sisteminden elde edilen çıkış gerilimi ve akımı kullanılarak panel gücü hesaplanmakta ve P&O algoritması ile referans akım sinyali üretilmektedir. DQ kontrol yöntemi ise DC gücü, referans akım kullanarak bir DC/AC eviricide şebeke gerilimi ile aynı faz ve frekansta AC güce dönüştürür. Devre simülasyonu için Matlab Simulink R2019 kullanılmaktadır.

## 2.1. FV Güç Sistemi Özellikleri

Şekil 2.2'de, FV modül ekran görüntüsü gösterilmektedir. Seçilen panel parametrelerine dayanarak, istenilen gerilim ve güç seviyelerini elde etmek için paneller seri ve paralel bağlantılarla bir güç sistemi oluşturulmuştur. FV sisteminde panellerin seri bağlanması, sistemin gerilim değerini artırırken, paralel bağlantılar ise sistemin akım değerini yükseltmektedir (Önal ve Türhal, 2022). Bu çalışmada güç sisteminde toplamda 231 adet panel kullanılmış olup, bunların 11'i seri olarak, 21'i ise paralel olarak bağlanmıştır. Elde edilen FV panel sistemi değerleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

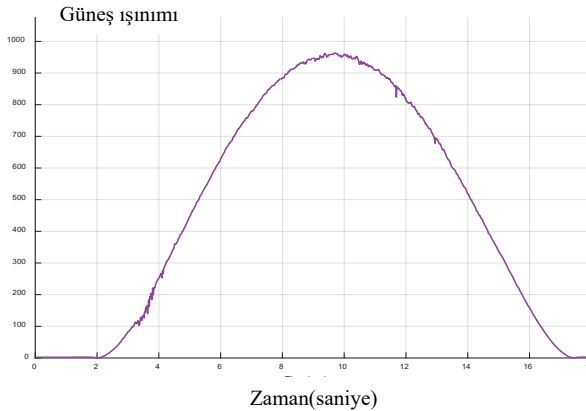


Şekil 2.2. FV modül ekran görüntüsü

Tablo 2.1 FV panel sistemi değerleri

Panel Sayısı	$V_{pv}$ (V)	$P_{pv}$ (kW)	$I_{pv}$ (A)
$21 * 11 = 231$	850	53	62.48

FV sistemdeki akım-gerilim ilişkisinin dinamik değişimini gözlemlemek amacıyla, farklı güneş ışınımı şiddeti değerleri sabit sıcaklık altında uygulanmaktadır. Bu değişen güneş ışınımı şiddeti değerleri, Simulink üzerindeki “builder” bloğu kullanılarak uygulanmaktadır. Şekil 2.3’de, FV modül girişine uygulanan güneş ışınımının değişim eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.3. FV panel girişine uygulanan güneş ışınımı eğrisi



FV sisteminin Tablo 2.1'de belirtilen değerleri kullanılarak, standart test koşullarında (STC) ( $1000\text{W}/\text{m}^2$  güneş ışınımı ve  $25^\circ\text{C}$  ortam sıcaklığı) akım-gerilim ve güç-gerilim grafikleri elde edilmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda simüle edilen FV panel sisteminde MGN'de gözlemlenen gerilim ve akım değerleri sırasıyla  $850\text{V}$  ve  $62.48\text{A}$  olarak elde edilmiştir.

FV panel eşdeğer devresinde bir akım kaynağı, paralel bir diyot, paralel bir direnç ve seri bir direnç bulunmaktadır. Seri direnç  $R_s$  FV panelde gerilim düşümüne neden olan yarı iletkenin direncini temsil etmektedir. Şönt direnç  $R_{sh}$  FV paneldeki kaçak direnci göstermektedir. Bir FV panelin akım ve gerilim denklemleri Eşitlik 1, Eşitlik 2, Eşitlik 3, Eşitlik 4 ve Eşitlik 5'te verilmektedir (Nassar ve ark., 2016).

$$I = I_{fv} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V+IR_s}{aV_T} - 1\right) \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$V_T = n (kT)/q \quad (2)$$

$$I_{sc} = I_{fv} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{I_{sc}R_s/aV_T} - 1\right) \right] - (I_{sc}R_s)/R_{sh} \quad (3)$$

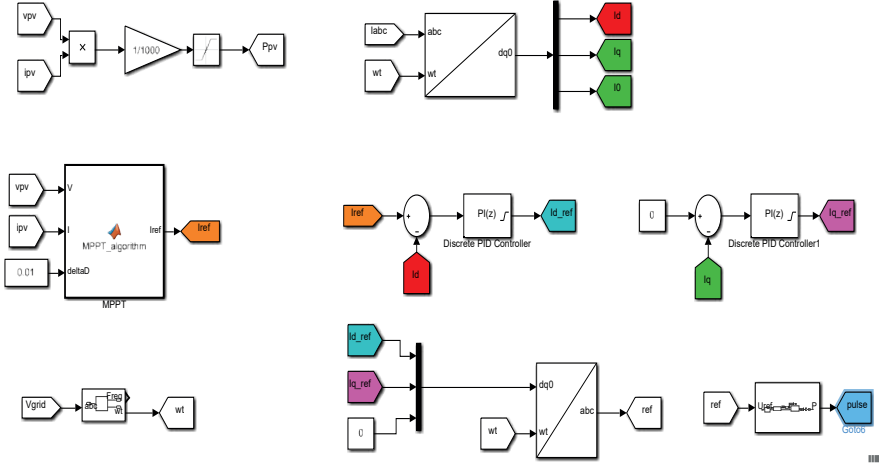
$$I_0 = ((R_{sh} + R_s)I_{sc} - V_{oc}) / (R_{sh} \exp\left(\frac{V_{oc}}{aV_T}\right)) \quad (4)$$

$$I_{fv} = ((R_{sh} + R_s)/R_{sh})I_{sc} \quad (5)$$

Burada  $I_{fv}$  foton akımı,  $I_0$  diyot ters doyma akımı,  $R_s$  seri direnç,  $R_{sh}$  paralel direnç,  $A$  ideal diyot faktörü,  $V_T$  diyot gerilimi,  $q$  elektron yükü,  $k$  boltzmann sabiti,  $n$  seri bağlı hücre sayısı,  $T$  ortam sıcaklığı,  $I_{sc}$  kısa devre akımıdır.

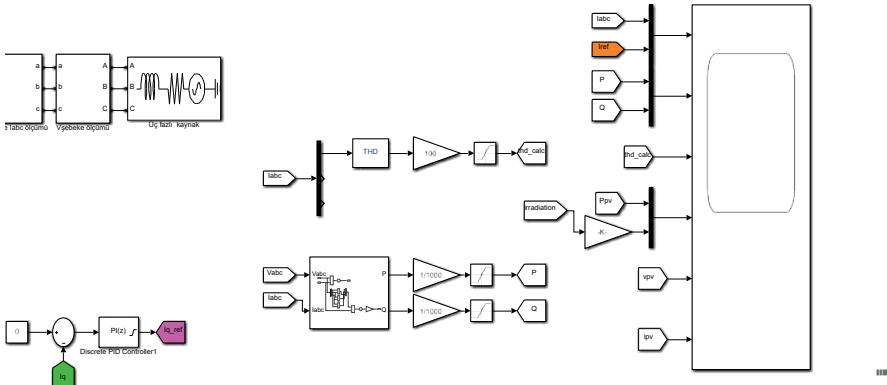
## 2.2. DQ Kontrol Yöntemi

Şekil 2.4'te, üç fazlı bir şebeke FV eviricideki anahtarların PWM sinyallerini üretmek amacıyla tasarlanmış olan DQ kontrol devresi ve Şekil 2.5'te ölçüm devresi görülmektedir. Bu kontrol devresi, MGNİ bloğu, PLL bloğu, abc/dq dönüşüm bloğu, dq/abc ters dönüşüm bloğu ve PWM bloğundan meydana gelmektedir.



Şekil 2.4. Üç fazlı şebekede bağlantılı fotovoltaik eviricinin DQ akım kontrol devresi

Yapılan çalışmada, literatürdeki diğer MGNİ algoritmalarına kıyasla düşük sistem karmaşıklığı ve yüksek verimlilik sunması sebebiyle P&O MGNİ algoritması tercih edilmiştir. Fotovoltaik panelin STC MGNİ’de çalışabilmesi için optimal yük noktasını bulmak, bu noktada çalıştırmak ve üç fazlı FV eviricideki aktif anahtarları uygun açıda tetiklemek gerekmektedir. FV sistem çıkışındaki akım ve gerilim değerleri ölçülmekte ve bu değerler MGNİ bloğuna giriş olarak aktarılmaktadır. DQ akım kontrolü için referans akım sinyali, MGNİ bloğunun çıkışından elde edilmektedir.



Şekil 2.5. Fotovoltaik eviricinin ölçüm devresi

Üç fazlı AC eviricinin kontrolü, sabit  $\alpha\beta$  referans çerçevesi veya dönen dq referans çerçevesi içinde yapılabilmektedir (Wen ve ark., 2014). Bu

çalışmada, eviricinin kontrolü dq referans çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. abc referans çerçevesinden dq referans çerçevesine dönüşüm, dq çerçevesinin temel frekansta etkin bir şekilde döndürülmesiyle sağlanabilir. Temel frekans üzerindeki sinüsoidal sinyaller için, dönen çerçevede elde edilen d ve q vektörleri sabit kalır. AC şebekesinin akım bileşenleri, doğrusal dönüşüm ile dq dönüşümü arasındaki ilişkiyi ifade eder ve bu akımların ilişkisi Eşitlik 6'da sunulmaktadır (He and Zhang, 2018).

$$I_{dq0} = \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin(\theta) & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (6)$$

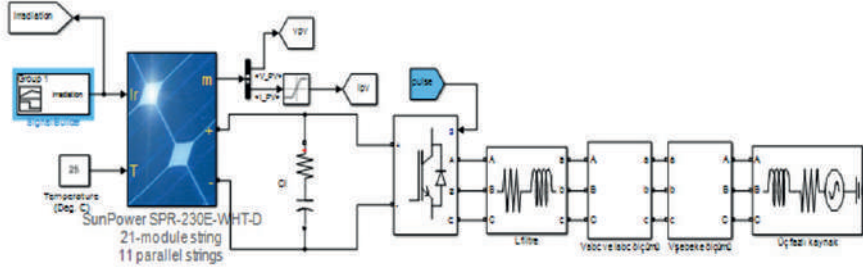
İlk olarak,  $V_{abc}$  bileşenlerinden elde edilen  $\theta$  açısı PLL bloğu kullanılarak tespit edilir. Bu sayede, PLL bloğunun çıkışında, şebeke gerilimiyle aynı fazda olan yeni bir sinüzoidal birim sinyal üretilir.  $I_{dq0}$  bileşenleri, ölçülen üç fazlı  $I_{abc}$  akımları kullanılarak elde edilir ve dq/abc dönüşümü gerçekleştirilir. MGNI bloğunun çıkışında elde edilen referans akım, ölçülen akımın d bileşeni  $I_d$  ile karşılaştırılır ve PI bloğuna iletilir. PI bloğunun çıkışında akımın d bileşeni hesaplanmaktadır. Benzer şekilde, ölçülen akımın q bileşeni  $I_q$  ve 0 sinyali karşılaştırılır, ardından PI bloğuna gönderilir ve çıkışında akımın q bileşeni elde edilir. Iabc bileşenleri, ölçülen üç fazlı  $I_{dq0}$  akımlarıyla elde edilmiş ve abc/dq0 dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen  $I_{abc}$  akım sinyalleri ile testere dişi sinyali karşılaştırılarak, üç fazlı şebeke üstü FV eviricinin PWM sinyalleri üretilmektedir.

### 3. Simülasyon Sonuçları

FV panel sisteminin şebeke üzerindeki etkilerini sabit sıcaklık ve değişen güneş ışınımı şiddeti koşullarında belirlemek için, Şekil 3.1'de gösterilen FV panel sistemi, güç ve kontrol devresi Matlab Simulink kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem parametreleri Tablo 3.1'de verilmektedir.

Table 3.1. Şebeke bağlantılı üç fazlı FV evirici parametreleri

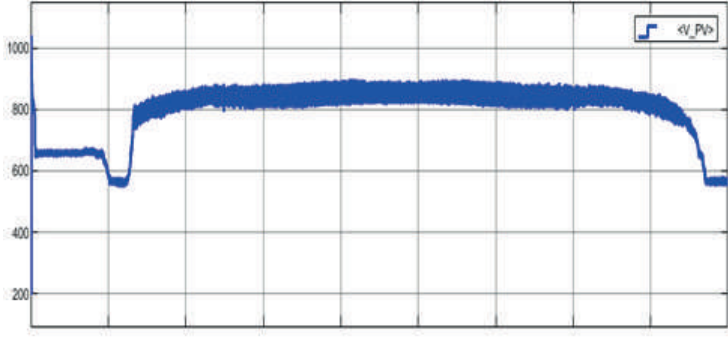
Parametre	Sembol	Değer
Şebeke gerilimi rms	$V_g$	380 V
Şebeke frekansı	$f_g$	50Hz
Nominal güç	P	50kW
DC kondansatörü	$C_{dc}$	100 $\mu$ F
FV Panel gücü, gerilimi	$P_{mpp}$ $V_{mpp}$	230W 48V
Evirici anahtarlama frekansı	$f_{ievi}$	20 kHz
Filtre bobini	$R_{Lf}L_f$	0.1532 $\Omega$ 6.1 mH



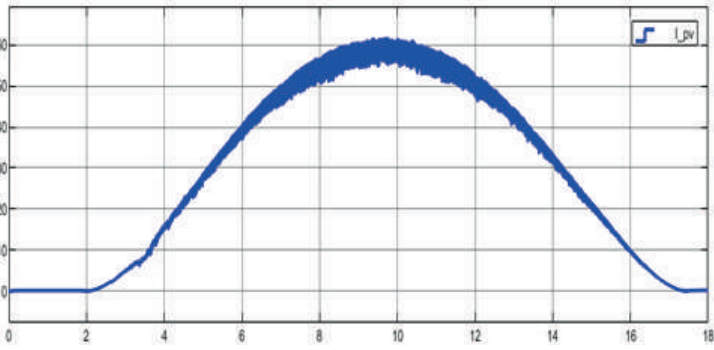
Şekil 3.1. FV panel sistemi ve üç fazlı eviricinin güç ve kontrol devresi

Önerilen DQ akım kontrol yönteminin evirici üzerindeki etkisi, Şekil 2.3'de verilen değişken güneş ışınımı altında güç, verimlilik ve harmonik bozulmalar açısından değerlendirilmek amacıyla test edilmiştir. Simülasyon sonucunda FV panel çıkışından elde edilen akım ve gerilim sinyallerinin şekilleri sırasıyla Şekil 3.2'de gösterilmiştir. FV panelden elde edilen akım farklı güneş ışınım şiddeti değerlerine bağlı olarak 60A'e kadar yükselirken, FV panel gerilimi sabit kalmaktadır.

Panelden elde edilen çıkış FV gücü ve FV maksimum gücü sinyallerinin şekilleri sırasıyla Şekil 3.3'de gösterilmiştir. FV çıkış gücü farklı güneş ışınımı değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Maksimum güç noktasında panelden elde edilen maksimum güç FV gücünü takip etmektedir.

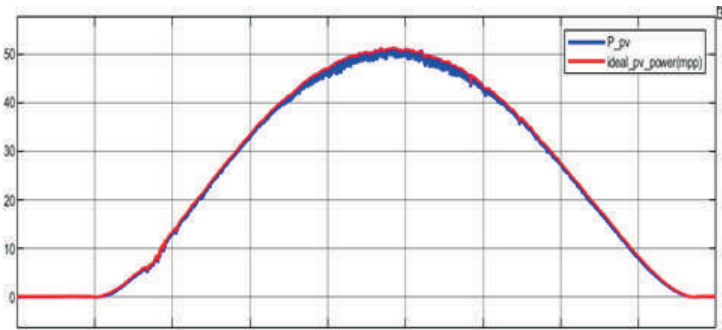


(a)



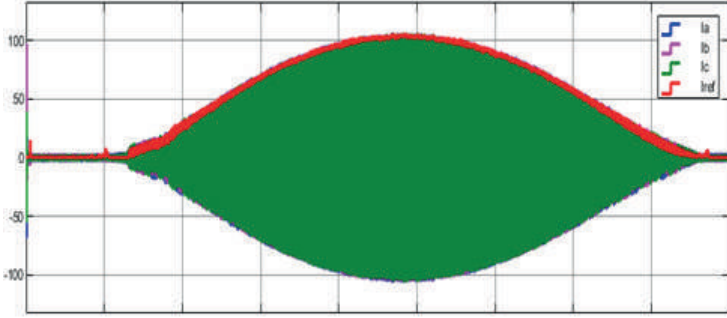
(b)

Şekil 3.2. FV panel çıkışından elde edilen a) akım b) gerilim sinyal şekilleri

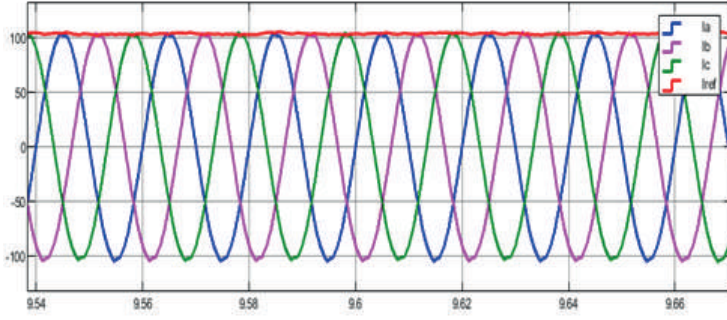


Şekil 3.3. PV panel çıkışından elde edilen PV çıkış gücü ve ideal maksimum güç dalga şekilleri

Şekil 3.4’de üç fazlı evirici çıkışında elde edilen abc şebeke akımları, referans akım sinyali ve faz akımlarının büyütülmüş görüntüsü gösterilmektedir. Evirici faz akımları sinüsoidal formda ve aralarında 120 derece açı farkı olacak şekilde elde edilmiş ve evirici faz akımlarının tepe değerleri DQ akım kontrol yöntemi ile referans akıma başarılı bir şekilde sabitlenmiştir. P&O algoritması Şekil 2.3’te verilen güneş ışınım eğrisine bağlı olarak referans akım değerini değiştirdiğinden üç fazlı eviriciden elde edilen çıkış akımları da değişmektedir.



(a)

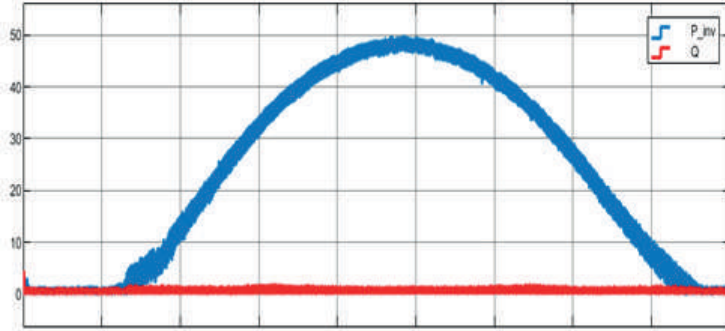


(b)

Şekil 3.4. a) Üç fazlı evirici şebeke akımları dalga şekilleri, b) Büyütülmüş evirici şebeke akımları dalga şekilleri

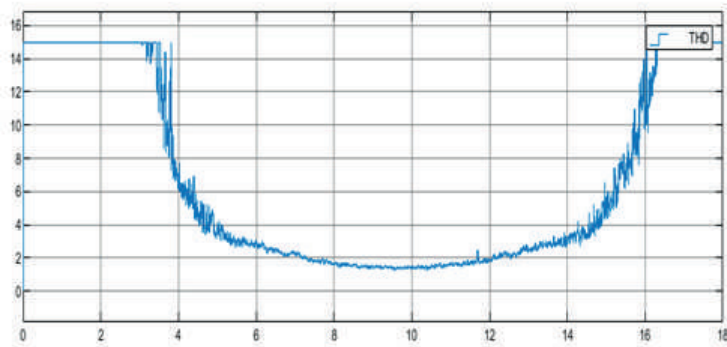
Önerilen DQ tabanlı kontrol algoritmasının genel verimliliğini test etmek için evirici tarafından şebekeye iletilen aktif ve reaktif güç sinyalleri ölçülmektedir. Eviriciden elde edilen aktif ve reaktif güç dalga şekilleri Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Üretilen aktif güç FV panelin farklı ışınım değerine

bağlı olarak değişmekte ve reaktif güç sıfır olmaktadır. FV sistemden elde edilen maksimum noktadaki gücü, FV güç eğrisi ile hemen hemen aynıdır.

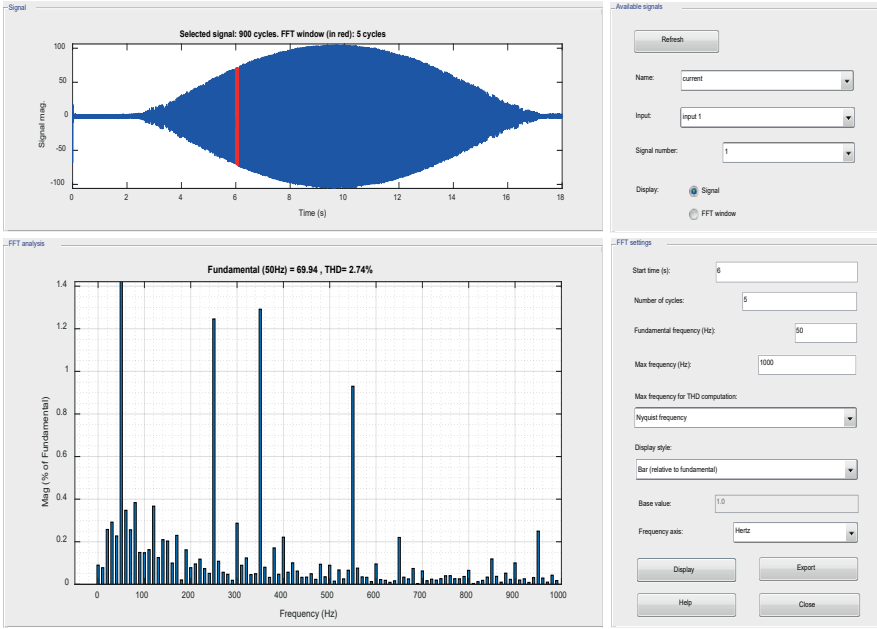


Şekil 3.5. Üç fazlı FV evirici çıkışında elde edilen aktif ve reaktif güç dalga şekilleri

Şekil 3.6'da üç fazlı evirici şebekeye bağlandığında şebekeye aktarılan abc faz akımlarının THD faktörü sinyal şekli ve FFT analizi gösterilmektedir. 10kW'tan büyük güç değerleri için THD faktörünün %6'nın altında olduğu ve THD değerinin standartlarda belirtilen sınırın altında elde edildiği görülmektedir (IEEE, 2014). Ayrıca faz akımında meydana gelen harmoniklerin değerleri matlab simulink'teki FFT bloğu kullanılarak ölçülmüştür. Faz akımındaki THD değeri 6ms'de %2.74 olarak elde edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.6. a) Üç fazlı evirici elde edilen akımların THD dalga şekli b) FFT analizi

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, üç fazlı fotovoltaik evirici sisteminden maksimum güç elde edebilmek, elde edilen gerilim ve akımdaki bozulmaları azaltabilmek ve FV sistemden elde edilen gücü AC şebekeye aktarabilmek için akım kontrol yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem P&O maksimum güç izleme noktası izleme algoritması ve DQ kontrol algoritmasını içermektedir. Önerilen kontrol yöntemi, değişken güneş ışınımı altında maksimum güç noktasını izleyebilme yeteneğine sahiptir ve elde edilen güç, bağlı olduğu şebekeye aktarılmaktadır. P&O, evirici için bir referans akım üretirken, DQ algoritması bu referans akımı kullanarak anahtarlarma sinyallerini üretmektedir. Bu yöntem 50 kW'lık üç fazlı bir FV evirici çıkışından 380V 50Hz AC gerilim elde edilmesini sağlamıştır. Fotovoltaik evirici sisteminin çeşitli güneş ışınımı seviyelerindeki performansı Matlab/Simulink platformunda incelenmiş ve sistemin analizi yapılmıştır. Önerilen DQ akım kontrol yönteminin sonuçları incelendiğinde, şebeke akımındaki THD değeri %2.74 olarak ölçülmüş ve bu değer belirlenen sınır değeri olan %5'in altında olduğu görülmüştür. Önerilen DQ kontrol yöntemi, MGN takibini gerçekleştirirken FV panelinden ve eviriciden elde edilen gücü artırarak maksimum verim sağlamak ve şebeke akımında oluşan harmonikleri azaltmaktadır.



## 5. Kaynaklar

- Ahmad, R., Murtaza, A. F., & Sher, H. A. (2019). Power tracking techniques for efficient operation of photovoltaic array in solar applications—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 82-102.
- AKÇAY, M. T. (2020). 1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Solar Hücre Sisteminin Modellenmesi ve Fizibilitesi. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 19-34.
- Ali, M. N., Mahmoud, K., Lehtonen, M., & Darwish, M. M. (2021). Promising MPPT methods combining metaheuristic, fuzzy-logic and ANN techniques for grid-connected photovoltaic. *Sensors*, 21(4), 1244.
- Al-Shahri, O. A., Ismail, F. B., Hannan, M. A., Lipu, M. H., Al-Shetwi, A. Q., Begum, R. A., & Soujeri, E. (2021). Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 284, 125465.
- Bendib, B., Belmili, H., & Krim, F. (2015). A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 637-648.
- Boghdady, T. A., & Mohamed, Y. A. (2023). Reactive power compensation using STATCOM in a PV grid connected system with a modified MPPT method. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(8), 102060.
- Danandeh, M. A. (2018). Comparative and comprehensive review of maximum power point tracking methods for PV cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2743-2767.
- Daraban, S., Petreus, D., & Morel, C., (2014). A novel MPPT (maximum power point tracking) algorithm based on a modified genetic algorithm specialized on tracking the global maximum power point in photovoltaic systems affected by partial shading, *Energy*, 74, 374-388.
- Guerra, M. I., de Araújo, F. M., de Carvalho Neto, J. T., & Vieira, R. G. (2022). Survey on adaptative neural fuzzy inference system (ANFIS) architecture applied to photovoltaic systems. *Energy Systems*, 1-37.
- He, J., & Zhang, X. (2018). Comparison of the back-stepping and PID control of the three-phase inverter with fully consideration of implementation cost and performance. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 4(2), 82-89.
- Ibrahim, S. A., Nasr, A., & Enany, M. A. (2021). Maximum power point tracking using ANFIS for a reconfigurable PV-based battery charger under non-uniform operating conditions. *IEEE Access*, 9, 114457-114467.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2014). IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems. *IEEE Std 519*, June 11 2014, pp.1-29.

- Kumar, R., & Singh, B. (2017). Single stage solar PV fed brushless DC motor driven water pump. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(3), 1377-1385.
- Kjaer, S. B. (2012). Evaluation of the “hill climbing” and the “incremental conductance” maximum power point trackers for photovoltaic power systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 27(4), 922-929.
- Nassar-Eddine, I., Obbadi, A., Errami, Y., & Agunaou, M. (2016). Parameter estimation of photovoltaic modules using iterative method and the Lambert W function: A comparative study. *Energy Conversion and Management*, 119, 37-48.
- Ostergaard, P. A., Duic, N., Noorollahi, Y., & Kalogirou, S. (2022). Renewable energy for sustainable development. *Renewable Energy*, 199, 1145-1152.
- Önal, Y., & Turhal, Ü. Ç. (2022) Development of an Anfis based Control Algorithm for Maximum Power Point Tracking in on-Grid Double Stage Single Phase PV Inverter. *Journal of Scientific Reports-A*, 050, 150-168.
- Podder, A. K., Roy, N. K., & Pota, H. R. (2019). MPPT methods for solar PV systems: a critical review based on tracking nature. *IET Renewable Power Generation*, 13(10), 1615-1632.
- Radjai, T., Rahmani, L., Gaubert, P. & Gassab, S. (2014). Fuzzy Logic Variable Step of P&O MPPT with Direct Control Method Using Cuk Converter, *ELECTRIMACS*, 324-329.
- Rezk, H., Fathy, A., & Abdelaziz, A. Y. (2017). A comparison of different global MPPT techniques based on meta-heuristic algorithms for photovoltaic system subjected to partial shading conditions. *Renew. Sust. Energy Rev.*, 74, 377-386.
- Sabo, A., Kolapo, B. Y., Odoh, T. E., Dyari, M., Abdul Wahab, N. I., & Veerasamy, V. (2022). Solar, Wind and Their Hybridization Integration for Multi-Machine Power System Oscillation Controllers Optimization: A Review. *Energies*, 16(1), 24.
- Sahoo, S. K., Sukchai, S., & Yanine, F. F. (2018). Review and comparative study of single-stage inverters for a PV system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 962-986.
- Saravanan, S., & Babu, N. R. (2016). Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 192-204.
- Zafar, M. H., Khan, N. M., Mirza, A. F., Mansoor, M., Akhtar, N., Qadir, M. U., & Moosavi, S. K. R. (2021). A novel meta-heuristic optimization algorithm based MPPT control technique for PV systems under complex partial shading condition. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101367.

- Zhang, Y., Ma, T., & Yang, H. (2022). Grid-connected photovoltaic battery systems: A comprehensive review and perspectives. *Applied Energy*, 328, 120182.
- Wen, B., Boroyevich, D., Burgos, R., Mattavelli, P., & Shen, Z. (2014). Small-signal stability analysis of three-phase AC systems in the presence of constant power loads based on measured dq frame impedances. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(10), 5952-5963.

## Aydınlatma Sistemlerinde Fotometrik Ölçmeler ve Aydınlatma Hesaplamaları

Süreyya Kocabey<sup>1</sup>

### Özet

Aydınlatma sistemlerinin tasarımı ve değerlendirilmesi insanoglunun hayatının devamlılığı için büyük öneme sahiptir. Bir aydınlatma sistemi tasarımı için öncelikle kullanım amacının doğru tespit edilmiş olması gerekir. Bu tasarım sürecinde, aydınlatma hesaplamaları yapılırken aydınlatma aygıtlarının özellikleri, çalışma ortamının fiziksel boyutları ve çevresel koşullar birlikte değerlendirilir. Aydınlatma sistemlerinin doğru tasarımı kadar mevcut aydınlatma sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesi de önemlidir. Aydınlatma sistemlerinin değerlendirilmesi için sistemin bulunduğu ortamda bazı fotometrik ölçümler yapılmasına ihtiyaç duyulur. Fotometrik ölçmeler için ışık ölçümü yapan bazı ölçü aletlerinden faydalanılır. Fotometrik ölçmeler yapılırken ölçüm yapacak kişilerin ölçülecek büyüklük ve ölçüm teknikleri hakkında bilgiye sahip olması, doğru cihaz seçimi çok önemlidir. Bu çalışmada ilk önce fotometrik ölçmeler hakkında bilgiler verilecek daha sonra aydınlatma hesaplamalarına geçilecektir.

### 1. Fotometrik Ölçmeler

Işıksal ölçümler, radyometrik ölçümlerin bir türevidir. Radyometri, elektromanyetik spektrumun tamamıyla ilgilenen bir kavram iken, fotometri insan gözünün algılayabildiği bölgeyle ilgilenir. Dolayısıyla fotometrik ölçmeler ışığın üretimi, dağılımı ve ölçümü ile ilgilenir. Işık, fizyolojik olarak insan gözü tarafından değerlendirilebilen optik bir büyüklüktür. Gözün çalışma sistemi ölçme üzerine değil karşılaştırma tabanlı olduğundan, eski ölçüm yöntemleri karşılaştırmaya dayanıyordu. Fotometrik ölçümler temel olarak aydınlık düzeyi ve parıltı ölçümleri olmak üzere iki bölüme ayrılır (Sirel, 2004).

1 Dr.Öğr.Üyesi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, sureyya.kocabey@sbu.edu.tr, 0000-0002-2300-0789

Günümüzde armatürlerle ilgili fotometrik ölçümlerden bahsedildiğinde, genellikle gonyofotometre cihazıyla yapılan ölçümler kastedilir. Gonyofotometre ile yapılan fotometrik ölçümler, bir armatürden yayılan ışığın dağılım eğrisini ve miktarını elde etmek için yapılır. Parıltı ölçümleri; armatürlerin içinde kullanılan yansıtıcıların kalite ve teknik karakteristiklerinin belirlenmesi ve özellikle yol aydınlatmalarında aydınlatma sisteminin uygunluğunun değerlendirilmesi için yapılır.

### **1.1. Aydınlik Düzeyi Ölçümleri**

Aydınlik düzeyi, aydınlatma sistemlerinin değerlendirilmesi ve tasarımında kullanılan temel büyüklüklerden birisidir (IESNA, 2000). Aydınlik düzeyi ölçümleri, bir çalışma alan üzerindeki ışık akısı miktarını değerlendirmek amacıyla yapılan ölçümlerdir. Aydınlik düzeyi ölçümleri farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. En yaygın kullanılan yöntem, bir çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyinin lüksmetre adı verilen cihaz ile ölçülmesidir. Çalışma ortamlarında bu ölçümler sadece belirli tek bir noktada veya ortamdaki pek çok farklı noktada alınan ölçümlerin ortalaması alınarak uygulanır. Bir çalışma ortamında istenilen aydınlık düzeyi seviyesi veya yapılan ölçümlerden bahsedildiğinde genellikle yatay düzlem üzerindeki değerler anlaşılır. Ancak görsel algılama yapılan her bir yüzey için (duvar, pano, düşey iş yüzeyleri) aydınlık düzeyi ölçümleri önemlidir (Mahlab, Yamaguchi, Shimosima, Yoshizawa ve Cai 2023). Lüksmetre (ışık ölçer) kullanılarak yapılan aydınlık düzeyi ölçümleri çalışma düzlemi üzerindeki ölçümlerin dışında gonyofotometre ile yapılan ölçümlerde de kullanılmaktadır (Sirel, 2004; Bean ve Simons, 2001). Şekil 2'de görülen Gonyofotometre ile bir armatürün ışık şiddeti dağılımı ölçülerek ışık dağılım eğrisi çıkartılır. Gonyofotometre ile elde olunan ölçüm sonuçları, armatürlerin kullanılacağı ortam için yapılan aydınlık düzeyi hesaplamalarında büyük öneme sahiptir.



Şekil 1 Lüksmetre



Şekil 2 Gonyofotometre

Gonyofotometre ile yapılan ölçümlerde bir armatürün aşağıdaki fotometrik özellikleri elde edilir. (Sirel, 2004).

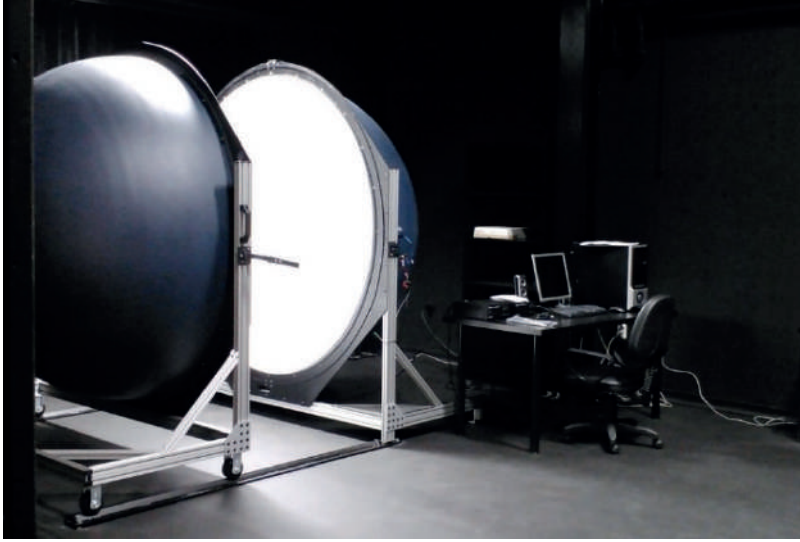
- armatür dışına gönderilen toplam ışık akısı miktarı,
- aydınlık düzeyi dağılım eğrileri,
- armatüre ait geri verim endeksi,
- izolüks eğrileri,
- faydalanma faktörü,
- tepe açısı,

Gonyofotometre ile ölçümlerden doğru ve güvenilir sonuçlar alabilmek için, cihazın mekanik bileşenlerinin kalitesine, kullanılan lüksmetrenin kalitesine, cihazın bulunduğu ortamın çevresel ışıklardan izolasyonuna ve armatür ile fotosel optik eksenlerinin aynı eksende olmasına dikkat edilmelidir. Gonyofotometrelerde ölçümler lüksmetre ile gerçekleştirilir. Bir ışık kaynağından 1 metre uzaklıkta dik bir doğrultuda yapılan ölçüme elde olunan aydınlık düzeyi değeri, aynı doğrultuda armatürden yayılan ışık şiddetine eşittir.

Dolayısıyla gonyofotometre ile yapılan ölçümlerde, armatürden belirli bir uzaklıkta lüksmetreden aydınlık düzeyleri ölçülür. Alınan veriler, hesaplama yoluyla bir metre uzaklıktaki değerine indirgenerek, kandela cinsinden ışık şiddeti değerleri elde edilir. Bir armatüre ait bu değerler farklı ışık

kaynaklarıyla kullanımına imkan vermesi açısından normalize edilerek 1000 lümen başına kandela (cd/klm) olarak grafiklerle verilir.

Bir armatürün gonyofotometreyle ölçümü esnasında armatür üzerinde kullanılan lambanın ışık akısının bilinmesi, ölçüm sonucunda elde edilen verilerin kullanımı sürecinde önemlidir. Bunun için ölçümlerde kullanılacak lambanın 100 saat kullanılmış olması, daha sonra armatürden çıkan ışık akısı miktarının şekil 3’de görülen Ulbricht küresi ile saptanması gerekir.



*Şekil 3 Ulbricht Küresi*

Lambaların ışık akılarını ölçmek için fotometrik ölçümler yaparken, aydınlık düzeyini de dikkate almak önemlidir. Ulbricht küresi, beyaz iç yüzeye sahip ve içindeki ışık kaynağından yayılan tüm ışık akılarını toplayan bir küredir. Işık kaynaklarının kürenin iç yüzeyinde oluşturduğu aydınlık düzeyi, bu ışık kaynaklarından çıkan ışık akısıyla doğru orantılıdır. Ulbricht küresi ile, fotometrik ışık dağılımına ihtiyaç duymadan sadece ışık kaynaklarının ışık akısı çıktılarını ölçmek mümkündür. Ulbricht küresi için bir gonyofotometreye göre fiziksel olarak daha küçük bir hacim yeterlidir. Kürenin iç yüzeyi, yüksek yansıtma özelliğine sahip bir boya ile kaplıdır. Yüzeyin düzgün bir yayıma sahip olduğu kabul edilir. Genellikle ölçülen direkt aydınlık düzeyi, küre yüzeyinin yansıtma özelliklerine bağlıdır. Kürenin yüzey alanı (A) ise kaynaktan çıkan toplam ışık akısı denklem 1.1’deki gibi (Bean ve Simons, 2001) elde edilecektir.

$$\Phi = \frac{\pi}{\rho} \int L \cdot dA \quad (1.1)$$

Denklem 1.1'de  $L$ , küre iç yüzey duvarının birim yüzey parçasına ait başlangıç parlıtıdır. İlk yansımadan sonra, küre iç yüzeyinde yansıyan ışık hüzmeleri fotoselle birlikte küre iç yüzeyini eşit şekilde aydınlatır. Bu nedenle, kürenin iç yüzey duvarının ( $dA$ ) birim yüzey parçalarından yansıyan ışık dikkate alındığında, aydınlık düzeyi formülü denklem 1.2'deki gibi olacaktır.

$$E = \frac{\delta}{A} \cdot L \cdot dA \quad (1.2)$$

Kürenin iç yüzey duvarından yansıyan toplam ışığa bağlı olarak aydınlık düzeyi ifadesi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$E = \frac{\delta}{A} \cdot \int L \cdot dA \quad (1.3)$$

Denklem 1.3, denklem 1.1'e göre düzenlenirse;

$$E = \frac{\rho}{A} \cdot \Phi \quad (1.4)$$

olacaktır. Yukarıdaki ifadedeki aydınlık düzeyi ikinci yansımaya bağlı olarak;

$$E = \frac{\rho^2}{A} \cdot \Phi \quad (1.5)$$

olur. Küre içindeki sonsuz sayıdaki yansımadan sonraki aydınlık düzeyi denklem 1.6'daki gibi yazılır.

$$E = \frac{\rho}{A} \Phi + \frac{\rho^2}{A} \Phi + \frac{\rho^3}{A} \Phi + \dots \quad (1.6)$$

$$E = \frac{\rho}{A} \cdot \Phi \cdot \left( \frac{1}{1-\rho} \right) \quad (1.7)$$

Denklem 1.6 düzenlenerek Ulbricht küresi ile aydınlık düzeyi hesabını veren denklem 1.7 elde olunur. Buradan hareketle aydınlık düzeyi  $E$ 'nin ışık kaynağının ışık dağılımından bağımsız olduğu anlaşılır. Aydınlık düzeyi



ve ışık akısı arasındaki bu ilişki, fotometrik ölçümler için Ohm kanunu olarak kabul edilir (Bean ve Simons, 2001). Eğer kürenin iç yüzeylerinin yansıtma özellikleri biliniyorsa, aydınlık düzeyi  $E'$ 'yi ölçerek ışık akısı  $\Phi'$ 'nin hesaplanması mümkündür. Bu nedenle, Ulbricht küresi genellikle ışık kaynaklarını karşılaştırmak için kullanılır.

Gonyofotometre ile elde olunan ölçüm sonuçları, ölçümde kullanılan armatürden etrafına yayılan ışık akısının grafiksel olarak verir (Sirel, 2004). Bu grafikler, aydınlatma projelerinde kullanılacak armatürlerin seçimini kolaylaştırır. Seçilen armatürün kullanılması durumunda, belirli bir konumda nereye ne kadar ışık akısı yaydığı grafikten bakılarak ortama ait aydınlık düzeyi hesaplamaları yapılabilir. Aydınlık düzeyi hesaplamaları, grafikler, tablolar ve geri verim değerleri gibi elde edilen ölçüm verileri kullanılarak manuel olarak yapılabilir, ayrıca aydınlık düzeyi hesaplaması yapan bilgisayar programları aracılığıyla da gerçekleştirilebilir.

## 1.2. Parıltı Ölçümleri

Parıltı ölçümleri, bir nesneden yansyarak belirli bir doğrultuda yayılan ışık akısı miktarının bulunması amacıyla yapılır. İnsan gözü tarafından algılanabilir tek fotometrik büyüklük olan parıltı, görsel işlerin performansının değerlendirilmesi için en önemli parametredir (IESNA, 2000; Bishop ve Chase, 2023). Parıltı ölçümleri; elektrik enerjisini ışığa dönüştüren birincil ışık kaynağı bir lamba için yapılabileceği gibi, ikincil ışık kaynağı olarak adlandırılan üzerine düşen ışığı yansıtarak veya geçirerek çevreye ışık yayan nesne veya yüzeyler için de yapılabilir.

İkincil ışık kaynaklarının parıltısı; söz konusu nesne üzerinde oluşan aydınlık düzeyiyle yüzeyin yansıtma katsayısı veya geçirme katsayısının çarpımıyla bulunur. Parıltı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, genellikle görüş alanı içerisindeki parıltıların dengelenmesi veya belirli sınırlar içinde tutulması amacıyla kullanılır. Parıltı ölçümleri aşağıdaki bilgilerin elde edilmesi için yapılır (Sirel, 2004).

- Birincil kaynaktan yayılan belirli bir doğrultudaki parıltıyı,
- İkincil kaynaktan yayılan belirli bir doğrultudaki parıltıyı,
- İkincil yüzeyin düzgün yansıtma katsayısı,
- İkincil yüzeyin dağınık yansıtma katsayısı ,
- İkincil yüzeyin düzgün geçirme katsayısı,
- İkincil yüzeyin dağınık geçirme katsayısı ,
- İkincil yüzeyin yayınma katsayısı,

- İkincil yüzeyin yutma katsayısı,

Parıltı, bir yüzeyin herhangi bir noktasından yansıyan ve belirli bir doğrultuda algılanan fotometrik bir büyüklüktür. Birincil bir ışık kaynağının herhangi bir noktadaki parıltısı; bu noktayı çevreleyen küçük bir yüzey alanından belirli bir yönde yayılan ışık şiddetinin (cd), bu yüzey parçasının alanına (m<sup>2</sup>) oranıdır. İkincil ışık kaynaklarının parıltısı ise nesnenin üzerindeki aydınlık düzeyi ile yansıtma veya geçirme katsayılarının çarpımıyla belirlenir (Bishop ve Chase, 2023; Czyżewski, 2023).

Parıltıyı doğrudan ölçmek için Şekil 4'te görülen parıltı ölçerler geliştirilmiştir. Bu ölçü aletleri, bir yüzeyden tek bir doğrultuda gelen ışık akısını ölçerler. Nesnenin belirli bir doğrultuda yansıyan ışık akısı, nesneye aynı doğrultudan bakıldığında görülen yüzey alanı ile parıltısının çarpımı ile bulunur.



*Şekil 4 Parıltı ölçer*

Parıltı ölçerler, ayarlanan ölçme açısına bağlı olarak belirli bir alana odaklandıkları için çevredeki diğer ışık kaynaklarından etkilenmezler. Bununla birlikte incelenen yüzey üzerinde istenmeyen parlamalar önlenmelidir. Parıltı ölçümleri esnasında, ölçme açısı ile belirlenen yüzey üzerindeki noktanın küçük olmasına veya parıltının yüzeyde mümkün olduğunca homojen dağılmasına dikkat edilir.

Parıltı ölçümlerinde ışık akısı ölçümü yapıldığında, teorik olarak parıltı ölçerin ölçüm yapılan yüzeyden uzaklığı önemsizdir. Ancak uygulamada ölçülen yüzeyin, parıltı ölçerin ölçüm alanıyla çakışması gerektiğinden ölçüm

mesafesi rastgele seçilemez. Ölçüm amacına bağlı olarak, tek bir ölçüm yerine farklı noktalarda birden çok ölçüm yapılması ve bunlardan elde edilen sonuçların aritmetik ortalamasının kullanılması daha güvenilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı eder.

İç hacimlerin aydınlatılmasında, aydınlık düzeyi hesaplanırken çalışma yüzeyine armatürden direkt gelen ışığın yanı sıra duvarlar, tavan, büyük eşyalar gibi çevre yüzeylerden yansıyan ışık da önemlidir. Bu yüzeylerin de çalışma yüzeyi üzerindeki aydınlatmaya katkısının hesaplanabilmesi için yansıtma katsayılarının bilinmesi gerekir. Bu yüzeylerin yansıtma katsayıları ise parıltı ölçümleri veya özel karşılaştırma şablonlarıyla bulunur. Dış ortam aydınlatmasında, aydınlatılan yüzeylerin birbirleriyle uyumlu bir görünüm oluşturması önemlidir. Örneğin, yan yana bulunan binaların dış cephesi aydınlatılıyorsa, bir binanın diğerlerine göre fazla veya az aydınlatılmış görünmesi istenmez. Bu tutarlılığı sağlamak için, dış ortam aydınlatma projelerinde aydınlık düzeyi yerine parıltı hesaplamaları kullanılır. Uygulama esnasında parıltı ölçümleri yapılır (Czyzewski, 2023; Sirel, 2004). Trafik akışının olduğu yollarda, yol kenarlarında bulunan ilan panosu benzeri nesnelerin sürücülerin kamaşma vb sebeplerle dikkatlerinin dağılmasına yol açmaması için parıltıları yasal olarak sınırlandırılmıştır.

## 2. Aydınlatma Hesaplamaları

Işık bir enerji çeşididir ve enerjinin korunumu yasasına uygun davranır. Yani, birden fazla ışık kaynağı tarafından aydınlatılan bir çalışma düzleminde herhangi bir noktadaki aydınlık düzeyi, ışık kaynaklarının o noktada tek başına oluşturdukları aydınlık düzeylerinin toplamına eşittir (IESNA, 2000; Özkaya, 2011).

Bir ortamın aydınlık düzeyi, aydınlatma problemlerinin çözümü için büyük öneme sahip olmasına rağmen, insan gözü tarafından doğrudan algılanamaz. Ancak yeterli aydınlık düzeyine sahip ortamlar, yüzeylerin yansıtma özelliklerine bağlı olarak daha az veya daha çok aydınlık olarak görünür. Kısaca insanlar tarafından gözle algılanabilen fotometrik büyüklük aydınlık düzeyi değil parıltıdır (Smith, 2000). Özetlemek gerekirse, insanlar tarafından gözle görülen şey parıltı değil, aydınlık düzeyidir (Smith, 2000). Sonuç olarak, görme işlevinin gerçekleşebilmesi için nesnelerin parıltısı önemli olsa da, aydınlatma hesaplamalarında aydınlık düzeyi daha çok kullanılır.

### 2.1. Işık Akısı Yöntemi ile Aydınlık Düzeyi Hesabı

Aydınlatma hesaplamalarında aydınlatılacak yüzeyin sadece ortalama aydınlık düzeyi yeterliyse, ışık akısı yöntemi en etkili yöntemdir. Bu yöntem

ortamın aydınlatması için gereken ışık kaynağı sayısının bulunmasında kullanılır. Denklem 2.1'de görüldüğü üzere ortalama aydınlık düzeyi, ortamdaki ışık kaynaklarının toplam ışık akısının çalışma düzleminin yüzey alanına bölünmesi ile bulunur (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011; IESNA, 2000).

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2.1)$$

E: Aydınlık düzeyi (lüks).

$\Phi$ : Işık akısı (lümen).

A: Hacim içindeki çalışma düzleminin yüzey alanı ( $m^2$ ).

İç ortamların aydınlatılmasında, ışık kaynaklarından yayılan ışık akısının bir kısmı duvarlar ve mobilyalar tarafından yutulmaktadır. Aydınlatma türü, ortamın fiziksel boyutları, armatürlerin zemine olan mesafesi, çalışma düzleminin zeminden yüksekliği ve ortam duvarlarının boya renkleri ortam içindeki ışık dağılımını etkiler. Ayrıca, zamanla ışık kaynaklarının ışık akısı çıktılarında azalma, iç mekan yüzeylerindeki kirlilik, armatürlerde biriken toz çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyini olumsuz etkiler. Ortamdaki çalışanların performanslarında aydınlatma kaynaklı düşme olmaması için bütün bu çevresel ve zamansal etkiler denklem 2.1'e birer katsayı ile eklenir (IESNA, 2000).

$$E = \frac{\Phi \cdot m \cdot \eta}{A} \quad (2.2)$$

m: Bakım katsayısı

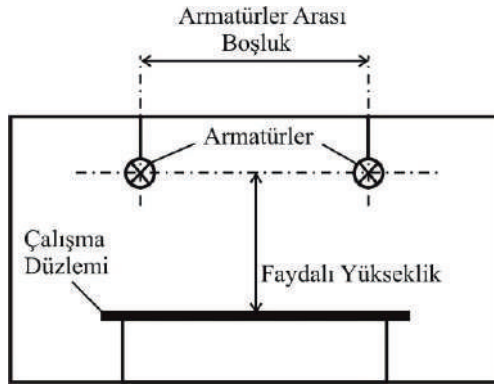
$\eta$ : Oda verimi

Denklem 2.2'de (m) bakım katsayısı değeri 0-1 arasındadır ve armatürlerin bakım ve temizlik sıklığına göre seçilir. Temizlik sıklığı arttıkça (m) 1'e yaklaşır. Bunun anlamı ortamdaki kirlenmenin aydınlık düzeyinin düşmesine sebep olmadan temizlik yapıldığı anlamına gelir. Temizlik sıklığı azaldıkça bu değer 1'den daha küçük değerler olur. Bir armatürden yayılan ışık akısının çalışma düzlemine ulaşan miktarı yüzde olarak ( $\eta$ ) oda verimi ile tanımlanır. Armatür ışık dağıtım türüne ve ortam yüzeylerinin yansıtma özelliklerine göre önceden hesaplanan oda endeksi değerine göre her bir armatüre ait tablolardan seçilir. Aydınlatma hesaplama programlarında bu

değer, seçilen armatür tipine göre armatür bilgi verilerinden otomatik olarak bulunur. Oda endeksi (k) ise, denklem 2.3'ten ortamın fiziksel boyutları (yükseklik-uzunluk-genişlik) ve çalışma düzlemiyle ışık kaynağı arasındaki faydalı yükseklik ile hesaplanır. Faydalı yükseklik, armatür askı yüksekliği ve çalışma düzlemi yüksekliğine bağlı olarak bulunur (IESNA, 2000; Özkaya, 2011; CIE, 1986; TSE, 1990).

$$k = \frac{u \cdot g}{h \cdot (u + g)} \quad (2.3)$$

Işık akısı yardımıyla aydınlatma hesabında, öncelikle uluslararası standartlardaki aydınlık düzeyi tablolarından ortamın kullanım amacına bağlı olarak gereken aydınlık düzeyi belirlenir. Sonra ortamdaki aydınlatma sistemine uygulanacak bakım sıklığı dikkate alınarak bakım katsayısı ve ilgili tablolardan oda verimi bulunur. Sonrasında denklem 2.2 yardımıyla aydınlatılması istenilen ortamda önceden belirlenen model ve güçte kaç adet aydınlatma armatürüne ihtiyaç duyulduğu hesaplanabilir.



Şekil 5 Çalışma Ortamı Aydınlatma Gösterimi

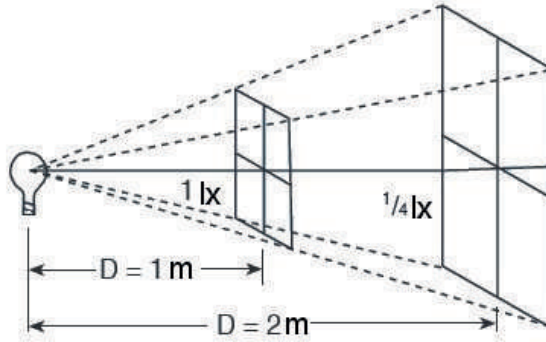
## 2.2. Işık Şiddeti Yöntemi ile Aydınlık Düzeyi Hesabı

Eğer ortamdaki ortalama aydınlık düzeyinin yanı sıra çalışma düzlemindeki farklı noktadaki aydınlık düzeyleri de bulunmak isteniyorsa veya çalışma düzlemine ait izolüks eğrileri çıkartılmak isteniyorsa ışık şiddeti yöntemi daha etkin bir yöntemdir (IESNA, 2000; Özkaya, 2011).

### 2.2.1. Noktasal Işık Kaynağına Göre Aydınlık Düzeyi Hesabı

Noktasal ışık kaynaklarından belli bir mesafedeki aydınlık düzeyi, kaynaktan yayılan ışık şiddeti bilirse ters kare kanunu ile hesaplanabilir. Büyük boyutlu ışık kaynakları da çok sayıda noktasal kaynağın birleşimi gibi düşünülerek ters kare kanunu bütün ışık kaynaklarında kullanılabilir (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011; Mangkuto, Jamila, ve Paramita, 2023). Şekil 6'da noktasal bir ışık kaynağından farklı uzaklıkta ışık kaynağına paralel 2 düzlemsel yüzey görülmektedir. Bu yüzeyler, ışık kaynağından bakıldığında aynı uzay açısından görülebilen farklı uzaklıklardaki düzlemlerdir.

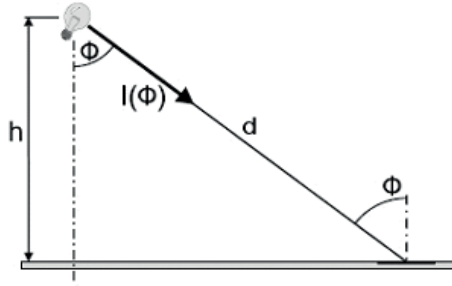
Işık düz bir doğrultuda hareket ettiğinden bu düzlemler üzerine aynı ışık akısı etki eder. Fakat bu düzlemlerin alanları farklı olduğundan, aynı ışık akısının düzlemler üzerinde oluşturacağı aydınlık düzeyi de farklı olacaktır. Düzlemler üzerinde oluşan aydınlık düzeyi, düzlemin ışık kaynağından uzaklığının karesiyle ters orantılıdır. Şekil 6'da modellenen kaynağından en bu ilişki Ters Kare Kanunu diye adlandırılıp, denklem 2.4 ile verilmiştir (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011; IESNA, 2000).



Şekil 6 Ters Kare Kanunu

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2.4)$$

Armatürden çıkan ışık akısı, şekil 7'de görüldüğü gibi armatürün altındaki yüzeye dik olarak düşmüyor ise aydınlatılan alan daha büyük olacaktır. Bununla birlikte, yüzey üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi de aynı oranda azalacaktır. Çalışma düzleminde ışığın geliş açısına dik olmayan noktalardaki aydınlık düzeyi Kosinüs Kanunu ile hesaplanır.



Şekil 7 Kosinüs Kanunu

Kosinüs Kanunu; armatürden düzlem üzerindeki bir noktaya gelen ışık şiddetinin, yüzeyin normaliyle yaptığı açının kosinüsü ile çarpımının armatürün bu noktaya olan uzaklığının karesine bölümü olarak tanımlanır. Bu ilişki denklem 2.5'te verilmiştir (IESNA, 2000).

$$E = \frac{I_{\phi}}{d^2} \cdot \cos\phi . \quad (2.5)$$

Bu yöntemle çalışma düzlemi üzerindeki herhangi bir noktadaki aydınlık düzeyi değerine, ışık kaynaklarının tek tek katkıları hesaplanabilir. Bir yüzey üzerindeki tüm noktalar için aydınlık düzeyleri, kullanılan ışık kaynakları için ayrı ayrı hesaplanır. Daha sonra düzlem üzerindeki noktalara ait aydınlık düzeyi değerleri toplanıp, çalışma üzerindeki istenilen noktalardaki aydınlık düzeyi dağılımları bulunur (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011). Çoğu iç hacimlerde, çalışma düzlemi yere paralel bir şekilde bulunur. Bu tür ortamlarda yatay aydınlık düzeyi hesaplaması için kullanılan denklem 2.5, yüksekliğin (h) bir fonksiyonu olarak denklemi 2.6'da olduğu gibi yazılabilir.

$$E = \frac{I_{\phi}}{h^2} \cdot \cos^3\phi \quad (2.6)$$

Çalışma düzlemi üzerindeki en büyük aydınlık düzeyi, ışık kaynağının tam altında yüzeyin normaliyle aynı açıda ışık akısının düştüğü noktada elde edilir. Günlük hayatta yazı tahtaları ve reklam panoları, iş makineleri üzerindeki düşey kontrol panelleri gibi düşey yüzeylerle de yaygın olarak çalışılır. Bu tip yüzeylerdeki aydınlık düzeyleri, denklem 2.7'deki düşey aydınlık düzeyi formülü kullanılarak hesaplanır.

$$E_D = \frac{I \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{h^2} \quad (2.7)$$

### 2.2.2. Doğrusal Işık Kaynağına Göre Aydınlık Düzeyi Hesabı

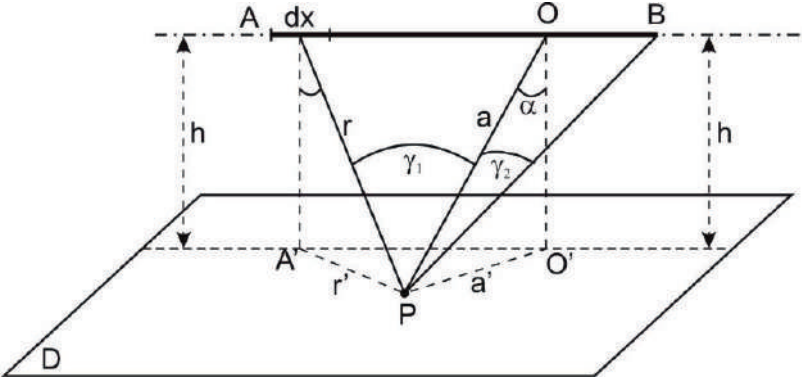
Doğrusal ışık kaynakları, boylarına göre enleri çok daha küçük olan silindirik tüplü ışık kaynaklardır. Dolayısıyla, birden çok noktasal ışık kaynağın birleşimi olarak düşünülebilirler. Bu ışık kaynakları genellikle çalışma düzlemine paralel yerleştirilir ve birim uzunluktan yayılan ışık şiddetinin sabit olduğu kabul edilebilir (Bean ve Simons, 2001; Özkaya, 2011).

Şekil 8'de görüldüğü gibi çalışma düzleminden belirli bir (h) yüksekliğinde bulunan bir doğrusal ışık kaynağının birim uzunluğa sahip parçalarının her birinin çalışma düzlemi üzerindeki bir P noktasına olan mesafeleri farklıdır. Dolayısıyla bu ışık kaynağının P noktasında oluşturduğu aydınlık düzeyi denklem 2.8 kullanılarak hesaplanabilir (Mangkuto, Jamila, ve Paramita, 2023).

$$E = \frac{h}{a^2} \cdot I_1 \cdot \left( \frac{2\gamma + \sin 2\gamma}{4} \right)_{-\gamma_1}^{\gamma_2} \quad (2.8)$$

Eğer doğrusal ışık kaynağı çok çok uzun ise ve için P noktasındaki aydınlık düzeyi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{h}{a^2} \cdot I_1 \quad (2.9)$$



Şekil 8 Doğrusal Bir Işık Kaynağının Altındaki Bir P Noktasındaki Aydınlık Düzeyi Hesabı



### 3. Sonuç

Aydınlatma hesaplamaları, aydınlatma sistemlerinin tasarım süreçlerinde büyük öneme sahiptir. Aydınlatma sistemlerinin tasarımı karmaşık fiziksel sistemlerin matematiksel bir modellemesi gerektirmesine rağmen, genellikle hassas doğruluk aydınlatma hesaplamalarında gereken bir zorunluluk değildir. Basit hesaplama yöntemleriyle kabul edilebilir doğrulukta hesaplamalar yapılabilir. Aydınlatma hesaplamaları denildiğinde ilk akla gelen aydınlık düzeyi ve parlıtlı hesaplamalarıdır. Kamaşma, görsel konfor, görme performansı gibi görsel algılamaya dayalı değerlendirilme kriterlerinde de aydınlık düzeyi ve parlıtlı değerleri kullanılır. Aydınlık düzeyi veya parlıtlı hesaplamalarında; hesaplamalar ışık kaynağı ve yakın çevresinin karşılıklı etkileşimi modellenerek yapılır. Aydınlatma hesaplamaları yapan tasarımcıların kullanacağı aydınlatma aygıtları hakkında gerekli fotometrik bilgilere sahip olması ve tasarım yapacağı ortamın çevresel özelliklerini iyi bilmesi gereklidir.

## KAYNAKLAR

- Bean, A. R. & Simons, R. H. (2001). *Lighting Engineering-Applied Calculations*. Architectural Press.
- Bishop, D. & Chase, J.G. (2023). A Luminance-Based Lighting Design Method: A Framework for Lighting Design and Review of Luminance Measures. *Sustainability*, 15(5), 4369. <http://dx.doi.org/10.3390/su15054369>.
- Czyżewski D. (2023). The Influence of a Photometric Distance on Luminance Measurements. *Energies*, 16(10), 4166. <https://doi.org/10.3390/en16104166>.
- Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), (2000). *The IESNA Lighting Handbook 9th Edition*.
- Mahlab, F., Yamaguchi, H., Shimosima, Y., Yoshizawa, N. & Cai. H. (2023). A joint validation study on camera-aided illuminance measurement. *Lighting Research & Technology*, 0, 1-5.
- Mangkuto, R.A., Jamila, N. & Paramita, B. (2023). On the average horizontal illuminance in rooms with one or two point light sources. *Architectural Science Review*, <https://doi.org/10.1080/00038628.2023.2223153>.
- Özkaya, M. (2011). *Aydınlatma Tekniği*. Birsen Yayınevi.
- Sirel, O. (2004). *Fotometrik Ölçmeler*. YFU.
- Smith, N. A. (2000). *Lighting For Health and Safety*, Butterworth-Heinemann.
- The International Commission on Illumination (CIE), (1986). *Guide For Interior Lighting*, CIE 029.2-1986.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), (1990). *Elektroteknikte Kullanılan Terimler ve Tarifleri-Aydınlatma*. TS12133, ICS29.020;01.040.29.



## Tam Parlatılmış (Full Lappato) Porselen Karo Sırlarında Kompozisyona Bağlı Olarak Gözenek Gelişimi

Müge Tarhan<sup>1</sup>

Baran Tarhan<sup>2</sup>

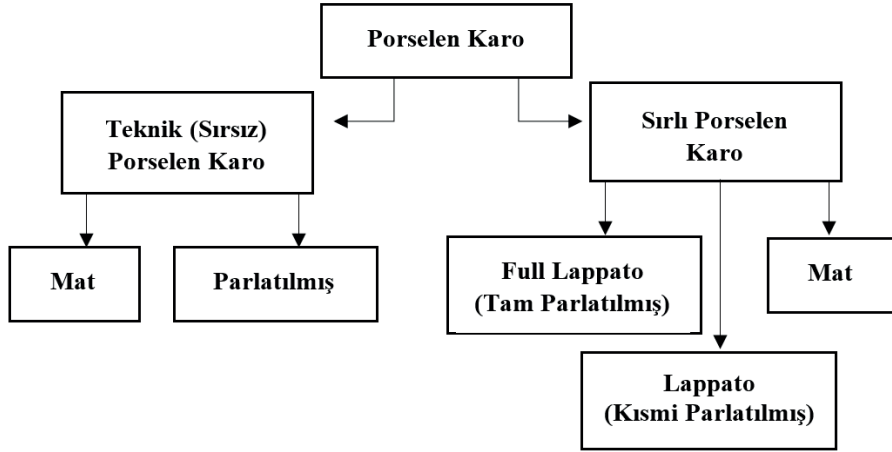
### Özet

Seramik kaplama malzemeleri üretimlerinde farklı üretim uygulamaları ve dijital baskı teknolojilerindeki gelişmelere de bağlı olarak özellikle doğal taş ve mermer görünümlü sırlı porselen karo üretimleri son yıllarda giderek artmaktadır. Sırlı porselen karolarda üretimin son aşamasında yapılan parlatma işlemi sonrasında yüzey görünümünde derinlik sağlayan ve parlak bir görünüm kazandıran sır kompozisyonları kullanılmaktadır. Tam parlatma işlemi uygulanan bu ürünlerde parlatma sonrası yüzeyde ortaya çıkan gözenekler ürün kalitesini hem görünüm hem de teknik açıdan olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada sırlı porselen karolarda parlatma sonrası ürün yüzeyinde ortaya çıkan gözenekliliğin sır kompozisyonuna bağlı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Sır reçetesinde pişirim sürecinde gaz çıkışına sebebiyet veren hammadde kullanımının gözeneklilik üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu hedefle sır reçetesinde CaO kaynağı olarak kullanılan vollastonit yerine kalsit kademeli olarak artırılarak kullanılmıştır. Farklı kalsit oranlarında hazırlanan sırlar laboratuvar şartlarında hazırlanmış, porselen karo bünyesi üzerine uygulanmıştır. Pişirim sonrası sırlı porselen karolara parlatma işlemi uygulanarak parlatma sonrası yüzey gözeneklilik incelemeleri yapılmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sır reçetesinde gaz çıkışına sebebiyet veren hammadde kullanımının tam parlatılan sırlı porselen karoların yüzeyinde oluşan gözenek miktarında belirgin bir etki yaptığı ve artan kullanım oranlarında gözenek miktarını artırdığı tespit edilmiştir.

- 1 Doç. Dr., Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, muge.tarhan@usak.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6985-3085
- 2 Doç.Dr., Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, baran.tarhan@usak.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0440-4646

## 1. Giriş

Seramik karo üretim teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler ve bu gelişmelere bağlı olarak daha büyük ebat (60x60cm, 80x80cm, 60x120cm) ve gerçeğe daha yakın yüzey desenlerinde üretilebilen ürünler ile porselen karolara olan ilgi ve talep son yıllarda ülkemizde ve dünyada belirgin şekilde artış göstermiştir. Günümüzde porselen karo üretimleri temel olarak teknik ve sırlı porselen karolar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Teknik porselen karolar sırlı uygulamaları yapılmadan üretilmekte, bitirme işlemlerindeki parlatma uygulamasına bağlı olarak mat veya parlatılmış olarak üretilerek piyasaya sunulmaktadır. Sırlı porselen karolar ise parlatma uygulamasına bağlı olarak parlatma işlemi uygulanmayanlar mat, kısmi parlatma işlemi uygulananlar lappato ve tam parlatma işlemi uygulananlar da full lappato ürünler olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1) [1].



Şekil 1. Porselen Karo Ürünlerinin Sınıflandırılması

Seramik karo ürün grubunda özellikle porselen karo talebinde meydana gelen artış porselen karoların sahip olduğu üstün teknik özelliklerin yanı sıra yüksek gerçeğe yakın, canlı ton ve parlaklıklarda elde edilen yüzeylerle de ilişkilidir. Son yıllarda önemli bir gelişme gösteren dijital baskı teknolojisi ve yüzey parlatma işlemleri ile porselen karo üretimlerinde karo üzerine yapılan baskıların yüksek çözünürlükte, daha gerçeğe yakın ve canlı tonlarda ve yüksek parlaklıklarda elde edilmesi mümkün hale gelmiştir.

Parlatma sırlı yada sırsız karoya, herhangi bir çizik, renk tonu veya parlatma kaynaklı yüzey problemlerini içermeyen, ayna benzeri (yüksek yansıtma özelliği gösteren) görüntüsü sağlayan üretim sürecidir. Full lappato olarak

tanımlanan sırlı porselen karolarda parlatma sırlı ürün yüzeyinde yapılan mekanik aşındırma işlemidir. Parlatma sonrası sırlı yüzey ayna benzeri parlak bir görünüm kazanırken sır bünyesindeki yüzeye yakın olan kapalı gözenekler açık hale gelebilmektedir. Yüzey görünümünde derinlik hissi olan, yüksek parlaklığa sahip full lappato porselen karo ürünlerinde parlatma sonrası belirgin hale gelen gözenekler ana problemdir. Yüzey parlatma sonrası ortaya çıkan gözenekler yüzeyde mat görünüme neden olmakta bununla birlikte ürünlerin lekelenme direncini de düşürmektedir. Bu tip ürünlerde parlatma prosesi sonrası açığa çıkan gözenekler aynı zamanda kimyasallara dayanımı da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Burada uygulanan sır kompozisyonu ve parlatma süreç parametreleri ürün kalitesini etkileyen ana etmenlerdir [2,3].

Belirli oranlarda, farklı seramik hammaddelerinin öğütülerek seramik bünye üzerine uygulanması ve pişirimi sonrasında camsı yapıya benzer bir görünümün elde edildiği tabaka sır olarak tanımlanır. Sırlar uygulandığı bünye ile fiziksel ve kimyasal bağ kurarak bünye ile bir uyum sağlamalıdır. Sırın ergime noktası, üzerine uygulandığı bünyenin ergime sıcaklığından daha düşüktür. Teknolojik özelliklerine göre, sırlar birçok özel karakteristiklere, fiziksel parametrelere ve kimyasal bileşimlere sahiptir. Bununla beraber pazarın gerektirdiği özellikte birçok sır da (efektli, lüster, reaktif vb) mevcuttur. Ticari karolar, istenilen estetik özelliklerde üretilebilecek spesifik sırlara ihtiyaç duymaktadır. Full lappato porselen karo ürünlerinde derinlik sağlayan ve parlatma sonrası camsı, ayna benzeri bir yüzey oluşturmak için çoğunlukla transparan sırların kullanımı öne çıkmaktadır. Bu tür sırlar aynı zamanda yüksek lekelenme ve kimyasal dayanım özellikleri göstermektedir [4].

Transparan sırlar ışığı tamamen geçiren, amorf (camsı) yapıdaki sırlardır. Sır yüzeyine gelen ışık demeti sır katmanından tamamen geçtiğinden ürünün desenini ve rengini canlı olarak gösterir. Transparan sırlarda kompozisyondaki tüm bileşenlerin, uygulanan pişirim sıcaklığında tamamen ergimesi gerekmektedir. Sırın düşük yüzey gerilimi ve uygun bir viskoziteye sahip olması yapıdaki hava kabarcıklarının uzaklaştırılması ve yüzey düzgünlüğü için son derece önemlidir. Aksi takdirde sır katmanından uzaklaştırılmayan hava kabarcıkları (kapalı gözenek) parlatma sonrası açık gözenek olarak ortaya çıkacak ve yüzey kalitesi ve teknik özellikleri olumsuz yönde etkileyecektir. Bu sırlarda transparanlık ergimiş camsı yapıda soğuma sırasında oluşan kristal türü ve kristalizasyon derecesine bağlıdır. Diopsit ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), müllit ( $\text{Al}_6\text{Si}_3\text{O}_8$ ), spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gibi yüksek kırınım indisine sahip kristallerin geliştiği sır kompozisyonları opak özellik göstermektedir. Transparan sırlarda anortit, kristobalit gibi

kırınım indisi düşük ( $< 1,6$ ) kristal gelişimi gösteren veya kristalizasyon davranışı göstermeyen sır kompozisyonları ile çalışılması gerekmektedir. Bu nedenle bu tür sırlarda yüksek kırınım indisine sahip, kristalleşme eğilimleri fazla olan ve yüksek ergime sıcaklıklarına sahip  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  gibi oksitler kullanılması tercih edilmez. Daha çok alkali metal oksitler içeren hammaddeler ile  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeren fritler kullanılmaktadır. Bu tür hammaddelerin yanı sıra sır kompozisyonlarında  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{ZnO}$  kullanılmakla birlikte bu oksitlerin fazla miktarda kullanılması kristalleşme eğilimini artıracığından transparanlığı olumsuz yönde etkileyecektir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{MgO}$  gibi yüzey gerilimi yüksek olan oksitlerin kullanımı transparanlığı olumsuz yönde etkilemektedir [5-7].

Seramik sırlarında  $\text{CaO}$  kaynağı olarak kalsit ve vollastonit kullanılmaktadır. Kimyasal formülü  $\text{CaO.SiO}_2$  olan vollastonit kalsiyum silikattan oluşur.  $\text{CaCO}_3$  kimyasal yapısına sahip olan kalsit yaklaşık  $890^\circ\text{C}$ 'de bozularak  $\text{CO}_2$  gaz çıkışı meydana getirmektedir. Vollastonit kalsit gibi ayrışarak gaz çıkışına sebebiyet vermediği için  $\text{CaO}$  kaynağı olarak daha çok tercih edilebilmektedir. Vollastonit kullanılan sırlarda gaz çıkışı meydana gelmediği için sırdaki gözenek miktarı azalırken iğne deliği görünümündeki sır hatasının oluşum riskinin daha az olduğu söylenilebilir. Ancak rafinasyon veya sentetik olarak elde edilen vollastonitin pahalı bir hammadde olması kullanımını sınırlandıran en önemli noktadır. Vollastonit  $\text{CaCO}_3$ 'ün yüksek sıcaklıklarda kuvarsla reaksiyonu sonucunda sentetik olarak elde edilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde sır kompozisyonlarında silika ve kalsitle yer değiştirebilir [2,4].

Bu çalışmada full lappato sır kompozisyonunda vollastonit yerine  $\text{CaO}$  kaynağı olarak,  $\text{CaCO}_3$  kimyasal yapısına sahip olan kalsitin kullanımı araştırılmıştır. Kalsit kullanımının parlatma sonrası ürün yüzeyinde özellikle gözenek oluşumuna etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Full lappato sır reçete geliştirme çalışmalarında iki farklı tür frit, kaolen, kuvars, sodyum ve potasyum feldspat, nefelin siyenit, çinko oksit, vollastonit ve mermer atığı kullanılmıştır. Bu hammaddelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir. Reçetelerde kullanılan hammaddeler Hitit Seramik A.Ş.'den temin edilmiştir.

*Tablo 1. Hammaddelerin XRF ile tayin edilmiş kimyasal bileşimleri (% ağı.)*

Hammaddeler	A.Z.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO
Frit A	-	49,50	20,00	-	-	19,50	7,00	0,50	0,50	2,00	1,00
Frit B	-	50,10	10,10	-	-	10,60	1,00	7,10	0,60	8,00	12,50
Na-feldispat	-	69,16	19,05	-	-	-	-	10,61	-	-	-
K-feldispat	-	67,00	17,80	-	-	-	-	2,65	11,30	-	-
Kuvars	-	99,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,20
Nefelin siyenit	0,36	60,53	23,17	0,03	0,13	0,14	-	10,68	4,91	-	-
Kaolen	12,27	48,34	36,2	0,74	0,21	0,06	0,24	0,07	1,87	-	-
Vollastonit	2,18	51,75	0,22	0,27	0,13	44,15	1,23	0,02	0,01	-	-
Kalsit	-	-	-	-	-	56,68	1,21	-	-	-	-

Bu çalışmada porselen karo full lappato sırası olarak bir başlangıç reçetesi belirlenerek standart olarak tanımlanmıştır. Sır reçete geliştirme çalışmaları, sır kompozisyonunda karbonatlı hammaddeler ile karbonat içermeyen hammadde kullanımının gözeneklilik üzerine olan etkisini belirlemek üzere yapılmıştır. Çalışmalarda standart olarak tanımlanan reçetenin Seger oranları sabit tutulmuş, standart reçete üzerinden vollastonit yerine mermer kullanımı ile yeni reçeteler geliştirilmiştir. Standart reçete Seger oranlarının sabit tutulabilmesi için geliştirilen reçetelerde aynı zamanda kuvars oranları da değişmiştir. Standart sıra ait Seger oranları Tablo 2’de, standart ve geliştirilen diğer sır reçeteleri Tablo 3’de verilmiştir.

*Tablo 2. Standart sıranın Seger oranları*

Seger formülü	Mol
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,340
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,902
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	5,263
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0,238
CaO/MgO	4,634
CaO+MgO	0,524
ZnO	0,238
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.087



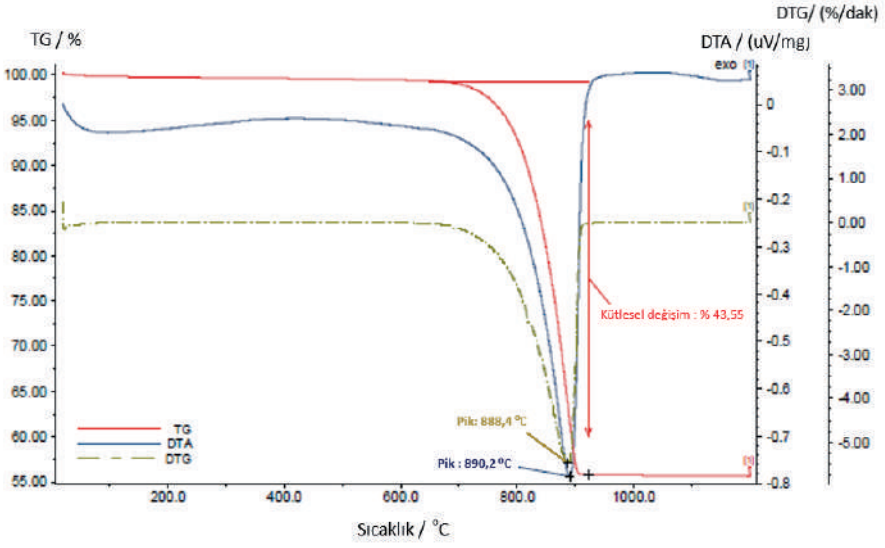
Tablo 3. Standart ve geliştirilen sır reçeteleri

Hammadde/ Reçete Kodu	Std	W1	W2	W3	W4
Kuvars	7,00	7,90	8,95	9,95	11,00
Kaolen	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Na-feldispat	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
K-feldispat	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Kalsit	-	1,50	3,05	4,60	6,18
ZnO	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Frit A	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Frit B	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Nefelin siyenit	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Vollastonit	8,00	6,00	4,00	2,00	-

Oluşturulan reçeteler 300 gr kapasiteli bilyalı laboratuvar değirmeninde  $45 \mu$  üstü elek bakiyesi % 5-7  $\mu\text{m}$  oluncaya kadar öğütülmüştür. Hazırlanan sırların yoğunluğu piknometre ile 1500-1550 g/lit aralığında ölçülmüştür. Sırların viskozite ölçümleri 2 mm çaplı ford cup viskozimetresi ile 60-65 sn arasında ölçülmüştür. Standart ve geliştirilen sırlar, 30 cm x 60 cm ebatında engop ve dijital baskı ile desen uygulaması yapılmış porselen karo üzerine kızak çekimi ile uygulanmıştır. Sır uygulaması yapılan karolar öncelikle Hitit Seramik Fabrikasında 1190-1195°C'de 44 dk pişirim süresinde sinterlenmiştir. Pişirim sonrası karolar yine Hitit Seramik fabrikası full lappato porselen karo üretim parlatma hatlarında parlatılarak nihai hale getirilmiştir. Parlatılmış sır yüzeylerinin gözeneklilik incelemeleri ELP Marka 8.0 Megapixel USB kamera ile yapılmış, sır kompozisyonuna bağlı olarak değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

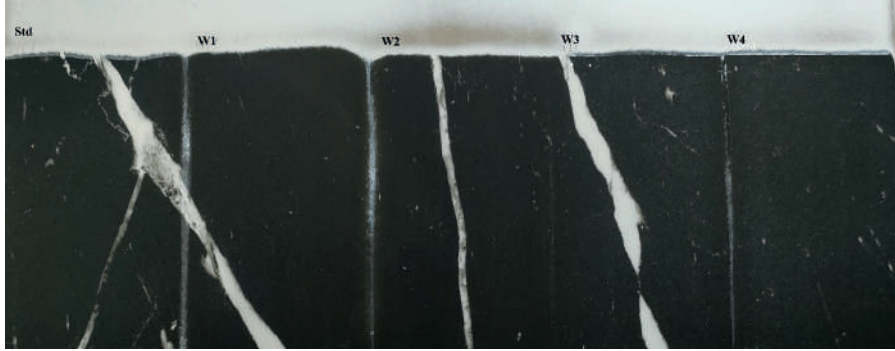
Sır reçetelerinde kullanılan kalsite ait TG-DTA analizleri Şekil 1'de verilmiştir. TG-DTA analizi incelendiğinde, TG eğrisinin türevinde belirlenen 888,4 °C'deki pik kalsitin dekompozisyon sıcaklığını göstermekte ve TG eğrisinde gözlenen % 43,55 lik kütle kaybı dekompozisyon sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazından kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak, DTA eğrisinde bu sıcaklığa yakın olarak 890,2°C'deki endotermik pik yine kalsitin dekompozisyonunu (CaO ve CO<sub>2</sub> açığa çıkması) göstermektedir. CaO.SiO<sub>2</sub> (CaSiO<sub>3</sub>) kimyasal formülüne sahip olan vollastonit ise kalsit gibi ayrışarak gaz çıkışına neden olmamaktadır.



Şekil 2. Kalsite ait TG-DTA grafiği

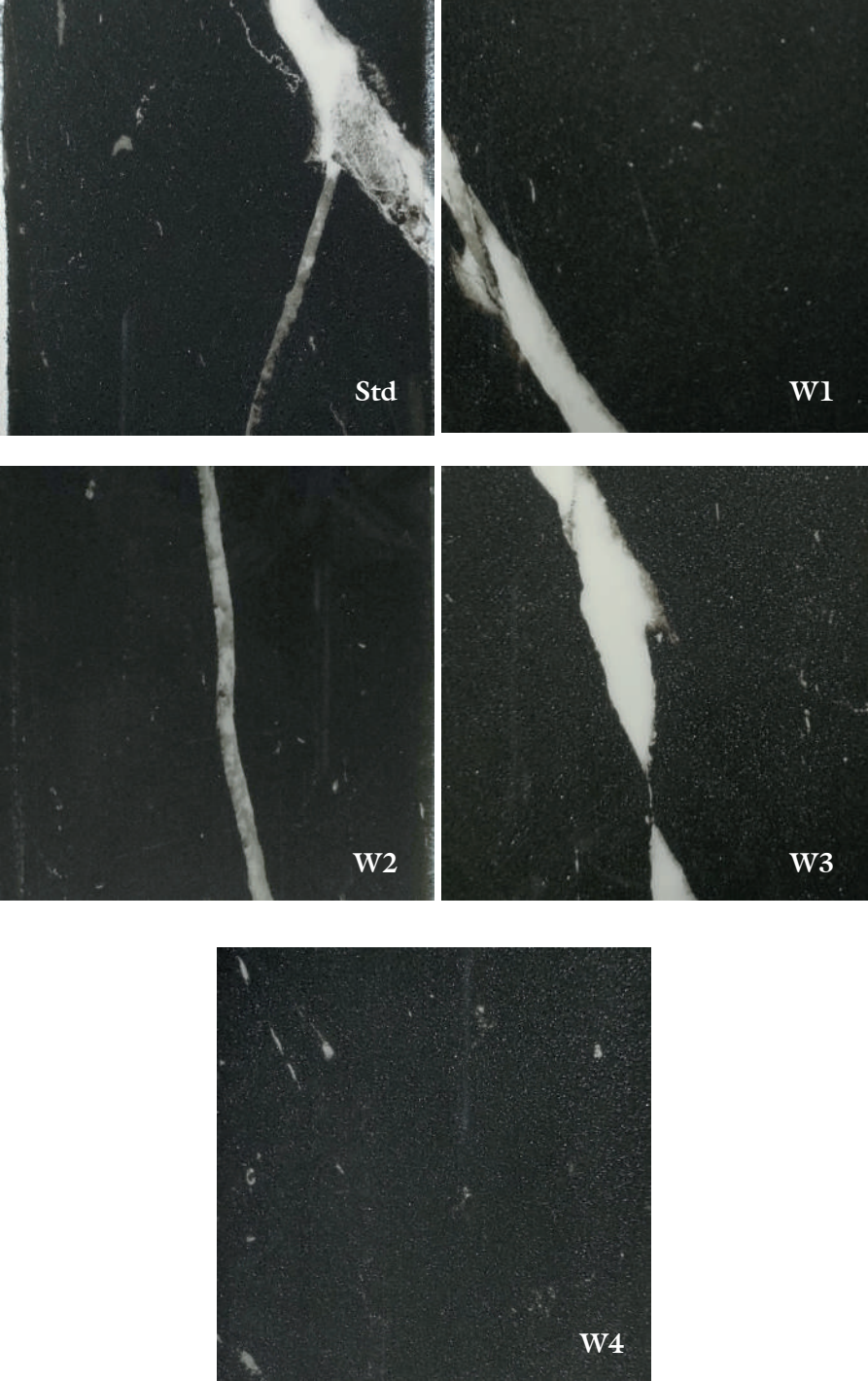
Standart ve geliştirilen sırlı yüzeylerin parlatma sonrası toplu görünimleri Şekil 3'de, her bir yüzey için daha yüksek büyütmede alınan detaylı yüzey görünimleri Şekil 4'te verilmiştir. Sır denemeleri parlatma sonrası gözenek miktarının belirgin olarak tanımlanabilmesi için koyu renkli beyaz damarlı bir desen üzerine alınmıştır. Parlatma sonrası yüzeylerde küçük beyaz iğne delikleri şeklinde gözlenen kısımlar sır yapısındaki gözeneklilikleri göstermektedir. Pişirim sürecinde sır yapısında oluşan ve bu süreçte sırdan uzaklaşmayarak sır içerisinde kalan kapalı gözenekler parlatma işlemi sonrasında açık gözeneklilik olarak yüzeyde belirmektedir. Parlatılmış sırlı porselen karo ürünlerinde parlatma sonrası yüzeyde beliren gözeneklilik problemi çok sık ve elimine edilmesi en zor problemlerden biridir. Seramik sır bünyesinde oluşan gözenekler genellikle uygulama sonrası yapıda var olan gözenekliliklerden ve ergime sırasında tamamen bozunmamış gaz çıkışına sebebiyet veren hammaddelerden kaynaklanabilmektedir. Pişirim sürecinde sırda gaz kabarcık gelişiminin azaltılması ve/veya oluşan gaz kabarcıklarının yapıdan uzaklaşması bu problemi minimuma indirir. Bu problemin kökeni sırnın kompozisyonunun içinde yatmaktadır. Problemin çözümü için sır kompozisyonunda gaz çıkışına neden olarak gözeneklilik riskini artıran hammadde kullanımı mümkün olduğunca kısıtlanmalı ve sırnın bazı teknik özellikleri iyileştirilmelidir. Olgunlaşma sıcaklığında sır viskozitesi önemli bir karakteristiktir çünkü sırnın bünye üzerinde yayılma ve düzgün bir tabaka oluşturma kapasitesini belirler. Viskozitesi düşük, daha akışkan sırlar gazların camı faz içinden çıkışını kolaylaştırırken ve daha hızlı olmasını

sağlarlar. Yüzey gerilimi de önemli bir rol oynar: daha yüksek gerilimler soğutma sırasında kalan baloncukların tekrar absorpsiyonuna yardımcı olma eğilimindedir.



*Şekil 3. 30x60 cm ebatlı karo üzerine uygulama yapılan sırların parlatma sonrası yüzey görünüşleri*

Bu çalışmada tam parlatılan porselen karo sırlarında gözeneklilik sır kompozisyonunda gaz çıkışına sebebiyet veren hammadde kullanımına bağlı olarak incelenmiştir. Sır kompozisyonunda herhangi bir gaz çıkışına sebebiyet vermeyen vollastonit yerine ucuz bir hammadde kaynağı olan ve önemli miktarda gaz çıkışı yaratan kalsitin kullanımının gözenekliliğe etkisi belirlenmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen sır yüzeyleri incelendiğinde sır reçetesinde vollastonit yerine kalsit kullanımıyla birlikte sır yüzeylerinde gözenekliliğin arttığı tespit edilmiştir. Kalsite ait TG/DTA eğrisinde 890 C'deki (Şekil 2) kütle kaybı CO<sub>2</sub> gaz çıkışından kaynaklandığı için gözenek miktarı kalsit miktarı arttıkça artmaktadır. W1 ve W2 kodlu, sırasıyla % 1.5 ve % 3.05 gibi düşük oranlarda kalsit içeren sır yüzeylerindeki gözeneklilik sadece vollastonitin kullanıldığı, kalsit içermeyen standart sır yüzeyine benzer olarak elde edilmiştir. Bu nedenle az oranlarda (%3'ten az) kalsit kullanımı ile ortaya çıkan gaz çıkışından kaynaklanan gözenekliliğin pişirim sürecinde sır yapısından uzaklaştırılmasının mümkün olduğu söylenilebilir. Sır reçetesinde % 3'ten fazla oranlarda kullanılan ve artan oranlarda kalsit kullanımı ile birlikte parlatma sonrası gözenekliliğin belirgin derecede arttığı görülmektedir (Şekil 4). Bu da kalsit oranındaki artışla birlikte artan gözenekliliğin pişirim sürecinde sır yapısından uzaklaştırılmasının mümkün olmadığını göstermektedir.



Şekil 4. Standart ve geliştirilen sırlı ürünlerin parlatılmış yüzey görüntüleri

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan çalışmada CaO kaynağı olarak vollastonit yerine kalsit kullanımının tam parlatılan sırlı porselen karo sır yüzeyindeki gözenek miktarı üzerine olan etkisi incelenmiştir. Vollastonitin belirli oranlarda kalsit ile yer değiştirilmesi ile % 3 kalsit miktarından sonra yüzeyde önemli miktarda gözeneklilik olduğu belirlenmiştir. Özellikle vollastonit yerine kalsitin tamamen yer değiştirmesi ile gözenek miktarında ve büyüklüğünde önemli derecede artış olmuştur. Sır içinde oluşan bu gözenekler parlatma işlemi sonrası açık gözenek haline geleceği için nihai üründe lekelenme direncini düşmesi gibi teknik problemlere yol açma olasılığı yüksektir. Yapılan bu çalışma ile kompozisyona bağlı olarak maksimum % 3 kalsite kadar vollastonit ile yer değiştirilebilerek reçetelerin oluşturulabileceği belirlenmiştir. Bu sayede sır reçete maliyetinin de düşürülebilmesi mümkün olacaktır. Sır reçetesinde % 3'ten fazla oranlarda kalsit kullanımı hedefleniyorsa, reçetenin oluşacak gaz çıkışı pişirim sürecinde sır yapısından uzaklaştırabilecek yönde sır viskozite ve yüzey gerilimi özelliklerinin de incelenerek sır reçete geliştirme çalışmaları yapılmalıdır.

## 5. Kaynakça

1. Mustafa Tığ, (2021).Sırlı Porselen Karo Yüzeylerine Uygulanabilir Transparan Sır Kompozisyonlarının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bilecik.
2. Kerime Sarı (2022). Camsı Yapıdaki Porselen Karo Sırlarına Granule Frit Katkılarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çanakkale.
3. Anonim, Applied ceramic technology, Volume II, Sacmi R&D Centre, Imola, İtalya, 2002.
4. Anonim, Applied ceramic technology, Volume I, Sacmi R&D Centre, Imola, İtalya, 2002.
5. Berkay Yazırlı (2022).Spinel Sisteminde Cam Seramik Sırların Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir.
6. S. Wang, X. Li, C. Wang, M. Bai, X. Zhou, X. Zhang, Y. Wang (2022). Anorthite-based transparent glass-ceramic glaze for ceramic tiles: Preparation and crystallization mechanism, Journal of the European Ceramic Society. 42(3);1132-1140, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.11.036>.
7. Ozan Kaya (2010). Porselen Karolar İçin Cam Seramik Sırların Geliştirilmesi (2010). Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir.



## Yapay Zekâ Uygulamaları, Eğitime Yansımaları ve Geleceğe İlişkin Yönelimler

Sezin Güleriyüz<sup>1</sup>

Ural Mustafa Özcan<sup>2</sup>

### Özet

Son zamanlarda gelişen teknoloji farklı alanlarda yeni çalışmalar sunduğu gibi eğitim alanının da yeni uygulamalar ortaya koyarak gelişimine büyük katkı sağlamıştır. Yapay zekâ kavramını 1956 yılında Dortmund konferansında ilk dile getiren John McCarthy olmuştur. Yapay zekâ teknolojisinin ortaya çıkmasından bugüne kadar gösterdiği değişimle birçok alanda yeni yaklaşımlar sunduğu görülmüştür. Bu alanda yapılan çalışmalar değişen ve gelişen teknolojinin sunduğu imkanlar doğrultusunda daha büyük önem kazanmış ve birçok sektöre karşılık bulan yapay zekâ teknolojisi eğitim alanına getirdiği yenilikler ile kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekâ günümüzün teknoloji trendleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda yapay zekanın eğitim alanında kullanılması konusunda araştırmacılar ve eğitimciler için yol haritası oluşturulma ihtiyacı doğmuştur. Bu çalışmada, yapay zekâ teknolojileri hakkında temel bilgiler verilmiş, eğitim alanında yapay zekanın öneminden bahsedilerek kullanım örneklerine değinilmiştir. Ayrıca yapay zekanın eğitim sektöründeki avantajlarına ve olumsuzluklarına değinilerek, gelecekte eğitim alanında yapılacak çalışmalara dikkat çekilmiştir.

### 1. Giriş

Teknolojinin değişimi ve gelişimi ile birlikte birçok sektörde beklentileri karşılayabilecek çalışmalar ortaya çıkmıştır. Bu alandaki gelişmelerden biride yapay zekadır. Yapay zekâ, bir bilgisayarın veya bilgisayar kontrollü robotun, genellikle akıllı varlıklarla ilişkili görevleri yerine getirme yeteneği olarak ifade edilebilir. Bu alanda yapılan uygulamaların akıl yürütme anlam

1 Bartın Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9858-7115>.

2 Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3892-4899>.



keşfetme, genelleme veya geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi insanlara özgü entelektüel süreçlerle donatılmış akıllı sistemler geliştirmek amacıyla kullanıldığı söylenebilir. Yapay zekâ ile tasarlanmış sistemler insan beynine göre çok daha hızlı çalışabilmektedir. Yapılan çalışmalarla birlikte yapay zekâ pek çok biçimde kendini göstermektedir.

- Sohbet robotları, müşterilerin sorunlarını daha hızlı bir şekilde anlamak ve daha verimli cevaplar vermek için yapay zekâdan yararlanır.
- Akıllı asistanlar, zamanlamayı iyileştirmek için büyük kullanıcı tanımlı veri kümelerinden kritik bilgileri çekmek için yapay zekâdan yararlanır.
- Öneri motorları, kullanıcıların izleme alışkanlıklarına göre TV programları için otomatik öneriler sunabilir.

Yapay zekâ, herhangi bir özel biçim veya işlevden ziyade süper güçlendirilmiş düşünce ve veri analizi yeteneği ve süreciyle ilgilidir. Bu alanda yapılan çalışmalar insan yeteneklerini ve katkılarını önemli ölçüde geliştirmeyi amaçladığından insanların yerine geçmek üzere tasarlanmamıştır. Çeşitli alanlarda her geçen gün yeni yapay zekâ uygulamaları insanoğlunun hizmetine sunulmaktadır. Örnek olarak sağlık (Yılmaz ve Buyrukoğlu, 2021; Savaş vd. 2022; Karakış ve Gurkahraman, 2021), güvenlik (Savaş ve Savaş, 2021), endüstri (Savaş, 2021) teknoloji (Majumdar vd. 2018), bankacılık ve finans (Malali ve Gopalakrishnan, 2020), psikoloji (Taylor ve Taylor 2021), yapay zekânın entegre edildiği alanlardır. Büyük bir hızla değişim ve gelişim gösteren teknolojinin eğitime de katkı sağlayacağı söylenebilir (Arslan, 2020, s.86).

Yapay zekânın gelişiminde “öğrenme” kavramı önemli kriterlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin derin öğrenme ve yapay sinir ağları oluşturma teknikleri ile veriye dayalı çok boyutlu işlem gerçekleştirebilme özelliği sayesinde kendi başına öğrendiği eylemleri tekrarlı bir şekilde yapabilmesi olarak tanımlanabilir (Mathew, Arul ve Sivakumari, 2020, s.1-9). Derin öğrenme için otonom araçlar örnek gösterilebilir. İlerleyen zamanlarda gelişen bu çalışmaların insanlar tarafından yapılan birçok işi gerçekleştirerek hayatı daha kolay hale getirebileceği söylenebilir. Bu bakış açısı altında yapay zekânın insandan daha üstün olabileceği endişesi gündeme gelmektedir. Bu endişeler toplanan verilerin nasıl işlenip yorumlanacağı, verilere kimlerin erişip ne gibi işlemler yapabileceği, kişisel verilerin korunmasının ihlal edilebilecek olması ve verilerin çalınip satılabilmesi gibi konulardan oluşmaktadır.

Eğitim alanında yapılan yapay zekâ çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır (Akdeniz ve Özdiñç, 2021). Dünyada eğitim ve öğretim sisteminde

yapay zekâ uygulamaları sürekli gelişim göstermektedir. Ülkemiz eğitim sisteminde de yenilikler yapılabilmesi adına yapay zekadan yararlanılması amaçlanmaktadır. Hedeflenen değişimlerin gerçekleştirilmesi adına yapay zekanın faydaları ve avantajları ile kullanım alanları hakkında eğitim sektörünün bütün paydaşlarına bilgi verilmelidir. Bu kapsamda eğitimcilerin çalışmalar ile ilgili kendilerini güncel tutmaları önem arz etmektedir.

## 2. Yapay Zekâ ve Genel Kavramlar

Yapay zekâ, insan beynini taklit ederek insanın yaptığı bir takım davranış ve görevleri algoritmalar sayesinde analiz edip tekrarlı yapan sistemler olarak ifade edilebilir. Günümüzde artan bir ivme ile karşılık bulan yapay zekâ teknolojilerinin temeli 1955 yılında ilk kez McCarthy tarafından atılmıştır. Teknolojik değişimlere bağlı olarak gelişen yapay zekâ çalışmaları yaşanan sorunların çözümüne yönelik alt bölümlere ayrılmıştır. Bu alt bölümleri uzman sistemler, görüntü işleme, ses tanıma sistemleri, yapay sinir ağları, robotik vb. olarak gösterilebilir. Bu alanlarda yapılan çalışmaların insan sağlığını, güvenliğini ve üretkenliğini arttırdığı gibi insan hayatını kolaylaştırdığı söylenebilir.

Gelişen ve değişen teknolojik yeniliklere bağlı olarak akıllı hizmetler olarak adlandırılan çalışmalarda artış görülmektedir. Bu alanda yapılan ilk çalışmalara örnek olarak Deep Blue verilebilir. 1987 yılında geliştirilen Deep Blue adlı bilgisayar Satranç ustası Kasparov'u mağlup ederek döneme damga vurmuştu. İnsanlar gibi davranış gösteren bu çalışmalar ilerleyen süreçte birçok alanda kendini göstermiştir. Birçok alanda karşılık bulan yapay zekâ çalışmaları eğitimde alanında da artan bir role sahiptir. Yapay zekâ, makine öğrenimi ve robotik gibi teknolojilerin hızla gelişmesiyle birlikte yaşamı ve toplumu büyük ölçüde etkilemektedir.

Yapay zekâ sistemleri çalışma alanlarına bağlı olarak çevre birimlerinden gelen veriler ile işlem yaparlar. İşlene veriler doğrultusunda tahmin veya kararlar oluştururlar. Bu sonuçlar sistem kullanıcıları tarafından kullanılabilirliği gibi makineler tarafından yorumlanarak eyleme dönüştürülebilir. Yapay zekâ temel olarak insanın yaptığı işleri kısacası insan beyninin işlem yeteneği ve gücünü taklit etmek için tasarlanmış bilgisayar yazılımları olarak söyleyebiliriz. Bu alanda kullanılacak bilgisayarlar sinir ağları, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi çeşitli tekniklerle eğitilmektedir. Yapay zekadan yararlanmak için büyük verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Gün geçtikçe atan teknoloji ile birlikte yapay zekâ alanında büyük gelişmeler olmaktadır. Bu gelişmeler ışığında yapay zekâ ile eğitilen makineler tahmin ve karar işlemlerinde insanlardan daha iyi sonuç verecektir.

## 2.1. Yapay Zekânın Tarihsel Gelişimi

Bilgisayarların gelişim süreci ile paralellik gösteren yapay zekâ teknolojileri mühendislik, sağlık, endüstri ve eğitim gibi birçok alan ile ilişkilidir. McCulloch ve Pitts tarafından 1943 yılında “Beynin Boolean Devre Modeli” geliştirilmiştir. Bu çalışma matematiksel olarak beyindeki nöronların çalışmasını formülize ederek açıkladığından bu alanda büyük öneme sahiptir. Shannon ise 1948’lerde geliştirilen algoritmalar ile bilgisayarların karmaşık matematik sorularını çözmek ve satranç oynamak için kullanılabilceğini ortaya atmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonrasında 1956 yılında John McCarthy tarafından Dortmund konferansında yapay zekâ ilk kez bir konferansta dile getirilmiştir. Yapay zekâ altında yapılan ilk çalışmalarda bilgisayarlar komutları sadece işleme ve çalıştırma özelliğine sahiptiler. Veri depolama ve saklama özelliği bulunmadığından 1956 yılına kadar ciddi bir gelişme olmamıştır.

Değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte 1960’larda bilgisayarların daha hızlı çalışması ve verileri depolaması anlamında olumlu değişimler olmasıyla yapay zekâ alanında farklı çalışmalar ortaya konmuştur. Yapay zekâ alanının ilk örneklerinden olan doğal dil işleme yazılı ELİZA 1964-1966 döneminde geliştirilmiştir. 1980’lere doğru gelindiğinde bilgisayarların verileri işleme hızı ve depolama özelliklerinin gelişmiş olmasına ek olarak veriler arasında ilişkiler kurulabileceği görülmüştür. Bu dönemde derin öğrenme kavramı olan, bilgisayarların yeni deneyimler ile verileri işleyip saklayası olarak bilinen teknik ortaya çıkmıştır. Bu dönem içerisinde Edward Feigenbaum tarafından uzman sistemler programı geliştirilmiştir. İnsan beynini taklit edebilen bilgi işleme yapıları olan sibernetik ve yapay sinir ağları 1990’larda geliştirilmiştir. Bu sayede öğrenen sistemler ortaya çıkmıştır. 1997 yılında IBM tarafından geliştirilen satranç oynama programı Deep Blue dünya satranç şampiyonu Gary Kasparov ile karşılaşmış ve Deep Blue Kasparov’u yenmiştir. Yine bu dönem içerisinde Windows’ta kullanılan ilk konuşma tanıma yazılımı oluşturulmuştur. 2001 yılında KISMET olarak isimlendirilen bir robot geliştirilmiştir. Bu robot insan mimiklerini, sesini, hareketlerini taklit edebilen, sosyalleşerek öğrenebilen özelliklere sahiptir. Bu çalışma ile birçok sorunun yapay zekâ ile çözülebileceği ortaya çıkmıştır. Her geçen gün gelişen yapay zekâ teknolojileri farklı alanlarda uygulanmaya devam etmektedir. Günümüzde kullanımı yaygınlaşan otonom araçlar, sesli asistanlar, dil çeviri uygulamaları, sanal sınıflar, akıllı eğitim yönetim sistemleri, yüz ve örüntü tanıma, otomasyon, görüntü işleme ve robotik gibi farklı uygulamalar yapay zekâ ile geliştirilmektedir.

### 2.1.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesini yapay zekanın alt dalı olarak tanımlanmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalarla bilgisayarların problem çözümü için yapacakları iş komutlarını dışarıdan almak yerine geliştirilen algoritmalar ile öğrenmeleri sağlanmaktadır. Bu da gösteriyor ki anlık olarak ortaya çıkabilecek sorunlara çözüm bulabilecek çok sayıda algoritmanın geliştirilmesi gerekmektedir (Gürsakal, 2017). Geliştirilecek algoritmalar daha öncesinde kullanılan verileri işleyip modelleyerek sonrasında karşılaşılabileceği benzer durumlarda çözüm üretecek özelliktedir. Makine öğrenmesini özetleyecek olursak, verilerin analiz edilmesi, model oluşturulması ve oluşturulan modeli kullanma adımlarının tekrarlı şekilde işleme alındığı öğrenme ve kullanma süreci olarak değerlendirilebilir.

### 3. Eğitimde Yapay Zekâ

Yapay zekâ teknolojisinin uygulanması açısından eğitim sektörü büyük potansiyele sahip diyebiliriz. Eğitim teknolojisi üzerine çalışma yapan şirketler sınıf yönetimi, değerlendirme, bireyselleştirilmiş eğitim gibi birçok alanda çözüm geliştirmiştir (Guan, Mou, Jiang, 2020, s.134). Her ne kadar öğretmenlerin görevlerinde yaşanabilecek değişimler olsa da bu alanda yapay zekadan yararlanıldığı söylenebilir. Bu alandaki uygulamaların kullanılması öğrencinin bilgiye hızlı bir şekilde ulaşım etkili öğrenmesine imkân sağlar. Yapay zekanın eğitime sağladığı avantajlardan bir diğeri öğrencilerin bireysel kapasite ve öğrenme hızlarına göre öğrenme imkânı sağlamasıdır. Bunun yanı sıra öğrencilerin çalışmalarına esnek bir yapı katması öğrenci performansını ve verimliliğini arttırdığı gibi idari ihtiyaçlara da yardımcı olmaktadır. Bu sistemlerin kullanılması eğitimin kalitesini arttırabileceği gibi eğitim kurumlarına avantaj ve katkı sağlayabilir (İşler ve Kılıç, 2021, s.4).

Yapay zekanın eğitim alanındaki en önemli amacı öğrencilerin kişisel özelliklerini ve performanslarını dikkate alarak bireyselleştirilmiş eğitim programları oluşturulmasına destek olmaktır. Bu alanda yapılan çalışmalar gün geçtikçe yeni yeni fırsatları ortaya çıkartmış olsa da henüz beklenen karşılığı bulduğu söylenemez. Öğretmenler bu süreçte değerlendirmede, veri toplamada, öğrenme gelişimini arttırmada yapay zekadan yararlanarak öğrencilerin öğrenmelerine katkı sağlamaktadır. Bu ve buna benzer avantajları olması nedeni ile yapay zekanın eğitim alanında büyük öneme sahip olduğu söylenebilir (Hwang, vd. 2020, s.4). Bu alandaki gelişmelere bağlı olarak uzman, akıllı öğretici ve diyalog tabanlı öğretici sistemler gibi uygulamaların kullanımının arttığı söylenebilir.

Yapay zekanın gelişim göstermesi ile birlikte uzman sistemlerin kullanımında artış olmuştur. Uzman sistemler bir alanda uzmanlaşmış kişilerin yaptığı işleri çeşitli yapay zekâ algoritmaları kullanarak gerçekleştiren yazılımlardır. Bu sistemler öğrencilerden aldığı veriler doğrultusunda bilgi tabanını genişletir ve karar verme yöntemlerini geliştirir. Bu alanda bilinen en önemli çalışma Stanford Üniversitesinden Prof. Dr. Feigenbaum ve arkadaşları tarafından geliştirilen MYCIN'dir. Bu çalışma, tıp alanında bakteriyel hastalıkların teşhis ve tedavisinde kullanılır (Arslan, 2020, s.82).

Akıllı öğretici sistemler yapay zekanın eğitimde sık kullanıldığı uygulamalardır. Bu sistemler öğrencilere uygun öğrenme ortamları sağlar. Bu sistemlerin ilki olan SCHOLAR temel pedagojik yaklaşımı diyalog prensiplerine dayanır. SCHOLAR'dan sonra bu alanda farklı akıllı sistemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında, WHY, BUGGY, SOPHIE ve LISP gösterilebilir.

Diyalog tabanlı öğretici sistemlere AutoTutor ve WatsonTutor örnek gösterilebilir. AutoTutor fizik ve biyoloji gibi alanlarda öğretici ve öğrenci arasındaki diyalogları taklit ederek online görevleri adım adım yerine getirmek için geliştirilmiştir. Yapay zekâ günümüzde büyük önem taşımaktadır. Bu teknolojiler farklı alanlarda hizmet vermekle birlikte eğitime de katkı sağlayabileceği söylenebilir (İşler ve Kılıç, 2021, s.2).

Eğitim alanında günümüz yapay zekâ çalışmaları incelendiğinde öğrenci ve öğrenme üzerine yapılan çalışmaların fazla olduğu görülmektedir. Bu alandaki paydaşların yapay zekâ çalışmalarındaki avantaj ve dezavantajlarına bakacak olursak;

- ***Eğitim Örgütü***

***Avantajları:*** Okul güvenliği, dijital öğrenme, öğrencilerin bireysel tespiti, değerlendirme objektifliği, öğrencilerin kişisel bilgilerinin güvenliği, verimli ve esnek çalışma imkânı, kişiselleştirilmiş eğitim olarak görülebilir.

***Dezavantajları:*** Güvenin az olması, öğrencilerin yaratıcı çalışmalarının değerlendirilmesindeki sorunlar, sınıf disiplinin sağlanmasında yaşanabilecek sorunlar, sistemin arıza vermesi ya da siber saldırıya uğrayabilecek olması olarak görülebilir.

- ***Öğrenci***

***Avantajları:*** Öğrenme sürecini objektif ve nesnel olarak izleme, çevrim içi eğitimin kalitesinin artışı, yeni teknolojiler ile kullanılabilme, esnek ve sürekli erişim imkânı olarak görülebilir.

**Dezavantajları:** Öğrenci ile öğretmen arasındaki etkileşim ve iletişim eksikliği ile öğrencinin motive olmasında zorluk yaşaması olarak söylenebilir.

- **Öğretmen**

**Avantajları:** Öğrenci eğitimi ve yönetiminin kolay olması, yapılacak işlemlerin otomatikleşmesi, sürecin süreli düzenlenip iyileştirilebilmesi, objektif değerlendirme imkânı, hızlı geri bildirim sağlama, öğrenci başarısı takibi, eğitimcilerin güçlü yanlarının korunarak eksik yönlerinin geliştirilmesine katkı sağladığı söylenebilir.

**Dezavantajları:** Öğretmenlerden beklenen mesleki yeterliliklerin yükselmesine neden olabileceği gibi zaman içerisinde öğretmenlerin yerini alabileceği söylenebilir.

- **Veli**

**Avantajları:** Anlık geri bildirim verilebileceği gibi süreç hakkında bilgilendirme yapılabilir. Yeni öğrenme fırsatları yaratarak maddi durumu yetersiz olan ailelere imkanlar sağlayarak eğitime erişimlerinde yaşanan sorunların giderilmesi olarak görülebilir.

**Dezavantajları:** Kişiler arasında iletişim eksikliği yaşanabilecek olması olarak görülebilir.

Eğitimde yapay zekâ teknolojilerinin kullanılmasının nedenleri arasında kişiselleştirilmiş eğitim, öğretim asistanı, standartları sağlanmış müfredat, öğrenciler için öğretim yöntemlerinin çeşitlendirilmesi gibi fırsatlar sunması gösterilebilir. Bu alanda yapılan çalışmalar ile eğitimin bireyselleştirilmesi sağlanarak veriye dayalı öğretim ve rehberlik imkanları oluşturulmuş olacaktır. Yapay zekâ tabanlı hizmet veren akıllı eğitim sistemlerine Carnegie Learning, Jill Watson, EBA ADES, iTalk2Learn örnek gösterilebilir. Eğitim alanında yapılan yapay zekâ çalışmaları öğrenme sürecinin etkili olması ile sınırlı kalmamakta ilgili bütün alanlarda uygulanmaktadır. Eğitimde yapay zekâ uygulama alanları ve teknikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yapay zekâ uygulama alanı ve kullanılan teknikler:

Yapay Zekâ Uygulama Alanı	Teknikler
Öğrenci ve okulun değerlendirilmesi	Öğrenci ihtiyaçlarını dikkate alarak eğitim sürecini düzenleyen ve planlayan kişiselleştirilmiş eğitim, eğitim ve öğretim analizleri
Ödev ve sınavların değerlendirilmesi	Görüntü işleme ve analizi, tahmin sistemi
Kişiselleştirilmiş akıllı öğretim	Veri madenciliği, bireysel öğrenme sürecinin analizi
Akıllı okul	Yüz ve ses tanıma, işitme algılama, akıllı sınıf ve laboratuvar, artırılmış gerçeklik, VR teknolojileri
Çevrim içi eğitim	Bireysel analizler, sanal asistanlar, anlık geri bildirim

Yapılan çalışmalar neticesinde eğitimin bütün paydaşları üzerinde yapay zekanın etkili olduğu ve yaşanan teknolojik gelişmeler ile çok daha ileri gideceği söylenebileceği gibi yakın gelecekte yapay zekâ uygulamalarının sınıf ve okul yönetiminde daha fazla kullanılması beklenmektedir. Yapay zekâyı diğer eğitim teknolojilerinden üstün kılan unsurlar aşağıdaki gibidir (Noc, 2009):

- Öğrencinin bireysel ihtiyaçları ile eğitim ihtiyaçlarını eşleştirebilmesi
- Öğrenci sorunlarına çözüm bulması ve sağlıklı iletişim kurabilmesi
- Öğrenme sürecini öğrenciye göre şekillendirip modelleyebilmesi
- Daha önceki performansları ve öğrenmeleri dikkate alarak bilgi sağlayabilmesi
- Öğrencinin bireysel düzeyine uygun kararlar alabilmesi
- Eğitim sürecine uygun kararların alınabilmesi

### 3.1 Yapay Zekânın Okul Yöneticiliğindeki Yeri

Günümüzde teknolojik gelişmelerin artması ile oluşturulan sistemler gittikçe önem kazanmaktadır. İnsan faaliyetlerinin hemen hemen hepsinde teknolojik gelişmeler görüldüğünden insanoğlunun gelişen bu güç karşısında lider davranışlar göstermesi beklenmektedir. Bu bakış açısı altında eğitim sektörünü dikkate aldığımızda öğretmenlere ve okul yöneticilerine önemli görevler düşmektedir. Eğitimcilerin teknolojiyi etkili bir şekilde kullanmasının yanı sıra bu konuda öğrencilere lider olmalıdırlar. Dijital dönüşüm okullarda yeni bir liderlik anlayışının ortaya çıkmasına neden

olmuştur. Ortaya çıkan liderlik anlayışı teknolojik gelişmeleri yakından takip eden dijital değişimi etkili kullanılabilen özellikler içermektedir. Aksi takdirde liderin yetersiz kalacağı teknolojik değişim ve gelişimler ortaya çıkacağından eğitim sürecinde liderin eksik kalması söz konusu olacaktır. Bundan dolayı dijital lider, teknolojiye ayak uyduran ve yönlendiren olmalıdır. Eğitim kurumunun başarısı ve öğrenci performanslarının artış göstermesi için dijital liderlik gereksinim haline gelmiştir.

### 3.2 Yapay Zekanın Eğitime Katkıları

Yapılan çalışmalar sonucunda yapay zekânın eğitim sürecine sağladığı katkılar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kişileştirilmiş eğitim öğretim imkânı sunmaktadır.
- Akademik başarının arttığı söylenebilir.
- İşbirlikçi öğrenme için akıllı destek sağlayabilir.
- Öğretmenler için zaman kaybının önlenmesini sağlamaktadır.
- Sürekli değerlendirme ve geribildirim sağlanmaktadır.
- Öğretmenler derslerini duruma göre tekrar düzenleyebilir.
- Ders uygulamaları uzaktan eğitim ile sağlanabilir.
- Bilgiyle etkileşimde bulunduğundan etkili öğrenmeyi sağlamaktadır.
- Eğitimsel geribildirim sağlanmaktadır.
- Öğrencinin ihtiyaçlarına ve ilgilerine uygun farklı kaynaklar sunabilir.
- Öğrencilerin ders içeriği ile sesli iletişim kurmalarına imkân sağlar.
- Öğrencilerin ilgi, beceri ve başarıları doğrultusunda düzeylerine uygun kişiselleştirilmiş ödevler sunabilir.
- Sanal gerçeklik ve sürükleyici ortamlar sağlar.
- Daha geniş toplumsal sonuçlar oluşturur.
- Öğrencilerin okulu bırakma riskini önceden tahmin edebilir.
- Daha iyi sınıf yönetimi sağlanabilir.
- Daha etkin idari yönetim sağlanabilir.
- Öğrencilere ait bilgileri hızlı bir şekilde toplama ve saklama imkânı sağlar.
- Özel gereksinimli öğrencilere imkân ve fırsatlar sunarak etkili öğretim gerçekleştirilebilir.



### 3.3. Eğitimde Yapay Zekâ Kullanımında Dikkat Edilecek Hususlar

Eğitim sürecinde her ne kadar teknolojiden yararlanılsa da eğitimin insan merkezli bir süreç olduğu unutulmamalıdır. Teknolojinin eğitimdeki rolü eğitim sürecini geliştirerek kalitesini arttırmak olmalıdır. Her ne kadar yapay zekâ alanında hızlı değişim ve gelişmeler olsa da eğitim alanında sadece teknolojiye güvenmek doğru değildir. Bu alanda yapılan çalışmalarda öğrencilerin kişisel ve akademik bilgilerinin kullanılması veri güvenliği açısından sorun oluşturabilir (Vincent-Lancrin ve van der Vlies, 2020). Eğitim alanında yapılacak çalışmalarda kullanılacak yapay zekâ teknolojisini sürecin destekleyici kriteri olarak görmek insan faktörünün göz ardı edilmeyeceği sağlayacaktır. Yapılan çalışmalarda yapay zekanın insan ve çocuk hakları üzerinde birtakım olumsuzluklar oluşturabileceği endişesi olduğu söylenebilir. Çocukların tablet ve telefon kullanımındaki artış yapay zekâ kullanımını ve dijital dünyaya erişimi kolaylaştırmış olsa da çocukların gerçek arkadaşlığın ahlaki sorumluluklarını öğrenmelerine engel oluşturmaktadır.

### 3.4. Eğitimde Yapay Zekâ Uygulaması ve Faydaları

Teknolojinin eğitim ve öğretimdeki uygulamalarına bakacak olursak;

- Kişiselleştirilmiş Öğrenme

Her öğrenci bilgiye aynı şekilde uyum sağlayamaz. Bazı öğrenciler çabuk öğrenirken bazıları zamana ihtiyaç duyabilir. Yapay zekâ kullanımı her birey için eğitimin kişiselleştirilmesini sağlar. Makine öğrenimi gibi destekleyici teknolojiler ile öğrencinin dersleri nasıl algıladığı kayıt altına alınarak süreç daha işler hale getirilebilir. Gömülü oyunlar, özelleştirilmiş programlar gibi çalışmalar ile her bireyin gereksinimlerine odaklanılabilir.

- Sesli Asistanlar

Eğitimciler tarafından öğrenmede verimli bir şekilde kullanılan bir başka yapay zekâ bileşeni de sesli asistanlardır. Bunlara örnek olarak Amazon'un Alexa'sını, Apple Siri'yi, Microsoft Cortana'yı gösterebiliriz. Bu sesli asistanlar, öğrencilerin öğretmen katılımı olmadan eğitim materyalleriyle sohbet etmelerini sağlar. Eğitim materyali ile etkileşimi kolaylaştırmak veya ekstra öğrenme yardımına erişmek için evde ve eğitim dışı ortamlarda kullanılabilirler.

- Eğitimcilere idari görevlerde yardımcı olmak

Öğretmenler sadece eğitim odaklı görevlerle mücadele etmezler, aynı zamanda sınıf ortamını idare etme ve çeşitli görevlerle ilgili sorumluluğu vardır. Eğitimcilerin zamanının yarısı eğitim dışı etkinliklere harcandığından

yapay zekâ sistemleri, okul ve not verme gibi görevlerle başa çıkmanın yanı sıra öğrenciler için kişiselleştirilmiş yanıtları kolaylaştırmada önemli katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra rutin ve monoton evrak işleri, lojistik ile ilgili konular ve personel sorunları ile ilgili destek olmaktadır.

- Engelleri Aşmak

Yapay zekâ araçları ve cihazları, küresel sınıfları, dilleri veya engelleri ne olursa olsun herkes için erişilebilir hale getirmeye yardımcı olmaktadır.

- Farklılaştırılmış ve bireyselleştirilmiş öğrenme

Öğrenimi öğrencilerin bireysel özelliklerine göre ayarlamak, yıllardır eğitimcilerin önceliği olmuştur. Kalabalık sınıflarda kişiselleştirilmiş öğretim öğretmenler için zorluk oluştursa da yapay zekâ sayesinde otaya çıkan zorluklar giderilmektedir.

- Akıllı İçerik

Yapay zekanın eğitim endüstrisinde devrim yaratmasının bir başka yolu öğrencilerin başarıya ulaşması için yeni yaklaşımlar geliştirmesidir. Akıllı içerik, öğrenmeyi daha basit hale getirdiği için eğitimciler, kuruluşlar, öğrenciler ve eğitimciler arasında oldukça popüler bir terimdir. Akıllı içerikten kasıt ders kitaplarının dijitalleştirilmiş kılavuzlarını, video konferansı ve video dersleri içeren çeşitli sanal içerik türleri söylenebilir.

- Özelleştirilmiş veri tabanlı geri bildirim

İster bir işyerinde ister sınıfta olsun, öğrenme deneyimleri tasarlama söz konusu olduğunda geri bildirim çok önemli bir bileşendir. Etkili öğretim ile yalnızca içerik vermek arasındaki temel fark, etkili öğretimin sürekli geri bildirim vermeyi içermesidir. Geri bildirim güvenilir bir kaynaktan gelmesi çok önemlidir; bu nedenle eğitimde yapay zekâ, günlük verilere dayalı iş raporlarını analiz eder ve belirler. Veriye dayalı bir geri bildirim sistemi, öğrenci memnuniyetine yardımcı olur, öğrenmedeki önyargı faktörünü ortadan kaldırır ve becerilerin nerede eksik olduğunu anlamaya yardımcı olur. Bu geri bildirim, sistemde kayıtlı olan her öğrenci ve çalışanın performansına göre şekillendirilmektedir.

- Güvenli ve merkezi olmayan öğrenme sistemleri

Milyonlarca öğretmene ve öğrenciye veri ve bilgi koruma çözümleri konusunda yapay zekâ teknolojisi tarafından destek verilir.

- Sınavlarda Yapay Zekâ

Yapay zekâ yazılım sistemleri, şüpheli davranışları tespit etmeye ve amiri uyarıya yardımcı olmak için sınavlarda ve görüşmelerde aktif

olarak kullanılabilir. Eğitimdeki yapay zekâ teknolojisi avantajının, en etkili çevrimiçi sınav çözümlerinden biri olduğu söylenebilir.

Aşağıda verilen eğitim uygulamaları, her yaşta öğrencide öğrenmeyi geliştirmek için yapay zekanın gücünden yararlanmaktadır.

- **Thinkster Math:** Thinkster Math, matematik müfredatını kişiselleştirilmiş bir öğretim stiliyle harmanlayan bir özel ders uygulamasıdır. Uygulama, öğrencilerin bir matematik problemi üzerinde çalışırken nasıl düşündüklerini görselleştirmek için yapay zekâyı kullanır. Bu öğretmenin çocuğun düşünme ve mantığı üzerinde çalışılması gereken alanları hızlı bir şekilde tespit etmesini sağlar. Daha sonra anında, kişiselleştirilmiş geri bildirim vererek onlara yardımcı olur.
- **Brainly:** Öğrenciler bu eğitim platformunda ev ödevi soruları sorabilir ve diğer öğrencilerden otomatik, doğrulanmış yanıtlar alabilir. Sonuç olarak öğrencilerin daha hızlı öğrenmesine yardımcı olan Brainly, istenmeyen e-postaları filtrelemek için makine öğrenimi algoritmalarını kullanır.
- **Content Technologies, Inc. (CTI):** Bu yapay zekâ şirketi, öğrenciler için özelleştirilmiş öğrenme araçları oluşturmak için derin öğrenmeyi kullanır.
- **Gradescope:** Bu platform, not verme süresini kısaltır ve (öğretmenlerin not verme süresi yüzde 70 veya daha fazla azalır) buna ek olarak öğretmenlerin yardıma ihtiyaç duydukları yerleri gösterebilen öğrenci verileri sağlar.
- **Duolingo:** Dünya çapında 120 milyondan fazla kullanıcısı olan Duolingo, sınıfın ötesine geçen geniş bir kitleye sahiptir. 19 dil sunar ve uygulamayı kullanan herkesin bir yabancı dil öğrenmesine yardımcı olur ve zaman içinde becerilerini geliştirir.
- **Classcraft:** Oyunlaştırma yoluyla mevcut zekâyı kullanan çevrimiçi E-Öğrenme sistemidir. Öğrencinin süreç içerisinde oyun karakteri özelliğine sahip olduğu, olumlu davranışlar gösterdiğinde puan artışı, olumsuz davranışlar sergilerse puan azaltan oyunlaştırma uygulamasıdır.
- **ChatBot:** Kullanıcı ile sesli ya da yazılı olarak iletişim kurarak bilgi veren veya işlem yapan uygulama yazılımıdır.
- **Assassin's Creed:** Öğrencilerin oyun oynarken tarihsel durumları yaşamalarını sağlayan video oyun serisidir. Öğrencilerin konuyu öğrenirken aynı zamanda eğlenmelerine imkân sağlar.

- Utifen Uygulaması: Öğrencilere neyi öğrendiklerini öğrenirken kullandıkları öğrenme yollarını takip etmelerine destek olmak amaçlı kişiye özel bilgiler sunar.
- Amazon Alexa: Sanal asistan olarak Amazon tarafından geliştirilmiştir. Sesli etkileşim kurmak, istenen müziği açmak, sesli haber ve kitap okuma, güncel hava durumu bilgisi ve trafik bilgisi vermek gibi işlemleri yapar.

### 3.5. Eğitimde Yapay Zekanın Geleceği ve Öneriler

Eğitimde yapay zekâ uygulamalarına bakıldığında gün geçtikçe önem kazandığı söylenebilir. Eğitim sürecinde öğretmenlerin öğrencilere rehber olmasının yanı sıra yapay zekâ konusunda farkındalık kazanmaları gerekmektedir. Eğitimciler bu alanda yapılan güncel çalışmalara adapte edilmelidir. Yapay zekâ teknolojisi geliştikçe, bu alanda tasarlanan bilgisayarların ya da makinelerin öğrencinin yüzündeki mimiklerden ve değişimlerden bir konuyu anlamak için mücadele ettiğini gösteren ifadeyi okuması ve buna karşılık bir dersi güncellemesi mümkün olabilir. Eğitim sürecini her öğrencinin bireysel özelliklerine ve ihtiyaçlarına göre düzenleme fikri bugün geçerli olmasa da ilerleyen süreçte yapay zekâ destekli makineler için geçerli olacaktır. Bu ve buna benzer çalışmalar ile sınıf ve okul yönetiminde oluşabilecek sorunları giderici uygulamalar yapılacaktır.

## 4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç itibarıyla günümüzde yaşanan teknolojik değişim ve gelişmeler her geçen gün artmaktadır. Teknolojideki bu değişim ve gelişim yapay zekâ çalışmalarını da doğrudan etkilemektedir. Yapay zekâ çalışmaları eğitimde, ekonomide, sporda, siyasette, bilimde ve diğer alanlarda kendini göstermektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar geleneksel sistemlerin gelişimine yönelik yapılmakta olup iş yükünün azalmasını sağlayarak daha hızlı çalışan sistemler tasarlamayı hedeflemektedir. Pandemi süreciyle birlikte yapay zekanın uzaktan eğitimde ne kadar etkili ve önemli olduğu anlaşılmalı ve eğitim kademesindeki herkesin teknolojiye hâkim olması gerekliliği görülmüştür. Yapay zekâ alanında yaşanan gelişmeler neticesinde ilerleyen süreçte eğitim alanının yanı sıra birçok alanda gelişmeler yaşanacağı söylenebilir. Buna bağlı olarak okullarda yapay zekâ, teknoloji, robotik kodlama ve dijital dünya gibi konulara daha fazla yer verilmelidir.

Yapay zekânın son dönemde önem kazanmasının bir diğer sebebi olarak teknoloji ile iç içe yetişen yeni nesillerin ihtiyaçları doğrultusunda eğitimin yeniden düzenlenmesinin gerekli olduğu gerçeğidir. Eğitim alanında yapılan

yapay zekâ çalışmaları ile veriler daha hızlı toplanarak analiz edilebilir. Öğretmenlerin iş yükü azaltılabileceği gibi not verme gibi eğitimdeki temel etkinlikler otomatikleştirilebilir. Bu alanda yapılan çalışmalar ile sadece okul ve sınıf ortamı değil okul dışı öğrenme ortamları da geliştirilebilir. Öğrencilerin bireysel farklılıkları dikkate alınarak kişiselleştirilmiş eğitim senaryoları geliştirilebilir. Öğrencilerin bireysel performanslarının geliştirilmesinin yanı sıra işbirlikçi çalışmaları da desteleyecektir. Okullarda ve sınıflarda yapay zekâ uygulamalarını kullanacak öğretmenlerin bu alanda eğitilmesi büyük önem taşımaktadır. Eğitimcilerin gerek teknolojik gerekse de yapay zekâ alanındaki değişim ve gelişimleri yakın takip etmesi ve kendilerini sürekli olarak geliştirmeleri eğitimin kalitesini olumlu yönde etkileyecektir. Bu alanda yapılan çalışmalara bakıldığında yapay zekanın gelecekte eğitimcilerin yerini alacağı gibi endişeler ortaya çıksa da yapay zekanın eğitim alanında kullanılması bu alandaki bütün paydaşlar tarafından olumlu görülmektedir.

Gelecekte eğitim sektörü ile birlikte yapay zekâ birçok alanda kendini gösterecektir. Bu alanda yapılan çalışmalar ile oluşturulacak sistemlerin geleneksel metot ile çalışan sistemlere göre daha etkili olacağı söylenebilir. Büyük bir hızla ilerleyen bu alandaki çalışmaların eğitime farklı açılardan güç katacağı ve süreç içerisinde karşılaşılan sorunlara çözüm getireceği söylenebilir.

## Kaynakça

- Akdeniz, M., Özdiñ, F. (2021). Eğitimde Yapay Zekâ Konusunda Türkiye Adresli Çalışmaların İncelenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 18(1), 912-932.
- Arslan, K. (2020). Eğitimde yapay zekâ ve uygulamaları. Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi, 11(1), 71-88.
- Bozüyük, T., Yağcı, C., Gökçe, İ., Akar, G. (2005). Yapay zekâ teknolojilerinin endüstrideki uygulamaları. Erişim adresi: [https://teknoloji.isparta.edu.tr/assets/uploads/sites/134/files/is-yeri-egitimi-6-hafta\\_odev-notu-08052020.pdf](https://teknoloji.isparta.edu.tr/assets/uploads/sites/134/files/is-yeri-egitimi-6-hafta_odev-notu-08052020.pdf), 25.06.2021.
- Gondal, K. M. (2018). Artificial intelligence and educational leadership. Annals of King Edward Medical University, 24(4), 1-2.
- Guan, C., Mou, J., Jiang, Z. (2020). Artificial intelligence innovation in education: a twenty-year data-driven historical analysis. International Journal Of Innovative Research and Advanced Studies, 4(4), 134-147.
- Güney, E. (2017). Kasparov derin maviye karşı: satranç ve yapay zekâ. Erişim: <https://panorama.khas.edu.tr/uploads/pdf/kasparov-derin-maviye-karsi-satranc-ve-yapay-zeka.pdf>, 20.05.2021.
- Gürsakal, N. (2017). Makine öğrenmesi ve derin öğrenme. Bursa: Dora Basım.
- Hwang, G., Xie, H., Wah, B. W., Gašević, D. (2020). Vision, challenges, roles and research issues of Artificial Intelligence in Education. Computers & Education: Artificial Intelligence, 1, [100001]. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100001>.
- İşler, B., Kılıç, M. (2021). Eğitimde yapay zekâ kullanımı ve gelişimi. Yeni Medya Elektronik Dergisi, 5(1), 1-11.
- Karakış, R., Gurkahraman, K. (2021). Medikal Görüntülerde Derin Öğrenme ile Steganaliz, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 14(2), 151-159.
- Lancrin, S. & van der Vlies, R. (2020). Trustworthy artificial intelligence (AI) in education: promises and challenges. OECD Education Working Paper No. 218.
- Majumdar, B., Sarode, S. C., Sarode, G. S., Patil, S. (2018). Technology: Artificial Intelligence. British Dental Journal, 224(12), 916-916.
- Malali, A. B., Gopalakrishnan, S. (2020). Application of Artificial Intelligence and its Powered Technologies in the Indian Banking and Financial Industry: An Overview. Iosr Journal of Humanities and Social Science, 25(4), 55-60.
- Mathew, A., Arul, A. and Sivakumari, S. (2020). Deep learning techniques: An overview. Abdoul, E. H., roheet, B., ve Ashraf, D. (Der.). International Conference on Advanced machine learning techno-

- logies and applications. İçinde (s.599-608) Singapore: Springer. doi:10.1007/978-981-15-3383-9\_54
- Noe, R. (2009). İnsan kaynaklarının eğitim ve geliştirilmesi (Çev. Canan Çetin). İstanbul: Propedia Yayıncılık.
- Savaş, S. (2021). Artificial Intelligence and Innovative Applications in Education: The Case of Tur-key, *Journal of Information Systems and Management Research*, 3(1), 14-26.
- Savas, S. (2021). The Effects of Artificial Intelligence on Industry: Industry 4.0, Özasan, M., & Y. Junejo (Ed), *Current Studies in Basic Sciences, Engineering and Technology*, içinde, (95-106), ISRES Publishing
- Taylor, J. E. T., & Taylor, G. W. (2021). Artificial Cognition: How Experimental Psychology Can Help Generate Explainable Artificial Intelligence, *Psychonomic Bulletin Review*, 28(2), 454-475.
- Yılmaz, Y., Buyrukoğlu, S. (2021). Hybrid Machine Learning Model Coupled with School Closure for Forecasting COVID-19 Cases in the Most Affected Countries. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 8(2), 123-131.

# Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21st Century-V

Editör:

Prof. Dr. Kamil Kaygusuz

 ÖZGÜR  
YAYINLARI

ISBN 978-975-447-835-8  
  
9 789754 478358