

# INSAC Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences

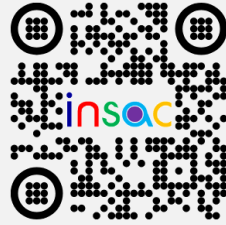
## Editörler

Doç.Dr. Sadık Alper Yıldızal

Doç. Dr. Selmin Ener Ruşen

## Yazarlar

- Chapter 1: Aysel Aydın Kocaeren,
- Chapter 2: Burcu Yeşilbudak,
- Chapter 3: Didem Kiray, Oya Cengiz,
- Chapter 4: Furkan Dinçer,
- Chapter 5: Gani Erhan Taşar,
- Chapter 6: İsmail Bülent Gürbüz,
- Chapter 7: İsmail Bülent Gürbüz,
- Chapter 8: Seray Özden Keleş,
- Chapter 9: Tarık Serhat Bozkurt,
- Chapter 10: Tuğba Mert, Mehmet Atçeken,
- Chapter 11: İsmail Akgül, Volkan Kaya,
- Chapter 12: Ayşe Elif Ateş,
- Chapter 13: Ayşe Elif Ateş,
- Chapter 14: Tayfun Abut, Servet Soygüder



ISBN: 978-625-8261-13-4



# INSAC Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences



## **Editörler**

Doç.Dr. Sadık Alper Yıldız

Doç. Dr. Selmin Ener Ruşen



# ***INSAC Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences***

*Doç. Dr. Sadık Alper Yıldız*

*Doç. Dr. Selmin Ener Ruşen*

**Genel Yayın Yönetmeni:** Berkan Balpetek

**Kapak ve Sayfa Tasarımı:** Duvar Design

**Baskı:** Ekim 2022

**Yayıncı Sertifika No:** 49837

**ISBN:** 978-625-8261-13-4

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

[www.duvar yayinlari.com](http://www.duvar yayinlari.com)

[duvarkitabevi@gmail.com](mailto:duvarkitabevi@gmail.com)

**Baskı ve Cilt:** REPRO BİR

Repro Bir Mat Kağ. Rek. Tas. Tic. Ltd. Şti.

İvoğsan 1518. Sokak 2/30 Mat-Sit iş Merkezi Ostim

Yenimahalle/Ankara

**Sertifika No:** 47381



# INSAC Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences

## **Editörler**

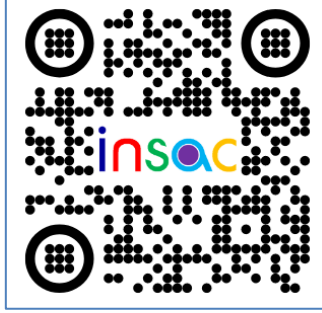
Doç.Dr. Sadık Alper Yıldız

Doç. Dr. Selmin Ener Ruşen

## **Yazarlar**

- **Chapter 1:** Aysel Aydın Kocaeren,
- **Chapter 2:** Burcu Yeşilbudak,
- **Chapter 3:** Didem Kıray, Oya Cengiz,
  - **Chapter 4:** Furkan Dinçer,
  - **Chapter 5:** Gani Erhan Taşar,
  - **Chapter 6:** İsmail Bülent Gürbüz,
  - **Chapter 7:** İsmail Bülent Gürbüz,
  - **Chapter 8:** Seray Özden Keleş,
  - **Chapter 9:** Tarık Serhat Bozkurt,
- **Chapter 10:** Tuğba Mert, Mehmet Atçeken,
- **Chapter 11:** İsmail Akgül, Volkan Kaya,
  - **Chapter 12:** Ayşe Elif Ateş,
  - **Chapter 13:** Ayşe Elif Ateş,
- **Chapter 14:** Tayfun Abut, Servet Soygüder

insac



İletişim ve Çalışma Gönderim e-mail adresi:  
[insackongre@gmail.com](mailto:insackongre@gmail.com)

**Editörün Notu**

*Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluğu yazarlara aittir.*

**Contents**

Yazarlar .....5  
 Editörün Notu .....6  
 Contents.....7

**Chapter 01 ..... 13**

**Polypropylene, Effect On Environmental Pollution And Examples For Using Polypropylene In Batteries .....13**

**(Aysel Aydın Kocaeren) .....13**

1. Introduction .....15  
 1.1. Polypropylene and Effect on Environmental Pollution.....15  
 2. Materials and Method .....16  
 2.1. Materials .....16  
 2.2. Method.....17  
 3. The Using In Batteries of PP .....17  
 3.1. Li-metal Batteries .....17  
 3.1.1. PP as Polymeric Membrane .....18  
 3.1.2. Lithium –Sülfür (Li-S) Batteries .....19  
 3.1.2.1. Separators as a Part of LSBs .....20  
 3.2. Evaluation of Disposable Medical Mask (DMM) Waste Containing PP Material .....21  
 4. Conclusion and discussion .....22  
 5. References .....23

**Chapter 02 .....31**

**Basic Studies on Food Webs in Wetlands .....31**

**(Burcu Yeşilbudak) .....31**

1. Introduction .....33  
 1.1. Importance and Classification of Aquatic Ecosystems .....33  
 1.2. Trophic Structure in Aquatic Ecosystems .....36  
 2. Food Web Studies in Wetlands.....36

2.1. Food web studies by isotope studies .....	37
2.2. Related Studies of Biodiversity Losses in Aquatic Ecosystems .....	39
3. References .....	41

## **Chapter 03 .....47**

### **Epitermal Altın Yataklarının Tipleri, Özellikleri ve Oluşumu .....47**

**(Didem Kıray, Oya Cengiz) .....47**

1. Giriş.....	49
2. Epitermal Yatakların Sınıflaması.....	50
3. Oluşumu .....	52
4. Yataklanma Şekilleri .....	55
5. Cevher ve Gang Mineralleri .....	56
6. Yapı ve Dokular .....	58
7. Alterasyon Mineralojisi ve Zonlanma.....	59
8. Arama ve Değerlendirme .....	66
9. Türkiye’den Bazı Epitermal Yatak Örnekleri .....	67
10. Referanslar .....	71

## **Chapter 04 .....81**

### **Niğde İli İçin Arazi Tipi Öz Tüketim Güneş Enerjisi Santrallerinde Modelleme ve Maliyet Analizi (72.257 kW<sub>e</sub>/87.712,96 kW<sub>p</sub>) .....81**

**(Furkan Dinçer) .....81**

1. Giriş.....	83
2. Santrallerin Listesi ve Lokasyon Bilgileri .....	84
3. Niğde İli İklim Verileri .....	85
4. Niğde İli Işınım Verileri .....	89
5. Modelleme ve Simülasyon .....	91
6. Üretim ve Tüketim Dengesi .....	98
7. Değerlendirme ve Sonuç .....	99
8. Referanslar .....	100

## **Chapter 05 .....103**

### **Sucul Böcekler.....103**

**(Gani Erhan Taşar).....103**

1. Giriş.....	105
2. Taksonomik olarak Sucul Böcek Takımları .....	108
2.1. Coleoptera.....	108
2.2. Collembola.....	110
2.3. Diptera .....	112
2.4. Ephemeroptera .....	115
2.5. Hemiptera .....	117
2.6. Lepidoptera.....	118
2.7. Megaloptera .....	120
2.8. Neuroptera .....	122
2.9. Odonata.....	123
2.10. Plecoptera .....	125
2.11. Tricoptera.....	127
2.12. Diğer takımlar .....	129
3. Tartışma ve Sonuç.....	129
4. Teşekkür .....	131
5. Kaynaklar .....	131

## **Chapter 06 ..... 141**

<b>Farmers' Pesticide Consumption as Globally .....</b>	<b>141</b>
<b>(İsmail Bülent Gürbüz).....</b>	<b>141</b>
1. Introduction .....	143
2. Worldwide use of Pesticide .....	143
3. Conclusion .....	148
4. References .....	149

## **Chapter 07 ..... 151**

<b>Economic Effects and Development of Biofuel .....</b>	<b>151</b>
<b>(İsmail Bülent Gürbüz).....</b>	<b>151</b>
1. Introduction .....	153
2. Production.....	154
2.1. The Food Consequences.....	155
2.2. Second-Generation Biofuels.....	155

3. Economic Impacts of Biofuels.....	156
4. Results .....	159
5. References .....	160

**Chapter 08 ..... 163**

**Effect of Growing Period on The Flexural Features of Black locust (Robinia pseudoacacia L.) Tree..... 163**

**(Seray Özden Keleş)..... 163**

1. Introduction .....	165
2. Materials and Methods .....	166
2.1. Plant material and Sample collection .....	166
2.2. Flexural tests.....	167
3. Results .....	169
3.1. Flexural properties .....	169
4. Conclusion .....	172
5. References .....	173

**Chapter 09 ..... 177**

**Investigation of Variable Acoustic Requirements in Halls Used for Speech and Music..... 177**

**(TariK Serhat Bozkurt)..... 177**

1. Introduction .....	179
2. Acoustical Analysis of the selected hall.....	179
3. Conclusion .....	197
4. References .....	198

**Chapter 10 ..... 201**

**On Total Geodesic Submanifolds of Para-Sasakian Manifolds On the  $W_5$  Curvature Tensor..... 201**

**(Tuğba Mert)..... 201**

1. Introduction .....	203
2. Preliminary .....	204
3. Invariant Pseudoparallel Submanifolds of Para-Sasakian Manifold .....	207
4. Referanslar.....	212

## Chapter 11 ..... 215

### Learning Performance of Optimization Algorithms in Convolutional Neural Networks: An Application ..... 215

(İsmail Akgül, Volkan Kaya)..... 215

1. Introduction .....	217
2. Material and Methods .....	219
2.1. System Configuration.....	219
2.2. Acquisition of Dataset.....	219
2.3. Convolutional Neural Network Model Structure.....	220
2.4. Training and Testing .....	221
3. Results .....	222
4. Conclusions .....	233
5. References .....	234

## Chapter 12 ..... 237

### Atıksulardaki Mikrokirleticilerin Etkileri ve Giderilmesinde Kullanılan UV ve O<sub>3</sub> Bazlı Yöntemler ..... 237

(Ayşe Elif Ateş)..... 237

1. Giriş.....	239
2. Atıksulardaki Mikro Kirleticiler .....	240
3. Atıksulardaki Mikrokirleticilerin Giderilmesinde Kullanılan Bazı Yöntemler.....	242
3.1. O <sub>3</sub> /Granül Aktif Karbon (GAC) .....	242
3.2. UV/Klor .....	242
4. Referanslar.....	243

## Chapter 13 ..... 249

### Akıllı Şehirlerin Geleceği, Teknolojileri ve Türkiye Örneği: Konya .... 249

(Ayşe Elif Ateş)..... 249

1. Giriş.....	251
2. Akıllı Şehir .....	252
2.1. Geleceğin Akıllı Şehirleri İçin Gereksinimler .....	252
2.2. Akıllı Şehir İhtiyacı.....	253
3. Ülkemizdeki Akıllı Şehir Uygulamaları .....	253

4. Akıllı Şehir: Konya .....	254
4.1. Akıllı Çevre .....	254
4.2. Akıllı Ulaşım.....	255
4.3. Akıllı yapılar .....	256
4.4. Akıllı enerji.....	257
5. Referanslar .....	258

## **Chapter 14 ..... 263**

<b>Bir Haptik-Teleoperasyon Sisteminin Yapay Sinir Ağı (YSA) + Dalga Değişkenleri (DD) Yöntemi ile Kontrolü.....</b>	<b>263</b>
<b>(Tayfun Abut, Servet Soygüder).....</b>	<b>263</b>
1. Giriş.....	265
2. Haptik-Teleoperasyon sisteminin Hareket Denklemleri.....	267
2.2. Dalga Değişkenleri (DD) Yöntemi ve Kontrolör Tasarımı .....	268
3. Simülasyon Sonuçları.....	271
4. Deneysel Sonuçlar.....	274
5. Sonuçlar.....	278
6. Referanslar .....	279





# **Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences**

## CHAPTER 01



### **Polypropylene, Effect On Environmental Pollution And Examples For Using Polypropylene In Batteries**

(Aysel Aydın Kocaeren)



# **Polypropylene, Effect On Environmental Pollution And Examples For Using Polypropylene In Batteries**

**Aysel Aydın Kocaeren**

*Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education,  
Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey,  
E-mail:aysel.kocaeren@comu.edu.tr*

## **1. Introduction**

### **1.1. Polypropylene and Effect on Environmental Pollution**

Polypropylene (PP), which is semi-crystalline, may be one of the most widely used matrix for nanocomposite research. Additionally, it is a useful and flexible commodity thermoplastic. One of the areas where polypropylene is used the most is the automotive sector. In daily life, PP is currently used in the packaging, textile, the manufacture of waste water pipes, hood construction, cleaning products, indoor heating installations, garden furniture, and finally defense industry and aerospace sectors. There are some important reasons for the widespread use of polypropylene. Thanks to these properties of polypropylene, the synthesized compounds gain structural stability. The resulting polymers have chain lengths close to each other. In addition, the mechanical strength of polymeric compounds increases with the incorporation of polypropylene into the structure [1-3]. Besides, the use of polypropylene has recently shifted to different application areas in the science of polymer chemistry due to its promising industrial applications. For example, the inclusion of nanoparticles such as silver or gold in the PP matrix is one of the most prominent studies recently, and scientists are trying to bring new properties to the existing properties of PP [4-6].

In addition to these developments, the contribution of PP-derived wastes to the level of environmental pollution is increasing day by day. The demand and interest in PP-derived materials has been increasing lately and this situation leads to environmental pollution. According to the obtained literature data, it is predicted that up to 1.2 billion tons of PP-derived plastic waste will accumulate in the natural environment by 2050. [7-9].

Based on data the obtained from the polypropylene industry, PP derivative plastic accounted for 21% of total plastic production in the end of 2015 and the resulting waste is known to be the second largest type of plastic waste, with more than half of the production being *iso*-polypropylene (*iPP*), which is one of the isomers of PP polymer [10-13]. Today, very primitive

methods are still used for the disposal of PP waste. This method and technique is based on the following process, like many other materials collected as PP waste, it is first burned and then buried in the ground and tried to be purified, and also it is possible to say that these waste materials are wastes that emit a lot of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) to the nature and pollute the soil and groundwater. Although this process seemed healthy and efficient at first, it was later discovered that it actually made the useful material non-recyclable [14, 15]. Therefore, it is important to develop more effective and efficient new processes in order to control and recycle PP-based wastes in terms of environmental pollution. Alternatively, appropriate ways and methods can be preferred by using technology to ensure the recycling of PP-based wastes. The issue of separating the wastes at the source, which is necessary and important for every waste material, which we can call the first stage of recycling, gains importance. Currently, it may be necessary to make waste segregation mandatory in homes, businesses and government agencies, which is the first step towards successful and efficient recycling management. The next step, the classification step, can be applied on a country-by-country basis and then globally. Mechanical recycling is the recovery of materials from waste without destroying the molecular structures of polymers. Mechanical recycling of some PP wastes may be possible. However, mechanical recycling occurs in the form of bond breakage of polymer chains under thermal mechanical action [16]. In addition, major problems still continue to arise in the recycling of iPP-based plastic waste produced from PP.

## **2. Materials and Method**

### **2.1. Materials**

In this metaanalysis study, there are important studies on PP in the web of science, science direct and pubs acs databases and it is inspired by the studies mentioned below and in the literature. Related links of the studies are as follows:

- <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:0007 69 552 600001>
- <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.1c23034?journalCode=aa mick&quickLinkVolume=14&quickLinkPage=6859&selectedTab=citation&volume=14>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972200084 5>

## 2.2. Method

Compilation sentences are included in metaanalysis study. A study was performed by making use of the articles mentioned above and related to the subject in the literature. Current and popular scientific articles on PP materials in the literature were discussed and the findings and obtained data were evaluated with the discussion method.

## 3. The Using In Batteries of PP

### 3.1. Li-metal Batteries

Many new generation technological products such as rechargeable batteries, electric vehicles and portable devices is an important component. Therefore, safety, charging of batteries properties such as duration, energy capacity and endurance needs continuous improvement. Today, the used best lithium-ion batteries have energy storage capacity until about six times that of lead-acid batteries, which have one hundred and sixty with years of history. There are some obstacles that limit the use of lithium-metal batteries, and scientists continue to work to overcome these obstacles. The main obstacles in front of the use and prevalence of lithium-metal batteries are due to the charging process of the battery. Graphite acts as the anode in lithium-ion batteries. In lithium-metal batteries, however, metallic lithium performs this task. In studies by Liu *et al.* emphasize that there are important reasons why lithium-based metal batteries are preferred as new generation energy storage devices [17–20]. The most important of these reasons can be listed as follows: i) the anode has ultra-high theoretical capacity and ii) the lowest redox potential. Due to these properties, it is theoretically expected that Li metal batteries will provide a higher energy density than the traditionally used graphite anode.  $\text{Li}^+$  ion concentration of the electrolyte around the anode varies from region to region and therefore, during charging, lithium ions are deposited on the anode surface accumulates unevenly. Accordingly, dendritic (branched crystal) structures are formed on the anode. Ion concentrations decrease due to dendrite formation and the battery becomes unable to function in a short time. In addition, lithium metal is a highly active metal and can form lithium dendrites when combined with flammable organic liquid electrolytes, and also this situation is not preferred in the production of metal-based batteries. Because such a situation becomes possible to cause fire, explosion and other serious safety problems. For this reason, it is necessary to prevent this dendrite formation in the production of lithium metal-derived batteries [21–25]. For this, some rescue compounds are needed. For example, solid-state electrolytes with excellent thermal and electrochemical stability may be good candidates for inhibiting dendrite

formation. In this way, it may be possible to avoid the above-mentioned security concerns [26-32].

### **3.1.1. PP as Polymeric Membrane**

It can be defined as materials, that pass through and discriminate, membranes are selectively bonded between homogeneous phases by the effect of driving force on various substances. Polymeric membranes are traditionally produced by a phase transformation process using a variety of solvents to create a porous network structure. In general, solidification of the polymer as a result of solvent evaporation and moreover, in this method, the polymer in solution is converted from liquid to solid to form a membrane. Recently, polymeric membranes have been widely used in metal-organic frameworks (MOFs). These may be in the form of solid-like or solid electrolyte types. Many new chemical materials or products are obtained by using MOF material. These materials can also be obtained as liquid electrolyte impregnated.

According to literature, solid-state batteries with metallic anodes have attracted great attention due to their high energy density and safety. Scientists have paid more attention to MOF-derived compounds containing different types of electrolytes (solid-like electrolytes, solid-state electrolytes, and liquid electrolytes) due to the properties of these electrolytes. Consequently, different cathode compounds ( $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiFSI}$  etc.) can be used to determine the best battery performance. Moreover, it is important to choose these cathode compounds by predicting their effects on the product material to be obtained with the effect of their characteristics such as electrical conductivity, thermal properties and mechanical strength.

In the realized study by Qi *et al.* the design of PP porous membrane, which is a polymeric membrane with nanoparticles called ZIF-8 was mentioned. Herein, the importance of ionic conductivity had been demonstrated. It is possible to say that the solid-like electrolyte used in this study had a positive contribution to the use of the obtained battery since it had an increasing ionic conductivity throughout the study. In this study  $\text{LiFePO}_4$  acted as cathode compound and according to the mentioned study, performance values such as the rate capability, cycling stability with the initial discharge capacity and a capacity retention ratio of the battery obtained thanks to the use of  $\text{LiFePO}_4$  electrolyte were measured quite well. Resultantly, these studies offer a new way to use and prefer different electrolytes based on MOF for lithium metal batteries with high reliability, performance and efficiency [33].

### 3.1.2. Lithium –Sulfur (Li-S) Batteries

When the studies on lithium-ion-containing batteries in the literature are examined, it can be seen that studies on the capacity of batteries developed with different elements have been carried out recently. Li- sulfur (S) batteries (LSBs) are at the forefront of these studies. Li-S batteries (LSBs) can store a high amount of energy with almost no safety problems compared to the frequently used Li-polymer and Li-ion batteries in the market. Li-S battery (LSB) cells are also lightweight, safe and maintenance-free. One of the most important features of Li-S cells is that they can discharge 100%. Li-S batteries (LSBs) offer many advantages for user or scientists due to lightness, safety, cycle life, full discharge, maintenance free, environmentally friendly properties. Cycle life is especially important in Li-S batteries (LSBs), which can be recharged 1500 times and used without any problems. It is planned to increase this number of cycles to 2500 in the next 2 years. Lithium-sulfur batteries (LSBs) have some advantages over lithium-ion batteries, thanks to some of their features such as specific capacity and energy density. For this reason, it is considered as one of the most promising candidates among the new generation rechargeable batteries [34–36]. LSBs based on elemental sulfur as cathode and metal lithium as anode have attracted considerable attention. Additionally, the cathode sulfur processes the favorable characteristics of low cost, great abundance, and excellent environmental compatibility [37–39], and so the Li–S cell is more expected to be commercialized. But LSBs have some disadvantages. For example, it is possible to count some disadvantages such as poor cycle life of the battery, rapid capacity reduction and expansion of the volume. These adverse situations have limited or hindered commercial applications of batteries [40–42]. Various strategies have been developed by researchers, such as enhancing or optimizing the electrochemical performance of LSBs, in order to overcome these limitations and overcome the difficulties [43, 44]. For example, in literature, Moorthy *et al.* synthesized a new type of reagent for Li-S cells doped and regulated by SnS<sub>2</sub>. When the performance of this battery was investigated, it was concluded that it showed an improved area capacity of 4.03 mAh cm<sup>-2</sup> [45]. At the end of the study, the coating with SnS<sub>2</sub> material can potentially serve as an excellent current collector for facilitating electron and ion transport, therefore, enhancing the utilization of sulfur and ensuring reactivation of the trapped active material.

In recent years, metal-organic frameworks (MOFs) with high porosity and uniform pore size distribution have begun to attract great attention in studies in the literature. Pan *et al.* prepared mixed matrix membranes based on MOFs. They were able to provide the physical barrier through anionic

channels in the structures of these membranes and doped membranes with UiO-66-SO<sub>3</sub>Li to improve the electrochemical properties of LSBs [46].

### 3.1.2.1. Separators as a Part of LSBs

As mentioned above, dendrite formations were occurring in the structures of Li metal batteries, and separators, as indispensable parts of LSBs (lithium-sulfur batteries), play an important role in inhibiting dendrite growth. Moreover, dendrites only penetrate the separator cell between anode and cathode, causing serious safety problems at the same time, they consume lithium and electrolyte, causing the battery's load capacity to decrease. There are studies in the literature that successfully prevent the problems of decreasing the concentration of ions in liquid electrolyte batteries by accumulating on the electrode surfaces and the formation of dendritic structures. Researchers from the University of California-San Diego have developed a device that emits ultrasonic waves, which they place inside very small lithium metal batteries. At the end of the research, they revealed that this device has the potential to be used in all batteries. Research team successfully have prevented the problems of decreasing concentration and formation of dendritic structures by accumulating ions on the electrode surfaces in liquid electrolyte batteries. Thanks to simple yet effective technology they have developed efficient and sustainable, which can be used in current and future applications they also paved the way for obtaining rechargeable batteries. In another study in the literature, Wang *et al.* prepared a composite separator containing a carbon nanotube (CNT) and polypropylene (PP) by an easy vacuum filtration process. As it is known, CNTs increase the electrical conductivity of the compounds they are added to due to their structure and are referred to as excellent conductors. In this study, MXenes nanosheets were also used to obtain the separators. To briefly describe MXenes are pronounced 'max-eens' – first discovered in 2011, are ceramics that comprise one of the largest families of two-dimensional (2D) materials. MXenes are formed from a bulk crystal called MAX. 2D layered materials derived from MAX or non-MAX phases were not predicted to exist before this discovery. Unlike most 2D ceramics, MXenes have inherently good conductivity and excellent volumetric capacitance because they are molecular sheets made from the carbides and nitrides of transition metals like titanium. MXenes have already found applications ranging from energy storage to medicine and optoelectronics. Additionally, in this study performed by Wang *et al.* it was demonstrated that MXene nanolayers could be well bonded to the compound by an electrostatic interaction. It was shown in a study that a compound with a functional CNT and MXene coating layer, when used as a lithium-sulfur (Li-S) cell membrane, produces a high value



first discharge capacity of batteries. As a result of the study, it is possible to say that modifying the separator of any structure, such as CNT or MOF, was a suitable method to improve the electrochemical performance of LSBs [47].

### **3.2. Evaluation of Disposable Medical Mask (DMM) Waste Containing PP Material**

Disposable masks, which are previously encountered only as a medical health equipment in health institutions in daily life, have become a protective material that we all have to use with the coronavirus 19 disease (Covid-19) epidemic that affected the whole world in 2019. It is possible to say that these disposable medical masks (DMMs) have significantly slowed the spread of Covid-19 since the epidemic, thanks to their mandatory use all over the world. However, it was later revealed that a new source of environmental pollution was created by forgetting that such materials are personal protective equipment made of petroleum-based polymers that are not biodegradable in nature. It is not difficult to predict the pollution caused by these materials, which are thrown into the environment and whose number is unknown [48-50]. Experts say that the mask should be changed at intervals of 2 or 3 hours and a new one should be used. Considering that everyone follows this expert advice, it will be difficult to make an estimate about the number of medical masks used and thrown into the environment. Despite this, according to an estimate made by National Geographic, approximately 129 billion medical masks are used worldwide every month, and it is stated that 1.8 billion masks are consumed per day regionally only in the Asian continent. Considering the given values, this is a very serious number. The use of such a large number of DMMs around the world by many people who are not environmentally conscious can cause serious environmental problems. When contaminated DMMs not properly disposed of or recycled, they can be easily transported to the seas, thus polluting the waters or polluting the soil with rainwater [51, 52].

Considering that the use of medical masks is quite high worldwide, it is not possible for environmental pollution to be limited to soil and air pollution. It will also cause a significant increase in water pollution. A study in the literature on this subject reveals that one waste DMM can release approximately 173.000 microfiber materials into the ocean per day. What is emphasized in the study is that these microfiber materials, which pass into the water, are easily taken into their bodies by the creatures and organisms living in sea or ocean water and then naturally participate in the food chain cycle in which humans are involved [53]. Furthermore, in addition to being a source of water pollution, DMMs are highly sensitive materials to UV radiation. DMMs, which are found as waste and pollutants in the natural

environment, cause air pollution by emitting microplastics to the air thanks to the UV light from the sun and can form polluting aerosols. To be more precise, it can be said that they significantly affect the Earth's climate by absorbing and scattering radiation from the sun as a result of such pollutions and adverse effects from DMMs. In this case, it results in climate change on a global basis, and also it has consequences such as climate change or global warming. All these pollutions cause an increase in CO<sub>2</sub> emissions and contribute negatively to the climate change of our world. The most important thing to do here is to use the methods and methods in the science of chemistry correctly and appropriately, it should be our human duty to evaluate the wastes of polymer derivative materials (such as polypropylene) and to minimize environmental problems.

In literature, Yuwen *et al.* explained their proper disposal is not only beneficial to the safety of biological systems but also useful to achieve considerable economic value. The first step of this study realized by Yuwen *et al.* was to investigate the chemical composition of DMMs. It is primarily composed of polypropylene, polyethylene terephthalate and iron, with fibrous polypropylene accounting for approximately 80% of the total weight. Then, DMMs were sulfonated and oxidised by the microwave-driven concentrated sulfuric acid within 8 min based on the fact that the concentrated sulfuric acid exhibits a good microwave absorption capacity to redound thermal stability. In literature for this technique the concentrated sulfuric acid is frequently used. Thanks to this work can be seen that converts structurally complex, biohazardous DMMs into porous carbon with high specific surface area by clean and efficient microwave solvothermal and self-activating pyrolysis, which facilitates the development of carbon based materials at low cost and large scale [66]. Finally, this study is important in that it includes methods and techniques to be used to evaluate DMMs that still exist as waste in the environment and gives new ideas about the disposal of wastes for the future.

#### **4. Conclusion and discussion**

Polypropylene (PP) is a polymer that having widespread usage areas. As mentioned in the above studies, PP is used in many applications such as lithium-sulfur batteries and a separator that is a part of lithium-sulfur batteries, and packaging, labeling, laboratory equipment, stationery products and pet bottles in our daily life.

Plastics do not only physically harm the environment. Most plastics, such as polyethylenes (PEs) and polypropylenes (PPs), are generally considered biologically inert. However, it has been determined that some monomers and oligomers used in their production can leak during use and then infect

humans and other living things. In addition, many sea creatures have to swallow these microplastic particles, which can cause many fatal effects. Studies conducted so far reveal that more than 2000 sea creatures are directly affected by microplastic particles (Visit for detailed information: <http://litterbase.awi.de/>).

According to a news at this page (<https://mikroplastik.org/en/microplastics-in-human-blood/>), microplastic findings have been detected in the human body. Microplastics – tiny pieces of plastic less than 5 mm in diameter – have been found in human blood for the first time. Scientists in the Netherlands took blood samples from 22 healthy adult donors and analyzed them for particles as small as 700 nm.

For all these reasons, the use of plastic materials obtained from polypropylene and other polymer derivatives should be limited. Chemistry is needed to develop environmentally-friendly biodegradable products.

## 5. References

- Maddah, H.A. (2016). Polypropylene as a promising plastic: A review. *J. Am. J. Polym. Sci.*, 6, 1-11, <http://doi.org/10.5923/j.ajps.20160601.01>.
- He, C., Costeux, S., Wood-Adams, P., Dealy, J.M. (2003). Molecular structure of high melt strength polypropylene and its application to polymer design. *J. Polymer*, 44, 7181-7188, <http://doi.org/10.1016/j.polymer.2003.09.009>.
- De Santis, F., Pantani, R. (2013). Optical properties of polypropylene upon recycling. *J. The Scientific World Journal*, 2013, <https://doi.org/10.1155/2013/354093>.
- Gulrez, S.K., Ali Mohsin, M., Shaikh, H., Anis, A., Pulose, A.M., Yadav, M.K., Qua, E.H.P., Al-Zahrani, S. (2014). A review on electrically conductive polypropylene and polyethylene. *J Polymer composites*, 35, 900- 914, <https://doi.org/10.1002/pc.22734>.
- Smith, A.L., Capelli, E., Konings, R.J.M., Gheribi, A.E. (2020). A new approach for coupled modelling of the structural and thermo-physical properties of molten salts. Case of a polymeric liquid LiF-BeF<sub>2</sub>. *J. Mol. Liq.*, 299, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112165>
- Galli, P., Danesi, S., Simonazzi, T. (1984). Polypropylene based polymer blends: fields of application and new trends. *J Polymer engineering science*, 24, 544-554. <https://doi.org/10.1002/pen.760240807>.

- Kakadellis, S., Rosetto, G. (2021). Achieving a circular bioeconomy for plastics: Designing plastics for assembly and disassembly is essential to closing the resource loop. *Science*, 373, 49–50.
- Cao, H., Wang, X. (2021). Carbon dioxide copolymers: Emerging sustainable materials for versatile applications. *Susmat*, 1, 88–104.
- Fan, M., Chang, X., Meng, Q., Wan, L., Guo, Y. (2021). Progress in the sustainable recycling of spent lithium-ion batteries. *Susmat*, 1, 241–254.
- Das, P., Tiwari, P. (2018). The effect of slow pyrolysis on the conversion of packaging waste plastics (PE and PP) into fuel. *Waste Manage.* 79, 615–624.
- Eriksen, M. K., Christiansen, J. D., Daugaard, A. E., Astrup, T. F. (2019). Closing the loop for PET, PE and PP waste from households: Influence of material properties and product design for plastic recycling. *Waste Manage.* 96, 75–85.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, 3, 5.
- Majka, T. M., Bartyzel, O., Raftopoulos, K.N., Pagacz, J., Leszczynska, A., Pielichowski, K. (2016). Recycling of polypropylene/montmorillonite nanocomposites by pyrolysis. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 119, 1–7.
- Shen, M., Song, B., Zeng, G., Zhang, Y., Huang, W., Wen, X., Tang, W. (2020). Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution? *Environ. Pollut.* 263, No. 114469.
- Ni, F., Chen, M. (2014). Studies on pyrolysis and gasification of automobile shredder residue in China. *Waste Manage. Res.* 32, 980–987.
- Korley, L. T., Epps, T. H., Helms, B. A., Ryan, A. J. (2021). Toward polymer upcycling-adding value and tackling circularity. *Science*, 373, 66–69.
- Duan, H., Yin, Y.-X., Shi, Y., Wang, P.-F., Zhang, X.-D., Yang, C.-P., Shi, J.-L., Wen, R., Guo, Y.-G., Wan, L.-J. (2018). Dendrite-Free LiMetal Battery Enabled by a Thin Asymmetric Solid Electrolyte with Engineered Layers. *J. Am. Chem. Soc.* 140, 82–85.

- Liu, S., Xia, X., Deng, S., Xie, D., Yao, Z., Zhang, L., Zhang, S., Wang, X., Tu, J. (2019). In Situ Solid Electrolyte Interphase from Spray Quenching on Molten Li: A New Way to Construct HighPerformance Lithium-Metal Anodes. *Adv. Mater.* 31, 1806470.
- Liu, H., Cheng, X.-B., Huang, J.-Q., Yuan, H., Lu, Y., Yan, C., Zhu, G.-L., Xu, R., Zhao, C.-Z., Hou, L.-P., He, C., Kaskel, S., Zhang, Q. (2020). Controlling Dendrite Growth in Solid-State Electrolytes. *ACS Energy Lett.* 5, 833–843.
- Liu, S., Ji, X., Piao, N., Chen, J., Eidson, N., Xu, J., Wang, P., Chen, L., Zhang, J., Deng, T., Hou, S., Jin, T., Wan, H., Li, J., Tu, J., Wang, C. (2021). An Inorganic-Rich Solid Electrolyte Interphase for Advanced Lithium-Metal Batteries in Carbonate Electrolytes. *Angew. Chem., Int. Ed.* 60, 3661–3671.
- Dirican, M., Yan, C., Zhu, P., Zhang, X. (2019). Composite Solid Electrolytes for All-Solid-State Lithium Batteries. *Mater. Sci. Eng., R*, 136, 27–46.
- Liang, J., Luo, J., Sun, Q., Yang, X., Li, R., Sun, X. (2019). Recent Progress on Solid-State Hybrid Electrolytes for Solid-State Lithium Batteries. *Energy Storage Mater.* 21, 308–334.
- Adair, K. R., Zhao, C., Banis, M. N., Zhao, Y., Li, R., Cai, M., Sun, X. (2019). Highly Stable Lithium Metal Anode Interface via Molecular Layer Deposition Zirconium Coatings for Long Life Next-Generation Battery Systems. *Angew. Chem., Int. Ed.* 58, 15944–15949.
- Wu, J., Shen, L., Zhang, Z., Liu, G., Wang, Z., Zhou, D., Wan, H., Xu, X., Yao, X. (2021). All-Solid-State Lithium Batteries with Sulfide Electrolytes and Oxide Cathodes. *Electrochem. Energy Rev.* 4, 101–135.
- Zhang, J., Cui, C., Wang, P.-F., Li, Q., Chen, L., Han, F., Jin, T., Liu, S., Choudhary, H., Raghavan, S. R., Eidson, N., von Cresce, A., Ma, L., Uddin, J., Addison, D., Yang, C., Wang, C. (2020). “Water-in-Salt” Polymer Electrolyte for Li-Ion Batteries. *Energy Environ. Sci.* 13, 2878–2887.
- Liu, B., Gong, Y., Fu, K., Han, X., Yao, Y., Pastel, G., Yang, C., Xie, H., Wachsman, E. D., Hu, L. (2017). Garnet Solid Electrolyte Protected Li-Metal Batteries. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 9, 18809–18815.
- Zhang, S., Liang, T., Wang, D., Xu, Y., Cui, Y., Li, J., Wang, X., Xia, X., Gu, C., Tu, J. (2021). A Stretchable and Safe Polymer Electrolyte with a Protecting-Layer Strategy for Solid-State Lithium Metal Batteries. *Adv. Sci.* 8, 2003241.

- Tan, S.-J., Zeng, X.-X., Ma, Q., Wu, X.-W., Guo, Y.-G. (2018). Recent Advancements in Polymer-Based Composite Electrolytes for Rechargeable Lithium Batteries. *Electrochem. Energy Rev.* 1, 113–138.
- Wang, S., Zhou, L., Tufail, M. K., Yang, L., Zhai, P., Chen, R., Yang, W. (2021). In-Situ Synthesized Non-Flammable Gel Polymer Electrolyte Enable Highly Safe and Dendrite-Free Lithium Metal Batteries. *Chem. Eng. J.* 415, 128846.
- Sun, C., Zhang, J.-H., Yuan, X.-F., Duan, J.-N., Deng, S.-W., Fan, J.-M., Chang, J.-K., Zheng, M.-S., Dong, Q.-F. (2019). ZIF-8-Based Quasi-Solid-State Electrolyte for Lithium Batteries. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 11, 46671–46677.
- Lei, Z., Shen, J., Wang, J., Qiu, Q., Zhang, G., Chi, S.-S., Xu, H., Li, S., Zhang, W., Zhao, Y., Deng, Y., Wang, C. (2021). Composite Polymer Electrolytes with Uniform Distribution of Ionic Liquid Grafted ZIF-90 Nanofillers for High-Performance Solid-State Li Batteries. *Chem. Eng. J.* 412, 128733.
- Wu, J., Liu, S., Han, F., Yao, X., Wang, C. (2021). Lithium/Sulfide All-Solid-State Batteries using Sulfide Electrolytes. *Adv. Mater.* 33, 2000751.
- Qi, X., Cai, D., Wang, X., Xia, X., Gu, C., Tu, J. (2022). Ionic Liquid-Impregnated ZIF-8/Polypropylene Solid-like Electrolyte for Dendrite-free Lithium-Metal Batteries. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 14, 6859–6868.
- Wang, J., Xu, R., Wang, C., Xiong, J. (2021). Lamellar Polypyrene Based on Attapulgite–Sulfur Composite for Lithium–Sulfur Battery Membranes, 11, 483.
- Shao, Q., Wu, Z.S., Chen, J. (2019). Two-dimensional materials for advanced Li-S batteries. *Energy Storage Mater.* 22, 284–310.
- Bruce, P.G., Freunberger, S.A., Hardwick, L.J., Tarascon, J.M. (2011). Li-O<sub>2</sub> and Li-S batteries with high energy storage. *Nat. Mater.* 11, 19–29.
- Tischer, R.P. (1983). *The Sulfur Electrode*, Academic Press: New York, NY, USA.
- Li, Y., Chen, F. (2017). Firing for compactness. *Nat. Energy*, 2, 1–2.

- Zhao, Y., Zhang, Y., Gosselink, D., Doan, T.N.L., Sadhu, M., Cheang, H.J., Chen, P. (2012). Polymer Electrolytes for Lithium/Sulfur Batteries. *Membranes*, 2, 553–564.
- He, J., Chen, Y., Lv, W., Wen, K., Xu, C., Zhang, W., Qin, W., He, W. (2016). Three-Dimensional CNT/Graphene-Li<sub>2</sub>S Aerogel as Freestanding Cathode for High-Performance Li–S Batteries. *ACS Energy Lett.*, 1, 820–826.
- Gao, X., Sun, Q., Yang, X., Liang, J., Koo, A., Li, W., Liang, J., Wang, J., Li, R., Holness, F.B., et al. (2019). Toward a Remarkable Li-S Battery via 3D Printing. *Nano Energy*, 56, 595–603.
- She, Z.W., Sun, Y., Zhang, Q., Cui, Y. (2016). Designing High-energy Lithium–sulfur Batteries. *Chem. Soc. Rev.*, 45, 5605–5634.
- Angulakshmi, N., Dhanalakshmi Baby, R., Zhou, Y., Manuel Stephan, A. (2020). An efficient bi-functional permselective separator coated with cubic type-Li<sub>7</sub>La<sub>3</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>12</sub> and activated carbon for lithium–sulfur batteries. *Sustain. Energy Fuels*, 4, 3500–3510.
- Thangavel, R., Kannan, A.G., Ponraj, R., Kim, D.W., Lee, Y.S. (2020). Cinnamon-Derived Hierarchically Porous Carbon as an Effective Lithium Polysulfide Reservoir in Lithium–Sulfur Batteries. *Nanomaterials*, 10, 1220.
- Moorthy, B., Kwon, S., Kim, J.H., Ragupathy, P., Lee, H.M., Kim, D.K. (2019). Tin sulfide modified separator as an efficient polysulfide trapper for stable cycling performance in Li–S batteries. *Nanoscale Horizons*. 4, 214–222.
- Balach, J., Jaumann, T., Klose, M., Oswald, S., Eckert, J., Giebeler, L. (2015). Functional Mesoporous Carbon-Coated Separator for Long-Life, High-Energy Lithium–Sulfur Batteries. *Adv. Funct. Mater.* 25, 5285–5291.
- Wang, G., Li, J., Du, Z., Ma, Z., Shao, G. (2022). Designing a Functional CNT+PB@MXene-Coated Separator for High-Capacity and Long-Life Lithium–Sulfur Batteries. *Membranes*, 12, 134. <https://doi.org/10.3390/membranes12020134>.
- Feng, S., Shen, C., Xia, N., et al. (2020). Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic. *Lancet Respir. Med.* 8, 434–436. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30134-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30134-X).

- Garcia-Basteiro, A.L., Chaccour, C., Guinovart, C., et al. (2020). Monitoring the COVID-19 epidemic in the context of widespread local transmission. *Lancet Respir. Med.* 8, 440–442. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30162-4](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30162-4).
- Giri, A., Sapkota, B., Shrestha, R., et al. (2021). A narrative review of personal protective equipment uses in coronavirus disease 2019 and its disposable practices. *Jpn. Med. J.* 4, 86–90. <https://doi.org/10.31662/jmaj.2020-0120>.
- Anastopoulos, I., Pashalidis, I. (2021). Single-use surgical face masks, as a potential source of microplastics: do they act as pollutant carriers? *J. Mol. Liq.* 326, 115247. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.115247>.
- Dharmaraj, S., Ashokkumar, V., Hariharan, S., et al. (2021). The COVID-19 pandemic face mask waste: a blooming threat to the marine environment. *Chemosphere* 272, 129601. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129601>.
- Kajanan, S., Satheeskumar, N., Pathmanathan, R., et al. (2021). Environmental challenges induced by extensive use of face masks during COVID-19: a review and potential solutions. *Environ. Chall.* 3, 100039. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100039>.
- Revell, L.E., Kuma, P., Le Ru, E.C. (2021). Direct radiative effects of airborne microplastics. *Nature* 598, 462–467. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03864-X>.
- Jung, S., Lee, S., Dou, X., et al. (2020). Valorization of disposable COVID-19 mask through the thermo-chemical process. *Chem. Eng. J.* 405, 126658. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126658>.
- Sangkham, S. (2020). Face mask and medical waste disposal during the novel COVID-19 pandemic in Asia. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 2, 100052. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100052>
- Wu, S.L., Kuo, J.H., Wey, M.Y. (2019). Thermal degradation of waste plastics in a two-stage pyrolysis-catalysis reactor over core-shell type catalyst. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 142, 104641. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.104641>.
- Zhao, H., Wang, J. (2018). Chemical-looping combustion of plastic wastes for in situ inhibition of dioxins. *Combust. Flame* 191, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2017.12.026>.



- Hu, X., Lin, Z. (2021). Transforming waste polypropylene face masks into S-doped porous carbon as the cathode electrode for supercapacitors. *Ionics* 27, 2169–2179. <https://doi.org/10.1007/s11581-021-03949-7>.
- Xu, G., Jiang, H., Stapelberg, M., et al. (2021). Self-perpetuating carbon foam microwave plasma conversion of hydrocarbon wastes into useful fuels and chemicals. *Environ. Sci. Technol.* 55, 6239–6247 [10.1021/acs.est.0c06977](https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06977).
- Gong, J., Liu, J., Jiang, Z., et al. (2014). Converting mixed plastics into mesoporous hollow carbon spheres with controllable diameter. *Appl. Catal. B Environ.* 152, 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.01.051>.
- Yu, R., Wen, X., Liu, J., et al. (2021). A green and high-yield route to recycle waste masks into CNTs/Ni hybrids via catalytic carbonization and their application for superior microwave absorption. *Appl. Catal. B Environ.* 298, 120544. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120544>.
- Iris, K.M., Fan, J., Budarin, V.L., Bouxin, F.P., et al. (2020). Evidences of starch-microwave interactions under hydrolytic and pyrolytic conditions. *Green Chem.* 22, 7109–7118. <https://doi.org/10.1039/D0GC02644A>.
- Jie, X., Li, W., Slocombe, D., et al. (2020). Microwave-initiated catalytic deconstruction of plastic waste into hydrogen and high-value carbons. *Nat. Catal.* 3, 902–912. <https://doi.org/10.1038/s41929-020-00518-5>
- Chen, S., Liu, Z., Jiang, S., et al. (2019). Carbonization: a feasible route for reutilization of plastic wastes. *Sci. Total Environ.* 710, 136250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136250>
- Yuwen, C., Liu, B., Rong, Q., Zhang, L., Guo, S. (2022). Porous carbon materials derived from discarded COVID-19 masks via microwave solvothermal method for lithium-sulfur batteries. *Science of the Total Environment*, 817, 152995-153005.





# **Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences**

## CHAPTER 02



**Basic Studies on Food Webs in Wetlands**  
(Burcu Yeşilbudak)



## Basic Studies on Food Webs in Wetlands

**Burcu Yeşilbudak**

*Çukurova University, Adana, Türkiye,*

*E-mail: yesilbudak@gmail.com*

*ORCID ID: 0000-0002-3627-0024*

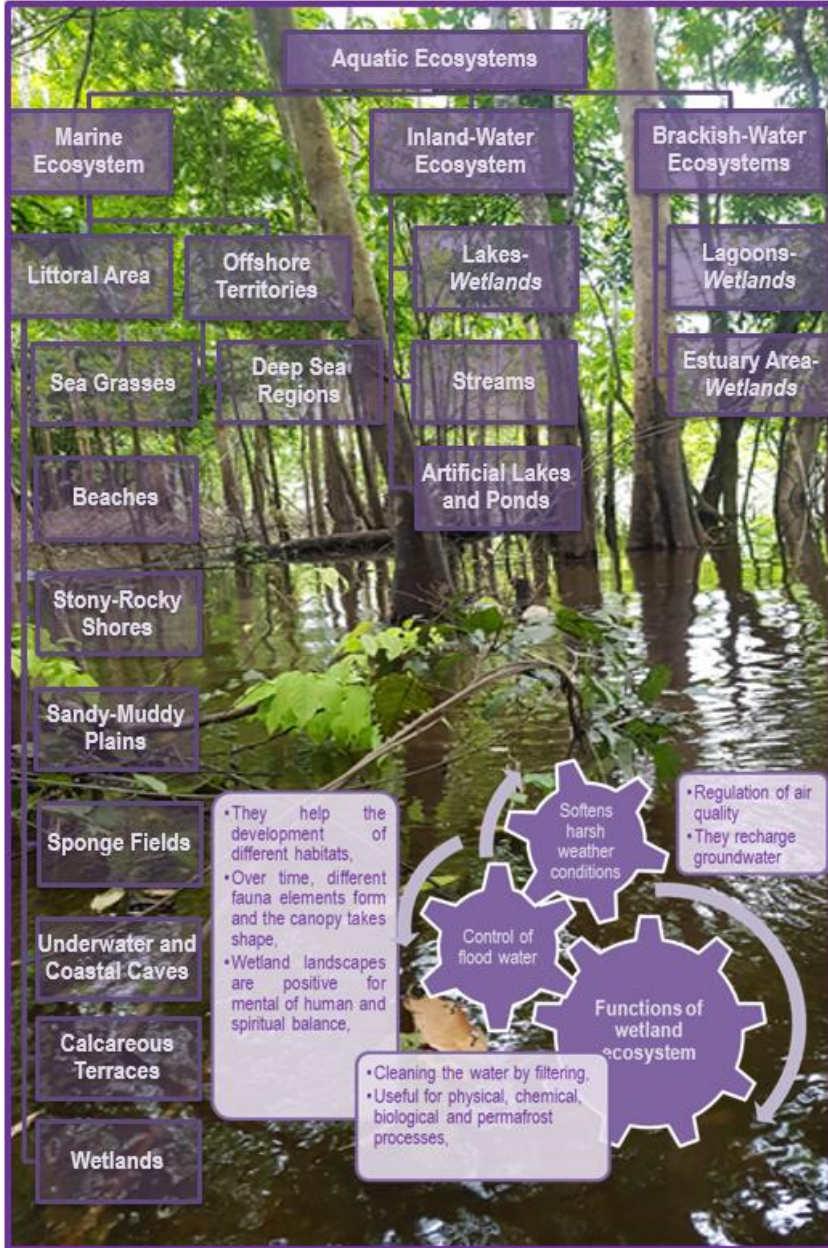
### 1. Introduction

#### 1.1. Importance and Classification of Aquatic Ecosystems

Wetlands are areas that have created a unique trophic structure, included in aquatic ecosystems (Mitsch and Gosselink, 2015). Since wetlands are the primary factor controlling the environment, they are at the forefront of life resources for every living being (Niering, 1985). The definition of wetland has been expressed differently in different parts of the world and was first defined in the 1950s as shallow water habitats where waterfowl feed, breed and nest (Gopal, 2015). Another explanation is that wetlands are used interchangeably with freshwater ecosystems (also called inland waters), and the water they contain is defined as places where the water table is at or near the land surface as the main determining factor in life (Pittock et al., 2015). According to the Ramsar Convention, wetlands are defined as “all waters, reeds, swamps, wet meadows and turbidities, natural or artificial, permanent or temporary, stagnant or flowing, fresh, brackish or salty, covering depths not exceeding 6 meters during the tides of the seas” (Ramsar convention, 1971). In summary, wetlands can be defined as areas where the terrestrial soil is saturated or flooded at least for some amount of time. Wetlands have the potential to fulfill many vital environmental tasks (Stanford and Spacie, 1994; Daily, 1997; Fisher et al., 2009) (Figure 1). For this reason, wetlands have always been seen as ecological supermarkets or kidneys of the world (Mitsch and Gosselink, 2007).

Aquatic ecosystems are evaluated under 3 main headings. The first one is marine ecosystems which cover a wide area from coastal areas to the open seas. Healthy marine ecosystems have many functions ranging from aquaculture to energy development (Laffoley et al., 2019). Secondly, inland waters are formed by streams, artificial lakes and ponds and lakes. Lakes, marshes, deltas, reeds and mud flats are very important for wildlife, especially birds (Wetzel, 2001). Thirdly, brackish water ecosystems are formed by lagoons and estuarine areas. They are a habitat for many fish and sea creatures. Sea coasts are also of vital importance for land-dwelling creatures in terms of their effects on precipitation (Yafiez-Arancibia et al.,

1994; Sime, 2005). Despite such a variety of aquatic habitats, the structure of aquatic ecosystems has begun to deteriorate in the last century with different stressors. The basic situation that causes stress occurs due to a physical, chemical or biological change in the environment. Water temperature and flow, the presence of light, imbalance in the loading rates of biostimulatory nutrients, oxygen-consuming materials, toxicants, and the introduction of exotic species to different habitats cause extreme stress on aquatic ecosystems (Stanford and Spacie, 1994).



**Figure 1:** Functions and systematics of wetland ecosystems. (Photo: Amazon rainforest)

## **1.2. Trophic Structure in Aquatic Ecosystems**

The first food web and food chain studies were shown with arrows in the form of food web diagrams. The ecological niche was studied within a concept that included ecosystem elements and the life cycles of many living beings (Dennis and Elton, 1937). In later periods, more attention was paid to the domino effect of invasive species on natural ecosystems (Davis et al., 2001). However, trophic groups consisting of species with similar nutritional habits formed the food web, and the first carnivorous structure in the food web was the plankton (Stiling, 1996).

Food chain length is relatively short, usually no longer than 5 links. It has been emphasized that the most important food chain structure is short and does not contain more than 5-6 networks (Dennis and Elton, 1937). There are two main hypotheses about why food webs are generally short. In the first of these, the energy hypothesis, a small amount of energy is transferred from one trophic level to the next (only 10% of the energy is transferred from one level to the next). There is very little energy left to support the super predators. Very large organisms usually feed on organisms below the food chain (e.g.: whales). In the population, energy flow congestion may occur over time between increasing body size on a logarithmic scale and decreasing population density (Roberts, 2003). In the dynamic stability hypothesis, long food chains are less stable than short ones, and population fluctuations at the lower levels of these long food chains cause the extinction of top predators (Pimm and Lawton, 1977; Jenkins et al., 1992).

The concept of niche width used for food web studies also formed the basis of many hypotheses in evolution and ecology. Resources and competitors in an ecosystem were believed to influence the niche size of another population in an ecological or evolutionary process (Levins 1968; Melo et al., 2009). Community structures and dynamics are strongly influenced by the nutritional relationships between organisms, which form the trophic structure (Stiling 1996).

## **2. Food Web Studies in Wetlands**

During the last half century, it has mostly been mentioned about the continuing logical lack of ecosystem elements and principles. However, it has been suggested that more focus should be placed on ecosystem elements. While it was stated that the trophic levels of the populations should be compared with each other, attention was drawn to 3 basic components (Stiling, 1996). The first of these is biomass, i.e. the product that the organism creates as a standard. It has been stated in various sources that the addition of a wide variety of substances to this product can cause problems in



it. The other main components are the energy flow and the presence of mineral matter, which is one of the most important constraints in the ecosystem. Hence, the most important factor in understanding how the ecosystem works is the flow and amount of chemical substance throughout the ecosystem (Mitsch and Gosselink, 2007). The main studies on the understanding of food webs in rivers are the studies on community relations and organic matter (Hershey et al., 2007). Food webs differ depending on the functions and structures of stream types although some elements are common in all different stream types. The three most important methods used to determine the structure of the food webs are; a) digestive tract-tissue analysis, b) carbon-budgets analysis and c) stable isotope studies (Hershey et al., 2007).

### **2.1. Food web studies by isotope studies**

With the main isotope studies on dolphins and sea turtles, salient information has been obtained about the marine food web profile and the movements, origins and feeding ecology of organisms in habitats, in short, their life cycles. There are proportional differences in isotopes according to the areas where the species live (coasts, estuary and deep marine areas). To illustrate, the dolphin stomachs (91 *Tursiops sp.* and 14 *T. truncatus*) studied in South Australia showed marked niche differences as regional variations of the creatures. Dietary variation among and within the species noted highlighted knowledge of regional management (Gibbs et al., 2011). Also, skeletal chronology of turtles (Coulson et al., 2008), trophic niche width, stable isotope discrimination and prey preference of *Chelonia mydas* (Seminoff et al., 2006), age estimation of sea turtles (Avens, et al., 2017), and life profiles of green turtles in lost years (Reich et al., 2007) have been studied in many studies using the stable isotope technique. Otoliths, muscle tissues, and scale samples by isotope studies have been widely used to evaluate food web interactions and rates of fish (Satterfield and Finney, 2002; Johnson and Schindler, 2013).

In a study for stock management and conservation strategies of *Oncorhynchus spp.*, fish stomach content, disease status, constant isotope content, etc. analyses were made. In these analyses, not only salmonids but all natural species affected by the deterioration of environmental conditions were taken into account, and it was recommended to take initiatives to take special precautions to prevent the damage to migratory species such as eels and sturgeons (Johnson and Schindler, 2009). Similarly, the effects of environmental factors on stock *Merluccius merluccius* were investigated. In that study, the proportional amounts of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  isotopes were investigated through the otalite stone examinations of *M. merlucciu* in the

juvenile period. Samples from the northwest of Mollarca island (Soller, SO) and south of Mollarca (Cerebrata, CA) were analyzed over 2 years. Critical information was elicited about the environment in which the fish were at different vertical levels in their trophic levels in the first pelagic life cycle. The  $\delta^{18}\text{O}$  isotopes in the area showed seasonal, temporal and spatial ontogenetic differences. With carbon isotope analysis, it was shown that migrations to the sea coast and to the sea bottom were caused by different nutritional structures in the first life stages. Considering the temperature differences of sea water comparing the period 2002-2003, sea water temperature increased in 2003 (Hidalgo et al. 2008). Moreover, the proportional status of oxygen ( $\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$ ) and carbon ( $\delta^{13}\text{C}/\delta^{12}\text{C}$ ) isotopes (standard mass spectrometry) were used to measure the otolith carbonates of stock *Sardinops sagax*, a sardine species. This type of sardine was obtained from the 4 main port cities of south-west Australia; namely, Fremantle, Albany, Bremer Bay and Esperance. Fish stocks in each region were different, and isotope determinations made in these regions indicated that the operating systems of these regions would gain value in the future (Edmonds and Fletcher, 1997).

Furthermore, feeding ecology studies were performed with biopsied adipose tissue samples from *Orcinus orca* in the eastern North Pacific. In that study, a series of analyses were performed to determine the levels of fatty acids, stable isotopes of carbon and nitrogen, and organochlorine pollutants. Differences in PCB (polychlorinated biphenyls) and fatty acid profiles were found for the 3 ecotypes (inhabitants, transient whales and overseas). Total concentrations of PCB, DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane), chlordane and HCH (hexachlorocyclohexane) were observed to be highest in transient whales. Also, transient whales were observed to be significantly enriched at  $15\text{N}$  relative to resident animals, while differences between offshore residents and offshore transients were not found to be significant (Herman et al., 2005). Scientists observed that after the Gulf of Mexico disaster, the pyrosome, which was affected by the tanker oil and died, caused the entire food web to be affected (Jacques et al. 2010).

The nitrogen isotope was used to determine wastewater traces in the *Mercenaria mercenaria* crustacean in estuaries. In that study, the  $\delta^{15}\text{N}$  value was tested. The organic material in the structure of the *Mercenaria mercenaria*, a bivalvia species on the coasts caused by anthropogenic effects, was analyzed. Determination of  $\delta^{15}\text{N}$  was provided through high and low acidification methods and comparison of organic matter obtained from soft tissues. Gaining a result of 2.3% - 2.5% more  $\delta^{15}\text{N}$  from the local fish species taken from the mouths of the estuary showed that pollution occurred in this area. With this study, modern study results were obtained by adding

the differences between tissues and between coastal pollutions and their historical processes.

In addition, environmental changes and potential amount of Bivalvia species were monitored in short and long term periods (Carmichael et al. 2008). In a study on heavy metal accumulation and potential sources in Yellow River Estuary fish were observed. Arsenic, Hg, V and stable isotope ratios ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) were analyzed in 11 species of 129 fish. The results showed that As and Hg concentrations were lower than the limits set by international organizations. However, As, Hg and V differed significantly between species ( $P < 0.05$ ), which could be due to the different feeding habitats and feeding habits of the studied fish. A positive correlation was observed between Hg concentrations and  $\delta^{15}\text{N}$  in fish (Liu et al., 2018).

## **2.2. Related Studies of Biodiversity Losses in Aquatic Ecosystems**

The basic indicator of habitat and biodiversity extinction in aquatic ecosystems is a subsequent decline in the function of ecological communities (Tilman et al. 2014). Decreases in biodiversity can alter the energy flow in trophic pathways and thusly, affect the vertical and horizontal function of the food web in different ways (Duffy et al. 2007). In a study comparing the trophic structure and food chain length between two shallow Caribbean coral reefs of habitat degradation, one living coral and the other macroalgae (i.e. degraded) were examined. Basal carbon sources (particulate organic matter and algae) and 48 consumer species (invertebrates and fish) from both reefs were subjected to stable isotope analysis. It was determined that though both reefs had similar food chain length and trophic structure, they had different trophic pathways. In the coral-dominated reef, grass algae and epiphytes were the most important carbon sources for all consumer categories, while the particulate organic matter is the main carbon source for carnivores in the degraded reef (Morillo-Velarde et al. 2018).

**Table 1:** Biodiversity and habitat loss have been noted by various researchers (Vanderval et al., 2008; Osvaldo et al., 2000; Tilman, 2000), and accordingly, some isotope studies on the subject are listed below.

<b>Some of the known biodiversity or habitat loss</b>	<b>References</b>
Increase in alien species (continental drift, human impact)	Hill et al., 2020
Extinction of keystone species (human effect)	Shiple et al., 2017
Epidemics, diseases	Lockley et al., 2020
Competition	Persson and Hansson, 1999
Illegal overhunting (food item, furry, collecting, etc.)	Szpak et al., 2013
Environmental contamination, increase in pollution factors and pollution	Herman et al., 2005 Liu et al., 2018
Habitat destruction (disasters such as volcanic and asteroids or human impacted factors)	Morillo-Velarde et al., 2018
Habitat changes (climate and sea level changes, continental changes)	DeSantis et al., 2009
Tourism	Meyer et al., 2020

Aquatic ecosystem elements and structure are deteriorating day by day for various factors. These factors are summarized in Table 1. Some methods are mentioned in studies conducted on the subject in recent years. For instance, with isotope studies in aquatic ecosystems, the number of different trophic levels that make up food webs and the species, the number of individuals, and niche widths they contain can be determined. By determining the biological primary production amount and consumption amount of aquatic plants, net product can be estimated. The number and amount of microbial functions can be calculated, as well. Likewise, it can be found for which organism the biotic and abiotic elements of the ecosystem have domino characteristics. With the detectability of the breakpoints in the food chain, monitoring studies can also be carried out so that the restoration of the ecosystem is provided at an economic level.

### 3. References

- Hershey, A. E., Fortino K., Peterson, B.J., & Ulseth A. J. (2007). Stream Food Webs, Chapter 27. In *Methods in Stream Ecology*. Cambridge: Academic Press.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G., (2007). Wetland Definition, Part:1-2. In *Wetlands*. New York: John Wiley & Sons.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G., (2007). Wetland Classification, Part:2-8. In *Wetlands*. New York: John Wiley & Sons.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands*. New York: John Wiley & Sons.
- Secretariat, R. C. (2006). *The Ramsar convention manual: a guide to the convention on wetlands (Ramsar, Iran, 1971)*. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.
- Stiling, P. D. (1996). *Ecology: Theories and Applications (Vol. 4)*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Niering, W. A. (1985). *Wetlands*. New York: Alfred a Knopf Incorporated.
- Carmichael, R. H., Hattenrath, T., Valiela, I., & Michener, R. H. (2008). Nitrogen stable isotopes in the shell of *Mercenaria mercenaria* trace wastewater inputs from watersheds to estuarine ecosystems. *Aquatic Biology*, 4(2), 99-111.
- Edmonds, J. S., & Fletchere, W. J. (1997). Stock discrimination of pilchards *Sardinops sagax* by stable isotope ratio analysis of otolith carbonate. *Mar Ecol Prog Ser.*, 152, 241-247.
- Hidalgo, M., Tomás<sup>1</sup>, J., Høie, H., Morales-Nin, B., & Ninnemann, U. S. (2008). Environmental influences on the recruitment process inferred from otolith stable isotopes in *Merluccius merluccius* off the Balearic Islands. *Aquat Biol*, 3, 195-207.
- Johnson, S. P., & Schindler, D. E. (2009). Trophic ecology of Pacific salmon (*Oncorhynchus spp.*) in the ocean: a synthesis of stable isotope research. *Ecological Research*, 24(4), 855-863.
- Melo, C. E. D., Lima, J. D., & Silva, E. F. D. (2009). Relationships between water transparency and abundance of Cynodontidae species in the Bananal floodplain, Mato Grosso, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 7, 251-256.

- Jacques, M., Flukes, E., & White, P. (2010). Feature Stories-Gulf of Mexico oil spill. *Marine Life*.
- Tilman D. (2000). Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature*, 405, 208-211.
- Van Der Wal, R. E. N. É., Truscott, A. M., Pearce, I. S., Cole, L., Harris, M. P., & Wanless, S. (2008). Multiple anthropogenic changes cause biodiversity loss through plant invasion. *Global Change Biology*, 14(6), 1428-1436.
- Pittock, J., Finlayson, M., Arthington, A. H., Roux, D., Matthews, J. H., Biggs, H., Harrison, I., Blom, E., Flitcroft, R., Froend, R., Hermoso, V., Junk, W., Kumar, R., Linke, S., Nel, J., Nunes da Cunha, C., Pattnaik, A., Pollard, S., Rast, W., Thieme, M., Turak, E., Turpie, J., van Niekerk, L., Willems, D., & Viers, J. (2015). Managing freshwater, river, wetland and estuarine protected areas. In *Protected Area Governance and Management*. Canberra: ANU Press.
- Stanford, L. L., & Spacie, A. (1994). *Biological monitoring of aquatic systems*. Florida: CRC Press.
- Daily, G. C. (1997). *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Washington DC: Island Press.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Laffoley, D., Baxter, J. M., Day, J. C., Wenzel, L., Bueno, P., & Zischka, K. (2019). Marine protected areas. In *World seas: An environmental evaluation*. Cambridge: Academic Press.
- Sime, P. (2005). St. Lucie estuary and Indian River Lagoon conceptual ecological model. *Wetlands*, 25(4), 898-907.
- Yafiez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L., & Pauly, D. (1994). Coastal lagoons as fish habitats. Amsterdam: *Coastal Lagoon Processes*.
- Davis, M. A., Thompson, K., & Grime, J. P. (2001). Charles S. Elton and the dissociation of invasion ecology from the rest of ecology. *Diversity and Distributions*, 7(1-2), 97-102.
- Gopal, B. (2015). *Guidelines for rapid assessment of biodiversity and ecosystem services of wetlands*. New Delhi: Asia Pacific Network for Global Change Research (APN-GCR), Kobe, Japan, and National Institute of Ecology.

- Liu, Y., Liu, G., Yuan, Z., Liu, H., & Lam, P. K. (2018). Heavy metals (As, Hg and V) and stable isotope ratios ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) in fish from Yellow River Estuary, China. *Science of the Total Environment*, 613, 462-471.
- Tilman, D., Isbell, F., & Cowles, J. M. (2014). Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 471-493.
- Duffy, J. E., Cardinale, B. J., France, K. E., McIntyre, P. B., Thébault, E., & Loreau, M. (2007). The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. *Ecology Letters*, 10, 522-538.
- Morillo-Velarde, P. S., Briones-Fourzán, P., Álvarez-Filip, L., Aguiñiga-García, S., Sánchez-González, A., & Lozano-Álvarez, E. (2018). Habitat degradation alters trophic pathways but not food chain length on shallow Caribbean coral reefs. *Scientific Reports*, 8(1), 1-12.
- Chitty, D., & Elton, C. (1937). Canadian Arctic wild life enquiry, 1935-36. *The Journal of Animal Ecology*, 368-385.
- Levins, R. (1968). *Evolution in changing environments*. Princeton: Princeton Univ. Press.
- Roberts, J. M. (2003). Testing the cascade model for food webs. *J. Agri. Biol. Environ. Stat.*, 8(2), 196-204.
- Pimm, S. L., & Lawton, J. H. (1977). The number of trophic levels in ecological communities. *Nature*, 275, 542-544.
- Jenkins, B., Kitching, R. L., & Pimm, S. L. (1992). Productivity, disturbance and food web structure at a local spatial scale in experimental container habitats. *Oikos*, 65, 249-255.
- Gibbs, S. E., Harcourt, R. G., & Kemper, C. M. (2011). Niche differentiation of bottlenose dolphin species in South Australia revealed by stable isotopes and stomach contents. *Wildlife Research*, 38(4), 261-270.
- Reich, K. J., Bjorndal, K. A., & Bolten, A. B. (2007). The 'lost years' of green turtles: using stable isotopes to study cryptic lifestages. *Biology letters*, 3(6), 712-714.

- Avens, L., Goshe, L. R., Coggins, L., Shaver, D. J., Higgins, B., Landry Jr, A. M., & Bailey, R. (2017). Variability in age and size at maturation, reproductive longevity, and long-term growth dynamics for Kemp's ridley sea turtles in the Gulf of Mexico. *PLoS one*, 12(3), e0173999.
- Seminoff, J. A., Jones, T. T., Eguchi, T., Jones, D. R., & Dutton, P. H. (2006). Stable isotope discrimination ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) between soft tissues of the green sea turtle *Chelonia mydas* and its diet. *Marine Ecology Progress Series*, 308, 271-278.
- Coulson, A. B., Kohn, M. J., Shirley, M. H., Joyce, W. G., & Barrick, R. E. (2008). Phosphate–oxygen isotopes from marine turtle bones: Ecologic and paleoclimatic applications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 264(1-2), 78-84.
- Satterfield IV, F. R., & Finney, B. P. (2002). Stable isotope analysis of Pacific salmon: insight into trophic status and oceanographic conditions over the last 30 years. *Progress in oceanography*, 53(2-4), 231-246.
- Johnson, S. P., & Schindler, D. E. (2013). Marine trophic diversity in an anadromous fish is linked to its life-history variation in fresh water. *Biology Letters*, 9(1), 20120824.
- Herman, D. P., Burrows, D. G., Wade, P. R., Durban, J. W., Matkin, C. O., LeDuc, R. G., Barrett-Lennar, L. G., Krahn, M. M. (2005). Feeding ecology of eastern North Pacific killer whales *Orcinus orca* from fatty acid, stable isotope, and organochlorine analyses of blubber biopsies. *Marine Ecology Progress Series*, 302, 275-291.
- Carmichael, R. H., Hattenrath, T., Valiela, I., & Michener, R. H. (2008). Nitrogen stable isotopes in the shell of *Mercenaria mercenaria* trace wastewater inputs from watersheds to estuarine ecosystems. *Aquatic Biology*, 4(2), 99-111.
- Edmonds, J. S., & Fletcher, W. J. (1997). Stock discrimination of pilchards *Sardinops sagax* by stable isotope ratio analysis of otolith carbonate. *Marine Ecology Progress Series*, 152, 241-247.
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653.
- Oswaldo, E., Sala, F., Chapin, S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., et al. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.



- Hill, K. G., Nielson, K. E., Tyler, J., McInerney, F., Doubleday, Z. A., Frankham, G. J., Johnson, R. N., Gillanders, B. M., Delean, S., Cassey, P. (2020). Pet or pest? Stable isotope methods for determining the provenance of an invasive alien species. *NeoBiota*, 59, 21-37.
- Shiple, O., Brooks, E. J., Madigan, D. J., Sweeting, C. J., & Dean Grubbs, R. (2017). Stable isotope analysis in deep-sea chondrichthyans: recent challenges, ecological insights, and future directions. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27(3), 481-497.
- DeSantis, L. R., Feranec, R. S., & MacFadden, B. J. (2009). Effects of global warming on ancient mammalian communities and their environments. *PLoS One*, 4(6), e5750.
- Lockley, E. C., Fouda, L., Correia, S. M., Taxonera, A., Nash, L. N., Fairweather, K., Reischig, T., Durão, J., Dinis, H., Roque, S.M., Lomba, J.P., Passos, L., Cameron, S.J.K., Stiebens, V.A., & Eizaguirre, C. (2020). Long-term survey of sea turtles (*Caretta caretta*) reveals correlations between parasite infection, feeding ecology, reproductive success and population dynamics. *Scientific Reports*, 10(1), 1-11.
- Meyer, L., Whitmarsh, S. K., Nichols, P. D., Reville, A. T., & Huvener, C. (2020). The effects of wildlife tourism provisioning on non-target species. *Biological Conservation*, 241, 108317.
- Szpak, P., Orchard, T. J., Salomon, A. K., & Gröcke, D. R. (2013). Regional ecological variability and impact of the maritime fur trade on nearshore ecosystems in southern Haida Gwaii (British Columbia, Canada): Evidence from stable isotope analysis of rockfish (*Sebastes spp.*) bone collagen. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 5(2), 159-182.
- Persson, A., & Hansson, L. A. (1999). Diet shift in fish following competitive release. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(1), 70-78.





# **Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences**

## CHAPTER 03



### **Epitermal Altın Yataklarının Tipleri, Özellikleri ve Oluşumu**

**(Didem Kiray, Oya Cengiz)**



## Epitermal Altın Yataklarının Tipleri, Özellikleri ve Oluşumu

**Didem Kıray<sup>1</sup>, Oya Cengiz<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Barbaros Mahallesi Hacı Mustafa Bey Cad. No:12, Çanakkale,  
E-mail: dkiray17@gmail.com*

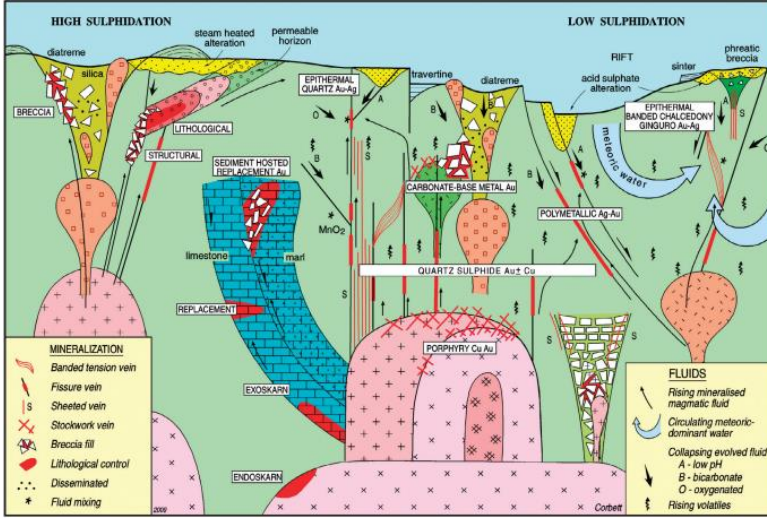
<sup>2</sup>*Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta,  
E-mail: oyacengiz@sdu.edu.tr*

### 1. Giriş

Epitermal terimi ilk defa Lindgren (1913) ve Emmons (1918) tarafından sığ ısı olarak tanımlanmıştır. Lindgren (1922) ‘epitermal ortam’ terimini tipik olarak Au, Ag ve baz metal sülfürler (Tablo 1) ile Hg, Sb, S, kaolinit, alünit ve silika yataklarını barındıran derinlikteki sığ bir ortamı tanımlamak için kullanmıştır. Daha sonra “epitermal yataklar” terimi ilk olarak Lindgren (1933) tarafından hidrotermal cevher yatakları için bir kökensel sınıflandırma şemasında tanımlanmıştır. Lindgren (1933) hidrotermal maden yataklarını, hipotermal, mezotermal ve epitermal şeklinde üç tipe ayırmıştır. Hipotermal maden yataklarının oluşum sıcaklığı 400-600°C arasında ve 3000 m’den fazla, fakat 15000 m’den daha az oluşum derinliği olan yataklar olarak, mezotermal maden yataklarının 1500-3000 m arasında oluşum derinliğine sahip olduğunu belirtmiştir. Volkanik serilerdeki stratigrafik ilişkiler temelinde ve aktif hidrotermal sistemlerdeki mineral ve metal oluşumları ve mineral dokuları ile benzerlik kurarak, epitermal yatakların düşük sıcaklıktaki (<250-300°C) çözeltilerle, <100 atmosferde (~100 bar) ve yüzeye yakın (<1500 m) veya sığ ortamlarda oluştuğu sonucuna varmıştır.

Epitermal Au ( $\pm$ Ag) yatakları, yüzeye yakın ortamda yüzeyden 1-1,5 km derinliğe kadar bulunan hidrotermal sistemlerden oluşur. Çoğu epitermal yatak, fiziksel ve kimyasal koşullardaki ani değişikliklerin metal birikimi ve buna bağlı hidrotermal alterasyon ile sonuçlandığı sığ kabuk seviyelerinde oluşur (White ve Hedenquist, 1990). Cevherlerin sığ derinliklerde oluştuğunu ileri süren araştırmacılardan Lindgren (1933) jeolojik rekonstrüksiyonlar, cevher mineralojisi ve ilişkili dokulardan faydalanırken, Arribas vd. (1995) ise epitermal cevherlerin <150°C ile ~300°C sıcaklık aralığında, yüzeyden 1 ile 2 km derinliğe kadar oluştuğunu belirtmek için hidrotermal çözeltilerinden yararlanmışlardır. White ve Hedenquist (1990)’de epitermal değerli ve baz metal yatak türlerinin farklı tektonik, magmatik ve yapısal ortamlarının ve karmaşık oluşumlarının sürecini yansıttığını düşünmektedir.

Epitermal yataklar genelde magma ile ilişkili hidrotermal sistemlerin en üst kısmında oluşurlar, fakat gelişmeleri dışarıdan gelen meteorik kökenli sularla etkileşimi ile gerçekleşmektedir (Şekil 1). Birçok araştırmacı cevher oluşturan çözeltilerin  $<150^{\circ}\text{C}$  ile  $300^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında olduğunu belirtmişlerdir (Hedenquist vd., 1996; Sillitoe, 2000; Hedenquist vd., 2000; Corbett, 2002; Simmons vd., 2005; Taylor, 2007; Pirajno, 2009).



Şekil 1: Corbett kavramsal mineralizasyon modeli (Corbett, 2002).

Epitermal Au ( $\pm\text{Ag}$ ) yatakları, yüzeye yakın ( $\leq 1,5$  km), volkanik ve sedimanter kayalarda ve metamorfik kayalarda damarlar ve ağşal şekillerde oluşur. Yataklar, sıcak su çıkışları ile ilişkili olarak bulunabilir ve sıklıkla genç volkanizma merkezlerinde meydana gelir. Cevherlerde değerli metaller (Au, Ag) hakimdir, bazı yataklar da Cu, Pb ve Zn gibi değişken miktarlarda baz metaller içerebilir (Taylor, 2007).

## 2. Epitermal Yatakların Sınıflaması

Ekonomik metal olan altın mineralizasyonu düşük sülfidasyon ve yüksek sülfidasyon epitermal yataklar olmak üzere ikiye ayrılır. Bazı araştırmacılar (Ransome vd., 1907; Lindgren, 1933; Barton ve Skinner, 1979; Hedenquist, 1987; Sillitoe, 1989, 1993a; White ve Poizat, 1995), sülfidat mineral topluluklarından çıkarılan iki sülfidasyon durumunu yansıtmak için düşük sülfidasyon ve yüksek sülfidasyon terimlerini kullanmışlardır. Bazı araştırmacılar da (Hedenquist vd., 2000; Sillitoe ve Hedenquist, 2003), düşük sülfidasyonlu sistemlerin bir alt tipi olarak bir geçiş tipi ara sülfidasyonu da tanımlamışlardır.

Simmons vd. (2005) epitermal yatakları, alterasyon mineralojisine ve alterasyon tipine, yan kayaçlarına, yatak şekline ve oluşum modellerine bağlı olarak önceki araştırmacılardan (Sillitoe, 1977; Bunchanan, 1981; Asley, 1982; Giles and Nelson, 1982; Bonham, 1986, 1988; Hayba vd., 1985; Heald vd., 1987; Hedenquist, 1987; White ve Hedenquist, 1990, 1995; Berger ve Henley, 1989; Albino ve Margolis, 1991; Sillitoe, 1989, 1993a; White ve Poizat, 1995; Hedenquist vd., 2000; Einaudi vd., 2003; Sillitoe ve Hedenquist, 2003; Cooke ve Deyell, 2003) yararlanarak Tablo 1’ de verilen sınıflamayı yapmıştır.

Tablo 1: Epitermal altın yataklarının gelişimi ve sınıflaması (Simmons vd., 2005)

	Asit		Alkali		
Sillitoe (1977)		Epitermal			
Bunchanan (1981)					
Ashley (1982)	Enarjit-altın				Sıcak kaynak tipi
Giles and Nelson (1982)					
Bonham (1986,1988)	Yüksek sülfür				Düşük sülfür Alkali yatak
Hayba et al.(1985)	Asit sülfat				Adularya-serisit
Heald et al. (1987)					
Hedenquist (1987), White and Hedenquist (1990, 1995)	Yüksek sülfidasyon				Düşük sülfidasyon
Berger and Henley (1989)	Alunit-kaolinit				Adularya- serisit
Albino and Margolis (1991)			Tip 1 adularya-serisit		Tip 2 adularya-serisit
Sillitoe (1989, 1993a)	Yüksek sülfidasyon		Düşük sülfidasyon		Düşük sülfür+ana metal
			Yüksek sülfür+anometal		
White and Poizat (1995)	Yüksek sülfidasyon		Düşük sülfidasyon		
	Au-Ag-Cu boşluklu kuvars alterasyon yatakları	Au-Ag-Cu profillit-serisit alterasyon yatakları	Sn-Ag-ana metal yatakları	Ag-Au-ana metal yatakları	Au-Ag yatakları Kalk-alkali volkanik kayaçlarla
Hedenquist et al. (2000)	Yüksek sülfidasyon		Ortaç sülfidasyon	Düşük sülfidasyon	Alkali
Einaudi et al. (2003)					
Sillitoe and Hedenquist (2003)					
Cooke and Deyell (2003)		Cevher metalleri, yatak oluşumu, tanımlayıcı hipojen gang ve alterasyon mineralleri ve baskın Cu’ca zengin minerallere göre tanımlayıcı terminoloji			

Sülfürlü mineral içermesi; cevherli akışkanın kendine özgü yapısını, kökenini ve aynı zamanda sıvı-kayaç etkileşiminin derecesini düşük sülfidasyon için kayaca hakim, yüksek sülfidasyon sistemleri için sıvı

hakimiyetini yansıtır (Giggenbach, 1992a). Düşük sülfidasyonlu epitermal yatakların sülfür topluluğu tipik olarak pirit-pirotin, arsenopirit ve demir bakımından zengin sfalerittir. Yüksek sülfidasyon yataklar ise enarjit-luzonit, kovelit ve pirit toplulukları ile karakteristiktir (Hedenquist vd., 2000). Ara sülfidasyon sistemleri genellikle sfalerit, galen, kalkopirit, tetrahedrit/tenantit, adularia, serisit ve karbonat içerir (Hedenquist vd., 2000; Sillitoe ve Hedenquist, 2003). Düşük sülfidasyon ortamında mineral oluşturan çözeltiler, tipik olarak aktif jeotermal sistemlerin sondajı ile elde edilen sıvılardır (Henley ve Ellis, 1983). Nötre yakın pH ve indirgenmiş sıvılar, düşük sülfidasyon halindeki sülfür minerallerini oluşturur (Barton ve Skinner, 1979). Buna karşılık, yüksek sülfidasyonlu sistemler ve bunların nispeten yüksek sülfür içerikli mineralleri, genç volkanlara bitişik magmatik-hidrotermal ortamda oluşan asidik ve oksitlenmiş sıvılarla ilişkilidir (Ransome, 1907; Hedenquist vd., 1994). Ara sülfidasyon tipi epitermal yataklar yüksek sülfidasyon sistemlerine benzer ve magmatik kökenli hidrotermal akışkanlardan oluşur (Hedenquist vd., 2000; Sillitoe ve Hedenquist, 2003; Kouhestani vd., 2015; Mehrabi vd., 2016; Wang vd., 2013; Xie vd., 2017).

### 3. Oluşumu

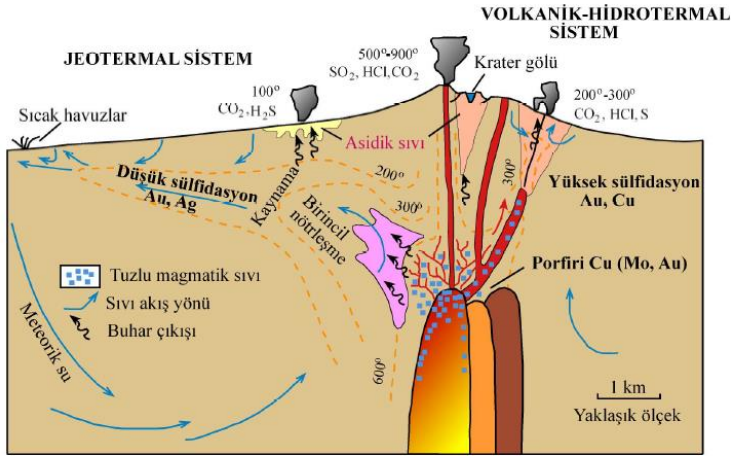
Düşük sülfidasyonlu epitermal yataklar volkanik sistemin dış kısımlarında yaygın olarak gelişen ve genellikle magmatizma sonrası daha düşük oksidasyon seviyeleri, nötr veya düşük asitli sıvılar ile karakterize edilir. Yüksek sülfidasyonlu epitermal yataklar ise, magmaların soğuyarak sığ derinliklerde kristalleşmesinden türedikten sonra hızla volkanik seviyelere yükselen yüksek oranda oksitlenmiş ve asidik magmatik sıvıların sonucu oluşur (White ve Hedenquist, 1990, 1995; Simmons vd., 2005).

Düşük sülfidasyonlu sistemlerde, mineralleşmeyi oluşturan sıvılar tipik olarak magmatik-hidrotermal ortamdaki magmatik ısı kaynağından uzak aktif jeotermal sistemlerden elde edilir (Henley ve Ellis, 1983). Daha sonra sıvıların azalmasıyla düşük sülfidasyon halindeki sülfür mineralleri nötre yakın pH değerine sahip olurlar (Barton ve Skinner, 1979). Buna karşılık, yüksek sülfidasyon sistemleri ve ilişkili yüksek sülfidasyon mineralleri magmatik-hidrotermal ortamda genç volkanların üzerinde oluşan asidik ve oksitlenmiş sıvılardan kaynaklanır (Ransome, 1907; Hedenquist vd., 1994). Yüksek sülfidasyon tipi epitermal yataklar, porfiri yataklar ile ilişkili yerlerde yüzey ile sığ bir gazdan arındırma girişimi arasında bir geçiş zonunda oluşur. Ayrıca, orta sülfidasyon yataklarının derin ve yanal araştırılması yüksek sülfidasyon yataklar gibi onları porfir yataklarına bağlayabilir (Hedenquist vd., 1998; Heinrich, 2005; Muntean ve Einaudi, 2001). Yüksek sülfidasyonlu epitermal cevher kütleleri genellikle volkanik krater ağzının yakınında



bulunur ve yapısal kanallar veya geçirgen litolojiler tarafından barındırılır. Bu sistemlerde gelişen magmatik sıvının epitermal derinliklere hızlı bir şekilde yükselmesine izin verecek volkanik-hidrotermal ortam etkilidir (Sillitoe, 1993b; Arribas, 1995; John vd., 1999) (Şekil 2).

Hidrotermal sıvıların kaynağı, genellikle ya sıg derinliklerde (birkaç km'den 10 km'ye kadar) su bakımından zengin magma kütlelerini kristalleştiren ve soğutan kapalı bir sisteme (volkanik hidrotermal sistemler veya intrüzyonla ilişkili hidrotermal sistemler veya magmatik sistemleri) ya da konverjan ve diverjan plaka sınırlarında volkanik ve plütonik aktivite alanları ile ilişkili, magmatik olmayan fay (kırılma) kontrollü jeotermal sistemlere bağlıdır.



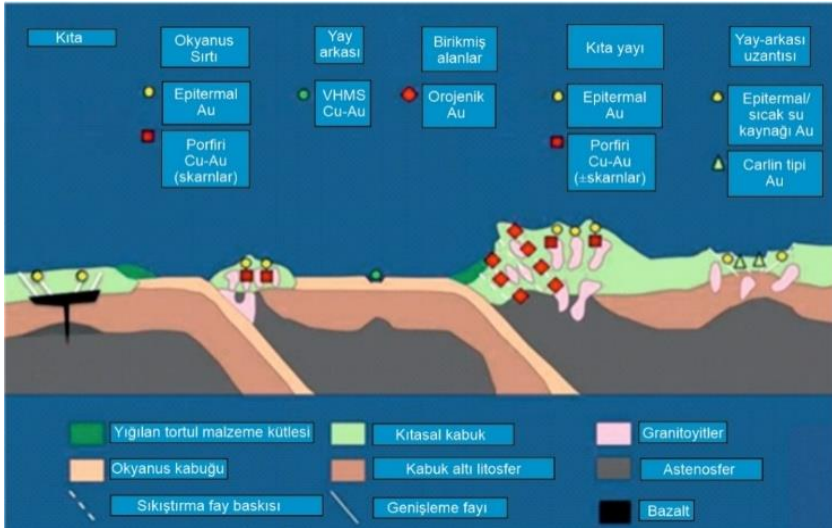
Şekil 2: Volkanik-hidrotermal ve jeotermal sistemler için çeşitli süreçler ve epitermal cevher yataklarının yüksek sülfidasyon ve düşük sülfidasyon tipleri ile ilgili ortamların şematik görünümü (Hedenquist ve Lowenstern, 1994; Hedenquist vd., 2000).

Jeotermal sistemler (düşük sülfidasyonlu epitermal), meteorik hidrotermal sistemler olarak da bilinir (Henley ve Ellis, 1983; White ve Hedenquist, 1990, 1995; Pirajno, 1992; Hedenquist ve Lowenstern, 1994; Hedenquist vd., 2000; Sillitoe ve Hedenquist, 2003; Sillitoe, 2015). Jeotermal sistemler tipik olarak bir volkanik yapı, volkanik aktivite veya volkanik kayaların olmadığı bölgelerde de meydana gelebilir. Çoğu durumda jeotermal sistemler, yüzeyin 5 ile 6 km kadar altına yerleşen intrüzyonlara bağlıdır. Her ne kadar tuzlu sulara sahip sistemlerde meydana gelse de derinlerdeki sıvının yüksek yoğunluğu yüzeyde boşaltmayı engeller ve bu sistemler çok iyi bilinmemektedir (Hedenquist vd., 2000).

Volkanik-hidrotermal sistemler (yüksek sülfidasyonlu epitermal), magmatik buharların yüzeye boşaltmasının gerçekleştiği volkanik bacalara

yakın bir konumda meydana gelir (Şekil 2). Başlıca yüzeyde olan yüksek sıcaklıktaki fumeroller ve yoğunlaşma ile oluşan aşırı asidik su ile ilgilidir. Asidik, oksitlenmiş sıvının ana kaya ile dengede olmaması magmatik ilişkisini yansıtır (Giggenbach, 1992b). Sistemin güçlü yapısal kontrolü, reaktif yapısı ve egemen sıvının karakteri akışkanın hızla yükselmesine neden olur (Giggenbach, 1992a). Bu sıvılar çok sığ olabilir, hatta yüzeye çıkabilir (Hedenquist vd., 2000). Bu volkanik-hidrotermal sistemler, jeotermal sistemlerden belirgin şekilde farklı özelliklere sahiptir, ancak her ikisi de hemen hemen birlikte de var olabilirler. Bazı durumlarda, sadece 1 ile 2 km derinliklerde jeotermalden volkanik-hidrotermal ortamlara derine doğru bir geçiş vardır. Burada hipojen asidik sıvı, çatlaklar veya sığ setler boyunca üste doğru bir nötr pH'lı jeotermal sisteme yükselir (Reyes vd., 1993).

Epitermal altın yataklarının çoğu yakınsak tektonik ortamlarda meydana gelir (White ve Hedenquist, 1990; Hedenquist ve Lowenstern, 1994; White ve Hedenquist, 1995) ve genellikle yitim sonrası genişleme rejimleri ile ilişkilidir (Sillitoe ve Hedenquist, 2003). Ayrıca, alkali-kalk-alkali ve/veya toleyitik (iki modlu) volkanik ortamlarda meydana gelebilmesine rağmen, orta ile asit volkanik ortamlarda bol miktarda bulunurlar (White ve Hedenquist, 1990; Sillitoe ve Hedenquist, 2003). Yan kayaçlar genellikle alkali özelliğe sahiptir (Hedenquist vd., 2000; Sillitoe ve Hedenquist, 2003) ve temel kayalara göre kalk-alkalidir (White ve Hedenquist, 1990). Bazaltik andezit-andezit ve dasit-riyolit aralığında değişen bileşimdeki kalk-alkalin magmaların intrüzyonu ve denizaltı volkanizması, epitermal yatakların olası ana kayaçlarını ve ilişkili tektonik ortamlarını oluşturmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: Altınca zengin maden yataklarının tektonik ortamlarını gösteren şematik diyagram (Groves vd., 1998).

Epitermal sülfidasyon yatakları, çoğunlukla iki modlu (alkali-kalk-alkali ve/veya toleyitik) volkanikler (bazaltik veya bazaltik andezitik, riyolitik-riyodasitik lavlar ve piroklastik kayalar) ve normal fay sınırlı graben havzaları, genişlemeli tektonik ortamlarda (kıtasal ve ada yayı yarıklarına yakın, yay içi ve yay arkası) akarsu-göl sedimantasyonu ile birlikte oluşurlar. (Sillitoe, 1993; Arribas, 1995; White vd., 1995; Sillitoe ve Hedenquist, 2003) (Tablo 2).

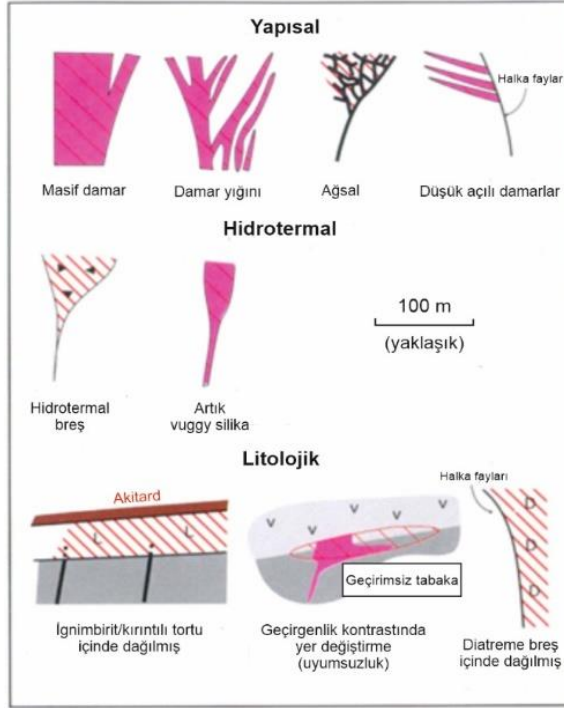
#### 4. Yataklanma Şekilleri

Düşük sülfidasyon epitermal yatakları volkanik sistemin dış kısımlarında yaygın olarak gelişen ve genellikle magmatizma sonrası daha düşük oksidasyon seviyeleri, nötr veya düşük asitli sıvılar ile karakterize edilir. Yüksek sülfidasyon epitermal yataklar ise, magmaların soğuyarak sığ derinliklerde kristalleşmesinden türedikten sonra hızla volkanik seviyelere yükselen yüksek oranda oksitlenmiş ve asidik magmatik sıvıların sonucu oluşur (White ve Hedenquist, 1990, 1995; Simmons vd., 2005) (Tablo 2).

Tablo 2: Cevher-oluşum süreçlerinin sülfidasyon evresi ve magmatik kayalarla ilişkili tektonik ortamları (Sillitoe ve Hedenquist, 2003)

Sülfidasyon durumu	Magmatik kayaç bileşimi	Tektonik ortam
Yüksek	Kalk-alkalin, andezit-dasit	Nötr-orta stresli açılmalı magmatik yay; sıkışma stres hali yaygın değil, fakat bastırılmış volkanik aktivitelidir.
Orta	Kalk-alkalin, andezit-riyolit	Nötr-orta stresli açılmalı magmatik yay; sıkışma stres hali nadiren
Düşük	Kalk-alkalin, alkalin, toleyitik bimodal bazalt-riyolit	Riftleşmeye öncülük eden açılmaya uğramış magmatik yay; çarpışma sonrası riftleşme

Epitermal altın yataklarının geometrisi, cevher oluşumunu sağlayan çözeltilerin derinliğine bağlı olarak değişir (Şekil 4). Derinden yüzeye doğru; yüksek tenörlü damarlar, ornatma zonu, saçınımlı cevher, ağsal damarlar ve breşik zon olarak sıralanır (Evans, 1993). Bu iki tip epitermal yatakların karakteristik formu farklıdır.



Şekil 4: Ana kaya litolojisi, yapısı ve hidrotermal süreçleri tarafından kontrol edilen cevher kütlesi formu örnekleri (Hedenquist vd., 2000).

Düşük sülfidasyonlu yatakların çoğu, keskin sınırları olan, boşlukları dolduran damar veya damarcıkların ağsal yapılarından oluşur. Damarlar yüksek sülfidasyon yataklarında önemli olabilir, ancak çoğunluğu yatağı çevreleyen kayaların yerini alan veya süzülen saçılmış cevherlerden oluşur. Yüksek sülfidasyonlu yatakların şekli, saçınımlardan veya yer değiştirmelerden damarlara, ağlara ve hidrotermal breş kütlelerine kadar değişir. Yüksek sülfidasyonlu epitermal yataklar, düşük sülfidasyonlu yataklara benzer şekilde litolojik ve yapısal kontroller ile belirlenir (White ve Hedenquist, 1995; Hedenquist vd., 2000) (Şekil 4).

## 5. Cevher ve Gang Mineralleri

Epitermal yataklar, alt gruplarına göre oluşum ortamları, sülfür içerikleri ve ortamın pH değerleri bakımından farklı mineral toplulukları ile karakterize edilirler (Giggenbach, 1997; Einaudi vd., 2003) (Tablo 3). Düşük sülfidasyonlu epitermal altın yataklarına başlıca sfalerit, galen, tetrahedrit/tennantit ve kalkopirit ile birlikte pirit-arsenopirit mineral topluluğu eşlik eder (White ve Hedenquist, 1990, 1995). Yüksek sülfidasyonlu epitermal yataklar, yüksek sülfürde kararlı olan kovellit, pirit

ve enarjit gibi sülfid minerallerini içerir (Arribas, 1995; Simmons vd., 2005; Taylor, 2007).

Tablo 3: Epitermal cevher-oluşum ortamlarının tanımlayıcı farklı pH, sülfidasyon ve oksidasyon evrelerinde karakteristik mineral topluluğu (Giggenbach, 1997; Einaudi vd., 2003)

Asit pH		Nötr pH
Alünit, kaolinit (dikit), profilin, kalıntı, boşluklu kuvars		Kuars-adularya± illit, kalsit
Yüksek sülfidasyon Pirit-enarjit,±luzonit, kovelin-dijenit, famatinit, orpiment	Ortaç sülfidasyon Tennantit, tetrahedrit, hematit-pirit-manyetit, pirit, kalkopirit, Fe'ce fakir sfalerit-pirit	Düşük sülfidasyon Arsenopirit-löllingit-pirotin, pirotin, Fe'ce zengin sfalerit- pirit
Okside Alünit, hematit-manyetit		İndirgen Manyetit-pirit-pirotin, klorit-pirit

Düşük sülfidasyonlu yataklarda sfalerit ve arsenopiritin yaygın olmasına karşın, yüksek sülfidasyon yataklarında bu mineraller az bulunur. Düşük sülfidasyonda bakırın olmamasından (Hedenquist ve Lowenstren, 1994) farklı olarak, yüksek sülfidasyonlu yataklar genellikle bakır mineralleri, özellikle yüksek sülfidasyon halindeki sülfotuzlardan enarjit-luzonit içerir. Nispeten yüksek sülfidasyon mineralleri tennantit-tetrahedrit (Barton ve Skinner, 1979) olmak üzere bu tür sülfürler, düşük sülfidasyonlu yataklarda tipik olarak nadirdir veya yoktur (White vd., 1995). Yüksek sülfidasyonlu cevher yataklarında altın cevherleşmesi en yaygın olarak enarjit veya onun düşük sıcaklıklı izomorfı olan luzonit ile ilişkilidir. Enarjit sonrası altın cevheri pirit, tenantit-tetrahedrit, kalkopirit ve telluridler ile ilişkilidir. Bu sülfidatlar, enarjite göre daha düşük bir sülfidasyon durumunu gösterir (Hedenquist vd., 2000).

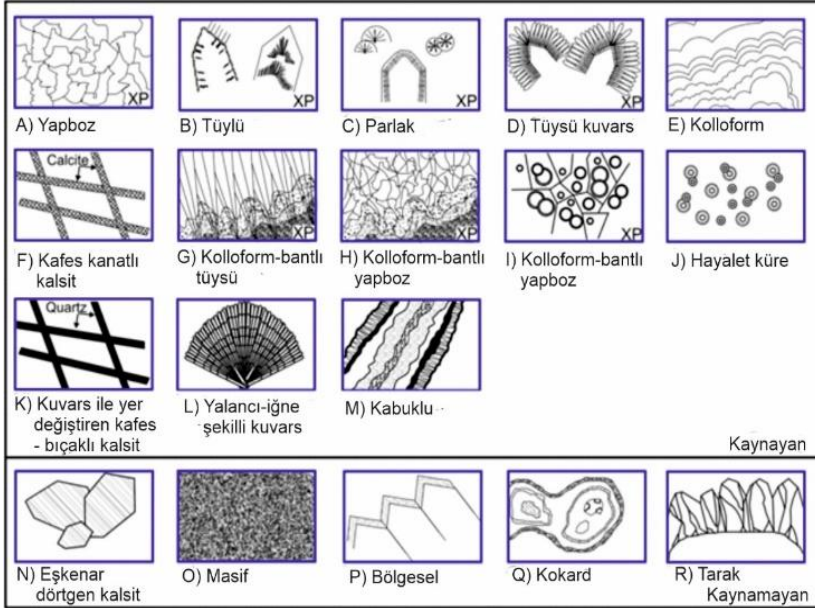
Altın cevherinin gang minerali her iki tipte yaygın olan kuvarstır. Her ikisi de nötre yakın pH koşullarını gösteren kuvarsın yanısıra gang mineralleri adularya, kalsit veya serizit ile ilişkilidir (Sillitoe, 1977; Buchanan, 1981; Berger ve Eimon, 1983; White vd., 1995). Bu gang mineralleri düşük sülfidasyonlu yataklarda yaygındır, ancak yüksek sülfidasyonlu yataklarda yoktur. Kaolinit ve alunit (+pirofillit, diaspor ve P-, Sr-, Pb- ve REE içeren fosfat-sülfat mineralleri) gibi oldukça asidik koşullar altında oluşan mineraller yaygındır, ancak yüksek sülfidasyonlu yataklarda nadirdir. Düşük sülfidasyonlu yataklarda kaolinit ve alunit, yüzeyin üst kısmı dışında gang olarak oluşmaz (Vikre, 1985). Yüksek sülfidasyonlu yataklarda

ise kaolinit, alunite, pirofillit-diaspor ve barit gang mineralleridir (White ve Hedenquist, 1995).

## 6. Yapı ve Dokular

Epitermal ortamdaki cevher yataklarının genel özellikleri, tektonik, magmatik, volkanik ve jeolojik birlikteliklerinden etkilenir (Sillitoe ve Hedenquist, 2003; Taylor, 2007). Oldukça değişken olmakla birlikte, alterasyon ve cevher minerallerinin dokuları ve zonlanma yapıları karakteristik özelliklere sahiptir (Arribas, 1995; Hedenquist vd., 2000). Epitermal altın mineralizasyonunu oluşturan hidrotermal sıvı akışı, mineralojik alterasyon ve mineral dokularında etkindir. Bunlar, damarların bolluğu, sülfid mineralleri veya sertlikteki değişiklikler (silisleşme), kaynama ile ilişkili dokuların tanınması (kanatlı kalsit veya kuvars) ve adularya için (yukarı akan ve kaynayan hidrotermal sıvılarla ilişkili çeşitli potasyum feldispatlar) önemlidir (Barker vd., 2019).

Epitermal yatakların sıvıları, mineral yüklerini damar dolgusu olarak herhangi bir açık alana çöktirdiğinden, epitermal kuvars damarlarında tarak, kabuk, kolloform, bantlı ve kokard gibi açık alan dolgu dokuları yaygındır (Şekil 5). Ayrıca, en fazla ve yaygın mineral biriktirme mekanizması epitermal ortamda kaynama olduğu için, hidrotermal breşler (şiddetli kaynama olayına bağlı hidrolik kırılmanın sonuçları) yaygın ve epitermal altın yataklarının tanısal özellikleridir (Buchanan, 1981; White ve Hedenquist, 1995; Hedenquist vd., 2000). Tarak yapısı, kabuksu yapı, simetrik ve kolloform bantlı, kristal kaplı boşluk ve hidrotermal breşler gibi boşluk dolgu yapıları düşük basınçlı ortamlar için karakteristiktir ve epitermal sistemler için yaygın ve ayırt edici özelliklerdir (Evans, 1993). İki tip yatağı karakterize eden dokular çok farklıdır. Düşük sülfidasyonlu yataklar bantlı, kabuklu kuvars ve kalsedon damarları, kokard ve damar breşleri olmak üzere çok çeşitli dokular gösterir. Bu sistemlerde, kaynama sonucu oluşan kafes dokulu kanatlı kalsit yaygındır (Simmons ve Christenson, 1994), ancak sistem soğudukça kuvars ile yer değiştirebilir. Nötr pH'lı sıcak kaynak suları tarafından paleo-yüzeyde biriken belirgin silika sinterleri mevcut olabilir (Vikre, 1985; White vd., 1989). Sinterler dikey büyüme yapıları ile ritmik olarak bantlıdır ve bitki parçaları içerebilir; tabakalı çökellerin silisli yer değiştirmesinden kolaylıkla ayırt edilirler. Buna karşılık, yüksek sülfidasyonlu yatakların tipik dokuları nispeten az çeşitlilik gösterir. Yerel damarlar ve breşler cevher için önemli olan en karakteristik doku vuggy silikalardır (Stoffregen, 1987).



Şekil 5: Epitermal kalsit ve kuvars damarlarında görülen yaygın dolgu dokuları ve yapıları (Hedenquist vd., 2000).

Yüksek sülfidasyonlu cevher sistemlerinin merkezinde, sıcak asidik sıvılar, ana kayalardan birçok bileşeni süzerek esas olarak sadece silika ve bir miktar rutil bırakırlar. Bu nedenle, altere kayalara, porfiritik feldispatların kaya parçaları olarak çıkarılmasıyla üretilen dokudur. Pek çok breşte ince öğütülmüş kaya malzemesi yerine masif ince taneli silis gelirken, porfirik intrüzyon parçaları karakteristik vuggy dokusu sergiler. Vuggy silika, daha sonraki mineralizasyon için önemli ikincil geçirgenlik sağlar (Corbett, 2002). Orta sülfidasyonlu yataklar genellikle düşük sülfidasyonlu yataklara kıyasla benzer cevher dokularına sahiptir (Hedenquist vd., 2000; Sillitoe, 2010).

## 7. Alterasyon Mineralojisi ve Zonlanma

Epitermal yataklarda hidrotermal alterasyon topluluklarının mineralojisi ve zonlanması önemli bir ayırt edici özelliktir. Birçok alterasyon minerali, sınırlı sıcaklık ve/veya pH aralıklarında duraylıdır. Bu nedenle, hidrotermal sistemin termal ve jeokimyasal yapısını yeniden yapılandırmak için önemli bilgiler sağlar. Bu yatakların yüzeye yakın ilksel ve oluşturdukları dinamik ortam nedeniyle (Reyes, 1990; Sillitoe, 1994), hidrotermal sistemin üzerine etki eden alterasyon, gang ve cevherle ilişkili olandan ayırt edilmelidir (White ve Hedenquist, 1995).

Epitermal altın yataklarının en önemli özelliklerinden birisi, her zaman yan kayaç alterasyonlarının içinde yer almalarıdır (Evans, 1993). Maden



yataklarının kökenini belirlemek için bu iki tip cevherleşme arasındaki ayrımı yapmak önemlidir. Düşük sülfidasyon ve yüksek sülfidasyon yatakları benzer alterasyon mineralojisi gösterebilir de hidrotermal alterasyon zonlarında ve jeokimyasal ilişkilerinde benzerlik ve farklılıklar vardır (Tablo 4). Bu alterasyonlar, cevher oluşturan sıcak sıvılar ile fizikokimyasal koşullar altında dolaştıkları kayaçların etkileşimi sonucu oluşur (Pirajno, 2009). Alterasyon ürünleri cevher oluşturan sıvının kimyasına, sıvı akışının sıcaklığına ve hacmine, ana kayanın tipine, geçirgenliğine ve reaktivitesine bağlıdır.

Tablo 4: Epitermal ortamların hidrotermal alterasyon topluluğu (Simmons vd., 2005)

Alterasyon	Mineraloji	Oluşum ve köken
<b>Pirofilitik</b>	Kuars, K-feldispat (adularya), albit, illit, klorit, kalsit, epidot, pirit	Derin epitermal ortamlar boyunca 240 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda nötre yakın pH'lı sularca gelişen alterasyon
<b>Arjilik</b>	İllit, simektit, klorit, tabakalar arası kil, pirit, kalsit (siderit), kalsedon	Sığ epitermal ortam ve çevresi boyunca 180 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sıcak buharlı CO <sub>2</sub> 'ce zengin sularla gelişen alterasyon
<b>İleri arjilik (sıcak buhar)</b>	Opal, alünit (beyaz, pudramsı, ince taneli, yalancı kübik), kaolinit, pirit, markazit	En sığ epitermal ortamlar ve su tablasının yakınında 120°C'nin altındaki sıcaklıklarda sıcak buhar asit-sülfat sularla gelişen alterasyon fakat sadece jeotermal sistemlerde yersel olarak silika sinterle ilişkili
<b>İleri arjilik (magmatik hidrotermal)</b>	Kuars, alünit (tabular), dikit, pirofillit (diaspor, zünyit)	Epitermal ortamlarda 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda magmatik kökenli asitik sulardan gelişen alterasyon
<b>İleri arjilik (süperjen)</b>	Alünit, kaolinit, halloysit, jarosit, Fe oksitler	40°C'nin altındaki sıcaklıklarda sülfürce zengin kayaçların oksidasyonu ve bozunmasıyla gelişen alterasyon
<b>Silisik</b>	Kuars damarları ve damarcıkları, silisleşmiş breş ve/veya stokwork; kalsedon içeren sığ silisleşme ve/veya opalin örtüler; silika sinter	Artan kuvars kütleleri, vuggy silika adı verilen alanlar, kısmi masif silisleşme; kuvars damarları ve silisleşmiş breşler; sığ silisleşme ve kalsedon içeren sığ silisleşme ve/veya opalin örtüler; sinter yok.
<b>İleri Arjilik</b>	Kaolinit-alunit- (illit / smektit-doğal kükkürt) ± genellikle kalsedon kılıfı tarafından altta yatan buharla ısıtılan merkezli opalin örtüler; Kaolinit/halloysit-alunit, jarosit örtüler veya süperjen merkezli zonlar	Hipojen merkezli alunit-kaolinit/dikit-pirofillit diasporu, tipik olarak silisik çekirdekleri çevrelemektedir; ayrıca serisit pirofilit kökleri, Kaolinit-alunit örtüler buharla ısıtılmış veya süperjen merkezli



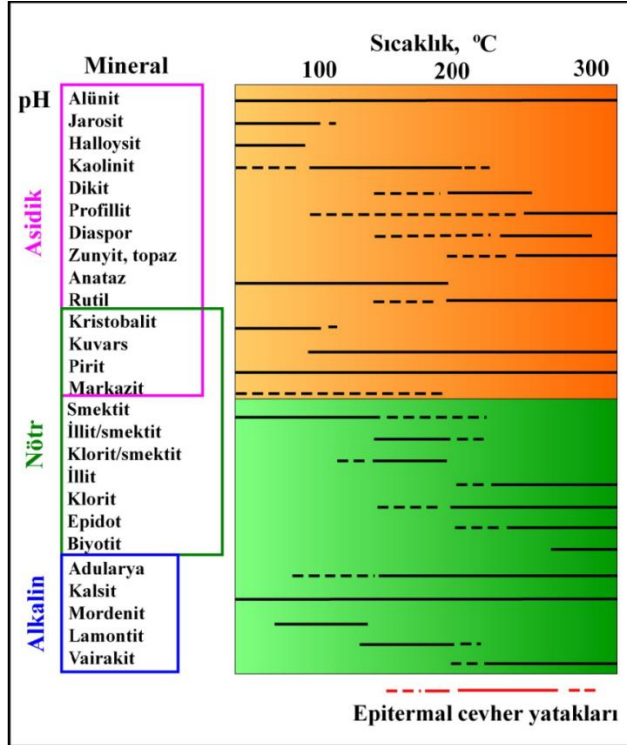
Alterasyon	Düşük Sülfidasyon	Yüksek Sülfidasyon
<b>Arjilik veya Orta arjilik</b>	Damarlara illit / smektit hale; illit ± daha derin serisitik zonlara simektit halesi	İllit ve illit / smektit hale ile gelişmiş arjilik çekirdek
<b>Propilitik</b>	Bazı durumlarda döterik kökenli ve epitermal cevher oluşturma sistemiyle sorgulanabilir doğrudan genetik ilişkisi olan geniş ana cevher sistemi; daha derin seviyeler dışında tipik olarak klorür (epidot değil)	
<b>Serisitik / Fillik</b>	Serisit ağırlıklı kaya, tipik olarak hale ile derin kuvars damarları	Serisitik kökler ile gelişmiş arjilik alanlara; ileri düzey arjililiğe geçiş olabilir.

Düşük sülfidasyonlu yataklardaki cevherle ilişkili alterasyonu, sıcaklığın derinliğe bağlı olarak azalması ve hidrotermal eriyiklerin artmasıyla birlikte uzaklığın azalması sonucunda nötre yakın pH'lı termal sular oluşturur. Aktif sistemlerde alterasyon mineralojisi ve sıcaklık doğrudan ölçülür. Böylece sıcaklığa bağlı minerallerin termal stabilite aralığını gösterir (Henley ve Ellis, 1983; Reyes, 1990; Şekil 6).

Epitermal maden yataklarının araştırılması sırasında bu bilgi, paleoakış kanallarının yerini ve erozyon seviyesini belirlemeye yardımcı olan alterasyon minerallerinin dağılımından paleoizotermelerin çıkarılmasını sağlar. Birincisi, kanal bölgelerinde büyük cevher birikimleri meydana gelebileceği için, ikincisi de çoğu epitermal cevherin 180°C ile 280°C aralığında, yani paleo su tablasının yaklaşık 100 m ile 800-1500 m altındaki derinlikte olduğu için önemlidir (Hedenquist ve Henley, 1985). Sıcaklığa duyarlı mineraller arasında zeolitler (wairakite hariç <220°C'de en kararlı) ve epidot gibi Ca-silikatlar (200-240°C'nin üzerinde kararlı); hidrotermal biyotit ve amfiboller, epitermal ortamın tabanına yakın, yaklaşık 280°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda oluşur (White ve Hedenquist, 1995). Nötr pH değişiminin tersine, kaolinit, dikit, pirofillit, diaspor ve alunite gibi mineraller asidik koşullar altında ve sıcaklığa duraylıdır (Hemley vd., 1969, 1980; Reyes, 1990). Silika konsantrasyonu yüksekse (yani kalsedon veya amorf silika oluşuyorsa) pirofillit <160°C sıcaklıkta oluşabilir; ancak dikit, illit veya diaspor ile bir arada bulunması paleo sıcaklıkları >200°C olduğunu gösterir. Zünyit, topaz ve andalusit, ayrıca asidik koşulları ve >260°C yüksek alterasyon sıcaklıklarını gösterir. Bu mineraller, yüksek sülfidasyon yataklarında yüksek sıcaklıktaki asidik sıvıların oluşturduğu gelişmiş arjilik alterasyon topluluğunu içerir (Şekil 6).

Düşük sülfidasyon ortamında alterasyona hakim olan kil minerallerinin bazal aralıklarındaki varyasyonları, paleo sıcaklığın en iyi göstergeleri arasındadır. Artan sıcaklıkla simektit (<160°C'de kararlı) yerini tabakalı illit-simektite bırakırken, illit kendi başına >220°C'de genellikle kararlıdır (Reyes,

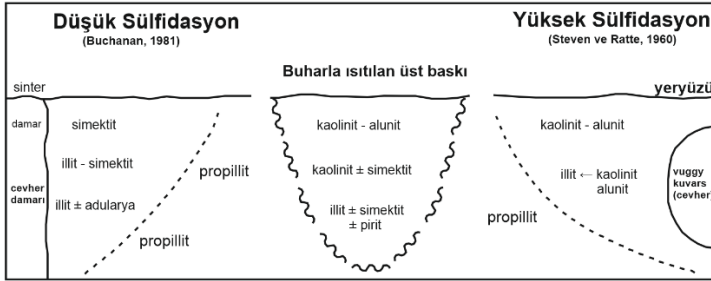
1990). Termal kararlılıktaki bu ilerleme, genel olarak, düşük sülfidasyonlu cevher kütlelerinden minerallerin yukarı ve dışa doğru net bir şekilde yerleşimiyle sonuçlanır. Cevher zonu en yüksek pH'ı gösteren mineralleri (adularia ve kalsit) içerir. Çünkü damarlardaki kaynamanın CO<sub>2</sub> kaybı sonucunda pH artışına neden olur ve ancak bu mineraller nispeten sıcaklığa duyarlı değildir (Şekil 6).



Şekil 6: Epitermal cevher zonunda sıcaklıkla indüklenen hidrotermal mineraller (White ve Hedenquist, 1995; Hedenquist vd., 2000).

Düşük sülfidasyon tipi epitermal yataklarda, indirgen kükürt türleri (HS-H<sub>2</sub>S) egemendir ve pH'ın nötre yakın olduğu, kükürt bakımından fakir ve indirgen çözeltilerle oluşan serizitleşme, orta çarjilleşme, adularyalı (K-feldispat) kloritik alterasyon türleri gözlenmektedir. Yüksek sülfidasyon tipi epitermal yataklarda ise önemli derecede oksitlenmiş kükürt türlerinin (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>2</sub>(g)) varlığı ile karakterize edilmektedir. Daha derin seviyelerde, asidik (düşük pH), kükürt bakımından zengin oksitlenmiş çözeltilerin oluşturduğu, alünitin (K-sülfat) hakim olduğu ileri çarjilleşme ve pirofillitik alterasyon gözlenmektedir. Orta sülfidasyonlu yataklar genellikle düşük sülfidasyonlu yataklara benzer alterasyon tiplerine sahiptir (Hedenquist vd., 2000; Sillitoe, 2010). Düşük sülfidasyon tipi epitermal yataklardaki sıcaklıklardan daha yüksek sıcaklıkları gösteren (muhtemelen

daha derinlerde oluşan) sfalerit, galen, tetrahedrit, tennantit, kalkopirit ve serizit (adularyadan başka) gibi mineraller hakimdir. Ana kayaç en yaygın olarak, arjilik alterasyon halelerine doğru ileri arjilik alterasyonla (Steven ve Ratte, 1960); illit veya simektit, asidik su, kanaldan uzakta ana kaya ile reaksiyona girerek aşamalı olarak etkisizleştirilerek kararlı hale gelir (Şekil 7).



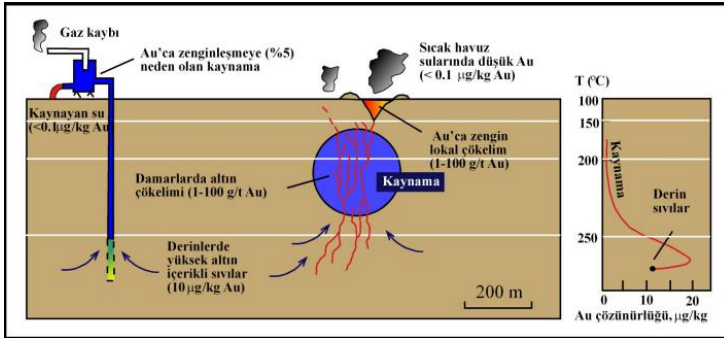
Şekil 7: Yüksek ve düşük sülfidasyon yatakları ile ilişkili hidrotermal alterasyon dağılımı (White ve Hedenquist, 1995)

Kaolinit ve alunit gibi daha düşük sıcaklıktaki asitte kararlı minerallerin bazıları da düşük sülfürlü sistemlerde yüzeye yakın buharla ısıtılan suların neden olduğu alterasyon için tipiktir (Şekil 7). Bu asit-sülfatlı sular yaklaşık 100°C'de oluşur, ancak kırıklar boyunca aşağı doğru akarlarsa ısıtılabilirler (Reyes, 1990). Bu yataklarda hidrotermal kaolinit ve alunit oluştuğunda, bunlar ya cevherin üzerindedir ya da üstten buhar basıncı etki etmektedir. Sülfürlerin ayrışması, jarosit dahil benzer bir ayrışma üstten basınç oluşturabilir. Bu gözlemler, arama sırasında bu iki cevherleşme tipini ayırt etmenin gerekliliğini göstermektedir. Yüksek sülfidasyonlu bir yatakta, cevher tipik olarak çoğu asit değişimi bölgesi ile yakından ilişkilidir ve daha az asidik koşulları gösteren mineral toplulukları ile çevrilidir. Buna karşılık, düşük sülfidasyonlu yataklarda cevher, en az asidik alterasyon (yani adularya ve kalsit veya illit) ile ilişkilidir; eğer asidik ise ileri arjilik alterasyon (sadece kaolinit ve alunit) mevcuttur. Magmatik HCl ve SO<sub>2</sub>'den kaynaklanan hipojen asitliği, yüzeye yakın ortamda oluşan buharla ısıtılan asit-sülfatlı sular ve sülfür minerallerinin hidrotermal ayrışma sonrası dahil olmak üzere, asidik koşulları gösteren alterasyon minerallerinin kökeninin belirlenmesine dikkat edilmelidir (White ve Hedenquist, 1995).

Metal taşıma ve biriktirme üzerindeki kontrolleri anlamak için sıcaklık ve sıvı tuzluluğu ile birlikte pH ve oksidasyon-indirgenme süreçleri gibi değişkenlerin bilinmesi önemlidir. Epitermal derinliklerdeki sıvı yollarını kullanan her yerde olmasa da yaygın bir süreç olan kaynama, CO<sub>2</sub>'in sıvıdan kaybolmasının sonucu olarak pH'da bir artışa neden olur. Bu başlangıçta altının çözünürlüğünü artırır, ancak sonunda sıvıya eşlik eden H<sub>2</sub>S kaybı,

çözünürlüğün azalmasına neden olarak altının çökmesini sağlar (Henley vd., 1984). Buna karşılık, orta derecede tuzluluğa sahip oksitlenmiş ve asidik bir çözeltide, altın çökmesi için farklı kontroller ile bir klorür kompleksi olarak taşınabilir (Giggenbach, 1992; Hedenquist vd., 1994).

Damar dolgusunun metal bileşeni, kaynama seviyesine göre bölgelere ayrılmıştır: Baz metaller (Pb, Zn, Cu) altın ile beraber eğilimindeyken, gümüş ve altın ağırlıklı olarak kaynama seviyesinin üzerinde biriktirilir (Şekil 8). Kaynama, farklı mineralleşme seviyeleri ve farklı yüksekliklerde meydana gelebilir. Bu nedenle, genellikle damarın değerli metaller açısından zengin üst kısmı ile daha baz metal açısından zengin kök bölgesi arasında geniş bir geçiş bölgesi bulunur. En uç durumlarda, hidrotermal sistemin ömrü boyunca kaynama seviyesi aniden yüzlerce metre değişebilir (Simmons, 1991). Bu, "kompozit damarlar" içinde yan yana meydana gelen değerli metal ve kök bölgesi mineralizasyonun zamansal olarak ayrı aşamalarına veya "yığılmış" damarlarda 100 metrelik cevhersiz ayrılmış tam zonlanmanın tekrarlarına neden olabilir.

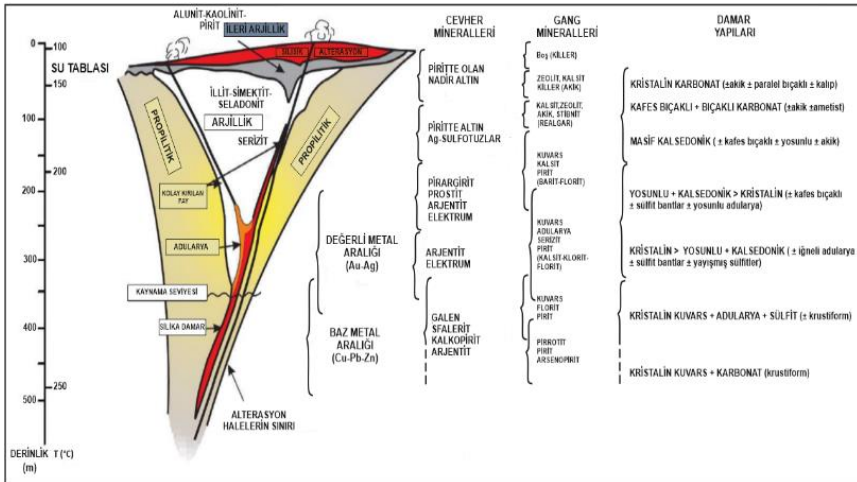


Şekil 8: Düşük sülfidasyonlu sistemlerde kaynama sürecinin şematik gösterimi (Cooke ve Simmons, 2000).

Tipik epitermal yatak modelinde kaynama seviyesi ve paleo yüzeyine göre alterasyon bölgelerine ayrılmıştır. Genel olarak, birleşik alterasyon bölgeleri, yapısal çerçevenin yüzeye yakın atkuyruğu biçimli ve ana sıvı kanallarından uzaklaşan aşamalı sıvı göçünün bir birleşimini yansıtan, yanal ve yukarı doğru yayılma eğilimindedir (Şekil 9). Yanal ilerleme silisleşmeden propilitik alterasyona (klorit, epidot, kalsit ve pirit), düşey ilerleme ise silisleşmeden ileri arjilik alterasyona ve silisli kalıntıya doğrudur. Yankayaç bileşimi ve geçirgenlik, yanal alterasyon gelişimini güçlü bir şekilde etkiler. Örneğin daha reaktif ve geçirgen birimler, en yaygın alterasyonu gösterecektir. Ara volkanik kayalar, andezitler-diyoritler ve bunlardan türetilen tortular (arkozlar) özellikle propilitik alterasyona duyarlıdır. Bu nedenle bu alterasyon genellikle yitimle ilişkili magmatik kuşaklarda biriken epitermal damar sistemlerinde iyi gelişmiştir. Kireçtaşları

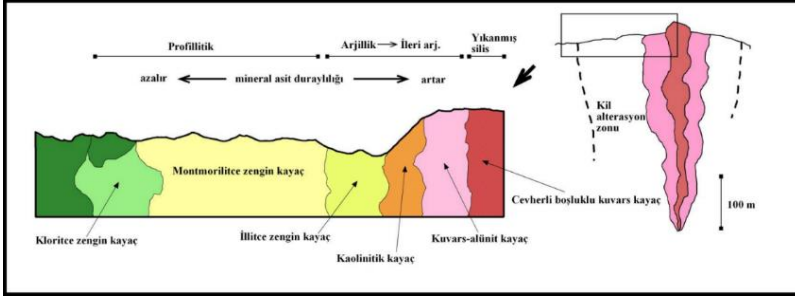
ve diğer karbonatlı kayalar oldukça geçirgendir ve alterasyon reaksiyonlarını tetikleyerek, düşük sülfidasyonlu epitermal damar yatakları sıvılarının bu kayaları kestiği yerlerde skarn veya sülfid yer değişimini oluşturabilir (Buchanan, 1981).

Yüze yakın alterasyon, tükenmiş cevher akışkanlarının kimyasını yansıtır. Bunlar, yüksek sülfidasyon sistemlerinin asidik kimyasına yaklaşır ve aynı ileri arjillik alterasyon minerallerinin (kaolinit, alunit) çoğunu oluşturur. Yüksek sülfidasyon sistemlerinin klasik "vuggy silika" kalıntı dokuları, düşük sülfidasyon sistemlerinde nadirdir, ancak yüze (sinter) veya hemen altında biriken ince taneli silika kapağı yaygındır. Bu yüzeysel silikleşme, daha derin silikleşme bölgesinden çok daha ince (genellikle koloidal veya opalin) dokular ve zinober ve çok ince taneli pirit ile kolayca ayırt edilir.



Şekil 9: Tipik bir epitermal yataktaki düşey ve yatay mineral bölgelerini gösteren genelleştirilmiş bir şekil (Buchanan, 1981; Cartieron Corporation, 2021)

Yüksek sülfidasyonlu cevher sistemleri, sıcak asidik akışkanların ana kayalar ve yeraltı suları ile reaksiyona girerek aşamalı olarak soğuması ve nötralizasyonu sonucu oluşan zonlu alterasyon ile karakterize edilir (Corbett ve Leach, 1998). Vuggy (gözenekli) silika, yüksek sülfidasyon epitermal yataklarının diğer en belirgin karakteristik özelliklerinden biridir (Zhu vd., 2011). Vuggy (Stoffregen, 1987) silika daha sonra Au içeren Cu- ve Fe-sülfidlerle doldurulabilir (Arribas vd., 1995; Hedenquist ve Lowenstern, 1994). Vuggy kuvars, kuvars-alunit ve kuvars-pirofillit-dikit-kaoliniti çevreleyen tipik zon ileri arjillik alterasyonu oluşturmuştur (Şekil 10).



Şekil 10: Yüksek sülfürlü epitermal yataklar için oluşturulan şematik alterasyon modeli (Hedenquist vd., 1994; 1996; 2000).

Yüksek sülfidasyon yataklarının en yaygın özelliklerinden biri, cevher kütlelerinden dışa doğru zonlanan alterasyondur. Cevher, silisli çekirdeğin kenarında azalan derecelerle, artık silikadan yeniden kristalleşmiş kuvarsdan oluşan bir vuggy kaya tarafından barındırılır. Vuggy kuvarsdan dışına doğru, kuvars-alunit ve kaolinit, nakrit veya dikit dahil olmak üzere kandit minerallerinden oluşan gelişmiş bir arjilik alterasyon zonu, yer yer pirofillit veya diasporudur. Silisli ve gelişmiş arjilik alterasyon çekirdek, illit veya ara tabakalı killerin arjilik alterasyonu tarafından dışa doğru bir yönde takip edilir; propilitik alterasyonun en dış zonu kloriti içerir. İleri arjilik alterasyonunun kalıp bölgesinin toplam kalınlığı 1 - 100 m olabilir. Bu alterasyon zonlanma modeli, asit sıvı akış yolundan dışarıya doğru giderek daha az asidik koşulları gösterir (Hemley vd., 1969, 1980; White, 1991).

## 8. Arama ve Değerlendirme

Bir epitermal altın yatağını etkili bir şekilde değerlendirmek için, bunun düşük veya yüksek sülfidasyon tipinde olup olmadığını belirlemek esastır. Yukarıda belirtilen özellikler, çoğu durumda iki tipin kolayca ayırt edilmesini sağlar. Düşük ve yüksek sülfidasyonun farklı kökenleri, cevherlerin jeokimyasal belirteçlerdeki farklılıklara neden olur. Jeokimyasal araştırmalar için kimyasal farklılıkların kullanılması ve cevher potansiyeline yönelik ayrıntılı değerlendirme için alterasyon zonlanmasının doğru uygulanması ile bu sistemler daha verimli bir şekilde keşfedilebilir. Araştırmada, cevherleşme sırasındaki jeolojik ortamı ve hidrolojik koşulları dikkate almak da önemlidir (White ve Hedenquist, 1995).

Potansiyel bir bölgenin jeolojik ortamının ve topografyasının yeniden yapılanması, epitermal cevherleşmenin potansiyelini ve yerini en iyi şekilde yorumlamak için alterasyon mineralojisi ve zonlanma, jeofizik veriler, sondaj verileri ve jeokimyasal anomaliler ile birleştirilmelidir (White ve Hedenquist, 1995). Son yıllarda gelişen teknolojiye bağlı olarak uzaktan algılama yöntemleri ve drone cihazıyla bazı uydu görüntüleri (Landsat 8 TM-OLI,

ASTER) ve hava fotoğrafları üzerinde çeşitli alterasyon indeksleri kullanılarak alterasyon haritaları, alterasyon alanları ve alterasyon tipleri belirlenebilmektedir.

Jeofizik verilerin doğrudan cevherle ilgili olmaması, tarihsel olarak altın aramalarında jeofiziğin kullanımını sınırlamıştır. Bununla birlikte, cevherleşme süreçleri, bölgesel ve prospektif ölçekte jeofizik yöntemlerle tespit edilebilen kayaç özelliklerinde değişikliklere neden olur. Jeofizik araştırmaları jeolojik ve jeokimyasal verilerle birlikte kullanıldığında (White vd., 1995) ve mineralizasyon süreçlerinin anlaşılmasıyla birlikte, aramada önemli bir yardımcı olabilir (Irvine ve Smith, 1990). Bölgesel ölçekte, aeromanyetik, radyometrik ve yerçekimi araştırmaları, alterasyon sistemlerinin ve yatakları kontrol eden yapıların bulunmasına yardımcı olabilir. İndüklenmiş polarizasyon, elektromanyetik ve öz direnç araştırmaları, cevher oluşturma süreçleriyle ilgili olabilecek kayaç özelliklerindeki piritleşme, silisleşme ve kil alterasyonlarını belirlemek için tercih edilebilir.

Son olarak arama sondajları yapılır ve karot numuneleri alınır. Bu numuneler üzerinde mineralojik-petrografik (elektron mikroskop, X-ışını kırınımı analizleri) ve jeokimyasal analizler gerçekleştirilmelidir.

Jeokimyasal araştırmalara rehberlik etmek için kimyasal farklılıkların kullanılması ve cevher potansiyeline yönelik ayrıntılı değerlendirme için jeokimyasal element birlikleri kullanılır. Jeokimyasal element çiftleri, düşük sülfidasyon yataklarında Au, As, Ag, Sb, Hg, Zn, Pb, Se, K, Au/Ag yüksek anomaliler sunarken Cu, Te/Se düşük anomali gösterir. Yüksek sülfidasyon yataklarında ise Au, Ag, As, Cu, Sb, Bi, Hg, Te, Sn, Pb, Mo, Te/Se yüksek anomali, K, Zn, Au/Ag düşük anomali gösterir (White ve Hedequist, 1995).

Altın yataklarının işletilmesinde yer üstü ve/veya yeraltı işletmeciliği yapılarak zenginleştirme işlemleri yapılır.

## 9. Türkiye'den Bazı Epitermal Yatak Örnekleri

Epitermal yataklar, Türkiye'nin batısında ve kuzeydoğusunda çok sayıda lokasyonda bulunmaktadır (Şekil 11).

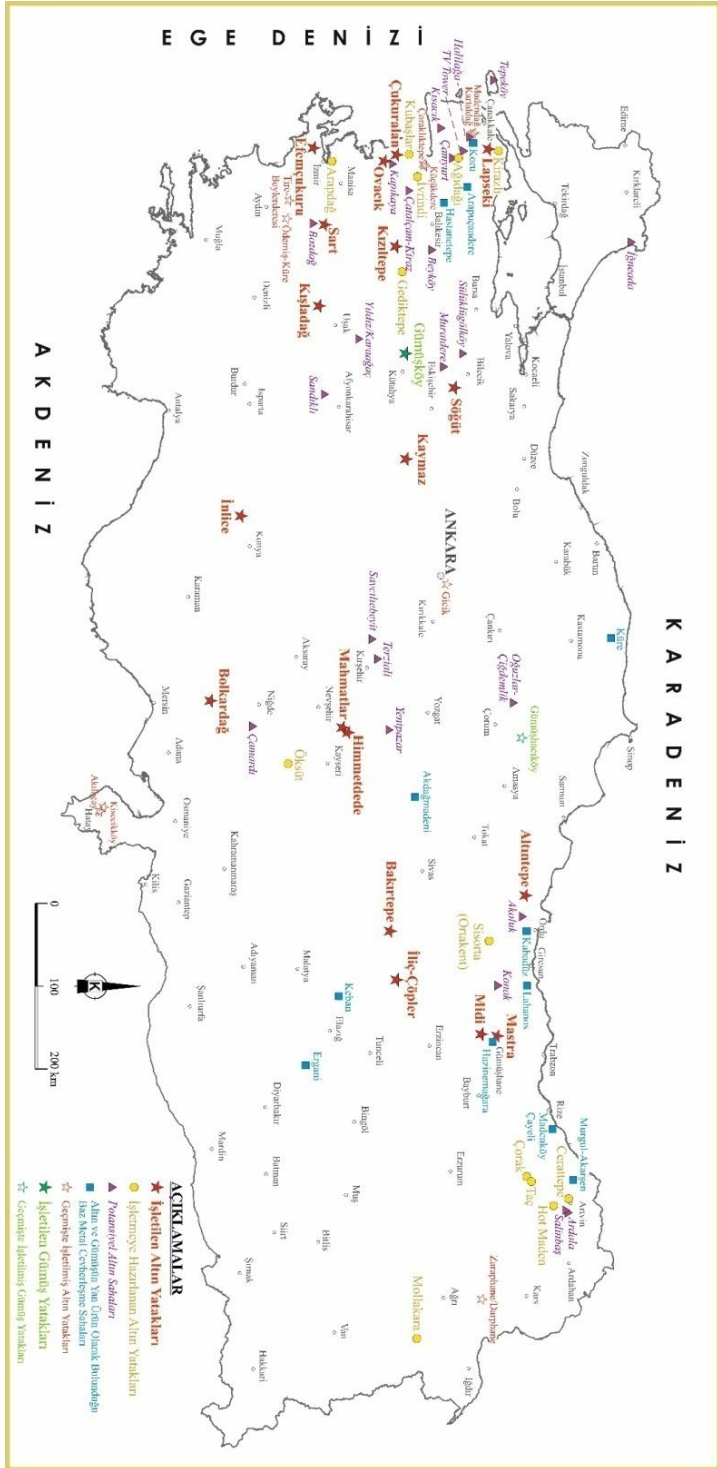
- Batısında; Madendağ (Akbaba) - Ağrı Dağı - Kirazlı - Kısacık - Şahinli - Çanakkale, Efemçukur - Ovacık - Kıratlı - Arapdağ - İzmir, Küçükdere - Karadere - Kızıltepe - Balıkesir, İnlince - Konya lokasyonları vb.
- Kuzeydoğusunda; Sisorta-Sivas, Mastra-Gümüşhane, Dereköy-Giresun, Taç-Çorak-Artvin, Altıntepe-Ordu, Öksüt-Kayseri lokasyonları vb.

Bunlardan bazıları günümüzde işletilirken bazıları da işletmeye hazır ve potansiyel altın sahalarıdır. Epitermal altın yataklarının çoğunlukla altın bakımından ekonomik öneme sahip iken geri kalanı da Au-Ag, Au-Ag-Pb-Zn-Cu, Au-Cu, Au-Ag-Pb-Zn element çiftleri bakımından zengindir.

Türkiye'nin batısındaki epitermal cevherleşmeler Neojen yaşlı volkanik ve granodiyoritik kayalarla ilişkili iken kuzeydoğusundaki cevherleşmeler Geç Kretase-Eosen denizaltı volkanizmasının kayaları ve volkanik kayalarla ilişkilidir. Epitermal yataklarla ilişkili başlıca ana ve nadir metaller, Au, Ag, Hg, Pb, Zn, Cu, As ve Sb'dur.

Türkiye'deki epitermal yataklar, Tablo 5'de görüldüğü gibi yüksek sülfidasyonlu ve düşük sülfidasyonlu olmak üzere iki tip oluşumludur. Epitermal yataklar için karakteristik olan breşik, tarak, kolloform, vuggy, kovuklu, kabuklu, kokard ve bıçaklı dokulara sahiptir ve damarlar ve ağsal damarlar şeklinde bulunurlar. Bunun yanında diğer önemli unsur da hidrotermal alterasyonlardır. Türkiye de gözlenen düşük sülfidasyon tipi epitermal altın yataklarında serizitleşme, arjilleşme, adularyalı kloritik alterasyon türleri gözlenmektedir. Yüksek sülfidasyon epitermal altın yataklarında ise ileri arjilleşme ve pirofillitik alterasyon gözlenmektedir.





Şekil 11: Türkiye'deki altın yatakları ve sahaları (MTA, 2019)

Tablo 5: Türkiye'deki bazı epitermal yatakların karakteristik özellikleri

Yatak Adı	Özellikleri	Kaynak
<b>Şahinli (Çanakkale)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal düşük sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Andezitik volkanik kayaçlar (Eosen), şistler (Paleozoyik), porfir (Eosen) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Damar, daha çok KD doğrultulu ile D ve K doğrultulu damarlar, breşik, ağsal	Yıldırım ve Cengiz (2002) Gülyüz (2017) Kıray (2021)
<b>Akbaba (Madendağ) (Çanakkale)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal düşük sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Andezit (Erken Miyosen), şist (Triyas öncesi) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Damarlar, breşik, ağsal; daha çok KD yönelimli mineralleşme fisürleri ve yapıları	Ünal İmer vd. (2013)
<b>Ağı Dağı (Çanakkale)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal yüksek sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag, <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Asidikten ortaç volkanik kayaçlar ve porfirler (Oligosen ?) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Saçınımlı, breşikler, KD doğrultulu mineralleşme ve alterasyon zonu	Cunningham-Dunlop ve Lee (2007a)
<b>Kirazlı (Çanakkale)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal yüksek sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Andezitik ve dasitik lavlar ve piroklastikler (Alt Miyosen) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Ağsal, breşik, saçınımlı ve ornatılmış; KKD doğrultulu mineralleşme zonu, yarı yatay cevher zonları	Pirajno (1995)
<b>Kısacık (Çanakkale)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal düşük sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Dasidik-riyodasidik ve andezitik kayaçlar (Üst Miyosen) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Çok evreli hidrotermal breşikler ve ağsallar; KB doğrultulu mineralleşme ve alterasyon zonları	Kılıç vd. (2004)
<b>Karadere (Bahkesir)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal düşük sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Metamorfik kayaçlar, intrüzif kayaçlar, volkanik dom kompleksleri (Intrüzif breş, andezit porfirler, dasit porfir ve volkanik-volkanoklastik istifler) (Üst Miyosen) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Damar, breş, D-B ve KB-GD doğrultulu damarlar ve mineralleşme, alterasyon zonu	Gürler (2019)
<b>Küçükdere (Bahkesir)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal düşük sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Andezit porfiri (Miyosen) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Bantlı-kuvars-karbonat damarları; KD yönelimli damarlar	Çolakoğlu (2000)
<b>Ovacık (İzmir)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal düşük sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Andezit porfir, geç evre dolerit daykları (Erken Miyosen) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Bantlı kuvars damarlar, breşik; D yönelimli M damarı ve KB yönelimli S damarı	Yılmaz (2002), Yılmaz vd., (2007)
<b>Efemçukuru (İzmir)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal düşük sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, <b>Başlıca ana kayaçlar:</b> Filiş, hornfels (Geç Kretase-Paleosen), cevherleşme öncesi riyolit intrüzyonu (Neojen) <b>Kayaç kütleli ve yapısı:</b> Damar, ağsı, breşik, ornatılmış, KB doğrultulu faylar ve damarlar	Oyman vd., (2003)

Yatak Adı	Özellikleri	Kaynak
<b>İnlice (Konya)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal yüksek sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag <b>Başlıca ana kayalar:</b> Andezit, andezit tüfler, andezit domlar ve breş (Üst Miyosen-Pliyosen) <b>Kayaç kütlesi ve yapısı:</b> Damarlar, seçici ornatmalar, breşik; KB yönelimli kesikli damar zonları	Hall vd. (2007)
<b>Sisorta (Sivas)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal yüksek sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au <b>Başlıca ana kayalar:</b> Andezitik lavlar (Alt Kretase) <b>Kayaç kütlesi ve yapısı:</b> KB-GD uzanımlı tektonik hat üzerinde hidrotermal breşler ile ilişkili. boşluk dolgusu ve damarlar	Şahin Demir (2015)
<b>Mastra (Gümüşhane)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal düşük sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag, Cu, Pb, Zn <b>Başlıca ana kayalar:</b> Andezitik porfiri, andezitik tuf (Eosen) <b>Kayaç kütlesi ve yapısı:</b> Yerel breşlenmeli ağsallar, KB yönelimli makaslama zonu	Tüysüz vd. (1995)
<b>Dereköy (Giresun)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal yüksek sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Pb, Zn, Au, Ag <b>Başlıca ana kayalar:</b> Riyolit, dasit (Üst Kretase) <b>Kayaç kütlesi ve yapısı:</b> Damarlar, daha çok KB yönelimli damarlar	Ayan ve Dora (1995)
<b>Taç (Artvin)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal yüksek sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Cu <b>Başlıca ana kayalar:</b> Andezitik akmlar, aglomeralar, lapilli tüfler ve mafik ve felsik dayk ve sillerin sokulduğu türbiditik volkano-klastik sedimanter kayalar (Üst Kretase- Eosen) <b>Kayaç kütlesi ve yapısı:</b> Damar, ağsı damarcıklı ve breşik; KD doğrultulu fay sistemi	Mosher (2007)
<b>Çorak (Artvin)</b>	<b>Yatak tipi:</b> Epitermal yüksek sülfidasyon <b>Faydalı metal:</b> Au, Ag, Pb, Zn, Cu <b>Başlıca ana kayalar:</b> Andezitik akıntılar, aglomeralar, lapilli tüfler ve asidik dayklar ve siller tarafından konumlu türbiditik volkano-klastik sedimanter kayalar (Üst Kretase- Eosen) <b>Kayaç kütlesi ve yapısı:</b> Damar, ağsı damarcıklı ve breşik; KD doğrultulu fay sistemi	Mosher (2005)

## 10. Referanslar

- Albino, G. V., & Margolis, J. (1991). Differing styles of adularia-sericite epithermal deposits-contrasts in geologic setting and mineralogy [abs.]. In Geological Society of America Abstracts with Program (Vol. 23, No. 5, p. A230).
- Arribas, Jr. A. (1995). Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid: Mineralogical Association of Canada Short Course, 23, 419-454.
- Arribas, Jr. A., Hedenquist, J. W., Itaya, T., Okada, T., Concepción, R. A., & Garcia Jr, J. S. (1995). Contemporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu-Au deposits over 300 ka in northern Luzon, Philippines. *Geology*, 23(4), 337-340.

- Ashley, R.P. (1982). Occurrence model for enargite gold deposits. U.S. Geol. Surv. Open-file Report 82-795, 144-147.
- Ayan, Z., & Dora, O.O. (1995). Mineralogic study of the vein-type lead and zinc deposits at the northwest of Sebinkarahisar (Giresun). In Erler, A., Ercan, T., Bingol, E., and Orcen, S., eds., Proceedings of the International symposium on the geology of the Black Sea Region, September 1992, Ankara, Turkey, General Directorate of Mineral Research and Exploration and Chamber of Geological Engineers, 219-225.
- Barker, S. L., Hood, S., Hughes, R. M., & Richards, S. (2019). The lithogeochemical signatures of hydrothermal alteration in the Waihi epithermal district, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 62(4), 513-530.
- Barton, P.B.Jr., & Skinner, B.J. (1979). Sulfide mineral stabilities. in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*: New York, Wiley Interscience, 278-403.
- Berger, B. R., & Eimon, P. (1983). Conceptual models of epithermal precious metal deposits, in Shanks, W.C. ed., *Cameron Volume on Unconventional Mineral Deposits*. New York, AIME Society of Mining Engineers, 191-205.
- Berger, B. R., & Henley, R.W. (1989). Advances in the understanding of epithermal gold-silver deposits, with special reference to the Eastern United States, in Keays, R.R., Ramsay, W.R.H., & Groves, D.I., eds., *The Geology of Gold Deposits: The Perspective in 1988*. *Economic Geology*, Monograph 6, 405-423.
- Bonham, H. F. Jr. (1986). Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: a review. In *Proceedings Internat. Volcanological Congress, Symposium 5*, Hamilton, New Zealand 1986. Univ. Auckland, Centre Continuing Education, Auckland, New Zealand, 13-17.
- Bonham, J. F. Jr. (1988). Models for volcanic-hosted precious metal deposits: a review in Schafer, R.W., Cooper, J.J., and Vikre, P.G., eds., *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States*. Geological Society of Nevada, 259-271.
- Buchanan, L. J. (1981). Precious metals deposits associated with volcanic environments in the southwest: in Dickinson, W. R. and Payne, W. D. eds., *Arizona Geological Society Digest*, 14, 237-262.
- Cartieriron Corporation, (2021). *Canadian Iron Ore & Gold Explorer and Developer*. November, p. 36.

- Cooke, D. R., & Deyell, C. L. (2003). Descriptive names for epithermal deposits: Their implications for inferring fluid chemistry and ore genesis. In Proceedings of the Seventh Biennial SGA Meeting- Mineral Exploration and Sustainable Development Rotterdam. Millpress Science Publishers (pp.457-460).
- Cooke, D.R., & Simmons, S. F. (2000). Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. Society of Economic Geologists Reviews, 13, 221-244.
- Corbett, G. J. (2002). Structural controls to porphyry Cu-Au and epithermal Au-Ag deposits in Applied Structural Geology for Mineral Exploration. Australian Institute of Geoscientists Bulletin, 36, 32-35.
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization. Society of Economic Geologists Special Publication 6, 236 pp.
- Cunningham-Dunlop, I. R., & Lee, C. (2007a). Agi Dagi gold property, Çanakkale Province, Turkey. Technical Report for Frontier Development Group Inc (2007), 112 pp.
- Çolakoğlu, A. A. (2000). Küçükdere (Havran-Balıkesir) epitermal altın damarının özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 43(2), 99-110.
- Einaudi, M. T., Hedenquist, J. W., & Inan, E. E.(2003). Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: transitions from porphyry to epithermal environments in Society of Economic Geologists Special Publication 10, 285-312.
- Emmons, W. H. (1918). The principles of economic geology: McGraw-Hill Book Company, Incorporated.
- Evans, A.M. (1993). Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction. Blackwell Publ., Oxford, p. 389.
- Giggenbach, W. F. (1992). Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries. Economic Geology, 87, 1927-1944.
- Giggenbach, W. F. (1992a). Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries. Econ. Geol., 87, 1927-1944.
- Giggenbach, W. F. (1992b). Isotopic shifts in waters from geothermal and volcanic systems along convergent plate boundaries. Earth Planet. Sci. Lett., 113,495-510.

- Giggenbach, W. F. (1997). The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems, in Barnes, H. L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3rd ed.: New York, Wiley, p. 737-796.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G., & Robert, E. (1998). Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13, 7-27.
- Gülyüz, N. (2017). Textural and structural characteristics of the Kestanelik epithermal vein system, NW Turkey: Implications for permeability enhancement mechanisms and gold exploration in epithermal systems. PhD thesis, University of Strathclyde Department of Civil and Environmental Engineering, 239p, Glasgow.
- Gürler, Z. (2019). Karadere altın yatağı (İvrindi-Balıkesir): Batı Anadolu sıyrılma fayları kontrolünde gelişen düşük sülfidasyonlu epitermal oluşumlara bir örnek. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 100. Yayınlanmamış.
- Hall, D. J., Foster, R. P., Yıldız, B., & Redwood, S. D. (2007). The İnce high-sulfidation epithermal gold discovery: Defining a potential new gold belt in Turkey. In Andrew, C. J. et al., eds., *Proceedings of the Ninth Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA)*, Dublin, Ireland, August 20–23, 2007, 113–116.
- Hayba, D.O., Bethke, P. M., Heald, P., & Foley, N. K. (1985). Geologic, mineralogic and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits. *Reviews in Economic Geology*, 2, 129-167.
- Heald, P., Foley, N. K., & Hayba, D. O. (1987). Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology*, 82, 1-26.
- Hedenquist, J.W., & Henley, R.W. (1985). The importance of CO<sub>2</sub> on freezing point measurements of fluid inclusions: Evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposition. *Economic Geology*, 80, 1379-1406.
- Hedenquist, J. W. (1987). Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore. *American Association of Petroleum Geologists*, p. 513-524.
- Hedenquist, J. W., & Lowenstern, J. B. (1994). The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370, 519-527.

- Hedenquist, J. W., Matsuhisa, Y., Izawa, E., White, N.C., Giggenbach, W. F., & Aoki, M.(1994). Geology, geochemistry, and origin of high sulfidation Cu-Au mineralization in the Nansatsu District, Japan. *Economic Geology*, 89, 1-30.
- Hedenquist, J. W., Matsuhisa, Y., Izawa, E., White, N.C., Giggenbach, W. F., & Aoki, M.(1994). Geology, geochemistry, and origin of high sulfidation Cu-Au mineralization in the Nansatsu district, Japan. *Economic Geology*, v.89, p.1-30.
- Hedenquist, J. W., Izawa, E., Arribas, A. R., & White, N. C. (1996). Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration: The Society of Resource Geology. *Resource Geology Special Publication number 1*, 70p.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. Jr., & Reynolds, T.J. (1998). Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry-epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Economic Geology* 93, 373-404.
- Hedenquist, J. W., Arribas A. Jr., & Gonzalez-Urien, E. (2000). Exploration for epitermal gold deposits. *Society of Economic Geology Reviews*, 13, 245-277.
- Heinrich, C. A.(2005). The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study. *Mineral. Deposita*, 39, 864-889.
- Hemley, J. J., Hostetler, P. B., Gude, A.J.,& Mountjoy, W. T.(1969). Some stability relations of alunite. *Economic Geology*, 64, 599-612.
- Hemley, J. J., Montoya, J. W., Marinenko, J. W.,& Luce, R. W. (1980). Equilibria in the system  $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$  and some general implications for alteration/mineralization processes. *Economic Geology*, 75, 210-228.
- Henley, R. W., & Ellis, A.J., (1983). Geothermal systems, ancient and modern. *Earth Science Reviews*, 19, 1-50.
- Henley, R. W., Truesdell, A. H.,& Barton, P. B., (1984). Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems. *Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology*, 1, 267 p.
- Irvine, R. J., & Smith, M. J. (1990). Geophysical exploration for epithermal gold deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 36, 375-412.

- John, D. A., Garside, L. J., & Wallace, A. R. (1999). Magmatic and tectonic setting of late Cenozoic epithermal gold-silver deposits in northern Nevada, with an emphasis on the Pah Rah and Virginia ranges and the northern Nevada rift. Geological Society of Nevada, Special Publication no. 29, 65-158.
- Kılıç, M., Küçükefe, S., Avcı, M., Sarı, R., Vural, A., & Pehlivan, N. (2004). Preliminary geological and geochemical data on Kısacık (Ayvacık-Çanakkale) gold mineralization: 57th Geological Congress of Turkey, 8-12 March, 2004, MTA, Ankara, Extended Abstracts, 100-101.
- Kıray, D. (2021). Şahinli (Lapseki-Çanakkale, Batı Türkiye) bölgesindeki Kestanelik Au-Ag cevherleşmesinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal incelemeler ile kökeninin belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 217 sayfa yayımlanmamış.
- Kouhestani, H., Ghaderi, M., Chang, Z., & Zaw, K. (2015). Constraints on the ore fluids in the Chah Zard breccia-hosted epithermal Au–Ag deposit, Iran: Fluid inclusions and stable isotope studies. *Ore Geology Reviews*, 65, 512-521.
- Lindgren, W. (1913). *Mineral Deposits*. New York: publisher unknown. 883pp.
- Lindgren, W. (1922). A suggestion for the terminology of certain mineral deposits. *Economic Geology*, 17, 292-294.
- Lindgren, W. (1933). *Mineral deposits*, 4th edition: New York, McGraw-Hill, 930 p.
- Mehrabi, B., Siani, M. G., Goldfarb, R., Azizi, H., Ganerod, M., & Marsh, E. E. (2016). Mineral assemblages, fluid evolution, and genesis of polymetallic epithermal veins, Glojeh district, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 78, 41-57.
- Mosher, G. Z. (2005). The Çorak property, Artvin Province, Turkey. Technical report by Wardrop Engineering Inc. for Mediterranean Minerals Corp. ([www.medresources.ca](http://www.medresources.ca)), 24 p.
- Mosher, G. Z. (2007). The Taç property, Artvin Province, Turkey: Technical report by Wardrop Engineering Inc. for Mediterranean Resources Ltd. ([www.medresources.ca](http://www.medresources.ca)), 56 p.
- MTA, 2019. Türkiye Maden Yatakları Haritası. 24.05.2021 tarihinde [https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b\\_h/altin-gumus-2019.jpg](https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/altin-gumus-2019.jpg) adresinden erişildi.



- Muntean, J. L., & Einaudi, M.T. (2001). Porphyry–epithermal transition: maricunga belt, northern Chile. *Econ. Geology*, 96(4), 743-772.
- Oyman, T., Minareci, F., & Pişkin, Ö. (2003). Efemçukuru B-rich epithermal gold deposit (İzmir, Turkey). *Ore Geology Reviews*, 23(1-2), 35-53.
- Pirajno, F.(1992). *Hydrothermal mineral deposits-principles and fundamental concepts for the exploration geologist*. SpringerVerlag, Berlin. 709 pp.
- Pirajno, F. (1995). Volcanic-hosted epithermal systems in northwest Turkey. *South African Journal of Geology*, 98, 13-24.
- Pirajno, F.(2009). *Hydrothermal processes and mineral systems: Dordrecht; London, Springer, Geological Survey of Western Australia*, 1250 p.
- Ransome, F. L. (1907). The association of alunite with gold in the Goldfield district, Nevada. *Economic Geology*, 2, 667-692.
- Reyes, A. G. (1990). Petrology of Philippine geothermal system and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of volcaology and Geothermal Research.*, 43(1-4), 279-309.
- Reyes, A. G., Giggenbach, W. F., Saleras, J. R. M., Salonga, N. D., & Vergara, M. C. (1993). Petrology and geochemistry of Alto Peak, a vapor-cored hydrothermal system, Leyte Province, Philippines. *Geothermics*, 22, 479-519.
- Sillitoe, R. H. (1977). Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review. In *volcanic process in ore genesis*. *Geology Society of London Special Publications* 7, 99-116.
- Sillitoe, R. H. (1989). Gold deposits in western Pasific Island Arcs: the magmatic connection. In Keays, R. R., Ramsay, W. R. H., & Groves, D. I., eds., *The geology of gold deposits: The perspective in 1988*. *Economic Geology, Monograph Series*, 6, 274-291.
- Sillitoe, R. H. (1993a). Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. In Kirkham, R. V., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I., & Duke, J. M., eds., *Mineral deposit modelling*. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 40, 403-417.
- Sillitoe, R.H. (1993b). Giant and bonanza gold deposits in the epithermal environment: Assessment of potential genetic factors. *Giant Ore Deposits* (ed. B.H. Whiting, C. J. Hodgson, R. Mason), *Society of Economic Geologists Special Publication*, 2, 125-156.

- Sillitoe, R. H. (1994). Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion-centered ore deposits. *Geology*, 22(10), 945-948.
- Sillitoe, R. H. (2000). Styles of high-sulfidation gold, silver and copper mineralization in porphyry and epithermal environments. *Proceedings of Pacrim'99, The AusIMM Proceedings*, v.1, 19-34.
- Sillitoe, R.H., & Hedengvist, J. W. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. In *Volcanic, Geothermal, and Ore Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth* (ed. S. F. Simmons and I. Graham). Special Publication of the Society of Economic Geologists, No 10, 315-345.
- Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry copper systems. *Econ. Geology*, 105, 3-41.
- Sillitoe, R. H. (2015). Epithermal paleosurfaces. *Miner Deposita*, 50, 767-793.
- Simmons, S. F. (1991). Hydrologic implications of alteration and fluid inclusion studies in the Fresnillo district, Mexico: Evidence for a brine reservoir and a descending water table during the formation of hydrothermal Ag-Pb-Zn orebodies. *Economic Geology*, 91, 204-212.
- Simmons, S. F., & Christenson, B. W. (1994). Origins of calcite in a boiling geothermal system. *American Journal of Science*, 294, 361-400.
- Simmons, S. F., White N. C., & John, D. A. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Society of Economic Geologists*, 485-522.
- Steven, T. A., & Ratte, J. C. (1960). *Geology and ore deposits of the Summitville district, San Juan Mountains, Colorado: United States Geological Survey, Professional Paper, 343, 70 p.*
- Stoffregen, R. (1987). Genesis of acid sulfate alteration and Au-Cu mineralization at Summitville. *Economic Geology*, 82, 1575-1591.
- Şahin Demir, Ç. (2015). Sisorta (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) yöresi altın yatağının jeolojik ve jeokimyasal özellikleri. Doktora tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 270 s, yayımlanmamış.

- Taylor, B. E. (2007). Epithermal gold deposits, Goodfellow, W. D., (ed.), Mineral Deposits of Canada: A synthesis of major deposits-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, 113-139.
- Tüysüz, O., Dellaloğlu, A. A., & Terzioğlu, N. (1995). A magmatic belt within the Neo-Tethyan suture zone and its role in the tectonic evolution of northern Turkey. *Tectonophysics*, 243(1-2), 173-191.
- Ünal İmer, E., Güleç, N., Kuşcu, İ., & Fallick, A. E. (2013). Genetic investigation and comparison of Kartaldag and Madendag epithermal gold deposits in Çanakkale, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 53, 204-222.
- Xie, Y., Li, L., Wang, B., Li, G., Liu, H., Li, Y., Dong, S., & Zhou, J. (2017). Genesis of the Zhaxikang epithermal Pb-Zn-Sb deposit in southern Tibet, China: Evidence for a magmatic link. *Ore Geology Reviews*, 80, 891-909.
- Vikre, P. G. (1985). Precious metal vein systems in the National district, Humboldt County, Nevada. *Economic Geology*, 80, 360-393.
- Wang, G. G., Ni, P., Wang, R. C., Zhao, K. D., Chen, H., Ding, J. Y. & Cai, Y. T. (2013). Geological, fluid inclusion and isotopic studies of the Yinshan Cu–Au–Pb–Zn–Ag deposit, South China: implications for ore genesis and exploration. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74, 343-360.
- White, N. C., & Hedenquist, J. W. (1990). Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 36, 445-474.
- White, N. C. (1991). High sulfidation epithermal gold deposits: characteristics, and a model for their origin. *Geol. Surv. Japan Report*, 227, 9-20.
- White, N. C., & Hedenquist, J. W. (1995). Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *SEG Newsletter*, 23(1), 9-13.
- White, N. C., Leake, M.J., McCaughey, S. N., & Parris, B. W. (1995). Epithermal deposits of the southwest Pacific. *Journal of Geochemical Exploration*, 54, 87-136.
- White, N. C., & Poizat, V. (1995). Epithermal deposits, diverse styles, diverse origins. Australian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series 9, 623-628.

- White, N. C., Wood, D. G., & Lee, M. C. (1989). Epithermal sinters of Paleozoic age in North Queensland, Australia. *Geology*, 17, 718-722.
- Yıldırım, S., & Cengiz, İ. (2002). Şahinli (Lapseki-Çanakkale) altın sahasının jeoloji ve jeokimya raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Proje No: 95-8d.
- Yılmaz, H. (2002). Ovacık gold deposit: An example of quartz-adularia-type gold mineralization in Turkey. *Economic Geology*, 97(8), 1829-1839.
- Yılmaz, H., Oyman, T., Arehart, G. A., Çolakoğlu, R., & Billor, Z. (2007). Low-sulfidation type Au–Ag mineralization at Bergama, Izmir, Turkey. *Ore Geology Reviews*, 32 (1-2), 81-124.
- Yiğit, Ö. (2009). Mineral deposits of Turkey in relation to Tethyan Metallogeny: implications for future mineral exploration. *Economic Geology*, 104 (1), 19-51.
- Zhu, Y., An, F., & Tan, J. (2011). Geochemistry of hydrothermal gold deposits: a review. *Geoscience Frontiers*, 2(3), 367-374.

**Scientific Researches in  
Natural and Engineering  
Sciences**

CHAPTER 04



**Niğde İli İçin Arazi Tipi Öz Tüketim Güneş  
Enerjisi Santrallerinde Modelleme ve Maliyet  
Analizi (72.257 kW<sub>e</sub>/87.712,96 kW<sub>p</sub>)**

**(Furkan Dinçer)**



## **Niğde İli İçin Arazi Tipi Öz Tüketim Güneş Enerjisi Santrallerinde Modelleme ve Maliyet Analizi (72.257 kW<sub>e</sub> /87.712,96 kW<sub>p</sub>)**

**Furkan Dinçer**

*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
E-mail: furkandincer@ksu.edu.tr*

### **1. Giriş**

Elektrik enerjisine olan ihtiyaç hızlı bir şekilde artmakta ve artmaya devam etmektedir. Teknolojinin hızlı gelişmesi, sanayileşme, araçların elektrikli hale gelmesi vb. nedenler elektrik enerjisine olan ihtiyacı arttırmaktadır. Gelecek on yıllarda, benzin ve mazot ile çalışan araçların yerini elektrik enerjisi ile çalışan araçların alacağını da öngörürsek elektrik enerjisinin önemi daha da artacaktır.

Ülkemiz güneş enerjisi kuşağı altında yer almaktadır. Bu noktada diğer gelişmiş ülkelere göre daha şanslı bir konumdadır. Bu sebeple de 2010'lu yıllar itibari le ülkemizde güneş enerjisi santralleri kurulmaya başlanmış olup 2017'li yıllarda hızlanmış ve günümüzde hızlı bir şekilde devam etmektedir [1-3].

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. 2022 yılı Temmuz Ayı Kurulu Güç Raporuna göre [4]; Temmuz ayı itibariyle ülkemiz elektrik enerjisini kurulu gücü 101.814,5 MW seviyesine ulaşmış, bu kurulu gücün 8.658,7 MW'lık kısmını güneş enerjisi santralleri oluşturmaktadır. Yani toplam elektrik enerjisi santrali kurulu gücün %8,5'ini güneş enerjisi santralleri oluşturmaktadır. Ülkemizde toplam elektrik enerjisi üretim santrali sayısı 10.953 adet olup bu santrallerin 8.882 adedini güneş enerjisi santralleri oluşturmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin modüler olması 3 kW, 5 kW güçlerinde dahi kurulabilmesi santral adet sayısını arttırmaktadır. Günümüzde 5 kW güce sahip santraller olduğu gibi 10 MW güce sahip santraller de bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Niğde ili için öz tüketim güneş enerjisi santralleri için modelleme ve maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Büyük tüketici olan sanayi kuruluşu baz alınarak kendi elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak ve tüketim fazlası elektrik enerjisini de şebekeye vererek satması amaçlanan bir çalışma yapılmıştır. Tek noktada büyük güçlü bir santralin yapımının zor olmasından ötürü (arazi bulunması, enerji nakil hattı, mesafe vb. nedenler) 26 ayrı saha lokasyonu belirlenmiş ve bu sahalarda yapılacak elektrik enerjisi üretimi ile mahsuplaşması sağlanmış olacaktır. Santrallerin toplam elektriksel kurulu

gücü 72.257 kWe olup, toplam panel gücü de 87.712,96 kWp olarak tasarlanmıştır. Modelleme için PVSOL demo programı kullanılmıştır. Ayrıca maliyet analizi de yapılarak yapılacak yatırımın amortisman süresi hesaplanmıştır. Yapılan maliyet analizinde mevcut santral, enerji nakil hattı ve inşaat sırasında beklenmeyen kurulum giderleri de dahil edilmiş olup güncel bir çalışma olmuştur. Böyle bir çalışma başka illerdeki başka tüketiciler için de yapılabilir ve örnek bir çalışma teşkil edecektir.

## 2. Santrallerin Listesi ve Lokasyon Bilgileri

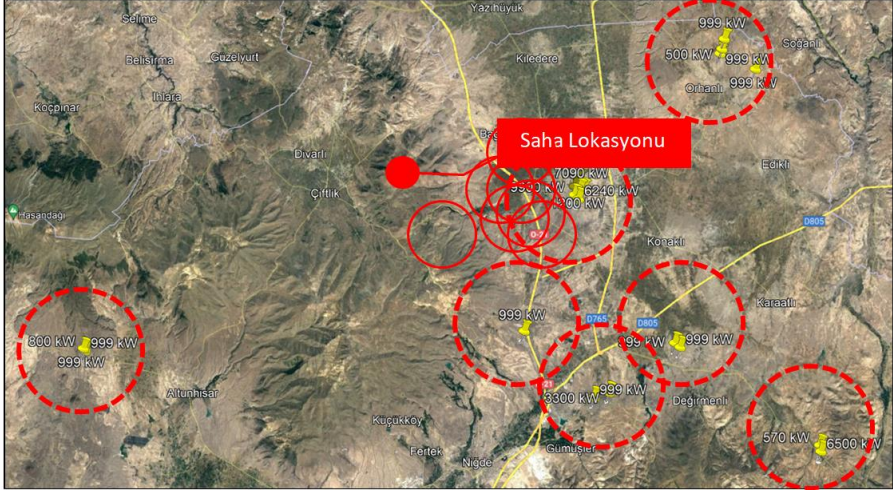
Fizibilite kapsamında Niğde il sınırları içerisinde yer alan 26 adet ayrı santral detaylı olarak Tablo 1’de listelenmiştir. Santral adı, AC Güç Değerleri (sözleşme gücü, elektriksel güç), DC Güç Değerleri (fotovoltaik panel toplam kurulu gücü), Lokasyon (ilçe, mahalle) isimleri ve arazilere ait yüzölçümü değerleri detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 1: Fizibilite çalışması yapılan 26 adet sahaya ilişkin bilgiler

	Santral Adı	AC Güç (kW <sub>e</sub> )	DC Güç (kW <sub>p</sub> )	Lokasyon	Yüzölçümü (m <sup>2</sup> )
1	GES-1	999	1.245,87	Altunhisar/Akçaören	27.910
2	GES-2	800	961,38	Altunhisar/Akçaören	12.000
3	GES-3	999	1.245,87	Altunhisar/Akçaören	21.750
4	GES-4	999	1.069,29	Merkez/Kiçağaç	16.428
5	GES-5	999	1.314,54	Merkez/Kiçağaç	42.086
6	GES-6	999	1.245,87	Merkez/Aktaş Devlet/Şarbeli	51.009
7	GES-7	3.300	4.302,23	Merkez/Uluğağaç/Harmanlıdağ	56.787
8	GES-8	6.500	8.474,20	Merkez/Kızılören/Yurtlak	111.258
9	GES-9	999	1.226,25	Merkez/Yaylayolu	48.450
10	GES-10	999	1.226,25	Merkez/Orhanlı/Üççakıl	28.600
11	GES-11	999	1.226,25	Merkez/Orhanlı/Gedik	25.200
12	GES-12	500	574,43	Merkez/Orhanlı/Üççakıl	7.900
13	GES-13	999	1.226,25	Merkez/Orhanlı/Kalebeleni	84.350
14	GES-14	570	613,67	Merkez/Kızılören/Mezarlık	8.606
15	GES-15	7.090	8.639,88	Merkez/Gölcük/Saylar	110.449
16	GES-16	9.900	11.999,81	Merkez/Hasaköy/Misli yolu	211.454
17	GES-17	9.900	11.999,81	Merkez/Hasaköy/Karatepe	289.785
18	GES-18	7.670	9.359,83	Merkez/Hasaköy/Karatepe	115.193
19	GES-19	6.240	7.679,05	Merkez/Hasaköy/Karatepe	93.682
20	GES-20	1.200	1.498,75	Merkez/Hasaköy/Karatepe	66.954
21	GES-21	999	1.245,87	Merkez/Aktaş Devlet/Şarbeli	51.009
22	GES-22	999	1.245,87	Merkez/Aktaş Devlet/Şarbeli	51.009
23	GES-23	999	1.245,87	Merkez/Kiçağaç	42.086
24	GES-24	999	1.245,87	Merkez/Kiçağaç	42.086
25	GES-25	2.200	2.200,00	Merkez/Yaylayolu	48.450
26	GES-26	3.400	3.400,00	Merkez/Orhanlı/Kalebeleni	84.350



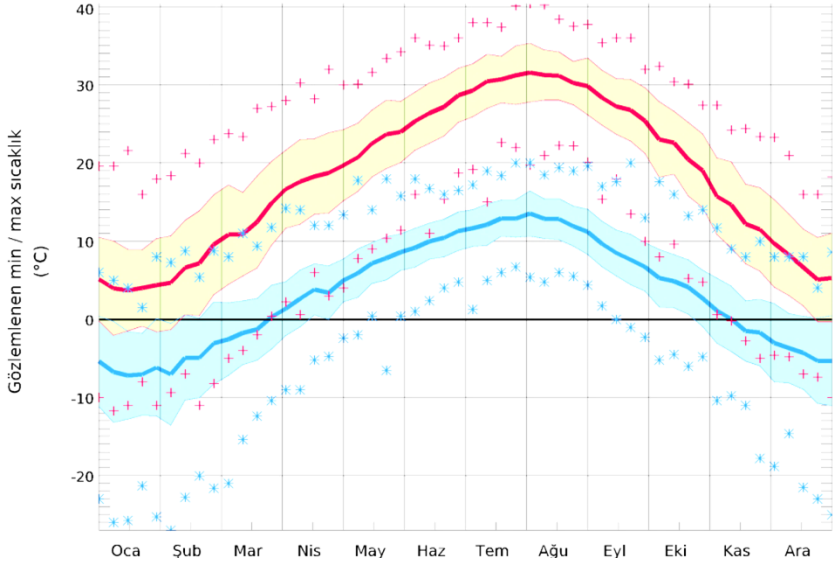
Şekil 1’de Google Maps [5] üzerinde lokasyonlar gösterilmektedir. 26 adet saha, Niğde ili içerisinde yer almaktadır.



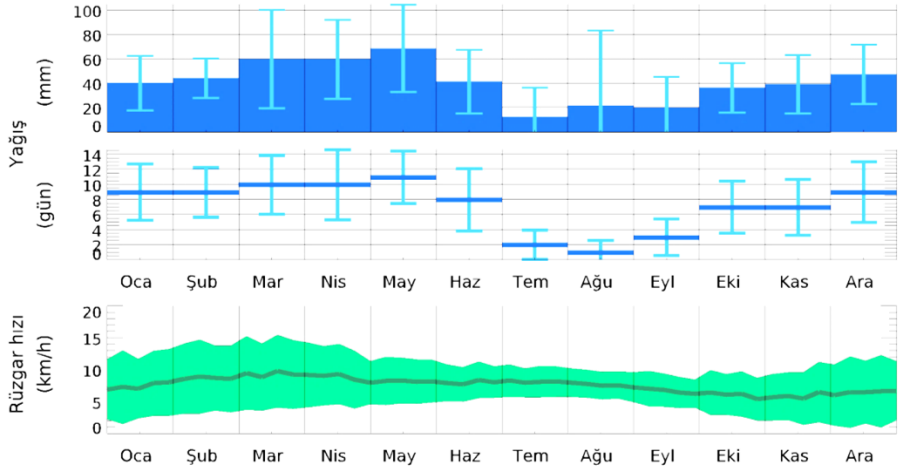
Şekil 1: Niğde ili sınırları içerisinde yer alan sahalara ait gösterim

### 3. Niğde İli İklim Verileri

Niğde ili için iklim verileri detaylı olarak aşağıda sunulmuştur. İklim verileri için; Meteoblue [6], T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü [7] ve climate-data.org [8] kaynaklarından yararlanılmıştır. Niğde ili için; Şekil 2, gözlemlenen min. ve max. sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimini; Şekil 3, yağış ve rüzgar hız değerlerinin aylara göre değişimini; Şekil 4, yağış ve sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimini; Şekil 5, bulutlu, güneşli ve yağışlı günlerin değerlerinin aylara göre değişimini; Şekil 6, max. sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimini; Şekil 7, yağış miktarlarının aylara göre değişimini; Şekil 8, rüzgâr hız değerlerinin aylara göre değişimini detaylı olarak göstermektedir.

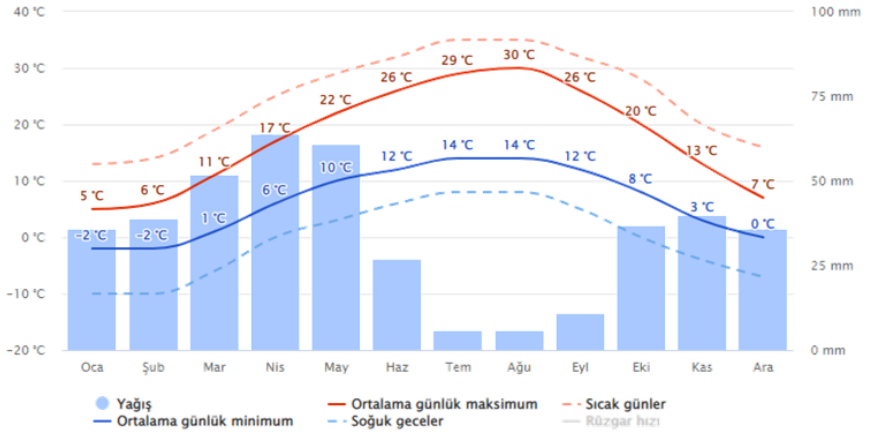


Şekil 2: Niğde ili için gözlemlenen min. ve max. sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi



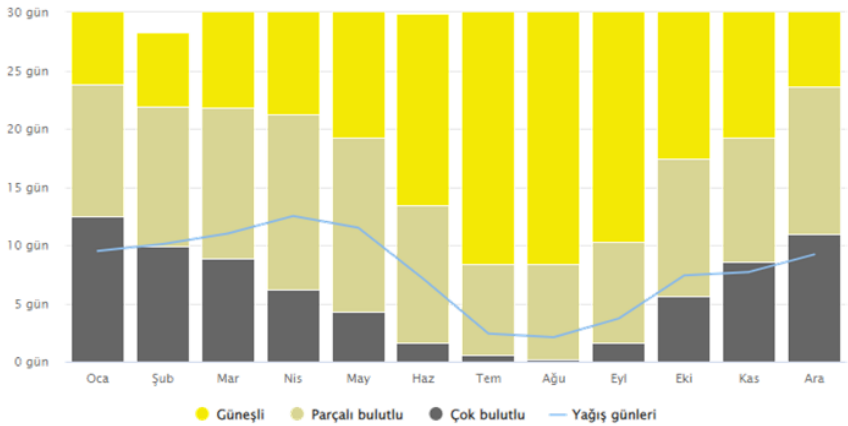
Şekil 3: Niğde ili için yağış ve rüzgar hız değerlerinin aylara göre değişimi

## Ortalama sıcaklık ve yağış

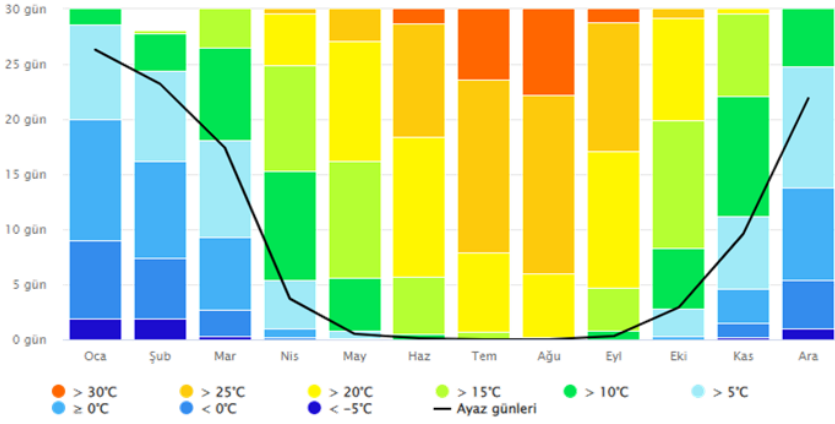


Şekil 4: Niğde ili için yağış ve sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi

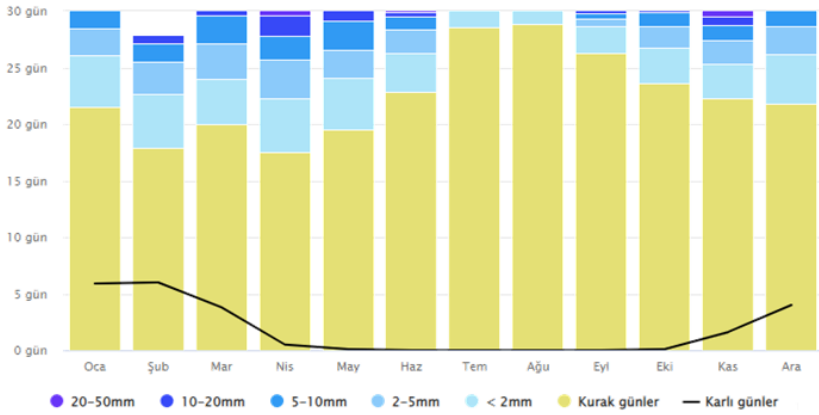
## Bulutlu, güneşli ve yağışlı günler



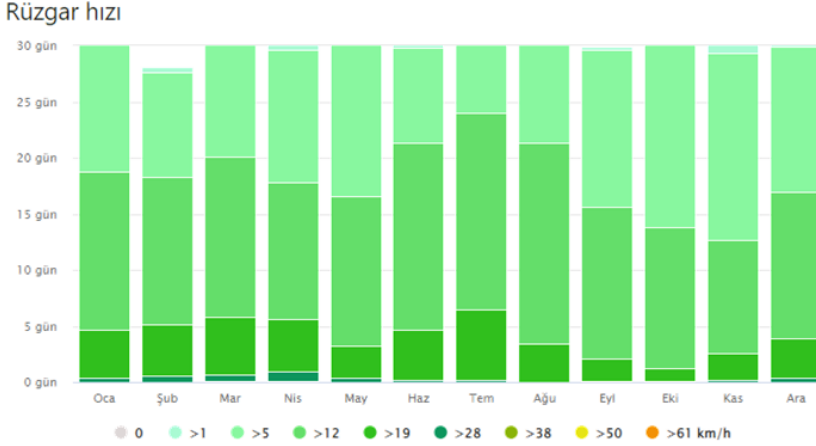
Şekil 5: Niğde ili için bulutlu, güneşli ve yağışlı günlerin değerlerinin aylara göre değişimi

**Maksimum sıcaklıklar**

Şekil 6: Niğde ili için max. sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi

**Yağış miktarları**

Şekil 7: Niğde ili için yağış miktarlarının aylara göre değişimi



Şekil 8: Niğde ili için rüzgâr hız değerlerinin aylara göre değişimi

#### 4. Niğde İli Işınım Verileri

Niğde ili, güneş enerjisi sektöründeki mevcut durumu ve sahip olduğu potansiyeli bakımından ülkemizin önde gelen bölgelerinden birisidir. Yüksek güneş ışınımı değerleri, zayıf mera niteliğindeki fotovoltaik enerji üretimi için elverişli arazilerin varlığı gibi nedenlerle güneş enerjisi santralleri yatırımlarına uygundur. Dünyadaki güneşten elektrik üretim yatırımlarının çoğunluğu; (i) yüksek güneşlenme potansiyeline sahip, (ii), alternatif maliyetleri düşük, (iii) geniş ve düz araziler üzerine kurulu, (iv) iletim-dağıtım hatlarına yakın fotovoltaik santrallerden oluşmaktadır.

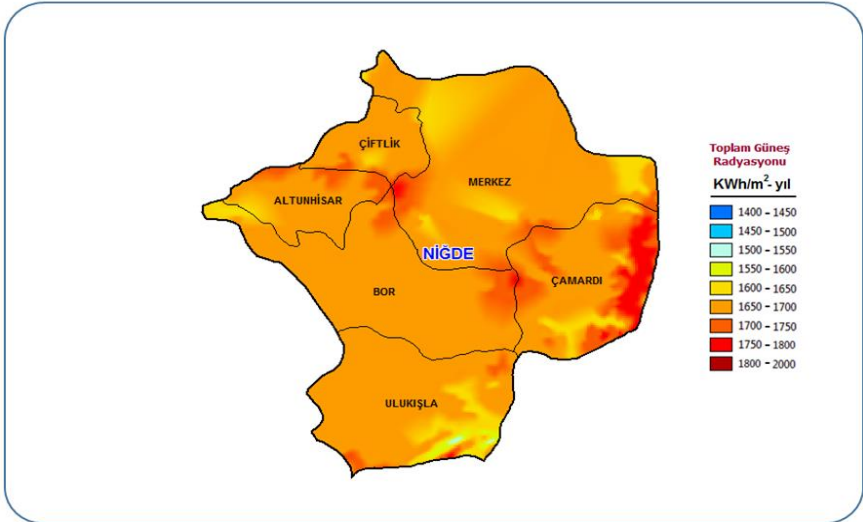
Bu şartlar göz önüne alındığında; Niğde ili, başta güneşlenme potansiyeli ve fotovoltaik yatırımlara elverişli ve tarıma-meracılığa elverişsiz arazilerin varlığı olmak üzere birçok bakımdan, güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesislerinin kurulması için ülkemizin uygun bölgelerinin başında gelmektedir. Şekil 9'da Türkiye güneş enerjisi ışınım haritası gösterilmektedir.

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli genel olarak güney bölgelere inildikçe artış göstermekte ve 2.000 kWh/m<sup>2</sup>-yıl gibi çok önemli miktarlarda güneş ışınımı elde edilebilmektedir. Bu rakam Almanya'nın en iyi güneş alan bölgeleri ile kıyaslandığında yaklaşık 2 kat daha yüksektir. Güneş radyasyonu en yüksek olan bölgeler; Muğla, Burdur, Antalya, Konya (Güney), Karaman, İçel (Kuzey), Niğde, Kayseri, Kahramanmaraş, Malatya, Adıyaman, Elazığ, Bingöl, Muş, Bitlis, Van bölgeleridir. Bu bölgeler arasında arazi bakımında en büyük ve en az dağlık alanlara sahip iller kuşkusuz Niğde, Konya, Karaman illeridir. Radyasyon miktarının aynı biçimde en fazla yoğunlaştığı bölge Niğde, Konya-Karaman bölgesi ile

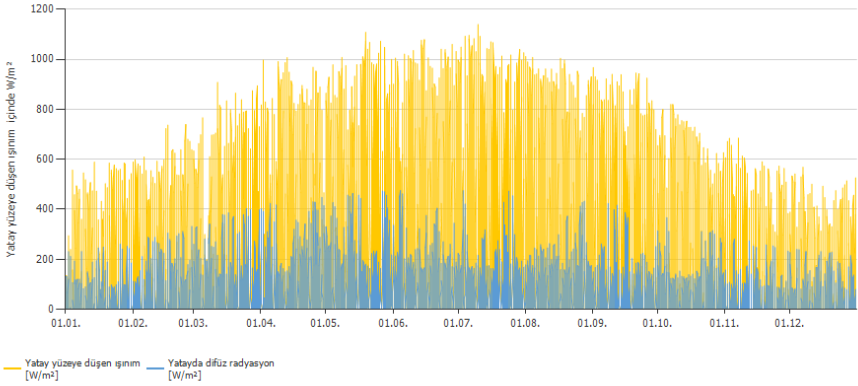
Antalya ve Van bölgeleridir. Şekil 10 ve 11'de sırasıyla Niğde ili için güneş enerjisi ışınım haritası ve yatay yüzeye düşen ışınım içinde  $W/m^2$  değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 9: Türkiye güneş enerjisi ışınım haritası [7]



Şekil 10: Niğde ili için güneş enerjisi ışınım haritası [10]



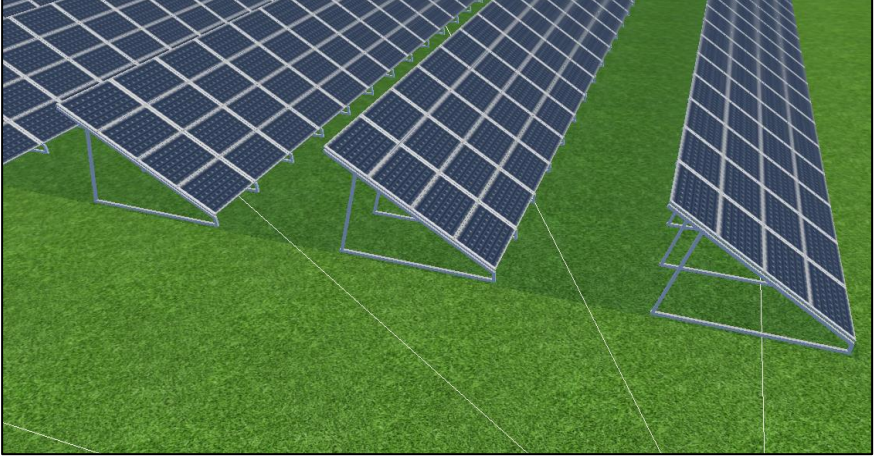
Şekil 11: Niğde ili için yatay yüzeye düşen ışınım içinde W/m<sup>2</sup> değerlerinin aylara göre değişimi

## 5. Modelleme ve Simülasyon

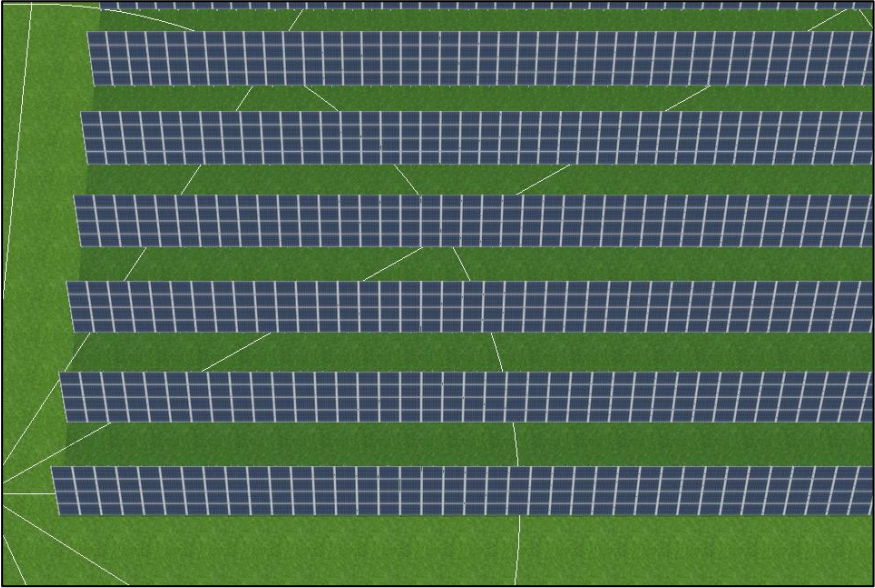
Niğde ilinde kurulması planlanan GES 1-26 tesisleri için (72.257 kWe/87.712,96 kWp) güneş enerjisi santralleri ayrı ayrı; PVSOL demo programı ile modellenmiştir. Şekil 12-18'de bu modellemeye ait örnek bir santralin değerleri ayrıntılı olarak paylaşılmıştır. Tablo 2'de üretim değerleri aylara göre verilmiştir. Örnek alınan GES-1 (999 kWe/1.245,87 kWp) santralidir. Toplamda 26 adet santral için ayrı ayrı arazi tipi güneş enerjisi santrali konstrüksiyon tipi dörtlü yatay olarak modellenmiştir.

Tablo 3, 26 adet ayrı saha için güç değerleri ve modelleme ile üretilen enerji değerlerini göstermektedir. Modellemede; fotovoltaik panel seçimi için CW Enerji Müh. Ticaret ve San. Ltd. Şti. marka CWT545-108PM12 model 545 W güneş paneli kullanılmıştır. İntertör (evirici) seçimi için ise Huawei marka SUN2000-100KTL-M1 (400 Vac) model 100 kWe intertör kullanılmıştır. Program içerisinde çok sayıda marka ve modele ait fotovoltaik panel ve intertörler yer almaktadır. Kurulum planlamasında hangi marka ve model ekipmanlar kullanılacak ise birebir modelleme yapılabilmektedir.



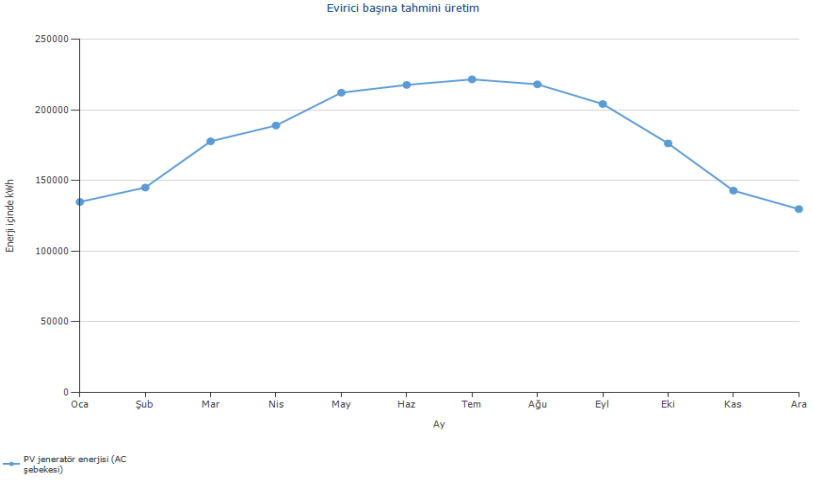


Şekil 12: Üç boyutlu arazi tipi güneş enerjisi santrali modelleme görüntüsü-1

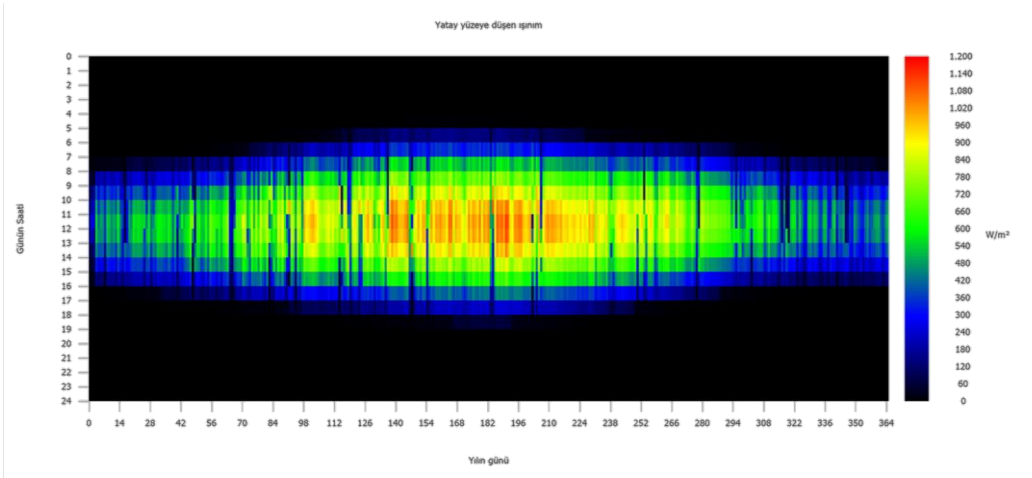


Şekil 13: Üç boyutlu arazi tipi güneş enerjisi santrali modelleme görüntüsü-2

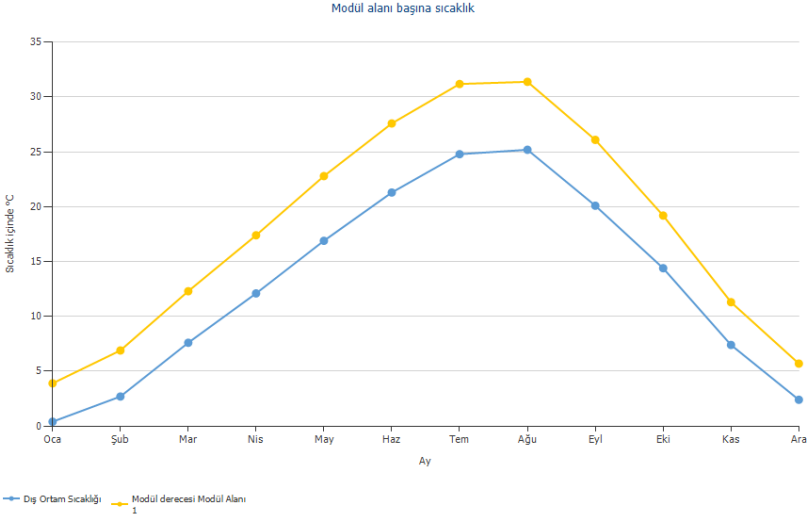




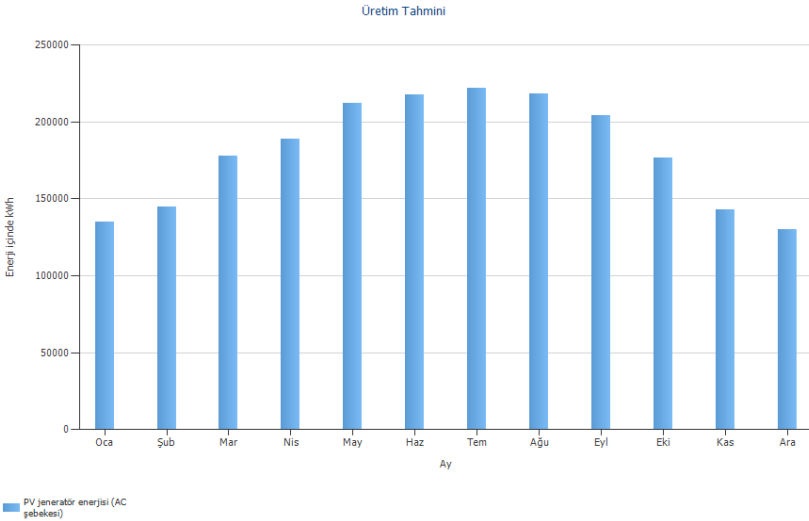
Şekil 14: İnvörtör başına üretim tahmin değerlerinin aylara göre değişimleri



Şekil 15: Yatay yüzeye düşen ışıma değerlerinin günlere göre dağılımı



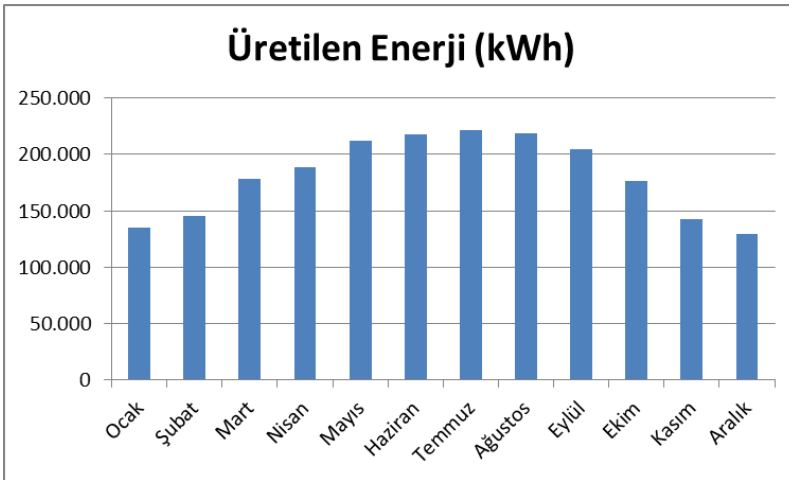
Şekil 16: Modül alanı başına sıcaklık değişiminin aylara göre dağılımı



Şekil 17: Güneş enerjisi santralının aylara göre üretim dağılımı

Tablo 2: GES-1 için aylara göre üretilen enerji değerleri

GES-1 (999 kWe/1.245,87 kWp) Üretilen Enerji (kWh)	
Ocak	134.870
Şubat	145.063
Mart	177.819
Nisan	189.011
Mayıs	212.289
Haziran	217.838
Temmuz	221.753
Ağustos	218.245
Eylül	204.268
Ekim	176.331
Kasım	142.858
Aralık	129.777
Toplam	2.170.122



Şekil 18: GES-1 için aylara göre üretilen enerji değerlerinin grafiksel gösterimi

Tablo 3: 26 adet ayrı saha için güç değerleri ve modelleme ile üretilen enerji değerlerinin gösterimi

	SANTRAL ADI	AC GÜÇ (kWe)	DC Güç (kWp)	Modelleme ile Yıllık Üretim (kWh/Yıl)
1	GES-1	999	1.245,87	2.168.482
2	GES-2	800	961,38	1.681.093
3	GES-3	999	1.245,87	2.170.122
4	GES-4	999	1.069,29	1.871.576
5	GES-5	999	1.314,54	2.299.962
6	GES-6	999	1.245,87	2.170.122
7	GES-7	3.300	4.302,23	7.506.003
8	GES-8	6.500	8.474,20	14.828.129
9	GES-9	999	1.226,25	2.139.995
10	GES-10	999	1.226,25	2.141.656
11	GES-11	999	1.226,25	2.139.995
12	GES-12	500	574,43	1.006.908
13	GES-13	999	1.226,25	2.139.995
14	GES-14	570	613,67	1.070.828
15	GES-15	7.090	8.639,88	15.039.151
16	GES-16	9.900	11.999,81	20.852.726
17	GES-17	9.900	11.999,81	20.852.726
18	GES-18	7.670	9.359,83	16.299.683
19	GES-19	6.240	7.679,05	13.351.306
20	GES-20	1.200	1.498,75	2.609.720
21	GES-21	999	1.245,87	2.170.122
22	GES-22	999	1.245,87	2.170.122
23	GES-23	999	1.245,87	2.170.122
24	GES-24	999	1.245,87	2.170.122
25	GES-25	2.200	2.200,00	3.840.882
26	GES-26	3.400	3.400,00	5.911.521
	<b>TOPLAM</b>	<b>72.257</b>	<b>87.713</b>	<b>152.773.069</b>

Ek olarak; GES-1 sahası için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen maliyet analizine ait bilgileri detaylı olarak Tablo 4'te sunulmuştur. Maliyet analizinde 1 USD'nin 18,25 TL olarak baz alındığı, kurulum maliyetinin ise 0,93 USD/Wp olarak baz alınması hesaplanmıştır. Ayrıca Şekil 19'da EPDK Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tablosu gösterilmektedir. Günümüzde mevcut güncel elektrik faturalarına esas tablo budur. Bu tabloda aboneye ait belirtilen elektrik enerjisi birim fiyat bedeli olarak da tüketim-gelir hesapları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4: GES-1 adlı tesis için maliyet analiz bilgileri

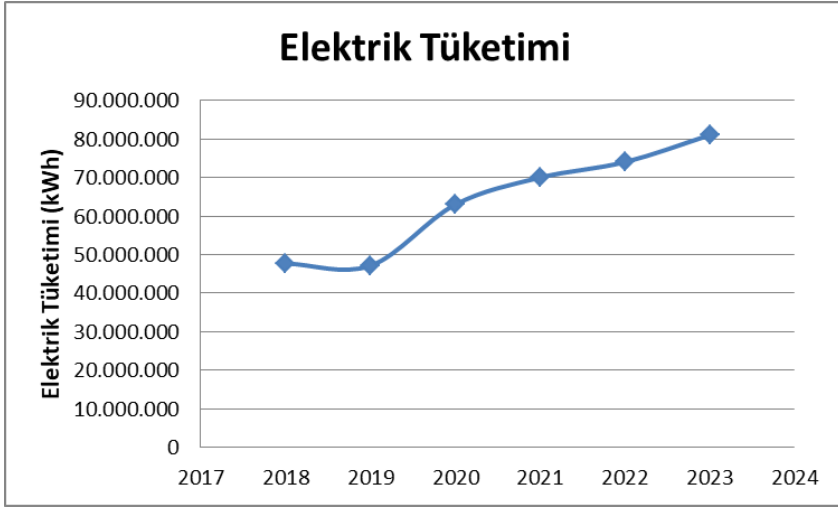
TESİS	GES-1
AC / GÜCÜ	999
DC / PANEL GÜCÜ	1245,87
ADA	0
PARSEL	2542
LOKASYON	ALTUNHİSAR/AKÇAÖREN
YÜZÖLÇÜMÜ	27910
Ortalama Yıllık Üretim Tahmini (kWh/Yıl)	2.198.741,00
Yıllık Gelir (TL)	8.367.500,17
Yıllık Gelir (USD)	458.493,16
GES Kurulum Maliyeti (USD)	1.158.659,10
Amorti (Yıl)	2,99

Elektrik Enerjisi Birim maliyetleri sürekli artış yönünde değişmekte olup, en son güncel olan (EPDK) Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Faturalarına Esas Tarifelerinden 1 Eylül 2022 tarihli tarifesi baz alınmıştır.

Şekil 20'de elektrik tüketim grafiği ve değişimi gösterilmektedir. Elektrik enerjisi tüketim ve üretim dengesi göz önünde bulundurularak planlama yapılmıştır.

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Eylül 2022 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı						
1/9/2022		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)				
İletim Sistemi kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puan Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli
	Tüketici	370,0212	374,5341	590,2971	200,3921	0,0000
Dağıtım Sistemi kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puan Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli
	<b>Orta Gerilim Çift Terimli</b>					
	Sanayi	380,5587	385,0718	600,8348	210,9296	14,7972
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	306,5364	309,4979	479,1283	174,5300	23,0611
	Mesken	188,2642	191,2551	268,1294	104,1417	22,8419
	Tarımsal Faaliyetler	193,2351	195,1716	305,7077	100,8426	18,9925
	Aydınlatma	282,8368				22,1336
	<b>Tek Terimli</b>					
	Sanayi	393,1220	397,7916	620,9517	217,6790	16,3448
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	313,8212	316,7827	486,4131	181,8140	28,7660
	Mesken	190,8544	193,8455	302,7792	106,7309	28,2039
	Tarımsal Faaliyetler	196,1875	198,1240	308,6603	109,7939	23,6477
	Aydınlatma	289,6156				27,6100
	<b>Alçak Gerilim Tek Terimli</b>					
	Sanayi	405,9469	410,3792	622,3148	239,3267	25,2888
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)	236,8288	329,6126	499,2428	194,6445	34,2716
	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)	326,6517	329,6126	499,2428	194,6445	34,2716
	Mesken (8 kWh/gün ve altı)	121,0388	200,5109	309,4456	113,3962	33,5187
	Mesken (8 kWh/gün üstü)	197,5193	200,5109	309,4456	113,3962	33,5187
	Sahit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	50,8633				22,7335
	Tarımsal Faaliyetler	202,6232	207,6944	315,0966	116,2297	28,1603
	Aydınlatma	301,7659				32,8247
	Genel Aydınlatma	262,0928				32,8247

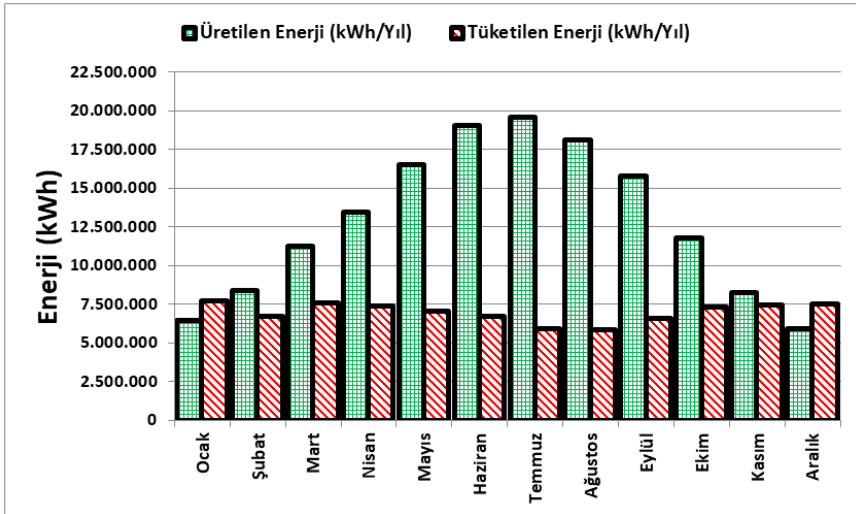
Şekil 19: EPDK Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tablosu 1 Eylül 2022 [9]



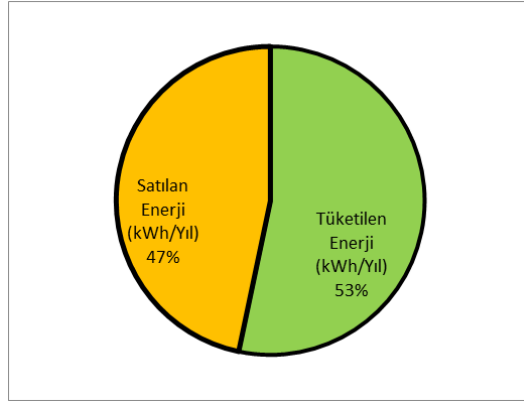
Şekil 20: Elektrik tüketim grafiği ve değişimi

## 6. Üretim ve Tüketim Dengesi

Planlanan 26 adet GES sahası için toplam üretilen enerji miktarı ve bu tesislere ait mahsuplaşma yapılacak tüketim tesislerine ait aylara göre değişimi Şekil 21’de detaylı olarak gösterilmektedir. Şekil 22’de tüketim fazlası şebekeye verilerek satılacak enerji oranı ile mahsuplaşma yolu ile tüketilecek enerji miktarlarının oranları yer almaktadır.



Şekil 21: Planlanan 26 adet GES sahası için toplam üretilen enerji miktarı ve bu tesislere ait mahsuplaşma yapılacak tüketim tesislerine ait aylara göre değişimi



Şekil 22: Tüketim fazlası şebekeye verilerek satılacak enerji oranı ile mahsuplaşma yolu ile tüketilecek enerji miktarlarının oranları

## 7. Değerlendirme ve Sonuç

Kurulması planlanan üretim tesisleri ile birlikte yıllık 154.676.034,5 kWh elektrik enerjisi üretilmesi planlanmakta olup mevzuata uygun bir şekilde firma hem kendi elektrik enerjisi ihtiyacının tamamını karşılayarak elektrik faturası ödemeyecektir hem de geri kalan üretim miktarını da şebekeye vererek elektrik enerjisi üretim geliri alabilecektir.

Niğde ilinde kurulması planlanan GES 1-26 (72.257 kWe/87.712,96 kWp) güneş enerjisi santralleri çevreci, yeşil ve temiz enerji kaynağı olmanın dışında istihdam ve üretime önemli katkılar sağlayacaktır. 81.573.053 USD yatırım bölge ve ülke ekonomisine büyük katkı sunacaktır. Santrallerin yıllık net geliri 27.230.193 USD olup, 3,0 yıl gibi rekor zamanda kendini amorti edecektir (Tablo 5). Enerji maliyetleri her geçen yıl daha da artmakla birlikte artan enerji maliyetlerine karşın böyle bir yatırım işletmenin rekabet gücüne de büyük avantajlar sağlayacaktır. Santrallerin kurulma sürecinde yüzlerce kişi istihdam edilecektir.

Tablo 5: 26 adet GES sahalarına ait detaylı maliyet analizi

GES Sahaları	
Santral Sayısı	26
Toplam Santral Alanı	1.748.841 m <sup>2</sup>
Saha	17
Santral Adı	GES 1-26
Santral Gücü (kWe)	72.257 kWe
PV Gücü (kWp)	87.712,96 kWp
İstihdam	44 kişi
Bir Panel Gücü (W)	545 W
Panel Sayısı	160.950 adet
Bir İnvörtör Gücü (kWe)	100 kWe
İnvörtör Sayısı	725 adet
Toplam Yıllık Üretim (kWh)	154.676.034,5 kWh
Toplam Yıllık Gelir (TL)	588.633.106 TL
Kur (TL/USD)	18,25
Toplam Yıllık Gelir (USD)	32.253.868 USD
Toplam Yıllık İşletme-Bakım Giderleri (TL)	91.682.075 TL
Toplam Yıllık Net Gelir (TL)	496.951.030 TL
Toplam Yıllık Net Gelir (USD)	27.230.193 USD
Kurulum Birim Maliyeti	0,93 USD/Wp
Toplam Kurulum Maliyeti (USD)	81.573.052,8 USD
Amorti Süresi	3,0 Yıl

## 8. Referanslar

- [1]. Dinçer Furkan (2011). The Analysis On Photovoltaic Electricity Generation Status Potential And Policies Of The Leading Countries İn Solar Energy. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 15(1), 713-720., Doi: 10.1016/J.Rser.2010.09.026.
- [2]. Yılmaz Saban, Özçalık Hasan Rıza, Dinçer Furkan (2015). Remote Detection And Assessment Of Solar Energy Potential Analysis Based On Available Roof Surface Area Case Study İn Kahramanmaraş Turkey. Journal Of Applied Remote Sensing, 9(1), 97698, Doi: 10.1117/1.Jrs.9.097698.
- [3]. Yılmaz Saban, Dinçer Furkan (2017). Optimal Design Of Hybrid Pv-Diesel-Battery Systems For İolated Lands: A Case Study For Kilis, Turkey. Renewable Sustainable Energy Reviews, 77, 344-352.
- [4]. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. 2022 yılı Temmuz Ayı Kurulu Güç Raporu, <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>, Erişim Tarihi: 16 Eylül 2022.



- [5]. Google Haritalar, <https://www.google.com/maps>, Erişim Tarihi: 15 Eylül 2022
- [6]. Meteoblue İklim Verileri, Simüle edilmiş geçmiş iklim ve hava durumu verileri Niğde [https://www.meteoblue.com/tr/hava/history/climate/climatemodelled/ni%C4%9Fde\\_t%C3%BCrkiye\\_303827](https://www.meteoblue.com/tr/hava/history/climate/climatemodelled/ni%C4%9Fde_t%C3%BCrkiye_303827), Erişim Tarihi: 17 Eylül 2022.
- [7]. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Niğde İklim Verileri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=NIGDE>, Erişim Tarihi: 17 Eylül 2022.
- [8]. <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/nigde/nigde-254/>, Erişim Tarihi: 17 Eylül 2022.
- [9]. EPDK Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tablosu 1 Eylül 2022, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>, Erişim Tarihi: 15 Eylül 2022.
- [10]. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>





# **Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences**

## CHAPTER 05



**Sucul Böcekler**  
**(Gani Erhan Taşar)**



## Sucul Böcekler

**Gani Erhan Taşar**

*Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu,  
E-mail: erhantasar@adiyaman.edu.tr*

### 1. Giriş

Hayvanlar aleminin eklembacaklılar şubesinde yer alan böcekler, erginlerinin altı bacaklı olmalarıyla ayırt edilirler.

Muazzam bir tür çeşitliliği ve sayısına sahip olan böcekler hayvanlar aleminin yaklaşık 3/4 'ünü oluşturmaktadırlar (Sharma et al. 2019).

Böcekler iç iskeletleri olmadığı için omurgasız canlılardır. Vücutları, adına dış iskelet de denilen “integüment” ile kaplıdır. İntegüment azotlu bir polisakkarit olan kitinden oluşmuştur. Böceği sadece dışarıdan saran ve koruyan bir deri olmaktan ziyade, vücut içerisine doğru yaptığı girinti ve çöktünlere kasların bağlanması suretiyle bir dış iskelet görevi de görmektedir. Sert bir yapıya sahip olan bu integüment, böceklerin büyüme ve gelişmelerini de olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden böcekler, büyüme ve gelişme dönemlerinde deri değiştirmek zorundadırlar. Her bir deri değiştirme arasında geçen döneme “instar” denilmektedir. Böcekler genellikle eşeyli üreme ve yumurta ile çoğalırlar. Böceklerin gelişimlerinde ise metamorfoz (başkalaşım) görülmektedir. Böceklerde yaygın olarak üç ana başkalaşım tipi görülmektedir. Kanatsız böcekler eşey organlarının gelişmesi ve bunu takiben eşeyssel olgunlaşmanın dışında genel vücut görünümünde pek fazla değişim olmadan bir veya daha fazla deri değiştirme (instar) evresinden sonra ergin hale geçerler. Bu başkalaşım tipine “Ametabol” denir. Kanatlı böceklerin bazılarında ise her deri değiştirme (instar) evresinden sonra, böcek daha da büyüyerek, kanatlarının da uzamasıyla, ergine has dış görünüme sahip olmaktadır. Bu başkalaşım tipine “Hemimetabol” denir. Hemimetabol başkalaşım gösteren böceklerin olgunlaşmamış evrelerine “nimf” denir. Hemimetabol (yarı başkalaşım) gösteren böceklerin yaşam devirleri sırasıyla: yumurta-nimf-ergin olmak üzere üç aşama şeklinde gerçekleşmektedir. Diğer bazı kanatlı böcekler ise son instar evresinden sonra ve olgunlaşma evresinden hemen önce bir pupa dönemi geçirerek ergin hale gelmektedirler. Bu başkalaşım tipine de “Holometabol” denir. Holometabol başkalaşım gösteren böceklerin olgunlaşmamış evrelerine ise “larva” denilmektedir. Holometabol (tam başkalaşım) gösteren böceklerin yaşam devirleri sırasıyla: yumurta-larva-pupa-ergin olmak üzere dört aşama şeklinde gerçekleşmektedir.

Sucul böceklerin çok az bir kısmı yaşam evrelerinin tamamını su içerisinde geçirmektedir. Büyük bir çoğunluğu kara ve sucul habitatlar arasında amfibik yaşayan gezgin böceklerdir. Karasal ve sucul habitatlar arasında gidip-gelmeleri onların daha çok yaşam döngüleri ve gelişim basamakları ile alakalıdır. Büyük bir çoğunluğunda holometabol başkalaşım görülen sucul böcekler, yaşamlarının bir veya daha fazla evresinde (yumurta, larva, pupa, ergin) sucul habitatları tercih ederken, yaşamlarının diğer evrelerini ise karasal habitatlarda geçirebilmektedirler. Ephemeroptera ve Plecoptera takımının çok büyük kısmı ile Odonata takımına ait çoğu tür bu amfibik yaşam modeline sahiptir. Trichoptera ve sucul Diptera takımına bağlı bazı türlerin ise sadece erginleri kara+havada yaşarken, yaşamlarının diğer evreleri sucul habitatlarda geçmektedir. Yaşam evrelerinin tamamına yakını sucul habitatlarda geçiren çok az sayıda böcek türü vardır. Bunlar Hemiptera takımına bağlı Nepomorpha grubunda yer alan böceklerdir. Sadece risk altındayken ve farklı habitatlara göç etmek için sucul habitatları terk ederler (Wichard et al., 2002).

Sucul böceklerin yaşamlarının herhangi bir evresinde sucul habitatlara uyum sağlamaları, onların su altı solunumu ve suyun vücutlarına giriş-çıkışını düzenlemeleri konusundaki adaptasyon ve mekanizmalarının gelişmesiyle mümkün olmuştur.

Sucul böcekler teorikte tüm vücut yüzeyleri ile kütikular olarak gaz alış-verişi yapabilirler. Kütikulanın geçirgenliğinin sınırlı olması, ihtiyaç duyulan oksijen miktarının yeteri kadar alınabilmesinde büyük bir engel teşkil etmektedir.

Böceklerde solunum gazları (oksijen, karbondioksit ve azot gibi gazlar) dolaşım sistemi ile değil de trake adı verilen özel bir solunum sistemi ile vücutta dolaşır. Trake solunumu böcek vücudunun içerisinde dallanmalar yaparak bütün dokulara kadar ulaşan, adına trake ve trakeol denilen borucuklar sisteminin adıdır. Bu sistemin dışarıya açılan, gaz alış-verişinin yapıldığı açıklıklarına: “stigma” denilmektedir. Karasal böceklerden farklı olarak sucul böceklerde stigmaların açık veya kapalı olduğu, iki farklı trake sistemiyle oksijen alınması mümkün olmaktadır. Kapalı trake sistemlerinde gaz alış-verişi trake solungaçları ile yapılmaktadır. Trake solungaçları birçok sucul böcek takımına ait türün ergin öncesi evrelerinde görülmektedir. Trake solungaçları türden türe değişmekle beraber vücudun herhangi bir bölgesinde (baş, boyun, abdomen gibi) bulunabilmektedir.

Açık trake sistemlerinde stigmaların ucu açıktır. Havadan direk oksijen alınabilmektedir. Örneğin Diptera: Culicidae (sivrisinek) larvaları, Syrphidae (çiçek sinekleri) larvaları ve Hemiptera: Nepidae (su akreplerinde) açık trakeal sistemler bulunmaktadır. Bu canlıların stigmaları abdomenin uç

kısımında yer alan solunum tüpleri aracılığı ile direk atmosfere açılır. Havadaki serbest oksijeni bu solunum tüpleri sayesinde direkt alabilmektedirler. Keza karbondioksiti de aynı yolla dışarıya atabilmektedirler (Wichard et al., 2002).

Ergin sucul böcekler suya daldıkları esnada, havayı çeşitli vücut boşluklarında depolarlar (Coleoptera: Dytiscidae familyasından bazı türler kanatlarının altında, Hemiptera: Notonectidae familyasından bazı türler ise vücutlarının alt kısımlarında havayı depolarlar). Buna “fiziksel solungaç”ta denilmektedir. Depolanan bu hava stigmalar ile trake sistemlerine açılır. Böcekler su altındayken ihtiyaç duyduğu oksijeni bu depolardan kullanabilmektedirler. Yine oluşan karbondioksit ve azotlu gazlar buralara geçerek atılmaktadır. Bir müddet sonra oksijen azalacağı için böcekler depoyu tazelemek için tekrar su yüzeyine çıkmak zorunda kalmaktadırlar. Bazı ergin sucul böcekler de ise “Plastron” denilen yapılar vardır. Plastron, böcek suya daldığında, böceğin alt kısmında yer alan özel kütikular yapı ve hidrofobik kılların suyu itmesiyle bir hava deposu oluşmasını sağlamaktadır. Plastron bu yapıların varlığı nedeniyle fiziksel solungaçlardan ayrılmaktadır. Fakat böcek, fiziksel solungaçlarda olduğu gibi bu hava deposuna açılan stigmalar ile uzun süre su altında gaz alış-verişi ihtiyacını sağlayabilmektedir (Wichard et al., 2002).

Sucul böceklerin yumurtaları ise su altında oksijen alış-verişini yarı geçirgen koriyon zarı aracılığı ile yapmaktadırlar (Hinton, 1981).

Sucul böceklerin çok büyük bir kısmı iç suları (her türden sucul biyotop ve mikrohabitatları) kendilerine yaşam alanı edinmişlerdir. Az sayıda, kınkanatlılar takımına bağlı türün ise denizel kaya havuzlarında yaşadıkları bilinmektedir (Jäch, 1998). Büyük bir çoğunluğu tatlı sulara yaşayan sucul böceklerin, hafif ve çok tuzlu iç sular da yaşayabilen, özellikle Coleoptera, Diptera ve Heteroptera takımlarına bağlı bazı türlerinin olduğu bildirilmektedir. Öyle ki bazı türler 200 g/L konsantrasyona sahip çok tuzlu suları bile tolere edebilmektedirler (Bilton et al., 2019). Bu tuzlu sular da yaşayan böceklerin bu duruma ayak uydurabilmek için karmaşık fizyolojik mekanizmalara sahip oldukları belirtilmektedir (Bradley, 2009). Böceklerde su dengesini korumak için kütikulanın suya geçirgenliğini kontrol etmenin ana fizyolojik mekanizmalardan biri olduğu bildirilmektedir (Blomquist and Bagnères, 2010). Dytiscidae familyasından *Nebrioporus* ve Hydrophilidae’lerden *Enochrus* cinsine ait bazı türlerin az ve çok tuzlu iç sular da yaşayabilmek için bazı adaptasyonlara sahip oldukları, bu adaptasyonların kütikularındaki hidrokarbonların yapısıyla ilişkili olduğuna dair çalışmalar yapılmaktadır (Botella-Cruz, et al. 2019).

## 2. Taksonomik olarak Sucul Böcek Takımları

Birçok böcek takımına bağlı çok sayıda türün, yaşamlarının belli bir veya birkaç evresini sucul olarak geçirdiği belirtilmektedir.

Sucul böcek türlerini barındıran böcek takımları, alfabetik sıraya göre aşağıdaki şekildedir:

### 2.1. Coleoptera

Coleoptera kelimesi Aristo tarafından; Coleos=koruyucu şey, kalkan ve ptera=kanat anlamlarına gelen Yunanca kelimelerden türetilmiştir (Resh and Carde, 2009). Türkçe olarak ise “kınkanatlılar” diye adlandırılmıştır.

Zamanla sadece arka kanatlarının uçuş işlevini koruyup, ön kanatlarının uçuş sırasında hareket yeteneğini yitirerek ya da sadece titreştirilen bir taşıma yüzeyine dönüşerek “elitrayı” oluşturması bu takımın en tipik özelliğidir. Sert bir kın şeklini alan bu damarsız ön kanatlar, narin yapılı arka kanatları ve abdomeni koruyan bir örtü şeklindedir. Kınkanatlılar vücutlarının kitin bir zırhla çevrili olması ve salgıladıkları yağimsi mum tabakasıyla basınç, nem ve kuraklık gibi dış etkenlere karşı oldukça dayanıklı bir yapıya sahiptirler. Bundan dolayı yeryüzünde çok geniş coğrafyalara yayılmış olup, her türlü habitatta yaşamaya adapte olmuş türleri gözlemek mümkündür (Demirsoy, 2003).

Kınkanatlıların günümüzde yaşayan yaklaşık 380000 türü bulunmaktadır (Beutel et al., 2019). Bu sayı bugün teşhis edilmiş ve yaşayan 1,5 milyon böcek türünün yaklaşık olarak üçte birine tekabül etmektedir (Forbes et al., 2018). Bu rakamlar dikkate alındığında, böcekler sınıfının en çok türle temsil edilen takımının kınkanatlılar olduğu anlaşılmaktadır.

Kınkanatlılar takımı dört alttakıma ayrılmaktadır. Bunlar Adephaga, Archostemata, Myxophaga ve Polyphaga’dır. Coleoptera içerisinde en çok türe sahip olan iki alttakım ise Adephaga ve Polyphaga’dır (Resh and Carde,2009).

Kınkanatlılar takımına ait türlerin küçük bir kısmı suculdur. Sucul kınkanatlılar sucul yaşama adapte olmak için plastron, yüzme kılları, fiziksel solungaçlar (gill) gibi farklı yapılara sahiptirler. Bu yapıların yanı sıra özel salgı bezleri, hidrofilik kıllar, vücudun bazı bölümlerindeki fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlar da kınkanatlıların “sucul mu?-karasal mı?” olduğuna karar verebileceğimiz ekolojik ve davranışsal özelliklerdir (Jäch, 1998).

Kınkanatlılar takımına ait familyaların tam olarak “sucul mu?-karasal mı?” olduklarını belirlemede bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu durum onların



sistematikten çok ekolojileriyle alakalıdır. Ekolojik sınıflandırmadaki bu zorlukların başlıca nedenleri böceğin; su içerisinde bulunduğu tabakanın tespiti, suda geçirdiği sürenin tespiti, suya olan bağlılık derecesinin tespiti, suya olan bağlılığın sebebinin (beslenme, ekolojik niş, habitat vb.) tespitindeki zorluklar olarak sıralanabilir. Böceğin habitat tercihi, larva, pupa ve ergin aşamalarında da değişiklik göstermektedir. Bu nedenle böceğin “sucul mu?-karasal mı?” olduğunu tam olarak belirlemek için larva, pupa ve ergin gibi gelişim evrelerinin tamamının bilinmesi gerekmektedir (Jäch, 1998).

Jäch (1998) birçok kınkanatlı familyasının sucul olarak nitelendirilmesindeki zorlukların üstesinden gelmek için altı ekolojik grup ortaya koymuştur. Buna göre:

1) Gerçek sucul kınkanatlılar: Ergin zamanının çoğunu su altında geçirmektedir. Larva ve pupa sucul veya karasal olabilmektedir.

2) Sahte sucul kınkanatlılar: Larva yaşamının büyük bir kısmını su altında geçirirken, ergin çoğunlukla karasaldır.

3) Bitkileri seven sucul kınkanatlılar: Beslenmek ve yaşamını sürdürmek için su bitkilerinin üzerinde ve gelişme aşamalarının herhangi birinde su altında bir süre bulunmaktadır.

4) Parazit sucul kınkanatlılar: Bitkileri seven sucul kınkanatlılar gibidirler. Fakat bunların ev sahipleri sucul memelilerdir.

5) İsteğe bağlı sucul kınkanatlılar: Daha çok karasal türleri barındırırlar. Sık sık veya düzenli olarak su altında aktif olarak kalmaktadırlar. Bunu avlanmak, beslenmek veya kalacak yer aramak için yaparlar.

6) Kıyı kınkanatlıları: Büyük ve karma bir çoğunluğu teşkil etmektedirler. Gelişme aşamalarının büyük bir kısmında çok ıslak habitatlar veya su kenarlarında bulunurlar. Genel olarak karasal böceklerdir.

Yukarıda verilen altı gruptan ilk ikisi olan Gerçek ve Sahte Sucul Kınkanatlılar “sucul” olarak adlandırılabilir. Çünkü en azından larval aşamaları tamamen su altında gerçekleşmektedir. Üç-beş arasındaki gruplar yarı sucul grupları oluştururlar. Son grubumuza ait familyalar ise kendilerine mesken olarak su kenarlarını edinmiş genellikle karasal olan türlerdir (Jäch, 1998).

Holometabol başkalaşım gösteren sucul kınkanatlılardan Elmidae’lerin yumurta, larva ve erginleri sucul iken pupaları karasaldır. Psephenidae’lerin yumurta ve larvaları sucul iken, pupa ve erginleri karasaldır. Dryopidae ve Hydraenidae’lerin ise sadece erginleri suculdur (Morse, 2009). Suyun hem altını hem de üstünü görebilecek şekilde özelleşmiş, iki parçalı birleşik

gözlere sahip olan Gyrinidae'ler suyun yüzeyinde yüzerken, yavaş yüzücü olan Hydraenidae, Helophoridae ve Hydrophilidae'ler su yüzeyinde yürür gibi yüzerler. Hızlı yüzücüler olan Dytiscidae'ler ise hem yüzüp hem de suyun içine dalabilirler (Lancester and Downes, 2013).

Elmidae familyasının üyeleri hızlı akan ve temiz su içeren dere ve nehirleri kendilerine habitat edinmişlerdir. Sudaki kirlenmelere karşı hassas oldukları için, temiz su indikatörü olarakta kullanılmaktadırlar.

Beslenmelerinde de çeşitlilik görülen sucul kınkanatlılar hem larva hem de ergin dönemlerinde avcı, bitkisel ve çürükçül beslenme şekillerine sahiptirler. Erginleri hava balonu veya plastron ile su altı solunumları gerçekleştirirken, larvalar kütikulları ile (trakeal solungaçlı veya solungaçsız) solunum yapmaktadırlar. Birçoğu yılda tek döl vermektedir (Morse, 2009).

Kınkanatlılar takımının sucul ve sucul habitatların kıyılarını kendisine mesken edinmiş olan birçok familyası vardır. Bunların ülkemizde de dağılışı gösteren başlıcaları: Dryopidae, Dytiscidae, Elmidae, Haliplidae, Helophoridae, Heteroceridae, Hydraenidae, Hydrochidae, Hydrophilidae, Gyrinidae, Psephenidae, Noteridae, Spercheidae familyalarıdır.

Bazı sucul kınkanatlı türlerinin gerçek görüntüleri aşağıda sunulmuştur:



Şekil 1. *Hydrophilus piceus*



Şekil 2. *Dytiscus marginalis*

## 2.2. Collembola

Latince bir kelime olan “colle”, Türkçe “tutkal, yapıştırıcı” ve “embelon”; “kama, çivi, tıkaç” anlamına gelmektedir. Bu takıma bu isim ilk kez Lubbock tarafından 1873'te kollofor organından dolayı verilmiştir (Hopkin, 1997). Türkçe kuyrukla sıçrayanlar denilmektedir.

Bugüne kadar yaklaşık 6500 türü tanımlanmış olan Collembola'lar oldukça küçük böceklerdir. Birçoğu birkaç mm boylarındadır. Fakat 10 mm boylarında olabilen türleri de bulunmaktadır. Vücutları çeşitli renklerde

olabilmektedir. Kobalt mavi, koyu mavi gibi renklerin yanı sıra, bazılarında boyuna yeşil, kırmızı bantlar ya da beyaz noktacıklar görülmektedir. Ömürleri genellikle kısa olan bu böceklerin bazı erginlerinin bir ya da iki yıl yaşayabildikleri belirtilmektedir (Hopkin, 1997).

Dünyada 400 milyon yıldan daha uzun bir süredir yaşamaktadırlar. Bu süre zarfında çok çeşitli nişleri yapabilmek için geliştikleri ve değiştikleri belirtilmektedir. Bu başarının sebebinin; fizyolojik ve davranışsal uyumları ve küçük boyutlu olmaları sayesinde olduğu belirtilmektedir. Bu sayede toprak parçacıkları, ölü bitki örtüsü ve diğer kapalı alanlardaki boşluklarda kolay bir şekilde kolonize olabilmektedirler. Genel olarak kuru ortamlarda yaşayamayan ve nemi seven böcekler olarak bilinseler de çöllerde, dünyanın en soğuk ve en kuru yerlerinde, çoğu tatlı su kütlelerinin yüzeyinde ve en uzun ağaçların tepelerinde dahi yaşayanları bilinmektedir. Dünya genelinde oldukça yaygın bir dağılım göstermektedirler. Antarktika dahil her kıtada bol miktarda bulunmaktadırlar (Hopkin, 1997). Himalayaların 7742 metre yüksekliğinde bulunan karların üzerinden (Yossi, 1966), Avustralya çöllerine kadar dağılım göstermektedirler (Suhardjono and Greenslade, 1994). Collembola'lar deniz kıyılarında da bol miktarda bulunmaktadırlar. Derin sular ve okyanuslarda yaşamamaktadırlar (Hopkin, 1997). *Sminthurides aquaticus* ve *Podura aquatica* gibi bazı türler suların yüzeylerinde yaşarlar ve düzenli olarak suya atarlar (Eisenbeis and Wichard, 1987; Guthrie, 1989). Topraklardaki hava gözenekleri ya da su yüzeylerinin, hatta buzun üzerinde bulunan ince buharlaştırılmış hava tabakasında da yaşayabilirler (Eisenbeis and Meyer, 1986; Eisenbeis et al., 1989; Schaller, 1992).

Collembola'nın en belirgin özelliği sıçrama organı da denilen furka veya furkuladır. Furka, dördüncü abdominal segmentte yer alan bir çift uzantının yüzeysel birleşiminden oluşmuştur. Bazı türlerde bir saniyenin de altında gibi kısa bir sürede 16 cm'ye kadar yüksekliğe kadar sıçramayı sağlamaktadır. Furkanın düşmanlardan kaçmak için bir kaçış mekanizması olarak geliştiği belirtilmektedir. Furkanın bazı türlerde, toprak parçacıkları ve yaprak döküntüleri arasındaki hareketlerini kolaylaştırmak için kısaltıldığı, bazılarında ise tamamen kaybedilmiş olduğu belirtilmektedir (Hopkin, 1997).

Tüm Collembola'lar, adına kollofor da denilen, birinci karın segmentindeki bir çift uzantıdan oluşmuş, ters çevrilebilen keselerden oluşan ventral bir tüpe sahiptir. Bu organ sıvı dengesini sağlamasının yanı sıra, böceğin sıçradıktan sonra kaygan yüzeylere yapışarak düz durmasını sağlayan bir uzantı olarakta işlev görmektedir (Hopkin, 1997).

Bu takımın büyük bir çoğunluğu fungal hiflerle ve çürümüş bitki artıkları ile beslenmektedir. Bu sayede topraktaki mantar varlığını kontrol altında tutarak, bitkileri fungal hastalıklara karşı korumaktadırlar (Hopkin, 1997).

Bunun yanı sıra çok az sayıdaki türler, doğrudan bitkileri yiyerek, yonca tarlalarında %50'ye kadar zarar oluşturabilmektedirler (Petersen, 1971). Bazı türler ise karnivordur (Christiansen and Bellinger, 1988; Christian, 1989). Nematodları, rotiferleri ve diğer collembolaları yemektirler (Cassagnau, 1972).

Birçok türün kütikularları, üzerlerindeki mumsu katman nedeniyle hidrofobiktir (Ghiradella and Radigan, 1974). Trakeal solunumla birlikte bütün vücut yüzeylerinden, kütikular solunumla da oksijen alabilmektedirler (Zinkler, 1966). Bazılarında plastron olduğu da belirtilmektedir (Hopkin, 1997).



Şekil 3. *Podura aquatica* (Resim Linda'ya aittir).

### 2.3. Diptera

Latince bir kelime olan “dipteros”, Türkçe “iki kanatlılar” anlamına gelmektedir (Lancaster and Downes, 2013; Nair et al., 2015). İngilizce “true flies” (gerçek sinekler) de denilmektedir (Ivkovic et al., 2020). Bu adı, sahip oldukları bir çift zarımsı kanattan almaktadırlar. Kozmopolittirler. Dünya genelinde Antarktika (Usher and Edwards, 1984) dahil tüm kıtalarda yaşamaktadırlar (Adler and Courtney, 2019). 5600 metre yüksekliğe sahip Himalaya dağlarının zirvelerinden, Baykal gölünün 1000 metre derinliklerine kadar hemen her türlü sucul habitata uyum sağlamış türleri bulunmaktadır. Dünya genelinde bu takıma bağlı 158 familya bulunmaktadır. Bu familyalar içerisinde, yaklaşık 46000 türü içeren 41 familya, hayatının bir ya da birkaç evresinde sucul, yarı-sucul ve/veya suya bağımlı türleri ihtiva etmektedir (Adler and Courtney, 2019). Avrupa’da ise 130 familyanın 25’i sucul türleri kapsamaktadır (Oosterbroek, 2006). Yaşamının tüm evreleri sucul olan bir dipter türü bulunmamaktadır (Adler and Courtney, 2019).

Sucul dipterlerin %90’dan fazlası tatlı su habitatlarında yaşamaktadır. Geriye kalan türler ise deniz, acı su, nehir ağzındaki bataklıklar (Adler and Courtney, 2019), tuzlu göl ya da göletlerde (Collins, 1980)

yaşayabilmektedirler. Chironomid'lerden bazı türler okyanus açıklarında yaşayabilmektedirler (Tokunaga, 1932; Huang and Cheng, 2011; Huang et al., 2014; Qi et. al., 2019). Yine bazı chironomidler, denizin altında deniz kaplumbağalarının üzerinde tespit edilmişlerdir (Scharer and Epler, 2007).

Dipterler holometabol başkalaşım göstermektedirler. Yumurtalar suyun içerisine ya da suyun kenarına yakın substratlara tek olarak bırakılabildikleri gibi küçük gruplar halinde de bırakılabilmektedirler. Genellikle birkaç gün ya da hafta süren yumurta dönemi, bazılarında daha uzun da sürebilmektedir. Bacaksız olan larvalar en az üç instar evresinden sonra pupa evresine girmektedirler. İki saatten daha az pupa süresi geçirenler olduğu gibi birkaç hafta ya da aylar süren pupa dönemine de rastlanmaktadır. Birçok ergin dipter türü, sucul habitatların yakınında bulunmasına rağmen, yumurta gelişimi için kan emmek zorunda olan (Ceratopogonidae, Culicidae, Simuliidae ve Tabanidae familyalarına bağlı) türler, bu sucul habitatların kilometrelerce uzağında da bulunabilmektedirler (Adler and Courtney, 2019).

Sucul yaşama adapte olmuş dipter türlerinin gaz alış-verişi için çeşitli yapılarla sahip oldukları gözlemlenmektedir. Örneğin Ptychopteridae ve Syrphidae gibi bazı familyalarda, uç kısmında, geri çekilebilen, vücuttan 2-3 kat daha uzun bir yapıda olan solunum sifonu bulunmaktadır. Bazı culicid larvaları, solunum sifonlarını su altı bitkilerinin içerisine uzatarak oksijen ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar. Oksijence fakir habitatlarda yaşayan bazı chironomidae larvaları ihtiyaç duydukları oksijeni karşılayabilmek için hemoglobini kullanmaktadırlar. Hemoglobinden dolayı kırmızı renk olan vücutları, yerelde "kan kurdu" olarak isimlendirilmelerine sebep olmaktadır. Simuliidae larvaları su içerisinde ve dışarısında gaz alış-verişini sağlayan solungaçlara sahiptir. Bu sayede su seviyesi düşse bile, ipeksi kozasının içerisinde bulunan pupa, gaz alış-verişini sağlayabilmektedir (Adler and Courtney, 2019).

Dipterler sucul habitatlarda en çok bulunan canlılardanır. Sayıları bazen milyonları bulabilmektedir. İngiltere de bir gölün altında metre karede bir milyondan fazla kara sinek larvası tespit edilmiştir (Wotton, 1988). Kaliforniya'da bir kanalizasyon tesisi günlük 20 milyon psychodids'in üremesine neden olabilmektedir (Adler and Courtney, 2019).

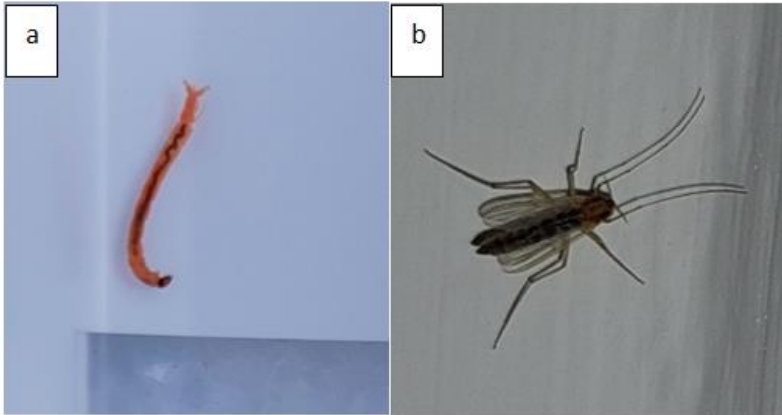
Sucul dipterler, özellikle larvalar, çok sayıda omurgalı ve omurgasız için önemli birer besin kaynağı olmaktadır (Adler and Courtney, 2019).

Beslenmeyen birkaç ergin dipter türü dışında, diğer ergin dipter türleri sıvılarla beslenmektedir. Birçoğu nektar, çürüyen organik materyaller, bitki öz suyu, dışkı ve benzeri maddeleri besin kaynağı olarak tüketmektedirler. Fakat Ceratopogonidae, Tabanidae, Culicidae ve Simuliidae gibi familyaların üyeleri diğer hayvanların, genellikle kan gibi vücut sıvılarını emerek

beslenmektedirler (Lancaster and Downes, 2013). Bu esnada, vektörlük yaptığı birçok patojeni de kanını emdiği hayvanlara bulaştırmaktadırlar. Ekolojik açıdan birçok faydası olan dipterler, omurgalı canlılar üzerindeki ektoparazit özellikleri nedeniyle sorun teşkil etmektedirler. Birçok patojene vektörlük yapmaları bazı dipter familyaları ile ciddi mücadele etme zorunluluğu oluşturmaktadır. Bu da yüksek maddi giderlere ve kimyasal ilaç kullanımı nedeniyle çevre kirlenmelerine sebep olabilmektedir.



Şekil 4. Sivrisinek larva (a), pupa (b) ve pupadan çıkan erginin bıraktığı integüment kalıntısı (c).



Şekil 5. Diptera: Chironomidae larva (a), ergin (b).

## 2.4. Ephemeroptera

Latince bir kelime olan “ephemeros”, Türkçe “bir gün süren” anlamına gelmektedir (Lancaster and Downes, 2013). İngilizce mayflies (mayıs sinekleri), dayflies (bir günlük sinekleri), fishflies (balık sinekleri) ve shadflies (gölge sinekleri) de denilmektedir (Jacobus et al., 2019). Bu takıma ait türlerin erginlerinin ömürleri çok kısa olduğu için “bir günlük sinekleri” olarak adlandırılmaktadırlar. Bazı ergin bireyler bir gün kadar yaşayabilirken, birçoğu sadece birkaç saat hayatta kalmaktadırlar. Hatta *Caenis latipennis* türünün dişilerinin sadece 37 dakika yaşadığı bildirilmektedir (Taylor and Kennedy, 2006). Kozmopolittirler. Dünya genelinde Antarktika hariç her bölgede yaşamaktadırlar. Günümüzde yaşayan 42 Familya ve 400 cinse bağlı yaklaşık 3000 türü bulunmaktadır (Barber-James et al., 2008; Gattolliat et al., 2012). Özellikle hızlı akan dere ve nehirler (lotik habitatlar) olmak üzere her türden sucul habitatta yaşamaktadırlar. Büyük bir çoğunluğu tatlı sulara yaşadığı halde, tuzlu suları da tolere edebilenleri vardır (Berner, 1954).

Birçok türü temiz su indikatörü olarak kullanılabilir potansiyeldedirler (Wallace and Anderson, 1996). Ephemeroptera instarları dünya genelinde lotik habitatlardaki oksijen azlığına karşı hassaslıkları ile bilinirler. Bu durum onların biyoindikatör olarak sıklıkla kullanılmasına sebep olmaktadır. (Menetrey et al., 2008). Bir günlük sineklerinin; sucul habitatlardaki oksijen tükenmesine, asitleşmeye, metaller, amonyak ve diğer birçok kimyasalın da dahil olduğu kirleticilere karşı yüksek hassasiyete sahip oldukları hem gözlemsel hem de deneysel çalışmalarda gösterilmektedir (Hubbard and Peters, 1978; Resh and Jackson, 1993; Moog et al., 1997; Hickey and Clements, 1998). Yıllar içinde su kalitesini değerlendirmek için, mayıs sineklerinin de dahil edildiği çeşitli biyolojik indeksler geliştirilmiştir (Lenat, 1988; Metcalfe, 1989; Kerans and Karr, 1994).

Bir günlük sinekleri eşeyli üremelerine rağmen, partenogenetik (eşseysiz) olarakta çoğalmaktadırlar (Funk et al., 2010). Birçok tür yumurtalarını su yüzeyine bırakırken, bazı türler ovovivipardırlar (Jacobus et al., 2019). Yani yumurtalar dışarıya bırakılmadan dişi bireyin vücudunda gelişimini tamamlar. Gelişimleri tamamlanan nimfler yumurtadan çıkarak dişi bireyin vücudunu terk eder.

Sıcak bölgelerde yaşayan türler univolitine (yılda tek döl veren) olabilmekteyken, diğerleri multivolitine (yılda birden çok döl veren) türlerdir (Jacobus et al., 2019).

Hemimetabol (yarı başkalaşım) görülen Ephemeroptera takımının yaşamında ergin öncesi evreleri baskındır. Yumurta ve nimf evreleri sucul olup, bu yaşam evreleri tamamen suyun altında geçer. Birkaç instar evresi görülmektedir. Instarların sayısı bireylerin besin kaynaklarına ulaşmalarına ve

içinde buldukları sucul habitatın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (Sweeney and Vannote, 1978; Cianciara, 1979). Bazı türlerde 10 ila 50 instar görüldüğü bildirilmektedir (Ruffieux et al., 1996). Az sayıda türün yaşam devirleri iki ya da üç yıl kadar sürmektedir (Jacobus et al., 2019).

Bu takımın nimflerini diğer sucul böcek takımlardan ayıran en önemli özellik üç adet terminal filamente sahip olmalarıdır. Bazılarında iki tane de olabilmektedir. Vücut uzunlukları terminal filamentler hariç 2-30 mm arasında değişmektedir. On adet abdominal segmente sahip olan nimflerin, en fazla bir ile yedi segmentinde eklemlerli solungaç çiftleri yer almaktadır (Jacobus et al., 2019). Bu solungaçların şekilleri türden türe değişken olabilmektedir. Bazılarında ince tabakalı (lamellate), bazılarında ise tüylü (plumose) tipte olabilmektedir. Bu solungaçlar gaz alış-verişinde kullanılan önemli yapılardır (Lancaster and Downes, 2013). Birçok nimf; herbivor (bitkilerle beslenenler) ya da detritivor (toprakla karışık ölü bitki ve hayvan artıklarından oluşan detritusla beslenenler) olmasına rağmen, karnivor (etçil beslenenleri) de vardır (Müller-Liebenau 1978; Gattoliat and Sartori 2000).

Bu takıma bağlı türlerin erginlerine özel olarak “imago”, ergin öncesi dönemlerine ise “subimago” da denilmektedir (Jacobus et al., 2019). Erginleri kısa aristate tipi antenlere sahiptir. Eşeyssel dimorfizm de görülmektedir. Erkeklerin birleşik gözleri dişilere nazaran daha geniştir. Yine ön bacaklar erkeklerde çiftleşme esnasında dişileri kavramak için daha uzundur. Erginlerin ağızları körelmiş olup, zaten kısa olan ömürlerinde beslenmezler. İki çift kanatları vardır. Genellikle küçülmüş olan arka kanatlar, bazı türlerde olmaya da bilmektedir. Kanatlar genellikle saydam görünümlüdür. Üçgenimsi şekle sahip olan ön kanatların üzerlerinde kırışık şekilli boyuna uzanan damarlanmalar bulunmaktadır. Ergin hale geçen nimfler suya yakın yerlerde sürüler halinde uçarak çiftleşirler. Bu sırada birçok avcı tarafından da tüketilmektedirler. Çok kısa bir süre yaşayabilen erginler karada (ya da havada) bir müddet bulduktan sonra çiftleşerek, yaşam döngülerini tamamlamaktadırlar (Lancaster ve Downes ,2013).

Bir günlük sineklerine ait bir türün gerçek görüntüleri aşağıdaki resimlerde sunulmuştur:





Şekil 6. Bir ephemeropter türü.

## 2.5. Hemiptera

Latince bir kelime olan “hemi”, Türkçe “yarım”; “pteron” ise “kanat” anlamına gelmektedir. Bu takıma, adına hemielitra da denilen ön kanatlarının taban kısmı sertleşmiş, uç kısmı ise zarımsı olduğu için bu isim verilmiştir (Lancaster and Downes, 2013). Bu takıma bağlı üç infraorder: Nepomorpha (sırtüstü yüzenler, su akrepleri, su kayıkçısı), Gerromorpha (su üstünde kayanlar, su ölçerler) ve Leptopodomorpha (kıyı böcekleri) üyeleri sucul, yarı sucul ya da kıyı sucul taksonlara sahiptir. Bunlara bazen sucul Heteroptera da denilmektedir. Nepomorpha’ya bağlı taksonların en az bir yaşam evresi gerçek suculdur; Gerromorpha’nın üyeleri yarı-sucul olup, sucul habitatların yüzeyinde yaşarlar. Leptodopomorpha’nın üyeleri ise suya bağımlı olup, bazen yarı-sucul olarakta sınıflandırılmaktadırlar (Polhemus and Polhemus, 2008).

Kozmopolit olan sucul/yarı sucul Hemiptera takımının üyeleri dünya genelinde Antarktika hariç bütün zoocoğrafik bölgelerde bulunmaktadır. Deniz seviyesinden rakımın 4700 metre olduğu yüksekliklere kadar birçok sucul habitatta yaşamaktadırlar. Dünya genelinde 23 familyaya bağlı, 343 cinse ait 4810 türü bilinmektedir (Polhemus and Polhemus, 2008).

Hemimetabol başkalaşım gösteren bu takımın nimfleri beş instar evresinden sonra ergin hale gelmektedirler. Omnivor olan Corixidae’ler hariç diğerleri sokucu-emici ağız tipine sahip olup, predatördürler. Esnek ve segmentli labium ile birlikte alt ve üst çeneleri iki çift delici stylet şekline dönüşmüştür. Avlarını toksin ve sindirim enzimleri içeren zehirleri ile kontrol altına aldıktan sonra, styletleri ile sindirilmiş sıvıları emmektedirler.

Ergin sucul Heteroptera türleri, oldukça çeşitli vücut büyüklüklerine sahiptirler. Bazı Corixidae: *Micronecta* spp. türleri bir milimetreden daha küçük boyutlara sahipken, Belostomatidae: *Lethocerus* spp. türleri ise 11

milimetreden daha büyük ölçülere sahiptirler (Polhemus and Polhemus, 2008).

Ergin sucul Heteroptera’larda ses çıkarma oldukça yaygındır. Gerridae, su üstünde kayanlar, su yüzeyinde oluşturdukları dalgalarla iletişim kurabilirken; Velidae’ler vücutlarındaki bazı parçaları birbirine sürtmek suretiyle ses çıkarabilmektedirler. Nepomorpha’ya bağlı birçok familyanın üyeleri ise su altında yine vücutlarındaki bazı parçaları birbirine sürtmek suretiyle ses çıkarabilmektedirler (Lancaster and Downes, 2013).

Sucul Nepomorpha’ların küçük nimfleri, Microneectinae ve Aphelocheiridae’lerin ise tüm evreleri suda çözülmüş oksijeni alabilmektedirler. Erginler ve büyük nimfler su yüzeyine çıkarak aldıkları hava baloncuklarını, fiziksel solungaçlarını, oksijen ihtiyaçları için kullanmaktadır. Bu fiziksel solungaçlar Corixidae’lerde kanatların altında tutulurken; Notonectidae’lerde ise kıllar tarafından tutulmaktadır. Nepomorpha’lar tamamen sucul olmalarına rağmen, özellikle erginlerin havadaki serbest oksijeni alabilme yetenekleri, onların uzun uçuşlarda ve su kenarlarına çıktıklarında yaşayabilmelerine olanak sağlamaktadır (Lancaster and Downes, 2013).

Sucul Heteroptera taksonlarının birçoğu sivrisinek ve diğer zararlı dipterlerin larvalarını yemekte dirler. Ayrıca bazı türler pirinç zararlılarının doğal düşmanlarıdır. Bu yüzden bazı zararlı böceklerle biyolojik mücadelede etkin olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptirler. Çeşitli familyalara bağlı türlerin su kirliliğine karşı toleransları da farklı olduğu için temiz su indikatörü olarak kullanılma potansiyelleri de bulunmaktadır (Jansson, 1977).

Corixidae familyasına ait bir türün gerçek görüntüsü aşağıdaki resimlerde sunulmuştur:



Şekil 7. Hemiptera: Corixidae

## 2.6. Lepidoptera

Latince bir kelime olan “lepidos”, Türkçe “pul”; “pteron” ise “kanat” anlamına gelmektedir (Lancaster and Downes, 2013). Türkçe kelebekler diye

adlandırdığımız bu takımın üyelerine pul kanatlılar da denilmektedir. Bu takım kelebek ve güveleri kapsamaktadır.

Günümüzde tanımlanmış 165000 lepidopter türü bulunmaktadır. Bunlar içerisinde sadece üç familyaya ait türler gerçek suculdur. Larvalarının tamamen su altında yaşadıklarına inanılmaktadır (Pabis, 2018). Özellikle Crambidae familyasına bağlı yaklaşık 800 kadar türün sucul oldukları belirtilmektedir (Mey and Speiel, 2008; 2010). Ayrıca Arctiidae ve Cosmopterigidae familyalarına bağlı az sayıda türün de sucul oldukları rapor edilmektedir (Rubinoff, 2008). Bazı lepidopter türlerinin larvaları sucul ve/veya bataklık bitkilerinin sap ve köklerinde bulunarak yarı-sucul olarak yaşamaktadırlar. Çok değişik tipte habitatlarda yaşayabilen lepidopter larvalarının bazıları nemli ya da ıslak yerlerde yaşamaktadırlar (Pabis, 2018). Bazı larvalar nemli topraklarda yaşarken (Grimaldi and Engle, 2005), bazıları et yiyen ibrik otlarının içerisinde (Scoble, 1995), Hawaii *Hyposmocoma* spp. (Cosmopterigidae) cinsine bağlı bazıları ise nehirlerin içerisinde yaşamaktadır. Ve nehir içerisindeki kaya yüzeylerinde yer alan alglerle beslenmektedirler (Rubinoff, 2008).

Holometabol başkalaşım gösteren lepidopterlerin yumurta, larva ve pupaları sucul olabilirken, erginleri karasaldır. *Acentria ephemerella* (Crambidae) gibi birkaç türün ergini ise istisnai olarak suculdur. Bazı lepidopterler yumurtalarını birikinti suların altına ya da yakınındaki bitkisel materyallerin üzerine bırakmaktadırlar. Bazıları ise nehirlerin içerisindeki taşların yüzeyine bırakmaktadırlar. Yumurtadan çıkan larvalar bu taşların üzerlerindeki liken, alg ve yosunları yemektirler (Lancaster and Downes, 2013).

Ergin lepidopterlerin büyük bir çoğunluğunda baş büyük birleşik gözlerle kaplıdır. Çok çeşitli formlarda olabilen antenler, sucul türlerde uzun ve incedir (Lancaster and Downes, 2013). Emici ağız tipine sahip lepidopterlerde maxilla uzamış hortum şeklini almıştır. Beslenme dışında başın altında saat zembereği gibi kıvrımlanarak kendi üzerine katlanmaktadır. Kanatlarının üzeri pullarla kaplıdır.

Larvaların oldukça kitinleşmiş olan başlarında, tipik göz halkası, kısa antenler ve sucul bitkileri yiyebilmelerini sağlayan güçlü, çiğneyici ağız parçaları yer almaktadır. Labiumda bulunan memeler, ipek üreten salgı bezlerinin kanallarını taşır. Çoğu türün göğsünde üç çift gerçek bacak bulunurken, bazılarının 3-6 ve 10. karın segmentlerinde ise yalancı bacaklar bulunabilmektedir. Bir larvanın gerçekten sucul olup-olmadığını anlamak için, çoğunlukla dallanmış olan filament solungaçlarının varlığına bakılır (Lancaster and Downes, 2013).

Birçok Crambidae larvası sucul bitki tohumlarının çoğalmasını önlemek için biyolojik mücadelede kullanılmaktadır (Lancaster and Downes, 2013).

## 2.7. Megaloptera

Latince bir kelime olan “megas”, Türkçe “büyük”; “pteron” ise “kanat” anlamına gelmektedir. Bu ismi büyük geniş kanatlı erginlerinden dolayı almaktadırlar (Lancaster and Downes, 2013). Öyle ki *Corydalus magnus* türünün ergin erkeklerinde kanat açıklığı 18 cm kadar olup (Contreras-Ramos, 1998), *Acanthacorydalis orientalis* türünün olgun larvaları dokuz cm boyundadırlar (Cao and Liu, 2013).

Kozmopolit olan Megaloptera takımının üyeleri dünya genelinde Antarktika hariç bütün zoocoğrafik bölgelerde bulunmaktadır. Varlık sahasına 230 milyon yıl önce çıktıkları tahmin edilmektedir. Bu takım günümüzde iki familyaya ayrılmaktadır: Corydalidae (AltFamilya: Corydalinae (dobsonflies) ve AltFamilya: Chauliodyinae (fishflies)) ve Sialidae (alderflies). Günümüzde yaşayan 397 tür ve alttürü bulunmaktadır (Rivera-Gasperin et al., 2019; Cover and Resh, 2008).

Holometabol başkalaşım görülen Megalopterlerin hepsinin yumurta, pupa ve erginleri karasal olup, sadece larvaları suculdur. Larvalar, türden türe tercihleri değişmekle birlikte, hemen hemen her çeşit sucul habitatlarda (lentik ya da lotik) yaşayabilmektedirler (Cover and Resh, 2008).

Megaloptera larvaları, aç gözlü avcılardır. Leşçil (çöpçü) olarak beslenenleri de bulunmaktadır. Su içerisinde yer alan diğer birçok böcek larvalarını, küçük kabukluları, solucanları, iribaşları ve küçük balıkları tüketmektedirler. Kanibalizm de görülmektedir (New and Theischinger, 1993; Contreras-Ramos, 1998). Bazı larvalar uzun süre taşların altında hareketsiz halde durarak avlarının kendilerine gelmesini beklerler (Hayashi and Nakane, 1989). Sialidae larvaları 10-20 mm boylarında ve küçüktürler. Hem lotik hem de lentik habitatlarda yaşamaktadırlar. Corydalidae larvaları ise 20-80 mm boylarında oldukça büyüktürler. Özellikle dağ akıntılarında, geniş nehirlerde, bataklık ve bol vejetasyonlu sulak alanlarda yaşamaktadırlar (Cover and Bogan, 2015). Larvaların dış görünüşleri türden türe değişmekle birlikte, koyu-kahveden siyaha, kırmızımsı renkten, sarımsı renge kadar olan çeşitli renklemeler göstermektedir. Başları sertleşmiş yapıda olan larvaların, güçlü alt çeneleri ve çiğneyici tip ağız parçaları bulunmaktadır. Kısa olan antenler dört ya da beş segmentlidir. Üzerinde çevrelerindeki değişimleri algılamaya yarayan sensörler, duyargaçlar bulunmaktadır. Ön göğüsleri (prothoraxları) oldukça sertleşmiş olmasına rağmen orta ve son göğüs segmentleri (meso- ve metathoraxları) daha az kitinleşmiştir. Ön bacakları orta ve arka bacaklarından daha kısadır. Bacaklarının uç kısmında birbiriyle

eşit uzunlukta olmayan bir çift tırnak bulunur. Sona doğru daralan ve on segmentli olan abdomen, uzamış, düzleşmiş, yumuşak ve kaslı bir yapıya sahiptir. Sialidae'lerin bir ile yedinci, Corydalidae'lerin ise bir ile sekizinci segmentlerinde birer çift yanıl filament ya da trakeal solungaç yer almaktadır. Yine bu filamentlerin üzerinde hem avlarını hem de düşmanlarını algılamaya yarayan duyurgaçlar bulunmaktadır. Larvaların havadaki serbest oksijeni alabilmek için, göğüste iki çift, karında sekiz çift olan stigmaları da bulunmaktadır. Chaulioidinae altfamilyasının üyelerinin sekizinci karın segmentinin üst kısmında, gaz alış-verişi için kullandıkları bir çift solunum tüpü bulunmaktadır. Sialidae üyelerinin onuncu karın segmentinde, üzeri sensörlere benzeyen uzun kıllarla kaplı, uzun konik yapılı bir orta filament bulunmaktadır. Corydalidae türlerinin son karın segmentinde ise her biri bir adet yanıl filament taşıyan, yüzeylere sıkıca tutunmasını sağlayan kanca benzeri tırnakları olan bir çift karın bacağı (prolegs) bulunmaktadır (Rivera-Gasperin et al., 2019). Birçok türün larvası ergin hale gelene kadar 10-12 instar geçirmektedir (Lancaster and Downes, 2013). Sialidae larvaları yaklaşık bir-iki yılda gelişimlerini tamamlarlar. Corydalidae larvaları ise iki ila beş yıl arasında gelişimlerini tamamlamaktadırlar (Cover and Bogan, 2015). Pupa dönemi için sudan çıkan larvalar, toprakta, yosunların arasında ya da taşların altında oyuklar açmaktadır (Mangan, 1994).

Megalopterlerin erginleri zayıf uçucudurlar. Ömürleri kısa olup, yaklaşık bir hafta kadardır. Birçoğu beslenmez ya da nektar gibi sıvı maddeleri tüketmektedirler. Açıkken oldukça geniş olan kanatları dinlenme esnasında abdomenin üstünü kaplayan sivri bir çatı gibidir. Başta oldukça gelişmiş birleşik gözler ve bir çift uzun ince anten bulunmaktadır. Bacaklar genellikle kısa, beş segmentli tarsinin ucunda bir çift tırnak bulunmaktadır (Lancaster and Downes, 2013).

Megaloptera larvaları temiz sularda yaşamalarına rağmen, bazı türler kirli suları ya da antropojenik (insan kaynaklı kirlenmeler) ötrifikasyonları da (su ekosistemlerinde çeşitli nedenlerle besin maddelerinin büyük oranda artması ile plankton ve alg varlığının aşırı şekilde çoğalması ve suların dışarıdan bakıldığında yeşil renkli görülmesi durumu) tolere edebilmektedirler. Bu böcekler birçok tatlı su ekosistemlerinde enerji çevriminin, madde dönüşümünün ve besin zincirinin önemli bir bileşeni olmaktadır (Contreras-Ramos, 1998; Contreras-Ramos et al., 2008). Yırtıcı ve hatta leş yiyici böcekler olmaları, bunlara, sucul komünitelerin dengelenmesi ve besin zinciri dinamiklerinin sağlanması noktasında önemli bir rol yüklemektedir (Cover et al., 2015). Tipik olarak diğer omurgasızların popülasyonlarını düzenlerken, kendileri de diğer omurgasızlar, balıklar ve bazı karasal omurgalılar için besin kaynağı ya da av olmaktadır (Contreras-Ramos, 2009).



Şekil 8. Megaloptera: ergin dişi (a) ve erkek (b) (Resim Jon Perry'ye aittir).

## 2.8. Neuroptera

Latince bir kelime olan “neuron”, Türkçe “sinir”; “pteron” ise “kanat” anlamına gelmektedir. Kanatlarındaki belirgin damarlanmalardan dolayı bu isim verilmiştir (Lancaster and Downes, 2013). Türkçe “sinir kanatlılar” olarak adlandırılmaktadırlar.

17 familyası bilinen Neuroptera takımının sadece iki familyasına (Nevrorthidae: 12 ve Sisyridae: 61) bağlı 73 türünün larvaları suculdur. Bunun yanı sıra Osmylidae familyasına bağlı 45 türün ise suya bağımlı oldukları tahmin edilmektedir (Cover and Resh, 2008). Nevrorthidae familyası Sisyridae familyasına bağlı iken ayrılmış ve ayrı bir familya haline getirilmiştir (Zwick, 1967). Sisyridae ve Osmylidae familyaları kozmopolit olduğu halde Nevrorthidae familyasının taksonlarının yayılışı Akdeniz, Japonya ve Avustralya ile sınırlıdır (Cover and Resh, 2008).

Holometabol başkalaşım görülen Neuropterlerin yumurta, pupa ve erginleri karasal olup, sadece larvaları suculdur (Cover and Resh, 2008). Yılda tek döl veren (univoltine) Sisyridae taksonları (Resh, 1976), yumurtalarını sucul bitkilerin üzerine küçük kümeler halinde bırakılmaktadırlar. Burada açılan yumurtalardan çıkan larvalar suya girer ve yüzerek kendilerine uygun birer konak ararlar. Buldukları konakların üzerinde üç instar geçirdikten sonra pupa evresine girmektedirler. (New, 1986). Sisyridae larvaları tatlı su süngerleri (Spongillidae), mikroskobik sucul omurgasız hayvanların bir şubesi olan, yosun hayvancıkları (Bryozoans)lar ve algerin öz sularını emerek beslenmektedirler (Steffan, 1967). Larvaların üst (maxilla) ve alt çeneleri (mandibulaları) farklılaşarak iki tüp haline dönüşmüştür. Bu şekilde besinlerini emerek almaktadırlar (Parfin and Gurney, 1956). Pupa evreleri de yine yumurtalarda olduğu gibi

sucul vejetasyonların üzerinde geçmektedir. Pupadan çıkan erginler suya yakın yerlerde çiftleşmektedirler (Resh, 1976).

Osmylidae larvaları nehir kenarları boyunca ıslak ve nemli olan taşların, yosun ve yaprakların altında buldukları için suya bağımlılar olarak kabul edilmektedirler (Ward, 1965; New, 1986). Beslenmek için arada bir suya girebilen larvalar etçildirler. Emici ağızlarındaki tükrük salgıları ile avlarını felç edip, vücut sıvılarını emmektedirler (Lancaster and Downes, 2013).



Şekil 9. Neuroptera: Sisyridae larvası (Resim György Kriska'ya aittir).

## 2.9. Odonata

Latince bir kelime olan “odous”, Türkçe “diş” anlamına gelmektedir. Dişli, tırtıklı alt çenelerinden dolayı bu takıma bu isim verilmiştir (Lancaster and Downes, 2013). Yerel olarak “yusufçuk, su bakireleri, helikopter böcekleri” olarak adlandırılan bu takımın üyeleri, sahip oldukları iri gözleri, uzun karınları, güçlü görünümlü kanatları, rengarenk dış görünüşleri ve erginlerinin hızlı ve manevralı uçuş yetenekleri ile diğer böceklerden kolaylıkla ayırt edilmektedirler.

Fosil kaynaklardan elde edilen bilgilere göre varlık sahasına yaklaşık 300 milyon yıl önce çıktıkları bildirilmektedir (Degabriele, 2013). Bu yönüyle dinazorlar kadar hatta daha eski canlılardır.

Bu takımın üyeleri; Anisoptera, Zygoptera ve Anisozygoptera olmak üzere üç alttakımda toplanmaktadır. Dünya genelinde yaygın olarak bulunan türler Anisoptera ve Zygoptera alttakımlarında yer almaktadırlar. Zygoptera türlerine üstten bakıldığında baş düz, gözler ayrık, kanat şekilleri ve damarlanmaları hem ön hem de arka kanatlarda aynıdır. Dinlenme esnasında kanatlar kapalı durmaktadır. Çoğunluğu küçük, ince ve zayıf uçucu türlerdir. Anisoptera da ise üstten bakıldığında baş yuvarlak, gözler bütün başı nerdeyse kaplamış ve birbirine değer şekilde olup, ön ve arka kanatlar birbirine benzememektedir. Dinlenme esnasında kanatlar açık şekilde durmaktadır. Zygopteralara göre daha iri görünümlü olup, çok daha hızlı



uçmaktadırlar. Japonya ve Doğu Himalaya’larda yaşayan iki türü içeren Anisozyoptera alttakımı ise yakın zamanda tanımlanmıştır. Morfolojik olarak diğer iki alttakımın bazı özelliklerini gösterdiği için bu adı almaktadır (Kalkman et al., 2008; Degabriele, 2013).

Odonatlar kozmopolit türlerdir. Dünya genelinde, Antarktika hariç bütün zoocoğrafik bölgelere yayılmış, her türlü sucul habitata uyum sağlamış yaklaşık 5680 türü tespit edilmiştir (Kalkman et al., 2008). Birkaç türün nimflerinin tuzlu sularda da yaşayabildikleri bildirilmektedir (Corbets, 1999; Degabriele, 2013). Bir habitattaki odonatların çeşitliliği yerel ölçekte sucul ya da kıyıda yetişen bitkilerle alakalıdır. Geniş ölçekte ise iklim belirleyici olmaktadır (Kalkman et al., 2008; Keil et al., 2008). Odonatların hem sucul hem de karasal habitatlar için iyi bir biyolojik indikatör oldukları bildirilmektedir (Sahlen and Ekestubbe, 2001; Foote and Hornung, 2005).

Kısa ve kıl şeklindeki antenleri, adına “ommatidyum” denilen binlerce gözün birleşiminden oluşan iki parçalı saydam bir zar ile kaplı birleşik gözleri, çiğneyici-parçalayıcı olan ağız yapıları, yoğun damarlı ve güçlü iki çift kanadı, ince uzamış aerodinamik vücutları, çok segmentli ayak bilekleri ve ucunda pençe şeklinde tırnakları olan, üzerinde çok sayıda diken ve kıl bulunan, yürümekten ziyade avını yakalamak için özelleşmiş ince zayıf görünümlü bacaklara sahip olmaları odonatların tam birer avcı olarak yaratıldıklarının göstergesidir (Degabriele, 2013).

Hemimetabol başkalaşım gösteren odonatların hem nimf hem de erginleri predatördürler. Bu takımın nimflerine özel olarak “naiad” da denilmektedir. Su içerisindeki diğer omurgasızlar (tek hücreli ökaryotik canlılar olan protistaları, küçük kabuklulardan Daphnia/su pirelerini) ve böceklerin larva ya da nimfleri ile beslenen odonatlar, küçük balık ve iribaşları da avlamaktadırlar. Özellikle nimflerin sivrisinek larvalarını yemeleri sivrisinek popülasyonunun kontrol altına alınmasında önemli yararlar sağlamaktadır. Yine avcı olan erginler de diğer böcekleri ve örümcekleri avlayarak onlarla beslenmektedirler. Odonatların hem nimf hem de ergin dönemlerinde “kanibalizm” denilen hem cinslerini yeme ya da yamyamlık görülmektedir (Kalkman et al., 2008; Degabriele, 2013). Nimfler 10-15 deri değiştirmeden sonra ergin hale gelirler. Gelişimlerini bir-iki ayda tamamlayan türlerin yanı sıra üç yıl kadar olanları da bulunmaktadır (Lancaster and Downes, 2013).

Odonatlar beslenmek için birçok canlıyı avlarken, kendileri de diğer canlılara av olabilmektedirler. Erginleri kuşlara, balıklara, kurbağalara, bukalemunlara, yarasalara ve diğer eklembacaklılara (örümcekler, eşekarıları, peygamber develeri ve diğer odonatlar gibi) yem olabilmektedirler (Askew, 2004; Corbet and Brooks, 2008; Degabriele, 2013). Ayrıca birçok parazit türüne ev sahipliği de yapmaktadırlar. Artropodların bağırsak parazitleri



olarak bilinen ‘‘Gregarine protozoan parazitleri’’ nimflerin orta bağırsak epiteline zarar vererek, bakteriyel enfeksiyonlara sebep olabilmektedirler (Askew, 2004; Corbet and Brooks, 2008). Hymenoptera takımına bağılı bazı parazitik gruplar (Chalchidoidea ve Sceliinidea), odonat yumurtalarının içerisinde parazit olarak yaşayabilmektedirler (Corbet ve Brooks 2008). Bazı Diptera: Cecidomyiidae ve Drosophiliidae türleri odonat yumurtalarıyla beslenmektedir (d’Aguilar et al., 1986). Bazı yassı solucanlara (Platyhelminthes: Trematoda ve Cestoda) ara konak olabilmektedirler. Bu solucanlarla enfekte olmuş bir nimf ya da ergin odonatı avlayan başka bir avcı hayvan bu solucanlara birincil konak haline gelebilmektedir (Askew, 2004; Corbet and Brooks, 2008).

Bazı sucul (Corbet, 1999) ve karasal akar türleri (Turk, 1945; Southcott, 1966, 1999; Haitlinger, 1987; Zheng, 1996; Grant and Samways, 2007) ergin odonatlar üzerinde ektoparazit olarak bulunmaktadır. Odonat nimfleri üzerinde foretik olarak bulunan sucul akar larvaları, ergin hale geçmeye başlayan nimflerin son instar evresinde göğüs ve abdomene yerleşirler. Burada konukçunun vücut sıvılarını emerek parazitik yaşamlarına başlamaktadırlar (Corbet, 1999). Karasal akar larvaları ise bitkiler üzerine konan odonatların erginlerini aktif olarak bulup, üzerlerine yerleşmektedirler (Lorenzo-Carballa et al., 2011).

Bir Odonata türüne ait gerçek görüntü aşağıdaki resimde sunulmuştur:



Şekil 10. Bir odonat türü.

## 2.10. Plecoptera

Latince bir kelime olan ‘‘plektos’’, Türkçe ‘‘örgülü, şeritli’’; ‘‘pteron’’ ise ‘‘kanat’’ anlamına gelmektedir. Kanatlarının belirgin damarlanma özellikleri sebebiyle bu latince kelimeler kullanılarak adlandırılmışlardır (Lancaster and Downes, 2013). Türkçe ‘‘taş sinekleri’’ olarak bilinmektedirler.

Dünya genelinde 17 familyaya bağılı yaklaşık 3900 türü bilinmektedir (Newman et al., 2021). Kozmopolit türler olup, dünya genelinde Antarktika hariç bütün zoocoğrafik bölgelere yayılmışlardır (Fochetti and De Figueroa,

2006). Plecoptera türleri, içerisinde yaşadıkları sucul habitatlarda meydana gelebilecek değişiklik ve kirlenmelere karşı hassas oldukları için temiz su indikatörü olarak kullanılmaktadırlar (South et al., 2021; Newman et al., 2021).

Hemimetabol başkalaşım gösteren bu takımın nimflerinin büyük bir çoğunluğu, soğuk ve oksijence zengin akarsularda yaşamaktadırlar. Yüksek rakımlı göllerde de bazı nimfler yaşayabilmektedir. Bunun yanı sıra yarı-Antarktik bölgelerde yaşayan karasal nimflerde bulunmaktadır (Fochetti and De Figueroa, 2006). Erginleri karasal türler olmasına rağmen, kanatsız türlerinden biri olan *Capnia lacustra* 'nın erginlerinin sucul olduğu ve Amerika'daki Tahoe Gölü'nün 60-80 metre derinliklerinden toplandığı belirtilmektedir (Jewett, 1963). Sadece Perlidae familyasındaki türlerin tropikal bölgelere adapte olduğu bilinmektedir. Geriye kalan türlerin hemen hepsi ılıman ya da soğuk dağ akıntılarını yaşam alanı olarak tercih etmektedirler. Bu ekolojik gereksinimleri, nimflerin dağılım kapasitelerini büyük ölçüde sınırlandırmaktadır. Ayrıca zayıf uçuş yeteneğine sahip yetişkinler çok aktif değildirler. Bundan dolayı taş sinekleri sınırlı alanlarda yüksek endemizm göstermektedirler. Geniş dağılım gösteren türler yaygın değildir (Fochetti and De Figueroa, 2006).

Yetişkinler, birkaç gün veya hafta süren üreme evresi sırasında, çıkış bölgelerine yakın bitki örtüsü veya taşların üstünde veya altında dinlenirler. Yaşam döngüleri univoltin (yani yılda tek döl) şeklinde olup, bazı taksonların yumurta veya nimf evrelerinde diyapoz görülmektedir (DeWalt et al., 2015).

Ergin taş sineklerinin vücutları üstten-alttan basık bir şekilde görünmektedir. Geniş olan başta, bir çift uzun anten, iyi gelişmiş birleşik gözler ile üç nokta göz yer almaktadır. Prothorax geniştir. Genellikle abdomeni örten uzun iki çift zarımsı kanat olmasına rağmen, kısa kanatlı ya da kanatsız olan erginleri de vardır. Nimfler kanatsız erginlere benzemektedirler. Güçlü ağız parçaları ve iyi gelişmiş ayakları vardır. Gaz alış-verişi için, türden türe değişmekle birlikte, vücudun çeşitli yerlerinde trakeal solungaçlar bulunmaktadır. Abdomenin ucunda uzun çok segmentli cerci yer almaktadır (Lancaster and Downes, 2013).

Taş sinekleri birçok omurgalı ve omurgasız hayvan türünün besin kaynağı olması nedeniyle hem sucul hem de karasal ekosistemlerde besin zincirinin önemli bir elemanıdır (South et al., 2021). Hem nimf hem de erginleri birçok balık ve amfibiler tarafından yenilmektedirler. Erginleri kuşlar ve alacakaranlıkta beslenen yarasalar için değerli ve bereketli bir besin kaynağı olmaktadır. Sivri fareler ve rakunlar gibi memeliler tarafından da hem nimf ve hem de erginleri tüketilmektedirler (Abdul Hamid and Rawi, 2013).



Şekil 11. Bir Plecoptera nimfi (Resim Stroud Water Research Center'a aittir).

## 2.11. Tricoptera

Latince bir kelime olan “tricho”, Türkçe “saç, kıl”; “pteron” “kanat” anlamına gelmektedir (Lancaster and Downes, 2013; Sivaramakrishnan et al., 2018). Vücutlarının ve kanatlarının yüzeyi uzun, ipeksi kıllarla kaplı olduğu için bu isim verilmiştir. Kelebek ve güvelerden de bu yönleri ile ayırt edilmektedirler (Lancaster and Downes, 2013; Sivaramakrishnan et al., 2018; Morse et al., 2019).

Dünya genelinde 16000'den fazla türü bilinmektedir (Morse et al., 2019; Genco et al., 2020). Kozmopolit türler olup, dünya genelinde Antarktika hariç bütün zoocoğrafik bölgelere yayılmışlardır. Tam başkalaşım görülen bu takımın üyelerinin çoğu yılda bir döl vermektedir. Ovipardırlar. İç döllenme ve dış gelişim görülür. Dişiler genellikle, 30 ile 1000 arasında değişen sayıda yumurta üretmektedirler. Bu yumurtaları çimento benzeri bir matrisle kaplayarak veya yumurtaları avcılardan korumaya yardımcı olan "spumalin" adı verilen yapışkan bir polisakarid ile kapladıktan sonra suyun içerisine ya da yüzeyine yakın bir yere bırakırlar. Birkaç gün ya da hafta içerisinde açılan yumurtalardan larvalar çıkmaya başlar. Genellikle beş instardan sonra pupa evresi görülmektedir (Morse et al., 2019).

Tricoptera larvaları etraflarına ördükleri kalkan/kılıf yetenekleri ile bilinmektedirler (Lancaster and Downes, 2013). Wiggins, 2004 tarafından su altının mimarları olarak tanımlanmaktadırlar. Bu kılıfları kendi salgıladıkları ipek ile yapabildikleri gibi su içerisinden topladıkları çeşitli kum taneleri, dal ve yaprak parçaları ile de yapabilmektedirler. Tüm taksonlar ipek üretebilme yeteneğine sahip oldukları halde bazı türlerin larvaları kılıf örmemekte ve serbest yaşamaktadırlar. Sertleşmiş ve kitinleşmiş başlarında kısa bir çift anten ve güçlü ağız parçaları yer almaktadır. Geniş bir beslenme çeşitliliğine sahip olan larvaların, hem cinsleri üzerinde parazitik olanları da bulunmaktadır. Göğüslerinde (thoraks) bacakları vardır. Bunun yanı sıra, son karın (abdomen) segmentlerinde her biri birer kavisli tırnağa sahip olan bir çift bacak bulunmaktadır. Adına “prolegs” de denilen bu bacakların

yardımıyla etraflarına ördükleri kılıflarını kavrayıp, hareket ettirebilmektedirler. Su içerisinde gaz alış-verişlerini göğüs ve/veya karınlarında yer alan solungaçları ile yapmaktadırlar. Yumurta ve pupa evrelerinde diyapoz görülmektedir (Sivaramakrishnan et al., 2018). Birkaç hafta süren pupa dönemini etraflarına ördükleri kılıfların içerisinde geçirmektedirler (Morse et al., 2019).

Yumurta, larva ve pupaları sucul olan tricopterlerin bazı türleri kıyıya yakın olan nemli yerlerde yaşamaktadırlar. Erginleri ise karasaldır. Uçarak kıyıda yaşayan bitkilerin dal ve yapraklarının üzerine konarlar. Antenler oldukça uzun, genellikle küçük olan birleşik gözler, bazı türlerin erkeklerinde büyük olabilmektedir (Lancester and Downes, 2013). Larval dönemde güçlü olan ağız parçaları, erginde körelmiştir. Fakat iyi gelişmiş olan hypopharynx bazı türlerde sıvı besinleri (nektar gibi) emebilecek hale dönüşmüştür (Lancester and Downes, 2013; Morse et al., 2019). Bacaklar uzun ve dikenlerle kaplıdır. İki çift zarımsı kanatların üzeri ipeksi kıllarla kaplıdır. Uçma yeteneği türden türe değişmektedir (Lancester and Downes, 2013). Gündüzleri çok görülmeyen erginler, daha çok geceleri aktiftirler. Dişi ve erkekler birbirlerini görerek, kokuyla ya da sert yüzeylerdeki titreşimleri ile bulabilmektedirler. Bazı familyalara bağlı taksonların hem erkek hem de dişilerinde abdomenin alt ucunda, çiftleşme zamanlarının yaklaştığını belli etmek için buldukları yüzeye vurarak ses çıkarmaya yarayan “tokmak” bulunmaktadır. Birçok türün hem erkek hem de dişisi feromon üretebilmektedir. Çiftleşmek için salgıladıkları bu feromonları antenlerinde bulunan sensörleri ile algılamaktadırlar (Morse et al., 2019).



Şekil 12. Bir Trichoptera larvası (Resim Lothar Lenz'e aittir.

Larvanın videosunu linkten izleyebilirsiniz: <https://www.youtube.com/watch?v=yIVHU6OrbDE>.

## 2.12. Diğer takımlar

Yukarıda belirtilen 11 takımın dışında: Orthoptera (Çekirgeler); Blattodea (Hamam Böcekleri) ve Hymenoptera (Zar kanatlılar: karınca ve arılar) takımlarına ait bazı türlerin de sucul oldukları belirtilmektedir (Nair et al., 2015).

## 3. Tartışma ve Sonuç

Sucul böceklerle ilgili Türkçe kaynak yeteri kadar bulunmamaktadır. Bu çalışmada, sucul böcekleri ve literatüre bağlı olarak onlara ait bilinen tüm verileri, yine bu konuda uzun yıllardır uzman olan yazarın kendi arazi deneyimleri ve gözlemlerini de ekleyerek sunması amaçlanmıştır.

Sucul böcekler sucul ekosistemlerin besin zincirinin önemli birer basamağını oluşturmaktadırlar. Birçok sucul böcek, balıklara, amfibilere, kuşlara, yarasalara ve örümceklere besin kaynağı olmaktadır. Bu sayede besin piramidinin önemli bir basamağını da teşkil etmektedirler.

Bazı sucul böcekler su içerisindeki ve/veya su kenarlarındaki detritus denilen organik atıkları (bitki ve hayvan kalıntılarını) tüketmek suretiyle çürükçül beslenmektedirler. Bu sayede toprağın organik maddelerce zengin hale gelmesini ve humus oluşumunu sağlamaktadırlar. Ekolojik olarak madde döngülerinin önemli birer ayağını oluşturmaktadırlar. Bu anlamda çevreye çok büyük faydaları olan sucul böceklerin avcı ve parazit olan türleri de bulunmaktadır.

Bazı takımlarda yer alan ve parazitik yaşayan sucul böcek türleri doğrudan ve dolaylı olarak insan ya da diğer omurgalılar üzerinde zararlı etkiler yapabilmektedirler.

Sucul böceklerin birçoğu ergin öncesi dönemlerinde çeşitli parazitler için konak olabilmektedirler. Çok sayıda parazit nematod türü, Ephemeroptera, Plecoptera, Diptera, Trichoptera ve Odonata gibi sucul böcek larva ya da nimflerini ara konak olarak kullanılmaktadırlar (Jilek and Crites, 1981; Moravec and Skorikova, 1998; Saraiva et al., 2002).

Tarımsal alanlarda zarara neden olan sucul böcek türleri de bulunmaktadır.

Dünyanın çeşitli bölgelerinde, doğrudan ya da dolaylı, insan besin kaynağı olarak tüketilen birçok sucul böcek türü bulunmaktadır. Son dönemlerde böceklerin çiftlik hayvanlarının besin tedarikinde ucuz protein kaynağı olarak kullanılabilmesine dair çeşitli yaklaşımlar ve çalışmalar da olduğu bildirilmektedir (Taşar ve Canlı Taşar, 2022).

Çin’de 14 takıma bağlı onlarca böcek türünün çok eski yıllardan beri tıbbi amaçlı olarak kullanıldığı belirtilmektedir. Bunların arasında sucul böceklerin olduğu da bildirilmektedir. Böceklerin erginlerinin yanı sıra yumurtaları, larva ve pupalarının da tıbbi amaçlı olarak kullanıldığı kaydedilmektedir (Feng et al., 2009).

Plecoptera, Ephemeroptera ve Trichoptera (PET) takımlarına ait türler, sucul habitatlarda meydana gelebilecek kirlenmelere karşı çok hassas olan üç takımdır (South et al., 2021). Bundan dolayı bu türler yaşadıkları sucul habitatlar için temiz su indikatörü olarak kullanılabilirler.

Bazı insan faaliyetleri sonucu sucul böceklerin yaşam alanlarını oluşturan sucul habitatlar kirlenmektedir. Bilinçsizce ve gereğinden fazla kullanılan zirai ilaçlar toprak ile birlikte sucul habitatları da kirletmektedir. Ayrıca dere ve nehirlere doğrudan verilen kimyasallar ve zehirli fabrika atıkları, buralarda yaşayan sucul böceklerin yaşamını olumsuz etkilemektedir.

Bilinçsiz ve gereğinden fazla kullanılan böcek öldürücü ilaçlar (insektisitler), bazı parazitik sucul böceklerin direnç kazanmalarına da sebep olmaktadır. Bazı sivrisinek türlerinin bu nedenle direnç kazandıklarına dair çalışmalar bulunmaktadır (Yavaşoğlu et al., 2019).

Birçok sucul böcek türünün ergini, kanatlı olduğu için olumsuz çevre veya hava koşullarında yaşadıkları habitatları terk ederek yeni sucul habitatları arama ve bulma kabiliyetine sahiptirler. Hatta bu esnada sucul habitatlarda yaşayan su akarları gibi diğer bazı canlıları da foretik olarak bir yerden bir yere taşımaktadırlar. Aşağıdaki resimde; *Enochrus quadripunctatus* (Coleoptera: Hydrophilidae) türünün elitralarının altına yerleşmiş ve onunla beraber göç eden su akarları belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. Su akarları ile parazitlenmiş bir *Enochrus quadripunctatus*.

#### 4. Teşekkür

Kendilerine ait resimleri bu çalışmamda kullanmam için müsaade eden; Stroud Water Research Center, Lothar Lenz, György Kriska, Linda ve Jon Perry'e teşekkürler.

#### 5. Kaynaklar

- Abdul Hamid, S., and Rawi, C. S. M. (2013). Stoneflies (Insecta: Plecoptera) in Malaysian tropical rivers: Diversity and seasonality. *Int. Journal of Nematology and Entomology*, 1(5): 83-88.
- Adler, P. H., and Courtney, G. W. (2019). Ecological and Societal Services of Aquatic Diptera. *Insects*, 10, 70, 1-23.
- Askew, R. R. (2004). *Dragonflies of Europe*. 2nd revised edition. Essex, Harley books Ltd., 363 pp.
- Barber-James, H. M., Gattolliat, J. L., Sartori M., and Hubbard M. (2008). Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 339-350.
- Berner, L. (1954). The occurrence of mayfly nymphs in Brackish water. *Ecology*, 35, 98.
- Beutel, R. G., Pohl, H., Yan, E. V., Anton, E., Liu, S.-P., and Slipinski, S. A. (2019). The phylogeny of Coleoptera (Hexapoda) morphological characters and molecular phylogenies. *Systematic Entomology*, 74, 75-102.
- Bilton, D. T., Ribera, I., Short, A. E. Z. (2019). Water beetles as models in ecology and evolution. *Annual Review of Entomology*, 64(1):359-377.
- Blomquist, G. J., and Bagnères, A-G. (2010). *Insect Hydrocarbons: Biology, Biochemistry and Chemical Ecology*. Cambridge University Press. 10.1017/CBO9780511711909.
- Botella-Cruz, M., Pallares, S., Millan, A., and Velasco, J. (2019). Role of cuticle hydrocarbons composition in the salinity tolerance of aquatic beetles. *Journal of Insect Physiology*, 117: 103899.
- Bradley, T. J. (2009). *Animal osmoregulation*. Oxford University Press, UK.
- Cao, C., and Liu, X. (2013). Description of the final-instar larva and pupa of *Acanthacorydalis orientalis* (McLachlan, 1899) (Megaloptera: Corydalidae) with some life history notes. *Zootaxa*, 3691, 145-152.

- Cassagnau, P. (1972). Un Collembole adapte ala predation: *Cephalotoma grandiceps* (Reuter). Nouvelle Revue d'Entomologie, 2, 5-12.
- Cianciara, S. (1979). Life cycles of *Cloeon dipterum* (L.) in natural environment. Polskie Archiwum Hydrobiologii, 26, 501-513.
- Collins, N. (1980). Population ecology of *Ephydra cinerea* Jones (Diptera: Ephydriidae), the only benthic metazoan of the Great Salt Lake, U.S.A. Hydrobiologia, 68, 99-112.
- Contreras-Ramos, A. (1998). Systematics of the Dobsonfly Genus *Corydalus* (Megaloptera: Corydalidae). Thomas Say Publications in Entomology: Monographs; Entomological Society of America: Annapolis, MD, USA, p. 360. ISBN 0-938522-70-1.
- Contreras-Ramos, A., Richard, W., Merritt, Kenneth, W. Cummins Martin B. Berg (eds.). (2008). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, 1158 p. + CD con clave interactive [book review]. Rev. Mex. Biodivers. 2010, 81, 593-595.
- Contreras-Ramos, A. (2009). Megaloptera. In Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos-Sistemática y Biología; Domínguez, E., Fernández, H.R., Eds.; Fundación Miguel Lillo: Tucumán, Argentina, pp. 233–245, ISBN 978-950-668-015-2.
- Corbet, P. S. (1999). Dragonflies Behaviour and Ecology of Odonata. Harley Books, Essex, England.
- Corbet, P., and Brooks S. (2008). Dragonflies: A new Naturalist Library. Harper Collins Publishers, London. 454pp.
- Cover, M. R., and Resh, V. H. (2008). Global diversity of dobsonflies, fishflies, and alderflies (Megaloptera; Insecta) and spongillafly, nevrorthids, and osmylids (Neuroptera; Insecta) in freshwater. Hydrobiologia. 595: 409-417.
- Cover, M. R., Seo, J. H., and Resh, V. H. (2015). Life history, burrowing behavior, and distribution of *Neohermes filicornis* (Megaloptera: Corydalidae), a long-lived aquatic insect in intermittent streams. West. N. Am. Nat. 75, 474-490.
- Cover, M. R., and Bogan, M. T. (2015). Minor Insect Orders. In Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology, 4th ed.; Thorp, J.H., Rogers, D.C., Eds.; Elsevier: London, UK, Volume 1, pp. 1059–1072.



- D'Aguilar, J., Dommaget, J-L., and Prechac, R. (1985). A field guide to the Dragonflies of Britain, Northern Europe, and North Africa. London William Collins Sons and Company Ltd. 336 pp.
- Degabriele, G. (2013). An overview of the dragonflies and damselflies of the Maltese Islands (Central Mediterranean) (Odonata). Bulletin of the Entomological Society of Malta, 6: 5-127.
- Demirsoy, A. (2003). Yaşamın Temel Kuralları, Cilt:II / Kısım:II – Omurgasızlar / Böcekler: Entomoloji. Meteksan, Ankara, 960 sayfa.
- DeWalt, R.E., Kondratieff, B.C., and Sandberg, J.B. (2015). Order Plecoptera. Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Vol. 1 (ed. by J.H. Thorp and D.C. Rogers), pp. 933-949. Academic Press/Elsevier, Amsterdam.
- Feng, Y., Zhao, M., He, Z., Chen, Z., and Sun, L. (2009). Research and utilization of medicinal insects in China. Entomological Research, 39: 313-316.
- Fochetti, R., and De Figueroa, J. M. T. (2006). Notes on diversity and conservation of the European fauna of Plecoptera (Insecta). Journal of Natural History, 40(41-43): 2361-2369.
- Forbes, A. A., Bagley, R. K., Beer, M. C., Hippee, A. C., and Widmayer, H. A. (2018). Quantifying the unquantifiable: why Hymenoptera, not Coleoptera, is the most speciose animal order. BMC Ecology, 18, 21.
- Foote, A. L., and Hornung, C. L. R. (2005). Odonates as biological indicators of grazing effects on Canadian prairie wetlands. Ecol. Entomol., 30: 273-283.
- Funk, D.H., Sweeney, B.W., and Jackson, J.K. (2010). Why stream mayflies can reproduce without males but remain bisexual: A case of lost genetic variation. J. N. Am. Benthol. Soc., 29, 1258-1266.
- Gatolliat, J. L., and Sartori, M. (2000). *Guloptiloides*: an extraordinary new carnivorous genus of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera). Aquatic Insects 22(2): 148-159.
- Gatolliat J. L., Vuataz, L., and Sartori, M. (2012). First contribution to the mayflies of Jordan. Zoology in the Middle East, 56: 91-110.
- Genco, M. S., Morse, J. C., Caterino, M. S., Murray-Stoker, K. M., and Pham, T. H. (2020). Larvae and adults of Vietnamese species of *Drepanocentron* and *Hydromanicus* (Trichoptera: Xiphocentronidae, Hydropsychidae). Zoosymposia 18: 72-92.

- Ghiradella, H., and Radigan, W. (1974). Collembolan cuticle: wax and antiwetting properties. *Journal of Insect Physiology*, 20, 301-6.
- Grant, P. B. C., and Samways, M. J. (2007). Ectoparasitic mites infest common and widespread but not rare and redlisted dragonfly species. *Odonatologica*, 36:255-262.
- Grimaldi, D., and Engle, M. S. (2005). *Evolution of the Insects*. New York: Cambridge University Press.
- Haitlinger, R. (1987). Larval Erythraeidae (Acari, Prostigmata) from Madagascar. *Polskie Pismo Entomologiczne*, 57:701-723.
- Hayashi, F., and Nakane, M. (1989). Radio tracking and activity monitoring of the dobsonfly larva, *Protohermes grandis* (Megaloptera: Corydalidae). *Oecologia* 78: 468-472.
- Hickey, C. W., and Clements, W. H. (1998). Effects of heavy metals on benthic macroinvertebrate communities in New Zealand streams. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17: 2338-2346.
- Hinton, H. E. (1981). *Biology of Insect Eggs*. Pergamon Press. ISBN: 0080215394 9780080215396. 1125pp.
- Hopkin, S. P., (1997). *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press, 1997.
- Hubbard, M. D., and Peters., W. L. (1978). Environmental requirements and pollution tolerance of Ephemeroptera. EPA 600-4-78-061 U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, VI.
- Huang, D., and Cheng, L. (2011). The flightless marine midge *Pontomyia* (Diptera: Chironomidae): Ecology, distribution, and molecular phylogeny. *Zool. J. Linn. Soc.*, 162, 443-456.
- Huang, D., Cranston, P. S., and Cheng, L. (2014). A complete species phylogeny of the marine midge *Pontomyia* (Diptera: Chironomidae) reveals a cosmopolitan species and a new synonym. *Invertebr. Syst.*, 28, 277-286.
- Ivkovic, M., Doric, V., Baranov, V., Mihaljevic, Z., Kolcsar, L-P., Kvitte, G. M., Nerudova, J., and Pont, A. C. (2020). Checklist of Aquatic Diptera (Insecta) of Plitvice Lakes Natinal Park, Croatia, a Unesco World Heritage Site. *Zookeys*, 918: 99-142.
- Jacobus, L. M., Macadam, C. R., and Sartori, M. (2019). Mayflies (Ephemeroptera) and Their Contributions to Ecosystem Services. *Insects* 2019-10-170.

- Jansson, A. (1977). Micronectae (Heteroptera, Corixidae) as indicators of water quality in two lakes in southern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 14: 118-124.
- Jäch, M. A. (1998). Annotated check list of aquatic and riparian/littoral beetle families of the world (Coleoptera). M.A. JACH & L. Ji (eds.): *Water Beetles of China Vol. II* 25-42.
- Jilek, R., and Crites, J. L. (1981). Observations on the lack of specificity of *Spinitectus carolini* and *Spinitectus gracilis* (Spirurida: Nematoda) for their intermediate hosts. *Can. J. Zool.* 59, 476-477.
- Kalkman, V. J., Clausnitzer, V., Dijkstra, K. D. B., Orrr, A. G., Paulson, D. R., and Tol, J. V. (2008). Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 351-363.
- Keil, P., Simova, I., and Hawkins, B. (2008). Water-energy and the geographical species richness pattern of European and North African dragonflies (Odonata). *Insect Conserv. Divers.*, 1: 142-150.
- Kerans, B. L., and Karr, J. R. (1994). A benthic index of biotic integrity (B-ibi) for rivers of the Tennessee valley. *Ecological Applications* 4: 768-785.
- Lancaster, J., and Downes, B. J. (2013). *Aquatic Entomology*. Oxford University Press. 275pp.
- Lenat, D. R. (1988). Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 222-233.
- Lorenzo-Carballa, M. O., Beatty, C. D., Haitlinger, R., Valdecasas, A. G., Utzeri, C., Vieria, V., and Cordero-Rivera, A. (2011). Larval aquatic and terrestrial mites infestig parthenogenetic *Ischnura hastata* (Odonata: Coenagrionidae) from the Azores Islands. *Exp. Appl. Acarol.* 54: 225-241.
- Mangan, P. B. (1994). Pupation Ecology of the Dobsonfly *Corydalus cornutus* (Corydalidae: Megaloptera) along a Large River. *Journal of Freshwater Ecology.* 9(1): 57-62.
- Menetrey N., Oertli, B., Sartori, M., Wagner, A., and Lachavanne, J. B. (2008). Eutrophication: are mayflies (Ephemeroptera) good bioindicators for ponds? *Hydrobiologia*, 597: 125-135.
- Metcalfe, J. L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environmental Pollution* 60: 101-139.

- Mey, W., and Speidel, W. (2008). Global diversity of butterflies (Lepidoptera) in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 521-528.
- Mey, W., and Speidel, W. (2010). *Malicyella* gen. nov. a new moth genus in the family Crambidae (Lepidoptera, Pyraloidea) from South-East Asia. *Denisia* 29, 215-222.
- Moog, O., Bauernfeind, E., and Weichselbaumer, P. (1997). The use of Ephemeroptera as saprobic indicators in Austria. In Landolt, P. & M. Sartori Fribourg, (eds), *Ephemeroptera & Plecoptera. Biology-Ecology-Systematics*, Mauron, Tinguely & Lachat SA, 254-260.
- Moravec, F., and Skorikova, B. (1998). Amphibians and larvae of aquatic insects as new paratenic hosts of *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea), a swimbladder parasite of eels. *Dis. Aquat. Org.* 34, 217-222.
- Morse, J. C. (2009). *Insect Biodiversity* edited by Robert G. Footitt and Peter H. Adler., Chapter 8: Biodiversity of Aquatic Insects. 165pp. ISBN: 9781405151429.
- Morse, J. C., Frandsen, P. B., Graf, W., and Thomas, J. A. (2019). Diversity and ecosystem services of Tricoptera. *Insects*. 10: 125.
- Müller-Liebenau I. (1978). *Raptobaetopus*, eine neue carnivore Ephemeroptern-Gattung aus Malaysia (Insecta, Ephemeroptera: Baetidae). *Archiv für Hydrobiologie* 82(1-4): 465-481.
- Nair, G. A., Morse, J. C., and Marshall S. A. (2015). Aquatic insects and their societal benefits and risks. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(3): 171-177.
- New, T. R. (1986). A review of the biology of Neuroptera Planipennia. *Neuroptera International*, Supplemental Series. 1: 1-57.
- New, T. R., and Theischinger, G. (1993). Megaloptera (Alderflies, Dobsonflies) *Handbuch der Zoologie*; Walter de Gruyter: Berlin, Germany, Volume 4, p. 102.
- Newman, E. A., DeWalt, R. E., and Grubbs, S. A. (2021). Plecoptera (Insecta) Diversity in Indiana: A Watershed-Based Analysis. *Diversity*, 13:672.
- Oosterbroek, P. (2006). *The European Families of the Diptera: Identification, diagnosis, biology*. KNNV Publishing, Utrecht, The Netherlands, 205 pp.

- Pabis, K. (2018). What is a moth doing under water? Ecology of aquatic and semi-aquatic Lepidoptera. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, 419, 42, 1-10.
- Parfin, S. I., and Gurney, A. B. (1956). The spongilla-flies, with special reference to those of the western hemisphere (Sisyridae, Neuroptera). *Proceedings of the United States National Museum* 105: 421-529.
- Petersen, H. (1971). Collembolernes ernæringsbiologi og dennes økologiske betydning. *Entomologiske Meddelelser*, 39, 97-118.
- Polhemus, J.T., and Polhemus, D.A. (2008). Global diversity of true bugs (Heteroptera; Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 379-391.
- Rivera-Gasperin, S. A., Ardila-Camacho, A., and Contreas-Ramos, A. (2019). Bionomics and Ecological Services of Megaloptera Larvae (Dobsonflies, Fishflies, Alderflies). *Insects*. 10: 86.
- Resh, V. H. (1976). Life cycles of invertebrate predators of freshwater sponge. In Harrison F. W. & R. R. Cowden (eds) *Aspects of Sponge Biology*, Academic Press, New York, New York: 299-314.
- Resh, V. H., and Carde, R. T. (2009). *Encyclopedia of Insects*. Elsevier/Academic Press, 1132 pp. ISBN: 1849728062, 9781849728065
- Resh, V. H., and Jackson, J. K. (1993). Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. In Rosenberg, D. M. & V. H. Resh (eds), *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman and Hall, V. H. New York: 159-194.
- Rubinoff, D. (2008). Phylogeography and ecology of an endemic radiation of Hawaiian aquatic case-bearing moths (Hyposmocoma: Cosmopterigidae). *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 363, 3459-3465.
- Ruffieux, L., Sartori, M., and Leplatténier, G. (1996). Palmén Body: A reliable structure to estimate the number of instars in *Siphonurus aestivalis* (Eaton) (Ephemeroptera: Siphonuridae). *Int. J. Insect Morphol. & Embryol.*, 25(3): 341-344.
- Qi, X., Lin, X. L., Ekrem, T., Beutel, R. G., Song, C., Orlov, I., Chen, C. T., and Wang, X. H. (2019). A new surface gliding species of Chironomidae: An independent invasion of marine environments and its evolutionary implications. *Zool. Scr.*, 48, 81-92.

- Sahlen, G., and Ekestubbe, K. (2001). Identification of dragonflies (Odonata) as indicators of general species richness in boreal forest lakes. *Biodiv. Conserv.*, 10: 673-690.
- Saraiva, A., Moravec, F., Pereira, A., and Cruz, C. (2002). Development of *Spinitectus inermis* (Nematoda: Cystidicolidae), a parasite of eel, *Anguilla anguilla*, in Europe. *Folia Parasitol.* 49, 118-126.
- Schärer, M. T., and Epler, J. H. (2007). Long-range dispersal possibilities via sea turtle - A case for *Clunio* and *Pontomyia* (Diptera: Chironomidae) in Puerto Rico. *Entomol. News*, 118, 273-277.
- Scoble, M. S. (1995). *The Lepidoptera Form, Function and Diversity*. New York: Oxford University Press.
- Sivaramakrishnan, K. G., Selvakumar, C., and Subramanian, K. A. (2018). Insecta: Tricoptera (Caddisflies). *Insect Biodiversity*. Chapter 26: 419-428.
- Sharma, S., Sharma, G., and Pir, F. A. (2019). Diversity and habitat selection of aquatic beetles (Coleoptera). *IOSR Journal of Pharmacy And Biological Sciences*. 14:1, 31-37.
- South, E. J., Skinner, R. K., DeWalt, R. E., Kondratieff, B. C., Johnson, K. P., Davis, M. A., Lee, J. J., and Durfee, R. S. (2021). Phylogenomics of the North American Plecoptera. *Systematic Entomology*, 46, 287-305.
- Southcott, R. V. (1966). Revision of the genus *Charletonia* Oudemans (Acarina: Erythraeidae). *Aust. J. Zool.* 14:687-819.
- Southcott, R. V. (1999). Larvae of *Leptus* (Acarina: Erythraeidae), free-living or ectoparasitic on arachnids and lower insects of Australia and Papua New Guinea, with descriptions of reared post-larval instars. *Zool. J. Linn. Soc.* 127:113-276.
- Steffan, A.W. (1967). Ectosymbiosis in aquatic insects, p.207-289. In: *Symbiosis*. Vol. II. (S. Mark Henry, ed.). Academic Press, New York. 443 pp.
- Suhardjono, Y. R., and Greenslade, P. (1994). *Folsomides arnoldi* n.sp. (Isotomidae): a new Collembolan abundant in arid Australia, with a redescription of *Folsomides denisi* (Womersley). *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*, 114, 21-7.
- Sweeney, B. W., and Vannote, R. L. (1978). Variation and the distribution of hemimetabolous aquatic insects: Two thermal equilibrium hypotheses. *Science*, 200, 444-446.

- Taşar, G. E., ve Canlı Taşar, Ö. (2022). Insac Natural and Technology Sciences, Bölüm Adı: Yenilebilir Sucul Böcekler, Yayın Yeri: Duvar Kitabevi, Editör: Mustafa Tolga Çöğürçü, Mehmet Uzun, Sayfa sayısı: 416, Bölüm Sayfaları: 115-132. ISBN:978-625-8109-01-6.
- Taylor, J. M., and Kennedy, J. (2006). Life History and Secondary Production of (Ephemeroptera: Caenidae) in Honey Creek, Oklahoma.
- Tokunaga, M. (1932). Morphological and biological studies on a new marine chironomid fly, *Pontomyia pacifica* from Japan. Mem. Coll. Agric. Kyoto Imp. Univ., 19, 1-55.
- Turk, F. A. (1945). Studies of Acari. Second series: descriptions of new species and notes on established forms of parasitic mites. Parasitology, 36:133-141.
- Usher, M. B., and Edwards, M. (1984). A dipteran from south of the Antarctic Circle: *Belgica antarctica* (Chironomidae) with a description of its larva. Biological Journal of the Linnean Society, 23 (1): 19-31.
- Wallace, J. B., and Anderson, N. H. (1996). Habitat, life history and behavioral adaptations of aquatic insects, pp. 41-73. In R. W. Merritt and K. W. Cummings (eds.), An introduction to the aquatic insects of North America, 3rd ed. Kendall/Hunt Publishing. Dubuque, IA.
- Ward, P. H. (1965). A contribution to the knowledge of the biology of *Osmylus fulvicephalus* (Scopoli 1763) (Neuroptera, Osmylidae). Entomologist's Gazette 16: 175-182.
- Wichard, W., Arens, W., and Eisenbeis, G. (2002). Biological Atlas of Aquatic Insects. Apollo Books, Stenstrup, 338 pp.
- Wiggins, G. B. (2004). Caddisflies: The underwater Architects. University of Toronto press, 292 pp.
- Wotton, R. S. (1988). Very high secondary production at a lake outlet. Freshw. Biol., 20, 341-346.
- Yavaşoğlu, S. İ., Yaylagül, E. Ö., Akmer, M. M., Ülger, C., Çağlar, S. S., and Şimşek, F. M. (2019). Current insecticide resistance status in *Anopheles sacharovi* and *Anopheles superpictus* populations in former malaria endemic areas of Turkey. Acta Tropica, 193: 148-157.
- Yosii, R. (1966). Snow Collembola of the Siachen Glacier in Karakoram. Results of the Kyoto University Scientific Expedition to the Karakoram and Hindukush, 8, 407-10.

- Zheng, B. (1996). Two new larval mites of the Erythraeidae from China (Acari: Prostigmata). *Acta Zootaxonomica Sinica*, 21:62-69.
- Zwick, P. (1967). Beschreibung der aquatischen Larve von *Neurorthus fallax* (Rambur) und Errichtung der neuen Planipennierfamilie *Neurorthidae* fam. nov. *Gewasser und Abwasser* 44/45: 65-86.





# **Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences**

## CHAPTER 06



**Farmers' Pesticide Consumption as Globally  
(İsmail Bülent Gürbüz)**



## Farmers' Pesticide Consumption as Globally

**İsmail Bülent Gürbüz**

*Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü  
E-mail:bulent@uludag.edu.tr*

### 1. Introduction

IPM. "integrated pest management" is an ecological method that recognizes the use of all available pest control approaches to reduce and keep agricultural pests below the economic damage threshold. (Chand, 2021). According to the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, IPM involves using all accessible pest control methods and other techniques that inhibit the growth of pest populations while providing the fewest possible dangers to health and the environment. IPM puts a focus on healthy growing crops with little interruption to agroecosystems and promotes pest management mechanisms (Vetek et al., 2017). IPM is promoted in the developed countries as an ecological perspective to pest management based on an understanding of the crop habitat as the foundation for making crop strategic decisions. Usually, low populations of some pests are required to maintain natural predators in the field crop, and IPM proposes to lower pest species to prevent significant harm levels that result in crop losses. Integrated Pest Management (IPM) is indeed related to pests and diseases and also is described as a knowledge-intensive decision-making system that incorporates a variety of techniques biological, cultural, physical, and chemical, as well as routine monitoring of crop varieties (Vetek et al., 2017). Additionally, IPM is a configurable method that enables effective utilization for local resources, adopting cultural, biological, and chemical techniques cooperatively with the latest findings, knowledge, innovation, and experience, that's why it has been recognized as the future standard for integrated pest management in the most cost-effective, environmentally responsible, and socially reasonable way. (Thomas and Weage 1999; Mouden and Leiss, 2021).

### 2. Worldwide use of Pesticide

At the end of World War II, the agricultural systems in Asia and Europe were severely damaged. In 1946, 1 year after the war had ended, aggregate production in Europe was 38% less than it had been in the intervening decades of the conflict. Even in 1948, output was up by more than 10%. Production in Asia was around 8% lower in 1948 than it had been in the

years of prewar though the declines were not as significant. The battle had resulted in severe starvation, and it was critical to maintain and possibly exceed prewar output levels. Farmers worldwide were prepared to employ all available technology techniques to meet market demand during peacetime. (Kogan and Waheed, 1999).

A historic moment in seed treatment occurred in 1939 when Swiss chemist Paul Mueller discovered DDT's insecticidal qualities (Tony Hiroshi Katsuragawa et al., 2008) DDT was primarily used in agriculture to control the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), as well as other potato pests; the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) on apples; the cotton bollworm, *Helicoverpa zea* (Boddie), the tobacco budworm, *Heliothis virescens*, and the rose bollworm, *Pectinophora*. Agriculture-related production began in 1943. Reaching its peak at 99 million kilograms twenty years later, by the time DDT was officially forbidden by the United States Environmental Protection Agency in 1973, more than 1.8 billion kilograms of DDT had been used. Following DDT's success, the agrochemical business expanded rapidly and hundreds of additional pesticides were approved.

Pest control, over 30 years after the introduction of IPM, is heavily dependent on the use of pesticides. Pesticide use grew in many nations, particularly in the developing world, during the 1990s. For example, between 1950 and 1992, pesticide use expanded by a multiplier of 39, and emerging nations now account for a quarter of the world's pesticide consumption. Meanwhile, the industrialized nations of Western Europe and North America continue to account for more than half of global pesticide sales. Insecticide use in the United States seems to have plateaued in the 1990s, as indicated in tons of active substances. The Netherlands, Denmark, and Sweden have all seen a decrease in use, whereas the United Kingdom has seen a slight increase. On the other side, Brazil has seen significant growth. These are all countries with significant IPM initiatives that are centered on superior research and outreach. The challenges associated with pesticide-intensive pest control programs provide the enabling environment for IPM acceptance, or at least evaluation, at the nationwide or municipal level in the majority of nations, and it has become standard policy in a number of them. The Food and Agriculture Organization of the United Nations conducted a global assessment (75 nations) and discovered that there has been continuous development in creating and promoting IPM in all regions of the world. Although IPM was not widely applied, all countries acknowledged it as a desirable strategy for pest management. In 1987 and 1993, the percentage of respondents who stated that IPM still was "in an initial phase of development" declined from 50 to 45 in developing nations and from 9 to 0 in industrialized nations (Kogan and Waheed, 1999).

Table 1. Pesticide Sales in EU(kg)

PESTICID	Total	Total	Total
GEO/TIME	2011	2015	2020
Belgium	6.925.523	6.868.051	5.391.957
Bulgaria	:	:	:
Czechia	7.049.230	6.310.835	4.359.751
Denmark	4.549.462	2.583.747	3.167.460
Germany (u	43.856.160	47.850.856	47.973.969
Estonia	:	:	:
Ireland	3.692.455	3.503.606	2.909.819
Greece	:	:	4.901.423
Spain	:	:	75.774.801
France	61.262.338	66.629.333	64.743.288
Croatia	:	:	1.655.091
Italy	70.326.222	63.084.973	56.372.591
Cyprus	1.234.734	:	1.190.578
Latvia	:	:	1.900.410
Lithuania	2.703.420	2.788.522	2.587.217
Luxembourg	:	:	147.015
Hungary	:	:	8.679.090
Malta	:	:	:
Netherlands	10.914.216	9.957.697	9.823.805
Austria	3.448.274	3.777.617	5.566.034
Poland	:	:	24.616.368
Portugal	:	:	9.706.261
Romania	:	:	8.700.093
Slovenia	:	:	963.765
Slovakia	:	:	:
Finland	:	:	4.916.941
Sweden	2.415.761	2.321.276	2.047.474
Iceland	:	4.496	659
Norway	:	:	707.946
Switzerland	2.273.938	2.207.488	1.884.710
United King	:	:	:
Turkey	:	:	53.490.030

Kaynak: Eurostat 2022.

<https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>

The demand of a growing world population for food and fiber requires that farmers produce more crops on the available croplands. Agricultural technologies must be continuously improved to avoid crop losses to increase these yields. The problem is to accomplish this while maintaining ecological sustainability.

Additionally, the sustained growth of the human population shortly will lead to the implementation of innovative food production methods. One strategy is to minimize losses caused by pests and diseases. Global losses from pests (diseases, nematodes, weeds, and insects) are estimated to be \$300 billion per year, or approximately 30%-40% of growing international food, fiber, and feed Production (Thomas, 1996) even though the ratio is significantly higher in some of these third world countries. Furthermore, these estimations are frequently limited to agricultural yield loss. When post-

harvest losses caused by insects and diseases are included, the figures for underdeveloped nations may approach 60-70 percent (Kumar, 1984).

Agrochemicals have been the major method of pest management in industrialized nations and, intensely, in developing nations throughout the last 50 years. However, future tactics to decrease insect damage are likely to be much separate and distinct from those utilized today. Indeed, while agricultural pests have been a persistent concern since agriculture's inception, many of the significant insect's issues currently facing developing countries are a direct outcome of initiatives to raise crop production.

All such pest hazards connected with agricultural production are most pronounced in the insect population. In recent years, increased reliance on agrochemicals in certain cropping systems has resulted in a high incidence of insecticide resistance. Just discovered including over 500 species of insects worldwide (Georghiou, 1990) - pest revival, associated with chronic health issues, industrial contamination, and economically unviable crop production. All of these issues are adversely affected for underdeveloped nations, where pesticides usage is unregulated and farmers usually lack adequate training and information.

Pesticides usage becomes a growing and inconsistent component of crop production costs for most of these farmers. In just this atmosphere, farmers, academics, and regulators are rapidly adopting the notion of integrated pest management (IPM). Pest control is accomplished through a variety of approaches in IPM. IPM aims to reduce dependency on pesticides by highlighting the importance of alternative control approaches such as biological control, host plant resistance breeding, and cultural practices. Since IPM is less reliant on highly-priced pesticides and more reliant on renewable technologies available to resource-poor growers, such as biological control and host plant resistance, it's indeed simpler and cheaper for these growers to adopt such techniques.

When pesticides are not used in accordance with the recommendations, their residues cause negative effects on human health and the environment. These residues also negatively affect the foreign market of agricultural products and domestic consumption. In addition, they may cause occupational poisoning in the form of skin and inhalation exposure (acute poisoning) during production, formulation preparation, transportation, loading and application. Generally, organophosphorus and carbamates cause this type of poisoning. These inhibit the cholinesterase enzyme in the body, leading to the accumulation of acetylcholine. In case of accidental poisoning, diseases may occur as a result of contact with the residues of pesticides in the leaves and soil or their toxic transformation products. Acute human toxicity

of organochlorine pesticides is rare unless taken in excessive doses. These compounds cause more chronic poisoning, affect the nervous system and damage the liver.

One of the events that most affect the market life, human health and environmental effectiveness of pesticides is the decrease in the sensitivity of organisms to pesticides. As the sensitivity of organisms to a pesticide decreases, the effectiveness of that pesticide also decreases. The practitioner, on the other hand, constantly increases the dose in order to achieve the old efficacy. Thus, in parallel with the increasing doses, pesticide residues start to become more concentrated in the environment. As a result of various types of resistance in organisms, higher doses are required to overcome the decrease in the effectiveness of the pesticide, which causes both an increase in costs and phytotoxicity in plants, a decrease in crop yields, and an increase in the amount of residue and pollution in the product and in the environment. While the number of species identified as resistant in 1970 was 244, this number increased to 428 in 1980.

This all seems extremely optimistic and indicates that IPM will continue to play a significant role in agricultural consumption in the future of the practice, nevertheless, IPM indicates a variety of things to a diversity of individuals (Thomas and Waage, 1996), as well as the way it is currently implemented in the majority of cultivation practices, concentrates on single techniques such as pesticide use, biocontrol, or host plant resistance, and rarely considers their interactions. This reliance on a specific technology and the seeking of "wonder treatments" results in pest management tactics that are frequently ineffective and hardly sustainable due to issues such as environmental degradation and resistance development. Additionally, the adoption of these technologies has historically taken a top-down method, which conflicts with the principles of usage and empowerment which are today believed to be important for the development of sustainable IPM.

All of the mechanisms described above are the optimal result of cultural, biological, and chemical treatments for insect, disease, weed, and other pest control. The implementation of IPM is in the hands of farmers around the world, who adopt the practices they find practical and useful for their operations to improve crop morphology and increase yield. IPM aims to reduce dependency on pesticides by highlighting the importance of alternative control approaches like insect control, host plant resistance breeding, and cultural practices. As well since IPM depends less on costly insecticides and more on renewable solutions available to resource-poor farmers, including biological control and host plant resistance, it is more easily available to such agricultural producers.

On the other hand, protection of the crop after the end of World War II in 1939, the Swiss drugstore Paul Mueller had discovered the insecticidal properties of DDT. The largest use of DDT in agriculture was to control the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, and other potato pests. Pesticide use continued to rise in developing countries during the 1990s. Around 1950 and 1992, for example, chemical consumption expanded by a ratio of 39, and developing nations contribute to just a quarter of global pesticide consumption. Developed nations in Western Europe and North America, one on each other, continue to account for moreover 50 % of global pesticide sales

### **3. Conclusion**

Today, it has become a necessity to use agricultural pesticides in agricultural struggle to protect agricultural products and prevent the danger of hunger, and there has been an increase in the use of pesticides all over the world. The effect of pesticide dealers, who provide these inputs in the use of pesticides, on producers is significant in almost all countries. For example, studies in the United States show that the importance of drug and seed dealers and agricultural sales cooperatives that provide input to agriculture in education and knowledge transfer in the last 10 years.

Indeed, damages caused by pests and infections are a possibility. World damages from pests (insects, worms, pathogens, and weeds) are reported to be \$300 billion per year. Most of these issues are worsened in poor nations because pesticide usage is unregulated and growers usually lack adequate education and instruction. It is likely that the rate and extent of IPM adoption are determined by the interaction of regional farmers' culture and experience, adversely affected by the agrochemical industry's advertising strategies, and mitigated by community education and information efforts, as well as the accessibility of extension services. Therefore, we should attempt to decrease the pesticide population in field crops by highlighting the importance of alternative control approaches such as biological control, host plant resistance breeding, and cultural practices. IPM is more accessible to world crop growers since it relies very little on costly pesticides and more on regenerative technologies available to resource-poor farmers, including biological control and host plant resistance. Finally, conclude that (IPM) offers numerous benefits to society and the environment. It is crucial for the long-term future of the crop production system and the morphological improvement of the plant. I believe that (IPM) is an important part of the solution for the world's farmers to protect crops from pesticides. In both developed and developing countries, there is an increasing emphasis on long-term sustainable agriculture that provides adequate, safe, and high-quality



food production because it improves farmers' livelihoods and conserves the planet's nonrenewable resources. I propose that to improve crop profitability through better pest control methods and to inspire greater people's confidence in the quality and safety of global agricultural products, we should have adopted the Integrated Pest Management method worldwide.

Considering the new initiatives in the world, especially in the EU, it can be said that the awareness level of drug dealers and manufacturers is not sufficient on integrated control management and good agricultural techniques. In this respect, training programs should be developed for them. The desired level of awareness about diseases and pests has not yet been formed in the producers of the region. Likewise, the implementation of training programs to increase the level of knowledge and awareness of manufacturers will be important in terms of reducing unconsciousness in pesticide use.

In order to benefit only from the advantageous aspects of pesticide use, which is an integral part of the agricultural system, and to avoid its negative effects, the agricultural struggle must be consciously carried out in line with the principles of IPM. In addition, in order to prevent residue problems in agricultural products, residue analysis methods should be frequently validated in laboratories, the validity of the method should be checked with documented evidence, and international quality control (QC) and quality assurance (QA) systems such as ISO 17025 and OECD GLP should be studied.

#### 4. References

- Chand, H., (2021). Host-Plant Resistance in Pest Management, Tropical Agrobiodiversity (TRAB) DOI: <http://doi.org/10.26480/trab.02.2021.51.55>
- Eurostat, (2022). <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Georghiou, G. P. (1990). In *Managing Resistance to Agrochemicals*, eds. Green, M. B., LeBaron, H. M. and Moberg, W. K. (Am. Chemical Society, Washington, DC), 18–41. pp
- Katsuragawa, T. H., Herman, L., Gil, S., Tada, M. S., Silva, L. H. P., (2008). Endemic and epidemic diseases in Amazonia: malaria and other emerging diseases in riverine areas of the Madeira river. A school case. *Socielo-Scientific Electronic library*, (64) 22.
- Kogan, M., Waheed, B., (1999). *Integrated Pest Management: A Global Reality*, *An. Soc. Entomol. Brasil* 28(1): 1-25

- Kumar, R. (1984). *Insect Pest Control with Special Reference to African Agriculture* (Edward Arnold, London). 298 pp
- Mouden, S., Leiss, K.A., (2020). Host plant resistance to thrips (Thysanoptera: Thripidae)– current state of art and future research avenue by Elsevier IncScienceDirect., 45:28–34.
- Thomas, M. B., Waage, J. K., (1996). *Integration of biological control and host plant resistance breeding: a scientific and literature*. Technical Centre for Agriculture and Rural Cooperation. Institute of Cab international, pp 98.
- Vetek, G., Asea, T., Chubinishvili, M., Avagyan, G., Torchan, V., Hajdu, Z., Veres, A., Nersisyan, A., (2017). *Integrated pest management of major pests and diseases in eastern Europe and the Caucasus*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Budapest, 2017, 978-92-5-109144-9.



# **Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences**

## CHAPTER 07



**Economic Effects and Development of Biofuel**

**(İsmail Bülent Gürbüz)**



## Economic Effects and Development of Biofuel

**İsmail Bülent Gürbüz**

*Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü*

*E-mail:bulent@uludag.edu.tr*

### 1. Introduction

The use of biofuels is in the process of replacing fossil energy with renewable energy. Oil being the main source of energy used in large quantities, its price has continued to increase in recent years and its polluting nature has led many researchers to find alternative solutions. The needs in energy not ceasing to increase biofuels proved the only ones to be able to bring a relief in the pollution due to the use of oil. But again, biofuels on their side have proven to be expensive compared to oil but research proves that their diversities can constitute an exit in terms of their cost. There remains the share of decision-makers in collaboration with scientists to develop the means proven to be effective in the process of adopting the use of clean and renewable energy.

Biofuels, also called agro fuels, are fuels of plant origin, in other words of agricultural origin. Biofuels can be classified into three major groups including: alcohol-based fuels used in gasoline engine fuels, oil-based fuels used in diesel engines and gas-based fuels. According to Good Planet mag, 2012, "alcohol-based fuels are produced from sugar-rich plants such as sugar cane and beets, or starch-rich plants, such as wheat. These are bioethanol and its derivative ETBE". Oleaginous plants such as rapeseed, palm, sunflower or soybean are used in the production of pure oil called crude oils used in cooking which in turn is mixed with other ingredients to give biofuel. But also other transformed products named biodiesel or VOME (Methyl Esters of Vegetable Oils) can be used in the manufacture of biofuels. Biofuels are currently used as a means of reducing greenhouse gases and mainly as a substitute for petroleum. According to the study by Shahid et al., 2021, there are several generations of biofuels that use raw materials of different origin:

1. Bioethanol and biodiesel, which are made from plants rich in sugars or oils that are also consumed by humans or farm animals, are the first generation biofuels.
2. Techniques for exploiting cellulosic ethanol from wood or straw lead to second-generation biofuels;

3. Recent techniques propose the use of algae producing a lot of oil give rise to third generation biofuels.

The objective of this study is to evaluate the current state of the use of biofuels and the impact that they can generate on the economic level and in a superficial way on the environmental level. Are biofuels important in daily life? What would be the impact of biofuels in our environment? At what stage is the development of biofuels? What would be their economic impact compared to so-called fossil fuels? Biofuels attract the attention of researchers at the present time. Through this study we will try to find a response to these questions.

This study was carried out through a literary review. Various articles have been consulted. Some electronic resources have been consulted. According to Shahid et al., 2021 "The history of fuels begins 300 to 400 million years ago. Geological processes take millions of years to produce fossil fuels in the natural ecosystem. These processes involve conditions of high pressure and temperature, where the decomposition of dead organisms (buried below the earth's surface) takes place in an anaerobic environment. Considering the conversion process and time required to produce fossil fuels, these are categorized as non-renewable energy resources. Several health and environmental concerns are also associated with the combustion and use of fossil fuels"

Oil, this fossil energy which use pollutes our environment could be replaced by biofuels. It would be an alternative to deal with climate change that threatens our planet. Biofuels are sources of energy that have a lower carbon emission rate compared to petroleum and they can be a source of economic self-sufficiency for nations (Shahid et al., 2021).

## **2. Production**

The production of biofuels is the result of agricultural activity. From one country to another, biofuels are obtained from different oilseed plants. Malaysia, in its economic transformation plan, palm oil would play a key role given that Malaysia produces 34% palm oil and alone provides 10% of the world production of this product. (Amir, 2017). While Brazil, United States, France produce biofuels respectively from sugar cane corn from beets (Sims et al., 2010) Through the process of fermentation bioethanol is obtained. Bioethanol, is known for its low carbon dioxide emission quality. The tests carried out have shown that even without significantly modifying the design and technology of the engines of conventional cars, the engines of these cars work well with bioethanol. With low volumetric energy density, the engine needs 50% more volume compared to gasoline and this to travel the same

distance .According to the Renewable Fuels Association , 90% of global ethanol production is produced by Brazil and the United States, and production reached around 50 billion liters in 2007.According to Goodplanetmag, world production of VOME was 4 million tones, 88% of which was produced by Europe .Despite the efforts made to replace oil with biofuels, the rate of use of the latter remains very low. By trying to reduce the use of oil, in the major international markets the price of oil would fall in the face of that of biofuel and the availability of oil in large quantities and its reduced price will further lead to its use in large quantities (Amir, 2017). The consumption of biofuels is observed at 40% in Brazil while they represent only 1.5% in the United States and 1.2% in Europe.

### **2.1. The Food Consequences**

The desire to replace oil with biofuels, despite its advantages with respect to the use of energy protecting the planet, it goes hand in hand with repercussions on the food level. The cultivable area of our planet will not be enough to cultivate edible plants and those intended for the production of oil to replace oil and this will undoubtedly lead to food crises. States are obliged to devote several thousand hectares to the low production of biofuel plants. For example, according to the OECD - FAO 2007-2026, "The United States, Canada and Europe EU-15 should devote between 30% and 60% of their respective current cultivated areas to replace only 10% of their fuel consumption by biofuels "

In France, until 2010, 5.75% of agricultural fuels incorporated in vehicles would lead to the use of 18% to 20% of arable land, according to the I NRA (National Institute for Agronomic Research) and oil imports would only be reduced to 3%. On the other hand, the growth in demand for biofuels determines the rise in the prices of agricultural products (Üstün and Genç, 2015).

### **2.2. Second-Generation Biofuels**

The competition between edible crops and those intended for the manufacture of biofuels constitutes a danger to human food.

Population growth poses a threat to food satisfaction in the days to come and the Nations have placed the goal of Zero Hunger at the forefront. However, this objective must be achieved without harming the biological and physical resources of our planet. The demand for food will increase with the increase in the world's population and it should be noted that the needs for foods of animal origin will also increase with the growth in the needs for

animal feed and this directly affects the use of cultivable land (Muscat et al, 2020).

But the protection of our planet against greenhouse gas emissions generated by the use of oil must be done with another way out such as the use of biofuels which is the basis of this article.

On this same point, among the objectives of sustainable development, the use of clean and renewable energy is at the forefront.

On the other hand, biofuels require land so vast that food and fuel are always in competition. decision-makers to put these two needs among the priorities. The European Union had set itself the objective of reaching 20% use of renewable energy in 2020 and 32% in 2030.

To try to cushion the competition between food and fuel on land use, goodplanetmag proposes to resort to second generation biofuels (Daroch et al., 2013)

Indeed, these biofuels could be a solution. This involves producing biofuels from the cellulose of non-food plants or from the non-consumable parts of consumable plants. Cellulose is present in all plants such as straw, trees or algae and these do not compete with food plants on the agricultural surface and require few inputs.

The same study indicates that ligno-cellulosic ethanol used as fuel, would reduce greenhouse gas emissions by 78% and non-renewable energy consumption by 76%.

According to INRA (National Institute of Agronomic Research), a hybrid grass known as miscanthus, very rich in ligno-cellulose, has a very high yield for the production of energy compared wheat and emits less CO<sup>2</sup>.

The studies carried out on non-food plants concerning the production of oil which can in turn be used as fuel are very surprising. Goodplanetmag points out that the microscopic algae to be used to produce synthetic oil which can be used as vegetable oil and its yield per hectare is thirty times higher compared to the yield of rapeseed and that these algae could absorb a considerable amount of CO<sup>2</sup>.

### **3. Economic Impacts of Biofuels**

By studying the economic impacts generated by the use of biofuels, we will see the economic advantages as well as the disadvantages.

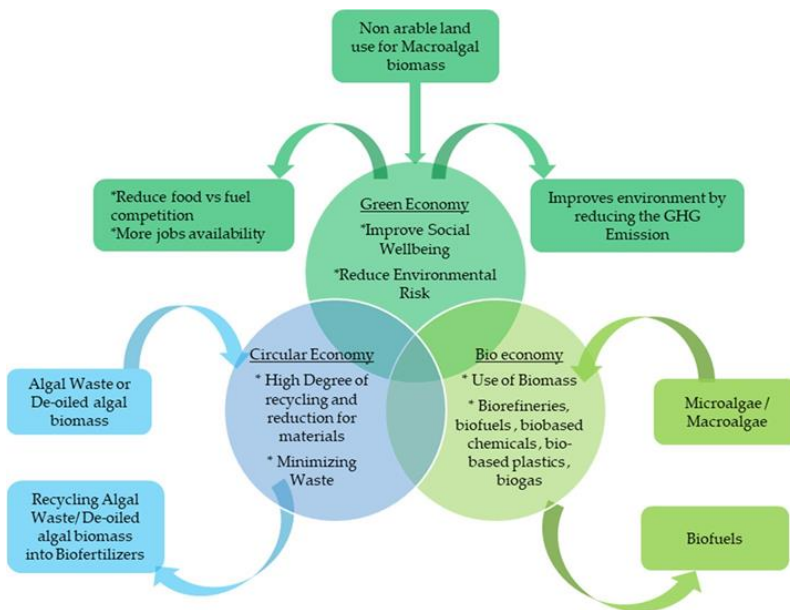
Fossil fuels are at the bottom of global warming by emitting CO<sup>2</sup> which accumulates on the Ozone layer. As for the biofuel, the CO<sup>2</sup> emitted is this



time captured by the plants and reused for the production of biomass-energy by the process of photosynthesis in the presence of the sun. The biodiesel used in Europe comes from rapeseed and emits 42% less CO<sup>2</sup> compared to fossil fuels, while bio-gasoline uses sugar cane ethanol, which emits 70% less than fossil fuels

In Brazil is the country capable of satisfying the world demand for ethanol. In 2007 production increased by 8% compared to the previous year of 2006 and the government expected to cross 730 million tons in 2012 from 490 million tons in 2006. And once again the competition for cultivable land between crops is felt because we would need other millions of hectares to increase production and sugar cane is becoming the monoculture dragging down small farmers to become the landless.

Addressing the point concerning the economic impact of biofuels, it will be necessary to ask questions concerning the economic profitability of biofuels. Is biofuel economically profitable compared to fossil fuel?



**Figure 1.** Comparison of green and bio-economy.

Let 's take as an example bio-diesel from animal fat oil and ethanol from cane sugar, which are the cheapest in their category. For these calculations, he put the prices directly in euros (Reminder: 1\$ = 0.88€; 1€ = 1.13\$).

It assumed that the costs of refining, distribution and taxes are the same as for crude fossil fuels. For bio-diesel:

Production cost :

Crude diesel: €0.25 up to 93% of the total volume = €0.23

Animal fat oil: varies from 0.36€ to 0.49€.

The average is: €0.43 up to 7% of the total volume = €0.03

Refining and distribution cost: o €0.08 and €0.07

-Taxes : o €0.51

Total:  $0.23 + 0.03 + 0.08 + 0.07 + 0.51 = €0.92/l$

In this study it specifies that “The total price of a liter of crude diesel is €0.90 in 2005. Thus for the bio-diesel sector, for the cheapest in the category, the cost price is higher. As specified above, this is the least expensive technique, the other techniques will necessarily be more expensive.

For bio-gasoline :

Production cost:

Crude gasoline: €0.25 up to 90% of the total volume = €0.23

Cane sugar ethanol: varies from €0.24 to €0.45. The average is: €0.40 up to 10% of the total volume = €0.04

Cost of refining and distribution:

€0.08 and €0.08

Taxes:

€0.65 Total:  $0.23 + 0.04 + 0.08 + 0.08 + 0.65 = €1.08/l$

The total price of a liter of crude gasoline is €1.05 in 2005 (Antizar-Ladislao and Turrion-Gomez, 2008).

Thus for the bio-gasoline sector, for the cheapest in the category, the cost price is higher. Other techniques will also be more expensive. Cost can be explained by the fact that some first-generation biofuel production sectors are not yet mature enough. We can also see that, for the price outlook for 2030, the cost of production of the various materials (ethanol and vegetable oils) will have fallen significantly. This being explained by the production techniques which will be better and less expensive”.

EU biofuels policy; It is primarily designed to meet the obligations set out in the Kyoto targets commitment of greenhouse gas emissions and to meet the pressures of citizens in EU countries to address environmental issues (Demirbaş 2011). Biofuel policies implemented in the EU may show various differences between member countries (Ellaban et al., 2014). However, there

are incentives for the use of biofuels in some directives determined by the European Parliament and especially considering environmental problems. For example, with the 2003/30/EC directive published in 2003, the use of biofuels and other renewable energy sources in transportation was encouraged. In addition, 2% in 2005 and 5.75% in 2010 were targeted for EU countries. In the EC 2009 directive, for 2020. The blending rate of the targeted biofuel to be used in transportation is 10%. It has been made compulsory for all member states of the union. Biofuel for energy farming second- and third-generation critiques of food production increasing food prices. It was stated that biofuels should be developed and commercialized.

South Korea is one of the countries that has focused on biodiesel among biofuel types. The first policies regarding biofuels came to the fore in 2002 with the use of biofuels in public vehicles. In 2006, the government, oil wholesalers and biodiesel producers. By signing a voluntary biofuel contract, it has decided to use 0.5% blending ratio in automotive products throughout the country. In addition, with the New Renewable Energy Law, which entered into force in July 2015, it is obligatory to supply petroleum products blended with renewable energy fuels at a certain rate to oil refineries and oil import-export operators has been brought. South Korea imports 81.4% of its energy needs from abroad. Especially in the country where the increase in production has accelerated in recent years, the energy demand is increasing day by day increase, resulting in an increase in the current account deficit (Lü, et al., 2011). For this reason, it is of great importance for the country's economy to be able to meet the energy demand from local sources (Narin, 2008).

#### **4. Results**

Biofuels are alternative fuels that are renewable, environmentally friendly, important for the socioeconomic development of countries, resource diversity and security of supply, suitable for use as heat, power and alternative motor fuel. Biofuel consists of oil seeds, carbohydrate and fiber crops and all kinds of substances of animal origin. The countries with the highest share in bio gasoline production are Brazil (37%), USA (33%), China (9%) and India (4%), while France is the most important producer among EU countries with its 2% share in world production is the country (Muscat et.al. 2020). Contrary to popular perception, some reports indicate that modern biofuels do not have a major direct impact on food prices. It is stated in some reports that it does not have. The global area for biofuel production is still very small (about 1% of the total agricultural area) and its impact on global prices is currently limited.

The developments in today's technology and the increasing level of consciousness in people allow situations that may be negative for the future to become a little more positive. Today is an important opportunity for the future, making the best use of this opportunity is also of great importance for the future of food. Sustainable, realistic, equitable policies and practices can say that food safety can be further increased in the future.

## 5. References

- Amir, A.F.N., (2017). "Lifecycle GHG emissions of palm biodiesel: Unintended market effects negate direct benefits of the Malaysian Economic Transformation Plan (ETP)," *Energy Policy*, Elsevier, vol. 104(C), pages 56-65. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.01.041
- Antizar-Ladislao, B., Turrion-Gomez, J.L. (2008). Second-generation biofuels and local bioenergy systems. *Biofuels. Bioproducts and Biorefining*, 2(5), 455-469.
- Daroch, M., Geng, S., Wang, G. (2013). Recent advances in liquid biofuel production from algal feedstocks. *Applied Energy*, 102, 1371-1381.
- Demirbas, M.F. (2011). Biofuels from algae for sustainable development. *Applied Energy*, 88(10), 3473-3480.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- Lü, J., Sheahan, C., Fu, P. (2011). Metabolic engineering of algae for fourth generation biofuels production. *Energy & Environmental Science*, 4(7), 2451-2466.
- Muscat, A. E. M., de Olde, I. J. M., de Boer, Ripoll-Bosch, R., (2020). The battle for biomass: a systematic review of food-feed-fuel competition, *Glob. Food Sec.*, 25, 100330
- Narin, M. (2008). Dünyada ve Türkiye'de enerji tarımı. 2. Ulusal İktisat Kongresi 20-22 Şubat, 2008, İzmir.
- Shahid M.K. Batool, A. Kashif, A. Nawaz, M.H. Aslam, M. Iqbal, N. Choi, Y. (2021). Biofuels and biorefineries: Development, application and future perspectives emphasizing the environmental and economic aspects. *J Environ Manage.* 2021 Nov 1;297:113268. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113268.

Sims, R.E., Mabee, W., Saddler, J.N., Taylor, M. (2010). An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource Technology*, 101(6), 1570-1580.

Taşdan, K. (2005). Biyoyakıtların Türkiye tarım ürünleri piyasalarına olası etkileri: biyobenzinetanol. *Tarım ve Mühendislik*, 75, 27-29.

Üstün, G.E., Genç, B. (2015). Dünya’da ve Türkiye’de biyoyakıtların durumu. *Journal of Agricultural Faculty*, 29(2), 157-164.



**Scientific Researches in  
Natural and Engineering  
Sciences**

CHAPTER 08



**Effect of Growing Period on The Flexural Features  
of Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Tree**

(Seray Özden Keleş)





## **Effect of Growing Period on The Flexural Features of Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Tree**

**Seray Özden Keleş**

*Kastamonu University, Faculty of Forestry, Kastamonu, Türkiye*

*E-mail: sozden@kastamonu.edu.tr*

### **1. Introduction**

Trees are long-term living plants due to their great adaptation and survival performances to environmental and climatic variations (Thomas 2000; Ennos 2001). In general, the growth and development performance of a tree are the most during the growing season. The growing season is the portion of the year in which trees grow successfully. In temperate environments with four seasons, the vegetative/growing periodicity starts at the beginning of spring (March) to the winter based on the climate trends. Climate change and environmental factors (soil moisture and fertility, water availability, changes in temperature, rainfall, wind, and snow) affect the course of the growing season of the plant growth and cambial activity of the saplings (Puech et al. 2000; Marcati et al. 2006; Drew et al. 2009). Early growing period (spring), trees begin photosynthesis and water transport since climate trends such as air and soil temperatures, rainfall, and sunlight are ideal for the growth and development performance of trees (Korpel 1978; Bílek et al. 2009). During the growing season, the annual increments of tree growth generally integrate the effects of weather conditions in daily, weekly, monthly, and yearly cycles (Fritts 2001). Seasonal cycles in temperatures and precipitations are thus both strong drivers of the seasonality of tree growth (Prentice et al. 1992). The growth and development activities of trees however decrease at the end of the growing period (until winter) but wood cambium development continues to provide tree stability.

The length and beginning of the growing season are other important variables on tree growth and could differ depending on the type of tree species, temperature trends, and growing place. The extension of the growing season shows the active growing period in trees during a year and increases the photosynthetically active vegetation period against killing frost events (Liu et al. 2018). The length of the growing season however could be limited by the spatial or temporal changes in environmental variables such as variations in rainfall and water, photoperiod or day length, temperature, frost days, soil nutrients, and properties. All these environmental parameters entail

varying functional traits in the anatomical, morphological, physical, and mechanical properties of trees to adapt to their local environments.

The cambial activity of trees is also affected considerably by the climate trends during the growing season. Trees are exposed to different loads that originate from gravity, wind, snow, and rainfall when they grow. The wind is one of the largest loads on the stem and can greatly affect the growth, development, and stability of a tree (Ennos 1997; Vollsinger et al. 2005; Eugster 2008; Utsumi et al. 2010; Telewski 2012). Trees could however adapt to harsh conditions due to their woody skeleton. Woody xylem is laid down inside the vascular cambium and is formed of dead cells. During the secondary growth, the xylem supplies both mechanical support and increases water transport capability from roots through the trees (Boyd 1972; Niklas 1992; Ennos 2001). Woody skeleton of trees also integrates two functional properties which are flexibility and stiffness to provide mechanical stability in trees under different climate trends. As trees grow in height, the radial diameter decreases from the stem base to the stem tips. This is a great adaptation strategy for flexibility and mechanical support because wind forces induce bending forces in the stem (Ennos 2001; Özden et al. 2017). Trees must also be stiff to withstand bending under loads from the tree's self-weight (Mattheck and Vorberg 1991; Spatz and Bruchert 2000; Ennos 2001; James et al. 2006). The stiffness of the tree is an ecological parameter that shows the mechanical response of the tree to environmental loadings.

Trees have mechanical adaptations to provide successful tree performance. They can alter the size, shape, and the number of different organs, the size of internode length, and phyllotaxy during the growing period to survive (Gómez-Aparicio et al. 2005; Milla and Reich 2011; Goh et al. 2013; Mou et al. 2013). However, very little is known about the effect of the growing period on the flexural properties of trees. In this study, therefore, the flexural properties of the black locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) were examined in two different seasonal growth, the early growing season (April) and late growing season (September), to indicate- how seasonal growth affects flexural properties.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Plant material and Sample collection**

*Robinia pseudoacacia* L. (black locust) tree was chosen in this study due to its ecological and economical importance. The samples were collected from the boundary of the Kastamonu Regional Directorate of Forestry, Turkey. The study site is located within the Euro-Siberian phytogeographical

region and is characterized by a terrestrial Black Sea climate with warm, wet summers and cool to cold, wet winters.

Black locust is one of the important fast-growing Angiosperm tree species. It can grow up to a height of 10 to 30 meters. It has a rapid growth rate until 15 years (Haralamb, 1967; Nicolescu et al. 2020) The leaves are generally pinnately compound through the stem and are made up of 7 to 21 leaflets. In the young of black locust trees, the bark is smooth and green-colored, but the bark of mature trees is furrowed and dark brown-colored (URL-1, 2022). The black locust tree can fix considerable amounts of nitrogen from the atmosphere for tree growth (Xiao-rong et al. 2010).

The saplings were harvested twice, first in the early growing season (April), then in the late growing season (September), to compare how flexural properties of individual samples vary in two different growing periods. 30 individual saplings of black locust were cut in April (early growing season) and then 30 individual saplings of black locust were cut in September (late growing season). The saplings were 6 years old when they were harvested.

## **2.2. Flexural tests**

Before flexural measurements, harvested saplings were separated into stem, leaves, and roots. The average height of stems was approximately 95-100 cm, and the diameter at the central point of the stem's length averaged 10.3 mm. Each sapling was cut in green condition, placed in a plastic bag to reduce sap loss, and then kept in a cold room at 4 °C to retain their freshness before measuring dissection, and testing. The stems of 95 - 100 cm length black locust samples were cut into 30 cm segments from base to tip. To investigate flexural properties, intact specimens of black locust saplings (including bark, xylem, phloem, and pith) were subjected to 3-point bending tests conducted on a Shimadzu Autograph AGS-X Universal Materials Testing Machine equipped with a 1 kN load cell and attached to an interfacing computer. The three-point bending test measures the force needed to bend or fail a beam under the applied force. Therefore, the three-point bending test is an ideal and easy way to understand the flexural properties of wood. The shear influence complicates the flexural stiffness calculations from the three-point bending tests. To eliminate shear influence, the minimum span-to-depth ratio of 15–20 was used (Vincent 1992), so the shear effect can be negated. Span length was chosen in the required span-to-depth ratio. The crosshead was lowered to a speed of 35 mm min<sup>-1</sup> while the required force was simultaneously measured using a 1 kN load cell. The maximum loads (F<sub>max</sub>) were obtained by the three-point bending tests.

Flexural rigidity ( $EI$ ), flexural strength ( $M_{max}$ ), flexural modulus or Young's modulus ( $E$ ), and maximum longitudinal stress ( $O_{max}$ ) were then calculated.

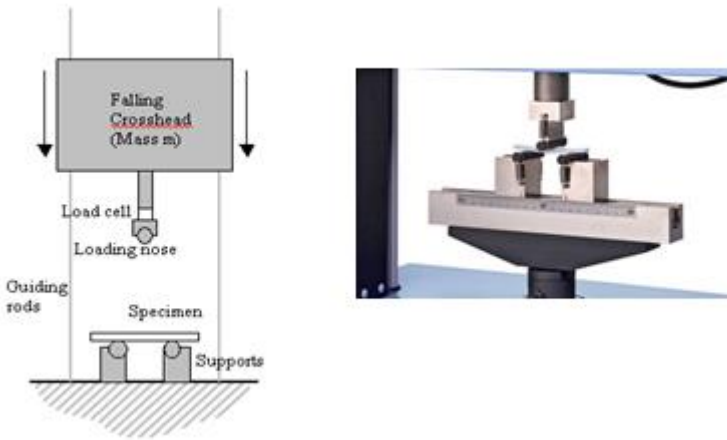


Figure 1: Bending test process.

The cross-sections of stems were approximately circular in their cross-sections. To calculate some flexural properties of stems, the second moment of the area should be known. The second moment of area ( $I$ ) is a measure of the 'efficiency' of a cross-sectional shape to resist bending caused by loading. It is a geometrical property. So the second moment of area ( $I$ ) for a circular beam can be calculated as follows

$$I = \frac{\pi r^4}{4}$$

where  $r$  is a radius of the stem (mm)

Flexural rigidity ( $EI$ ) is the measure of the stiffness of stems and determines the ability of a stem to resist bending forces (Niklas, 1992).  $EI$  is an important ecological parameter to understand the resistance of stems to environments. It can be calculated as follows

$$EI = \frac{dF}{dx} \times \frac{L^3}{48}$$

where  $dF/dx$  is the initial slope of the load-displacement curve and  $L$  is the span length of the specimen. Excel was used to plot the force and displacement results and estimated the initial slope ( $dF/dx$ ) which is the slope of the initial linear region of the curve.

Modulus of elasticity (MOE) is also an important property of stems that shows the stiffness of a material. The MOE or  $E$  can be calculated by dividing stress ( $\sigma$ ) by ( $\epsilon$ ) strain.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{dL}{L}$$

where  $F$  is the applied load,  $A$  is the cross-sectional area,  $dL$  is the amount of elongation and  $L$  is the original length of the sample (Calvert and Farrar 1999).

### 3. Results

#### 3.1. Flexural properties

A total of 60 individual trees were measured. Flexural tests were conducted in two seasons: the early growing season (April) and the late growing season (September). Mean  $I$  values of black locust saplings were almost 1.2 times greater in April (early growing season) than in September (late growing season). However, one-way ANOVA test did not find a statistically significant difference between two growing periods ( $p > 0.05$ ) (Figure 2).

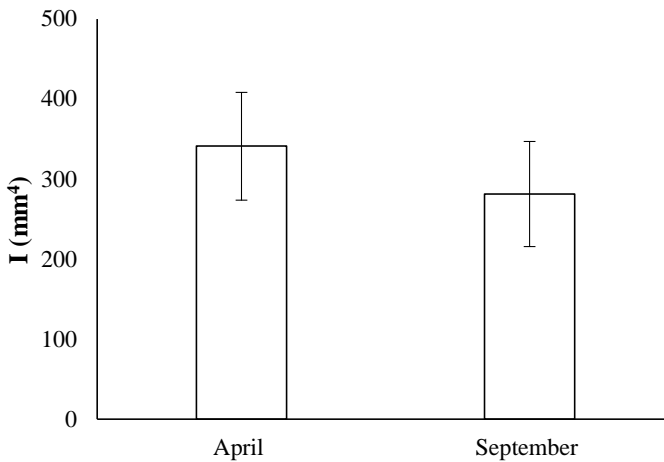


Figure 2: The mean second moment of area ( $I$ ) values in two growing seasons (April vs. September). A standard error is shown by the error bars.

Overall, maximum load of black locust saplings in September was 1.3 times greater than in April (Figure 3). However, one-way ANOVA did not find a significant difference in maximum load values between two growing periods ( $p > 0.05$ ).

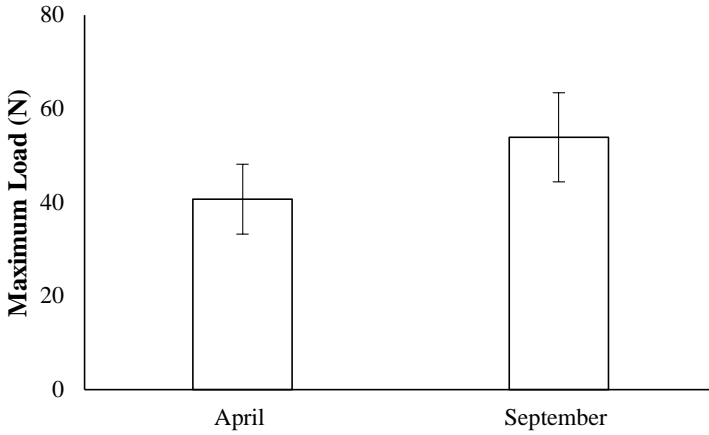


Figure 3: The mean maximum load values in two growing seasons (April vs. September). A standard error is shown by the error bars.

The flexural properties ( $M_{\max}$ , *max. long. stress*,  $EI$ ,  $E$ ) varied between seasons as measured in April and September. Flexural strength ( $M_{\max}$ ) was found to be 1.4 times higher in September than in April (Figure 4). The one-way ANOVA results however indicated there was no statistically significant difference in  $M_{\max}$  values between April and September ( $p > 0.05$ ).

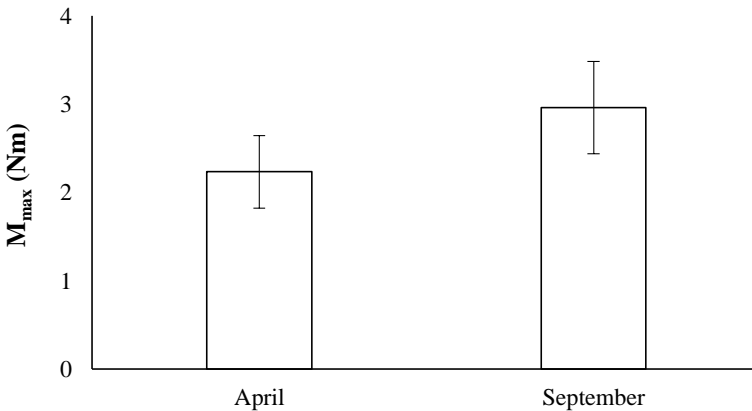


Figure 4: The mean flexural strength ( $M_{\max}$ ) values in two growing seasons (April vs. September). A standard error is shown by the error bars.

Maximum longitudinal stress (*max. long. stress*) varied significantly between two growing periods. Mean *max. long. stress* in September was 1.7 times higher than in April (Figure 5). The one-way ANOVA found statistically significant difference in *max. long. stress* between April and September ( $p < 0.001$ ).

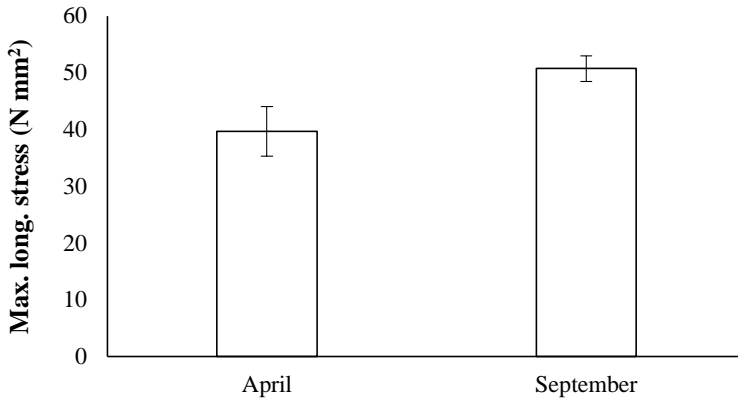


Figure 5: The mean maximum longitudinal stress (*max. long. stress*) values in two growing seasons (April vs. September). A standard error is shown by the error bars.

Flexural stiffness (*EI*) values differed between April and September; mean *EI* in September was greater than *EI* in April (Figure 6). A one-way ANOVA results also showed *EI* differed significantly between two growing seasons ( $p < 0.05$ ).

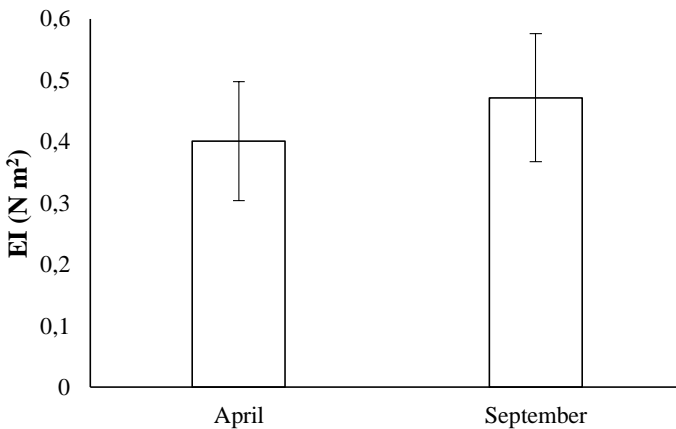


Figure 6: The mean flexural stiffness (*EI*) values in two growing seasons (April vs. September). A standard error is shown by the error bars.

The flexural modulus (*E*) differed between April and September ( $p < 0.05$ ). Surprisingly, mean *E* values in April was almost 2.3 times greater than mean *E* values in September (Figure 7). A one-way ANOVA results also showed statistically significant difference between two growing seasons ( $p < 0.001$ ).

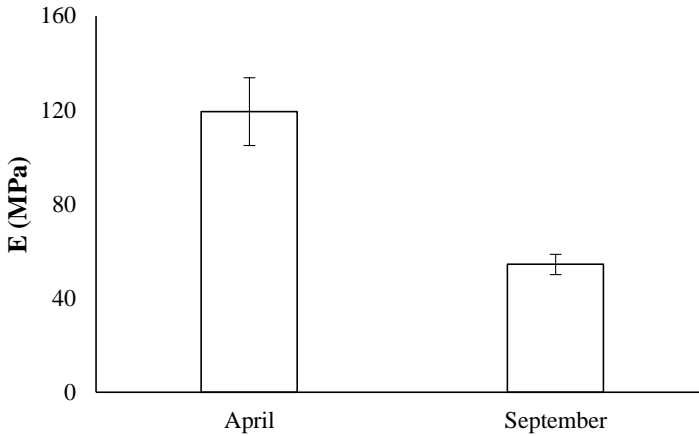


Figure 7: The mean flexural modulus ( $E$ ) values in two growing seasons (April vs. September). A standard error is shown by the error bars.

#### 4. Conclusion

This study showed that there are differences in flexural properties of black locust saplings depending on the growing season. In this study, flexural properties generally indicated greater values in the late growing season (September) than in early growing season. Particularly, maximum load, flexural strength, maximum longitudinal stress and flexural stiffness were greater in September than in April. Surprisingly, flexural modulus was greater in April than in September. Stems of black locust saplings were stronger in late growing season than in early growing season. This can be due to the survival adaptation of stems to environments. In early growing season, trees can response to continue both growth and mechanical activities to survive. In spring, the vegetation period also starts therefore trees may try to keep their body to extreme wind and rain loads. So, the seedlings showed greatest flexibility in their stems to withstand the environmental loads. It can be suggested that saplings were stronger in September and stiffer in April. Understanding flexural properties of trees at sapling stage is a good indicator to determine the mechanical response of stems to environmental loads. It is therefore vital to monitor the succession of sapling growth and mechanical response during different growing periods to understand the effect of changes in environmental and endogenous stimuli.



**5. References**

- Boyd, J.D. (1972) Tree Growth Stresses. V. Evidence of an Origin in Differentiation and Lignification. *Wood Science and Technology*, 6, 251-262.
- Calvert, J. R., & Farrar, R. (1999). An engineering data book. Palgrave, Basingstoke.
- Drew, D. M., Downes, G. M., Read, J., & Worledge, D. (2009). High resolution temporal variation in wood properties in irrigated and non-irrigated *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science*, 66(4), 1-10.
- Ennos AR (1997) Wind as an ecological factor. *Trends Ecol Evol* 12:108–111.
- Ennos, A. R. (2001). *Trees*. The Natural History Museum, London, 112 pp.
- Eugster, W. (2008). Wind effects. In: Jorgensen SE, Fath BD (eds) *Ecological processes*, vol 5 of encyclopedia of ecology. Elsevier, Oxford, pp 3794–3803.
- Fritts, H. C. (2001). *Tree rings and climate*. London: Academic Press.
- Goh, D. K. S., Japarudin, Y., Alwi, A., Lapammu, M., Flori, A., & Monteuis, O. (2013). Growth differences and genetic parameter estimates of 15 teak (*Tectona grandis* Lf) genotypes of various ages clonally propagated by microcuttings and planted under humid tropical conditions.
- Gómez-Aparicio, L., Gómez, J. M., Zamora, R., & Boettinger, J. L. (2005). Canopy vs. soil effects of shrubs facilitating tree seedlings in Mediterranean montane ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, 16(2), 191-198.
- Haralamb, A. T. (1967). Culture of forest species. Ediția a III-a. Editura Agro-Silvică București, 755 pp (in Romanian).
- James, K. R., Haritos, N., & Ades, P. K. (2006). Mechanical stability of trees under dynamic loads. *American journal of Botany*, 93(10), 1522-1530.
- Korpel', Š. (1978). Začiatkové fázy prirodzenej obnovy bukových porastov. *Vedecké práce VÚLH Zvolen*, 27, 109-141.
- Marcati, C. R., Angyalossy, V., & Evert, R. F. (2006). Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). *IAWA journal*, 27(2), 199-211.

- Mattheck, C., & Vorberg, U. (1991). The biomechanics of tree fork design. *Botanica acta*, 104(5), 399-404.
- Milla, R., & Reich, P. B. (2011). Multi-trait interactions, not phylogeny, fine-tune leaf size reduction with increasing altitude. *Annals of botany*, 107(3), 455-465.
- Mou, P., Jones, R. H., Tan, Z., Bao, Z., & Chen, H. (2013). Morphological and physiological plasticity of plant roots when nutrients are both spatially and temporally heterogeneous. *Plant and Soil*, 364(1), 373-384.
- Nicolescu, V. N., Rédei, K., Mason, W. L., Vor, T., Pöetzelsberger, E., Bastien, J. C., ... & Pástor, M. (2020). Ecology, growth and management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), a non-native species integrated into European forests. *Journal of forestry research*, 31(4), 1081-1101.
- Niklas, K. J. (1992). *Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function*. University of Chicago press.
- Özden, S., Slater, D., & Ennos, R. (2017). Fracture properties of green wood formed within the forks of hazel (*Corylus avellana* L.). *Trees*, 31(3), 903-917.
- Liu, Q., Piao, S., Janssens, I. A., Fu, Y., Peng, S., Lian, X. U., ... & Wang, T. (2018). Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost. *Nature communications*, 9(1), 1-8.
- Prentice, I. C., Sykes, M. T., & Cramer, W. (1993). A simulation model for the transient effects of climate change on forest landscapes. *Ecological modelling*, 65(1-2), 51-70.
- Puech, L., Türk, S., Hodson, J., & Fink, S. (2000). Wood formation in hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *Populus tremuloides* Michx.) grown under different nitrogen regimes. *Cell and molecular biology of wood formation*, 141-154.
- Spatz H.C., Bruechert F (2000) Basic biomechanics of self-supporting plants: wind loads and gravitational loads on a Norway spruce tree. *For Ecol Manag* 135:33–44.
- Telewski, F. W. (2012). Is windswept tree growth negative thigmotropism?. *Plant science*, 184, 20-28.
- Thomas, P. (2000). *Trees: their natural history*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Utsumi, Y., Bobich, E. G., & Ewers, F. W. (2010). Photosynthetic, hydraulic and biomechanical responses of *Juglans californica* shoots to wildfire. *Oecologia*, 164(2), 331-338.
- URL-1, (2022). ([https://www.nrcs.usda.gov/Internet /FSE\\_DOCU MENTS/ stelprdb1081720.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCU_MENTS/stelprdb1081720.pdf))
- Vollinger, S., Mitchell, S. J., Byrne, K. E., Novak, M. D., & Rudnicki, M. (2005). Wind tunnel measurements of crown streamlining and drag relationships for several hardwood species. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(5), 1238-1249.
- Fang, S., Sun, D., Shang, X., Fu, X., & Yang, W. (2020). Variation in radial growth and wood density of *Cyclocarya paliurus* across its natural distribution. *New Forests*, 51(3), 453-467.
- Xiao-rong, W, Ming-an, S, Xing-chang, Z, Hong-bo, S. (2010). Landform affects on profile distribution of soil properties in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) land in loessial gully region of the Chinese Loess Plateau and its implications for vegetation restoration. *African Journal of Biotechnology*, 8, 13.



**Scientific Researches in  
Natural and Engineering  
Sciences**

CHAPTER 09



**Investigation of Variable Acoustic Requirements in  
Halls Used for Speech and Music**

(Tarık Serhat Bozkurt)



## Investigation of Variable Acoustic Requirements in Halls Used for Speech and Music

**Tarik Serhat Bozkurt**

*Istanbul Technical University, Department of Architecture,*

*E-mail: bozkurtt@itu.edu.tr*

*ORCID ID: 0000-0001-5642-4986*

### 1. Introduction

Understanding speech is the primary design purpose in halls used for speaking purposes. However, perceiving music harmoniously is one of the main design parameters in concert halls used for musical purposes. Performing different functions in the same hall may adversely affect acoustic comfort conditions. It is expected that variable acoustic conditions will be provided, especially in the halls used for music and speech purposes. In this study, the design strategies of speech halls and music halls are explained and design suggestions, which can be made according to changing usage purposes, are explained.

In this study, a sample hall analysis was carried out. The use of the hall for both music and speaking purposes was detailed and auditory comfort conditions were tried to be provided for both different functions. It was aimed to provide the acoustic parameters necessary using for music purposes and for speech purposes. In order to provide auditory comfort conditions according to changing functions, changing space volumes and changing hall surfaces were used in this research. In this research, the analyzes of the necessary design conditions were detailed step by step. The location of the hall to be analyzed in the building was presented in Figure 1.

### 2. Acoustical Analysis of the selected hall

In the room acoustic works, it is essential to keep the environmental noises coming from outside the building under control. For this reason, the sound insulation performance of the hall envelope was improved (wall detail and roof detail). The hall envelope was created by designing multi-layered wall and roof details. A section of the hall envelope system (without cladding details) was shown in Figure 2. Wall system details (Fig 1a)  $R_w$  value and Roof system details  $R_w$  value were acquired with INSUL software (v7.0.13 version) thanks to defining similar details in the software. According to INSUL software results, the  $R_w$  value of wall detail (Fig.2a) is approximately 126 dB, while the  $R_w$  value of roof detail (Fig.2b) is approximately 78 dB

(ISO 717-1 standard clarifies the calculation methodology of the  $R_w$  value). To reduce the traffic noise that may occur, it was aimed to have a high sound insulation performance of the wall and ceiling sections. In addition, it was planned to increase the sound insulation level as much as possible by designing a second shell in the hall (Fig.3).

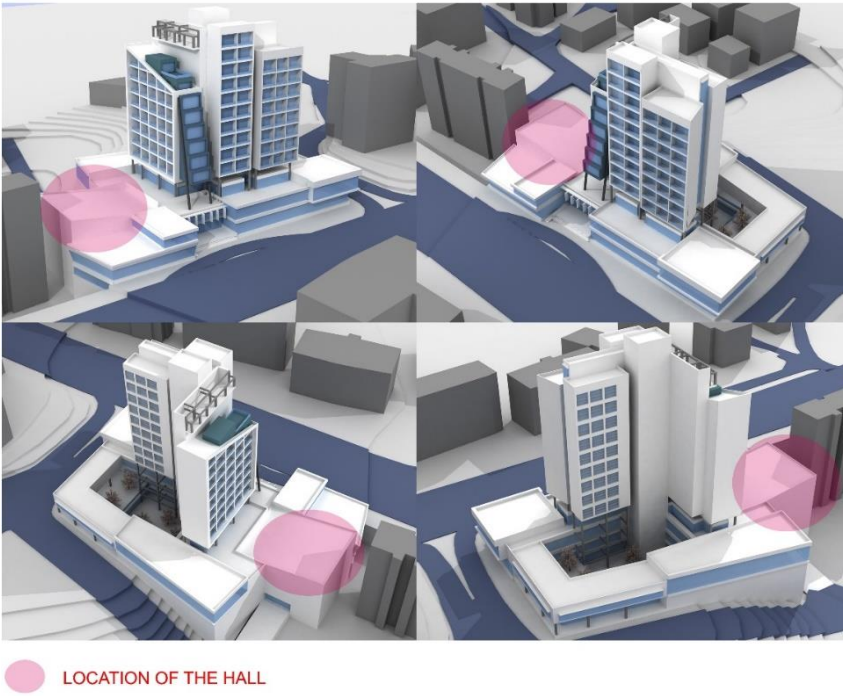


Figure 1: Location of the hall

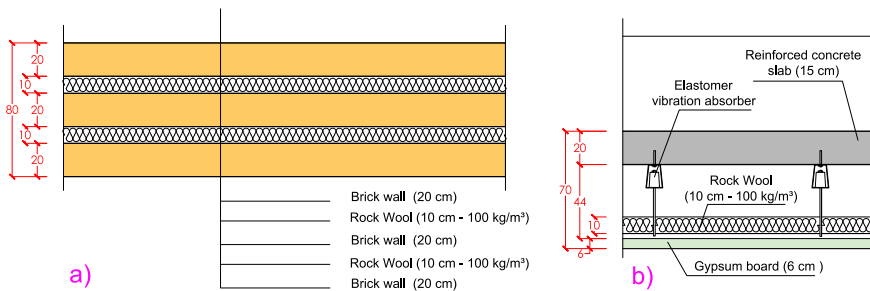


Figure 2: Section of the multi-layered wall and roof details (without exterior cladding system), a) wall, b) roof



The plan and section of the analyzed hall are given in Figure 3. The maximum height was shown as 17.60 meters and it was proposed to design a second shell system inside (Fig. 3). As seen in Figure 1, the height of the hall can affect the natural light of the rooms on the upper floors. The model given in Figure 1 was revised and the height of the living room is designed in such a way that it does not block the natural light of the rooms on the upper floor. According to this design strategy, the maximum hall height was determined as 17,60 meters. It was observed that the height of the hall can be a maximum of 17.60 meters, so as not to interrupt the natural light of the rooms on the upper floors. The height of the hall is an important parameter to increase the volume per person in the halls for music purposes, and for this reason, the height of the hall was determined as 17.60 meters.

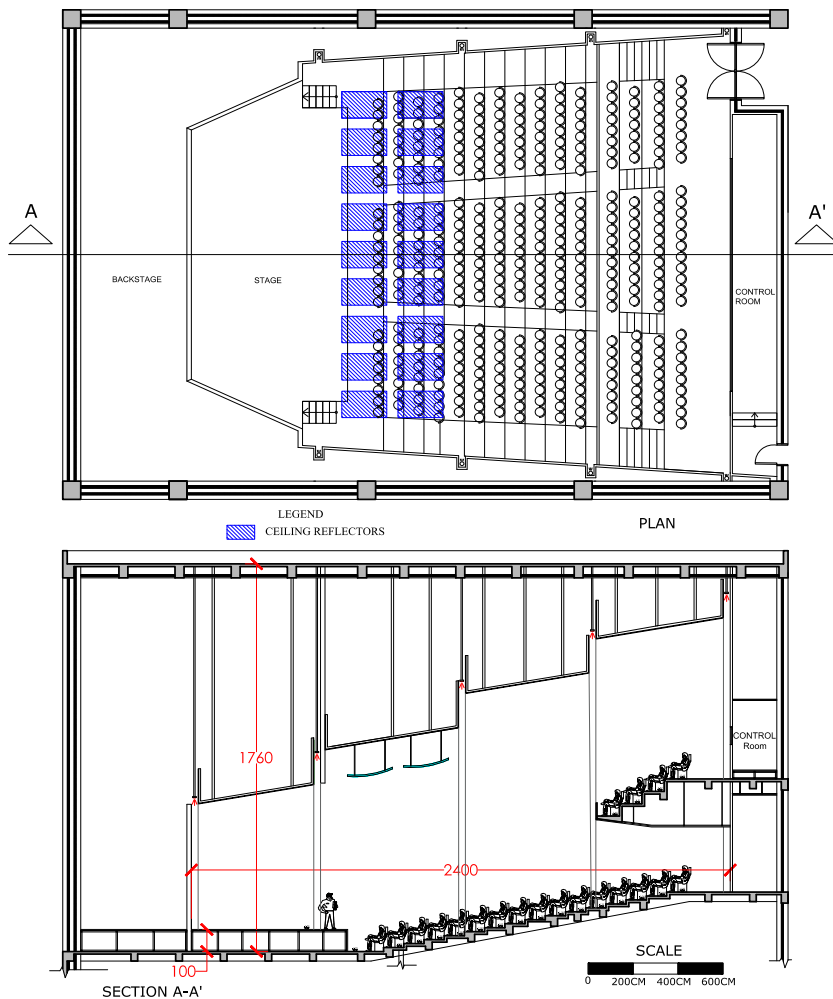


Figure 3: Plan and section of the hall

The stage must be visible from the rear seats. In order to establish a visual relationship between the stage and the audience, sloping flooring systems are used in the halls. In the book prepared by Mehta et al. (1999), riser height for a uniformly sloped auditorium floor was clarified with Equation 1 (related to Fig. 4). Minimum step height values are explained so that the stage can be seen from the rear seat. Also, riser height for a uniformly balcony auditorium floor was determined with Equation 2 (related to Fig. 5) (Mehta et al.,1999). The height differences between the balcony seats are determined according to the back seat on the balcony. Step heights under the balcony were determined in accordance with Equation 1 and it was determined that the value of 18 cm provides visual continuity. Step heights under the balcony were determined in accordance with Equation 1 and the value of 18 cm was chosen because it provides the required value. The height between the audience on the balcony was determined as 56 cm to meet the requirement of Equation 2.

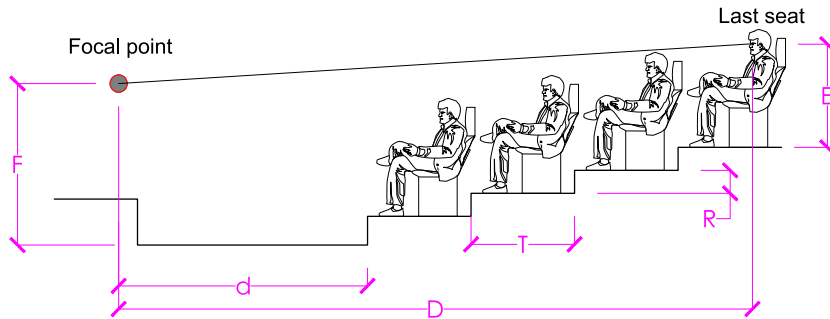


Figure 4: Riser height for a uniformly sloped auditorium floor (for Eq. 1) (retrieved from Mehta et al.,1999)

$$R = \frac{cD - T(F - E)}{d} \quad (1)$$

$c$ = Distance between the top of the head and the eye (typically 10 cm)

$d$ = Depth of the plat part of the floor, measured from the focal point

$D$ = Distance of the last seat from the focal point

$E$ = Height of the eye from the floor level, typically 110 cm

$F$ = Height of the focal point above the floor level. The focal point is the lowest point on the stage that is required to be visible to the audience.

$T$ = Distance between seating rows, i.e., tread width

$R$ = Height of the sloped floor riser

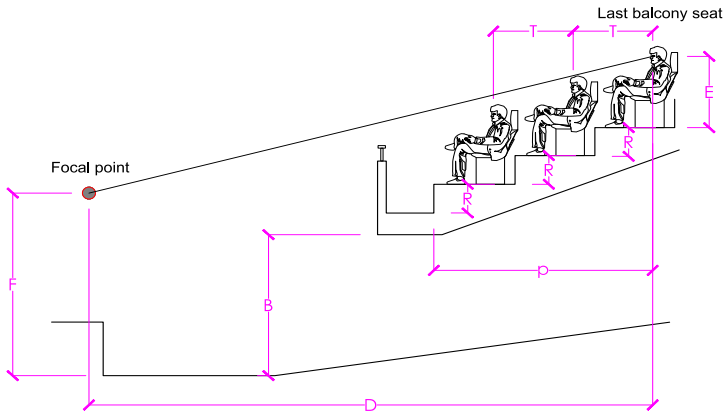


Figure 5: Riser height for a uniformly sloped balcony floor (for Eq. 2)  
(retrieved from Mehta et al., 1999)

$$R = \frac{(B+E-F)T+Dc}{(D-p)T} \quad (2)$$

B= Height of the underside of the balcony from the flat part of the auditorium floor

c= Distance between the top of the head and the eye (typically 10 cm)

p= Horizontal distance between first balcony riser and the last seat

D= Distance of the last balcony seat from the focal point

E= Height of the eye from the floor level, typically 110 cm

F= Height of the focal point above the floor level. The focal point is the lowest point on the stage that is required to be visible to the audience.

T= Distance between seating rows, i.e., tread width

R= Height of the sloped floor riser

It was recommended by Mehta et al. (1999) that the volume value per person of the halls used for speaking purposes should be a maximum of 5.5 cubic meters. However, in the halls used for music purposes, it is seen that the volume value per person is above 7 and a value of 10 can be recommended (Long, 2006; Maekawa et al., 2011). The reason for this value difference in speech and music halls is to provide the necessary reverberation time. To be able to understand speech in speech halls, the reverberation time must be less than in music halls. Similarly, to perceive music harmoniously in the halls for music purposes, the reverberation time must be longer than in the halls for speaking purposes. As the volume increases, the reverberation time may increase and as the volume decreases, the reverberation time may

decrease. For the stated reasons, the room volume was changed according to function type. In this study, movable ceiling panels were proposed for two different functions, which is listed as music and speech purpose (Figure 6). The hall volume can be changed thanks to the movable ceiling profiles. In the plan and section given in Figure 3, the number of seats is approximately 535. Accordingly, if the hall is used for speaking purposes, the volume per person is approximately 5.0 cubic meters, while if the hall is used for music purposes, the volume per person is approximately 7.4 cubic meters. The volume of the music hall is **3940** cubic meters, while the volume of the speech hall is **2695** cubic meters. The volume of the music hall was tried to be increased as much as possible, but the ceiling panels were angled in order to convey the reflections to the audience. In addition, an intermediate space was reserved for carrying out installation and maintenance works in the space above the ceiling.

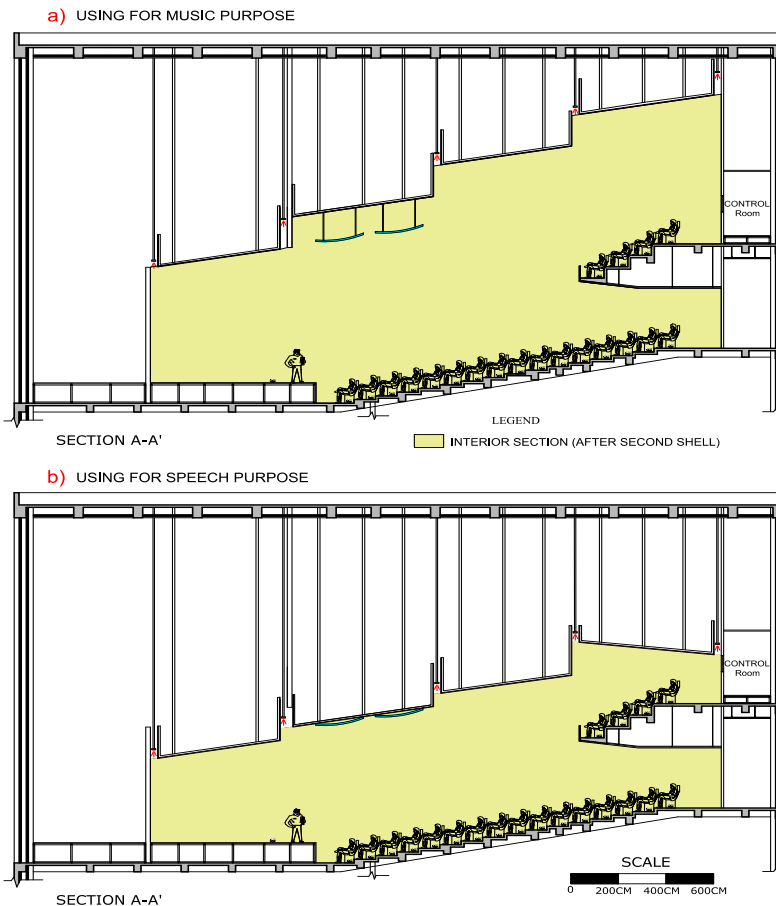


Figure 6: Changing interior volume according to different function usage scenarios, a) using for music purpose, b) using for speech purpose

In the acoustic design process, angling the ceiling panels in such a way that the sound can reach the receivers can improve the auditory comfort conditions. It is an important design parameter, especially when no loudspeaker systems are available and only the speaker's voice is active. While designing the ceiling panels, it was aimed to transfer efficient ceiling reflections to all audiences. Reflections are shown in Figure 7 and reflection analyzes are performed according to two different source locations and according to two different function types. It was aimed to convey the reflections to all listeners in general. One of the important issues in ceiling design is the prevention of delayed reflections. If there is a difference of 30 milliseconds between the reflected sound and the direct sound, it may cause delayed reflections (Jaramillo, 2015; Maekawa et al., 2011). Initial time delay gap analyses were performed according to Equation 3.

$$ITDG = \frac{(R1+R2)-D}{0,344} \quad (3)$$

ITDG= Initial time delay gap ( $30 \geq ITDG$ )

R1= Distance between source and reflective panel (meter)

R2= Distance between reflector panel and receiver (meter)

D= Direct distance between receiver and source (meter)

Reflection analyzes of reflective ceiling panels are given in Figure 8. Reflected sound reaching the receivers after 30 milliseconds may adversely affect the auditory comfort conditions. For this reason, ceiling panels are designed accordingly. In the design of the hall, which will be used for music purposes, it was recommended to use suspended reflective glass panels in areas that may create delayed reflections due to the high ceiling height. In this direction, delayed reflections were tried to be avoided as much as possible. In Table 1, the calculation of the reflection was demonstrated and five different listener point was analyzed. All of the analyzed listener points satisfied the required value to avoid delayed reflection.

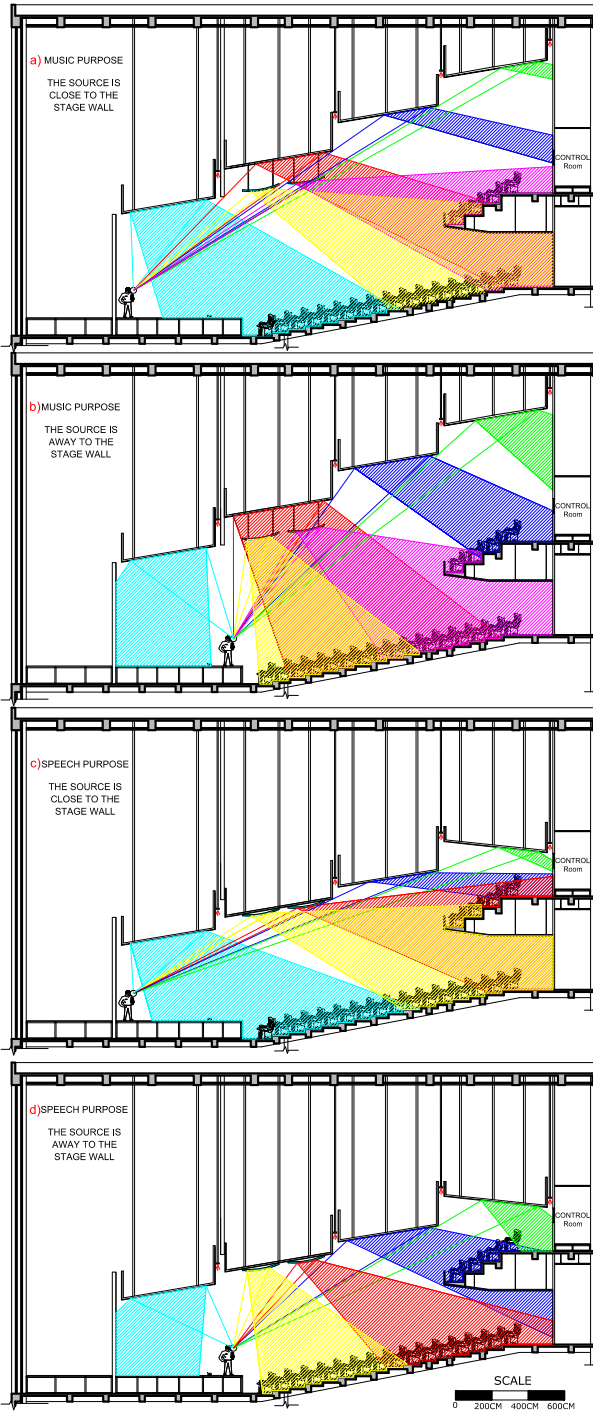


Figure 7: Ceiling reflection analysis

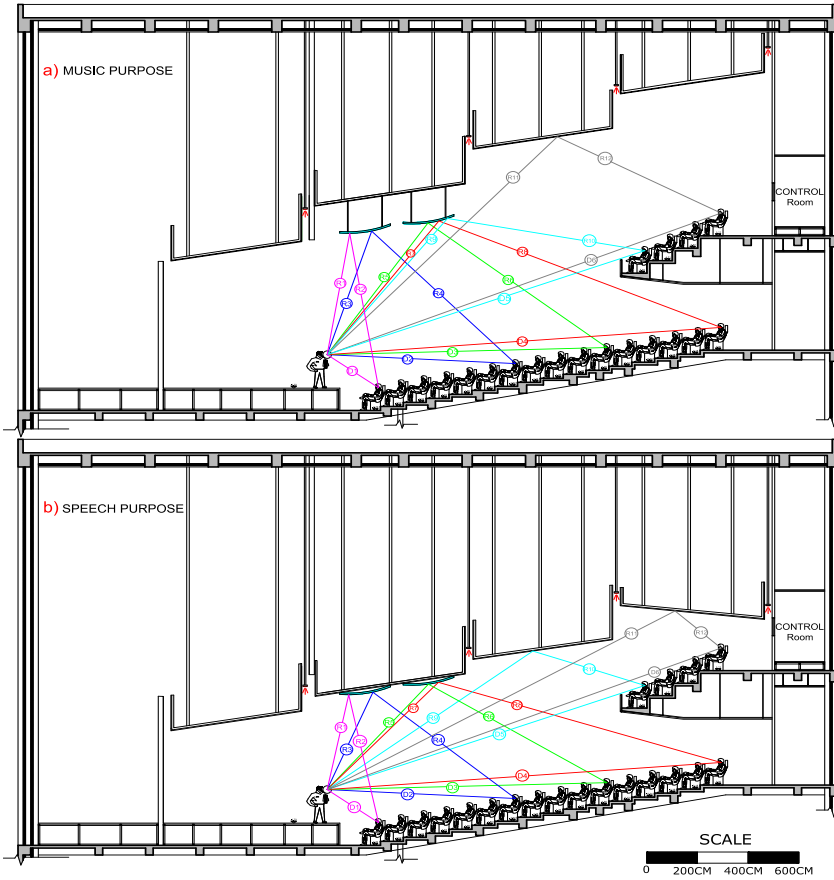


Figure 8: Ceiling reflections (ITDG analysis)

Table 1: Calculation of the reflection analysis (initial time delay gap) related to Figure 8

		USING FOR MUSIC PURPOSE	USING FOR SPEECH PURPOSE
R1-R2-D1	$\frac{(R1+R2)-D1}{0.344} \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(5.50 + 7.00) - 2.50}{0.344} = 29.07 \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(4.33 + 5.85) - 2.80}{0.344} = 21.45 \leq 30 \text{ ms}$
R3-R4-D2	$\frac{(R3+R4)-D2}{0.344} \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(5.80 + 8.21) - 7.43}{0.344} = 19.1 \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(4.72 + 7.36) - 7.43}{0.344} = 13.5 \leq 30 \text{ ms}$
R5-R6-D3	$\frac{(R5+R6)-D3}{0.344} \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(7.11 + 8.99) - 11.02}{0.344} = 14.76 \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(6.18 + 8.29) - 11.02}{0.344} = 10.02 \leq 30 \text{ ms}$
R7-R8-D4	$\frac{(R7+R8)-D4}{0.344} \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(7.44 + 12.10) - 15.56}{0.344} = 11.56 \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(6.50 + 11.70) - 15.56}{0.344} = 7.67 \leq 30 \text{ ms}$
R9-R10-D5	$\frac{(R9+R10)-D5}{0.344} \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(7.73 + 7.91) - 13.36}{0.344} = 6.62 \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(10.21 + 4.67) - 13.36}{0.344} = 4.41 \leq 30 \text{ ms}$
R11-R12 -D6	$\frac{(R11+R12)-D6}{0.344} \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(13.32 + 7.30) - 16.76}{0.344} = 6.62 \leq 30 \text{ ms}$	$\frac{(15.87 + 2.46) - 16.77}{0.344} = 4.53 \leq 30 \text{ ms}$

Keeping the reverberation time under control is one of the most important parameters for providing auditory comfort conditions. Reverberation time values are determined depending on the function of the room. In this study, the required reverberation time values were determined in accordance with the DIN 18041:2016 standard. DIN 18041:2016 standard defines recommended range according to optimum reverberation time value. The reverberation time recommended range was given in Figure 9. The optimum reverberation time recommended in speech rooms according to the DIN 18041:2016 standard can be calculated using Equation 4 (Nocke, 2016; DIN 18041:2016). When the hall is used for speaking purposes, its volume is 2695 cubic meters and accordingly, the optimum reverberation time value is 0.93 ( $T_{TARGET}$  value for speech purpose is 0.93). The minimum and maximum reverberation time values determined according to the DIN 18041:2016 standard were shown in Table 2 (for using speech purpose).

$$T_{TARGET} = [0.32 \times \log[V]-0.17] \text{ s} \tag{4}$$

$T_{TARGET}$  = optimum reverberation time of the hall for speech purpose

V= Volume of the hall

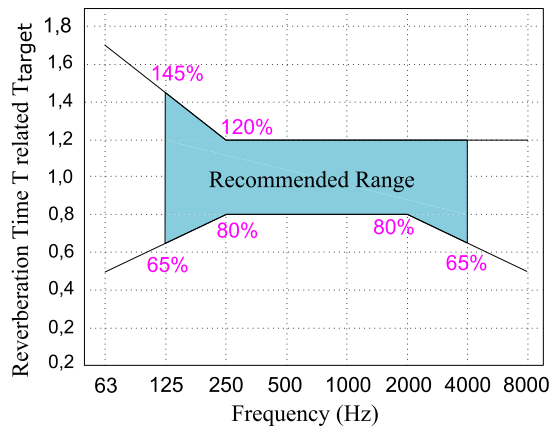


Figure 9: Reverberation time recommended range based on optimum reverberation time (DIN 18041:2016 standard; Nocke, 2016)

Table 2: The minimum and maximum reverberation time values of the hall for using speech purpose (hall volume: 2695)

Required reverberation time values	Frequency (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Maximum value	1.35	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
Minimum value	0.60	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74



DIN 18041:2016 standard explains optimum reverberation time value for music purpose rooms but hall volume should be less than 1000 cubic meters (analyzed hall volume is 3940 cubic meters for using music purpose). Hence, the optimum reverberation time value for using music purpose was acquired from the book prepared by Mehta et al. (1999). In the book prepared by Mehta et al. (1999), the optimum reverberation time of the concert hall for light music at 500 Hz is approximately 1.6 seconds when the hall volume is approximately 4000 cubic meters. In this study, the optimum reverberation time at 500 Hz was determined as 1.6 seconds when the hall is used for musical purposes. When the hall is used for music, the recommended reverberation time range was determined in accordance with Figure 9 (minimum and maximum reverberation time values). The minimum and maximum reverberation time values determined according to the DIN 18041:2016 standard were demonstrated in Table 3 (for using music purpose).

Table 3: The minimum and maximum reverberation time values of the hall for using music purpose (hall volume: 3940)

Required reverberation time values	Frequency (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Maximum value	2.32	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92
Minimum value	1.04	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28

The reverberation time is calculated according to the total volume and total absorption. The formula for the reverberation time was given in Equation 5 (Everest & Pohlmann, 2009; Bozkurt & Demirkale, 2018).

$$RT = 0.161 \frac{V}{\Sigma A} \quad (5)$$

RT= reverberation time of a room (sec.)

V= volume of the room (m<sup>3</sup>)

$\Sigma A$ = total absorption in the room (Eq. 6) (metric sabins).  $\Sigma A$  includes absorption provided by room boundaries, audience, furnishings, air, etc.

$$\Sigma A = ((\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n) + x \cdot V) \quad (6)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_n$  = sound absorption coefficients (For different surfaces based on material properties)

$S_1, S_2, S_n$  = respectively different room surfaces

x = air absorption coefficient

For using music purpose, the coating surfaces of the hall were detailed in Figure 10. The floor of the stage area was determined as a wooden covering. Linoleum was chosen for the floor coverings other than the stage floor to be easy to clean and to reduce impact noise. The wooden reflective panel was used on the stage wall. Reflective panels and wooden diffuser coatings were preferred on the side walls (section A-A'). Wooden diffuser coating was used on the rear wall of the hall (on the back wall above and below the balcony). The wood perforated absorber panel was used in the suspended ceiling area (flat area) under the balcony. Ceiling surfaces were selected as a reflective wood coating. In addition, reflective hanging panels were designed as glass. The sound absorption coefficients used in the study were obtained from the literature. Within the scope of this study, references from which sound absorption coefficients were obtained and detailed surface properties are given in Table 4.

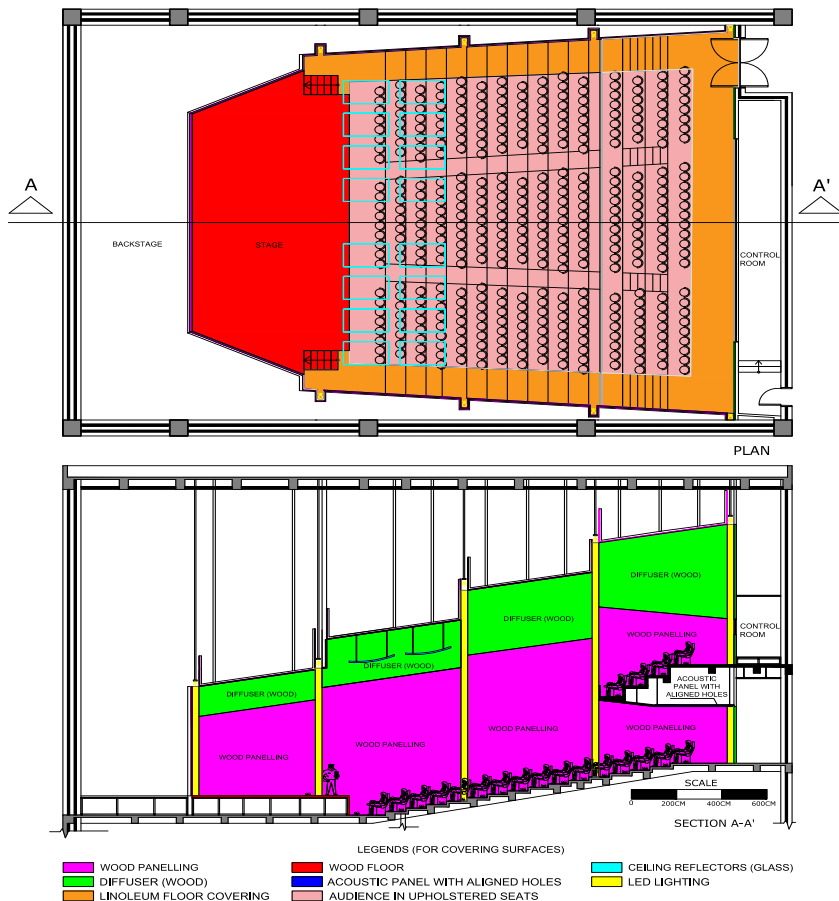


Figure 10: Surface coating materials for using music purpose

Table 4: Surface properties and references which the sound absorption coefficient was acquired

Type and Properties of Coating	REFERENCE
Linoleum floor covering	Cox& D’Antonio (2005)
Audience in upholstered seats	Long (2006)
Floors, wooden (stage)	Long (2006)
Acoustic panel with aligned holes (MDF 12mm, pitch 16x16 mm aligned, hole diameter Ø 8 mm, Perforated area 19.6 %, Mineral wool behind 40mm and 30 kg/m <sup>3</sup> )	URL-1 (2022)
Reflective ceiling panels (plate glass, large panes)	Barron (2003), Cox& D’Antonio (2005)
Wood, 2.54 cm, paneling with airspace behind	Long (2006)
Solid wooden door	Cox& D’Antonio (2005)
Double glazing (2-3 mm glass and 1 cm space)	Cox& D’Antonio (2005)
Diffuser (1D N=7 QRD, design freq. =500 Hz)	Cox& D’Antonio (2005)
Curtain (Cotton curtains, 0.475 kg/m <sup>2</sup> , Draped to 1/2 area)	Cox& D’Antonio (2005)
Air, 70% RH (per m <sup>3</sup> at 20°C)	Lord & Templeton (1996)

The reverberation time calculation according to the usage of music purpose was presented in Table 5. The recommended reverberation time intervals and calculated value according to the use of the hall for music purposes were demonstrated in Figure 11. It was understood that the results of the reverberation time meet the requirements of the use of the hall for music purposes.

Table 5: Reverberation time results of the hall for using music purpose

SURFACE PROPERTIES		FREQUENCY (Hz)											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
Surface Type	Area (m <sup>2</sup> )	α	S. α	α	S. α	α	S. α	α	S. α	α	S. α	α	S. α
Linoleum floor covering	183.42	0.02	3.67	0.02	3.67	0.03	5.50	0.04	7.34	0.04	7.34	0.05	9.17
Audience in upholstered seats	280.35	0.39	109.34	0.57	159.80	0.80	224.28	0.94	263.53	0.92	257.92	0.87	243.90
Wooden floor covering (stage)	114.29	0.15	17.14	0.11	12.57	0.10	11.43	0.07	8.00	0.06	6.86	0.07	8.00
Acoustic panel with aligned holes	68.95	0.45	31.03	0.90	62.06	0.90	62.06	0.90	62.06	0.65	44.82	0.55	37.92
Reflective ceiling panels	43.2	0.18	7.78	0.06	2.59	0.04	1.73	0.03	1.30	0.02	0.86	0.02	0.86
Wooden panel	952.95	0.19	181.06	0.14	133.41	0.09	85.77	0.06	57.18	0.06	57.18	0.07	66.71
Solid wooden door	12	0.14	1.68	0.10	1.20	0.06	0.72	0.08	0.96	0.10	1.20	0.10	1.20
Diffuser	318.86	0.11	35.07	0.10	31.89	0.07	22.32	0.08	25.51	0.06	19.13	0.06	19.13
Double glazing	9.7	0.10	0.97	0.07	0.68	0.05	0.49	0.03	0.29	0.02	0.19	0.02	0.19
Air (Volume- m <sup>3</sup> )	3940 m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	19.70	0.009	35.46	0.02	78.80
<b>Total Absorption. ∑ A (sabins)</b>		<b>387.74</b>		<b>407.86</b>		<b>414.29</b>		<b>445.85</b>		<b>430.96</b>		<b>465.89</b>	
<b>Calculated Reverberation Time</b>		<b>1.64</b>		<b>1.56</b>		<b>1.53</b>		<b>1.42</b>		<b>1.47</b>		<b>1.36</b>	

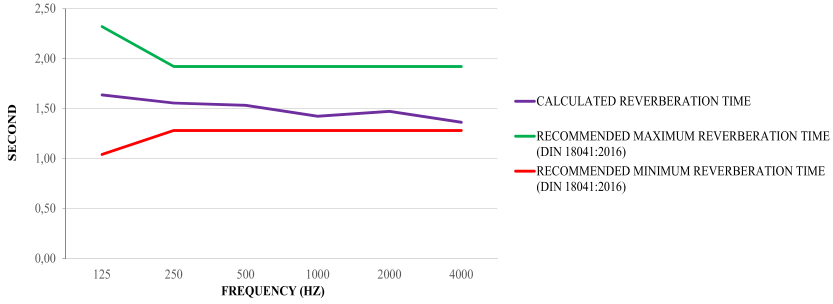


Figure 11: Reverberation time results of the hall for using music purpose

In halls for music purposes, the warmth of the hall can be analyzed by the bass ratio. In the halls used for music purposes, it is requested that the bass ratio be higher than 1. If the bass ratio value is less than 1, it can be said that the warmth of hall is insufficient (Mehta et al.,1999). The calculation of the bass ratio was given in Equation 7.

$$BR = \frac{[RT_{125} + RT_{250}]}{[RT_{500} + RT_{1000}]} \quad (7)$$

BR = Bass ratio

$RT_{125}$  = Reverberation time at 125 Hz

$RT_{250}$  = Reverberation time at 250 Hz

$RT_{500}$  = Reverberation time at 500 Hz

$RT_{1000}$  = Reverberation time at 1000 Hz

If the reverberation time is less than 1.8 seconds, it is recommended that the bass ratio is between 1.1 and 1.45. The bass ratio of the hall when used for music purposes has a value of approximately 1.1 and the bass ratio is greater than 1 (Table 5 results were used in Equation 7).

In the Music purpose hall, loudness is an important parameter to analyze the quality of the hall. This value is related to the volume of the hall and the volume of the hall must be large to provide the desired range. The calculation of the loudness was given in Equation 8 (Mehta et al.,1999).

$$G_{mid} = 10 \log \left[ \frac{RT_{mid}}{V} \right] + 44 \quad (8)$$

$$RT_{mid} = (RT_{500} / RT_{1000}) / 2$$

$RT_{500}$  = Reverberation time at 500 Hz

$RT_{1000}$  = Reverberation time at 1000 Hz

V= Volume of the hall

In the book prepared by Mehta et al. (1999), the loudness value is suggested to be between 4.0 and 5.5 dB. In Table 5, the  $G_{mid}$  value was calculated to be 9.7 dB in line with the reverberation time results. To obtain results in the desired range, the volume of the hall must be increased, but if the volume of the hall is increased more, the floor height of the hall will need to be increased. If the living room height of 17.60 given in Figure 3 is increased, the natural light of the rooms on the upper floor will be blocked (Fig.1). For this reason, it was decided not to increase the volume of the hall.

In the preliminary design of the concert halls, the number of people can be determined approximately in line with the volume of the hall and the predicted reverberation time. The number of people equation is presented in Equation 9 (Mehta et al.,1999).

$$N = 10 \left[ \frac{0.2 V}{RT_{mid}} \right] \quad (9)$$

$$RT_{mid} = (RT_{500} / RT_{1000}) / 2$$

$RT_{500}$  = Reverberation time at 500 Hz

$RT_{1000}$  = Reverberation time at 1000 Hz

V= Volume of the hall

In light of the data in Table 5, the number of people (N value) calculated during the preliminary design phase is approximately 535. It was observed that the N value calculated with the total number of people in the hall was similar.

The reverberation time is lower in speech-purpose halls than in music-purpose halls. In speech purpose halls, it is aimed to enhance the intelligibility of speech. To reduce the reverberation time, the volume must be reduced or the total absorption must be increased. In the study, it was aimed to decrease the volume and increase the total absorbance. In this project suggestion, when the hall is used for speaking purposes, the ceiling panels come down to the position given in Figure 6b. In this case, the volume of the space was decreased. Also, total absorption was increased by offering a variable surface suggestion.

Reflective ceiling panels come to the position given in Figure 6b when the hall is used for speaking purposes. Movable ceiling panels help to decrease hall volume. In this case, the wooden diffusers specified in Figure 10 A-A' section remain outside the hall and the ceiling descends to the wooden reflective panels. It was suggested to use a curtain system in front of the diffuser coverings on the rear wall of the hall (to the rear walls above and below the balcony). In this way, the total absorption value in the space could

be increased. When the hall is used for speaking purposes, the wooden diffuser located on the rear wall is covered with curtains. Conditions are similar for musical use, except for the reduction of the volume and the covering of the curtain. The calculated reverberation time for the specified conditions is presented in Table 6 (for speech purpose). It can be seen in Figure 12 that the reverberation time is within the range specified in the DIN 18041:2016 standard when the hall is used for speech purpose.

Table 6: Reverberation time results of the hall for using speech purpose

SURFACE PROPERTIES		FREQUENCY (Hz)											
		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
Surface Type	Area (m <sup>2</sup> )	α	S. α	α	S. α	α	S. α	α	S. α	α	S. α	α	S. α
Linoleum floor covering	183.42	0.02	3.67	0.02	3.67	0.03	5.50	0.04	7.34	0.04	7.34	0.05	9.17
Audience in upholstered seats	280.35	0.39	109.34	0.57	159.80	0.80	224.28	0.94	263.53	0.92	257.92	0.87	243.90
Wooden floor covering (stage)	114.29	0.15	17.14	0.11	12.57	0.10	11.43	0.07	8.00	0.06	6.86	0.07	8.00
Acoustic panel with aligned holes	68.95	0.45	31.03	0.90	62.06	0.90	62.06	0.90	62.06	0.65	44.82	0.55	37.92
Reflective ceiling panels	43.2	0.18	7.78	0.06	2.59	0.04	1.73	0.03	1.30	0.02	0.86	0.02	0.86
Wooden panel	868.37	0.19	164.99	0.14	121.57	0.09	78.15	0.06	52.10	0.06	52.10	0.06	52.10
Solid wooden door	12	0.14	1.68	0.10	1.20	0.06	0.72	0.08	0.96	0.10	1.20	0.10	1.20
Curtain	81.06	0.07	5.67	0.37	29.99	0.49	39.72	0.81	65.66	0.65	52.69	0.54	43.77
Double glazing	9.7	0.10	0.97	0.07	0.68	0.05	0.49	0.03	0.29	0.02	0.19	0.02	0.19
Air (Volume- m <sup>3</sup> )	2695 m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	13.48	0.009	24.26	0.02	53.90
<b>Total Absorption. ∑ A (sabins)</b>			<b>342.27</b>		<b>394.13</b>		<b>424.07</b>		<b>474.70</b>		<b>448.24</b>		<b>451.03</b>
<b>Calculated Reverberation Time</b>			<b>1.27</b>		<b>1.10</b>		<b>1.02</b>		<b>0.91</b>		<b>0.97</b>		<b>0.96</b>

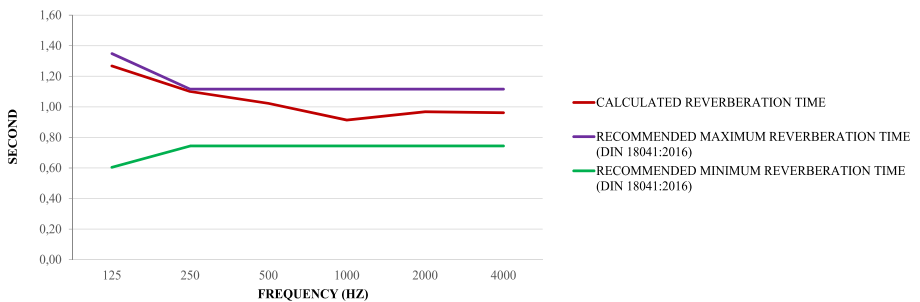


Figure 12: Reverberation time results of the hall for using speech purpose

In speaking halls, the hall should not be designed too deep to provide speech intelligibility without a loudspeaker system, and it is aimed that the rear audience can hear the speech. In the literature, it is observed that the level of intelligibility of speech can be examined with the AI (Articulation Index). In terms of speech intelligibility, the AI value was defined as very good between 1 and 0.7, and good between 0.5 and 0.7 (Mehta et al.). In this study, the listener at the farthest point from the speaker and at the top of the balcony was analyzed (Fig 8b, R11-R2-D6 direction). Only the effect of direct sound and ceiling reflection were considered. In this analysis, the path length of the direct sound is 16.77 meters, while the path length of the reflected sound is 18.33. While calculating the AI value, the sound pressure levels of the direct sound reaching the listener and the reflected sound reaching the listener are taken into consideration. The values of the sound pressure level 1 meter away from the speaker were shown in Table 7 according to the changing frequencies (due to the raised level, 6 dB was added). The sound pressure level of direct sound calculated according to Equation 10 (Mehta et al.,1999) and the sound pressure level of reflected sound calculated according to Equation 11 (Mehta et al.,1999) were given in Table 7. In addition, the total level of the direct sound and the reflected sound, and the total signal level were shown in Table 7. The total signal level was acquired from Equation 12 (Jaramillo, 2015).

$$SPL_2 = SPL_1 - 20 \frac{D_2}{D_1} \text{ (For direct sound)} \quad (10)$$

$SPL_2$ = Sound pressure level (source) (dB)

$SPL_1$ = Sound pressure level (listener) (dB)

$D_2$ = The path length of the direct sound (meter)

$D_1$ = Distance of source (reference distance 1 meter)

$$SPL_2 = SPL_1 - 20 \frac{D_2}{D_1} + 10 \log(1 - \alpha) \text{ (For reflected sound)} \quad (11)$$

$SPL_2$ = Sound pressure level (source) (dB)

$SPL_1$ = Sound pressure level (listener) (dB)

$D_2$ = the path length of the reflected sound

$D_1$ = Distance of source (reference distance 1 meter)

$\alpha$  = sound absorption coefficient

$$L_t = 10 \log \left[ 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right] \quad (12)$$

$L_t$ = Total signal level (dB)

$L_n$ = Level of each source (dB)

Table 7: Total signal level of the listener at the farthest point from the speaker (Fig 8b, R11-R2-D6 direction)

Frequency (Hz)	SPL at 1m (dB)	Direct SPL2 (dB) (Eq. 9)	SPL2 due to the reflector (dB) (Eq. 10)	Total Signal Level (dB) (Eq. 11)
250	78.5	54.0	52.6	56.4
500	80	55.5	54.3	58.0
1000	74	49.5	48.5	52.0
2000	68	43.5	42.5	46.0
4000	63	38.5	37.5	41.1

AI (Articulation Index) can be calculated by using Equation 13 (Mehta et al., 1999). According to Equation 13, the AI value of the farthest point from the speaker (Fig 8b, R11-R2-D6 direction) was calculated. The interior noise level of the hall was determined according to the NC30 noise curve, which was accepted as the maximum interior noise level of the auditorium in the book prepared by Mehta et al. (1999). Also, WF (weighting factor) was obtained from the book prepared by Mehta et al. (1999) and was given according to the frequency in Table 8 (the weighting factor is constant and changes only according to frequency).

$$AI = \text{Sum of } ((S-N \text{ ratio}) \times \text{weighting factor}) \quad (13)$$

AI= Articulation Index

S-N ratio = Signal Level -Noise Level (dB)

Table 8: Articulation Index calculation at the farthest point from the speaker (Fig 8b, R11-R2-D6 direction)

Frequency (Hz)	Signal Level (dB)	Noise Level (NC 30)	S-N ratio	WF (weighting factor)	(S-N) x WF
250	56.4	41	15.4	0.0024	0.0369
500	58.0	35	23.0	0.0048	0.1102
1000	52.0	31	21.0	0.0074	0.1556
2000	46.0	29	17.0	0.0109	0.1856
4000	41.1	28	13.1	0.0078	0.1018
$AI = 0.0369 + 0.1102 + 0.1556 + 0.1856 + 0.1018 = \mathbf{0.59}$					

The calculated AI value is evaluated separately in indoor areas. Correction should be made in the reverberant spaces. The level that should be subtracted from the AI value was determined in the book of Metha et al. (1999) according to the calculated reverberation time values. In the book, it is recommended to reduce the 0.1 value from AI result when reverberation time



is 1 second. After the reverberation time correction was made, the Calculated AI value was 0.49. It was stated that if the listeners see the speaker, the calculated AI value and the effective AI value can be different, and it was explained that the effective value was higher in this case (Mehta et al., 1999). In the book prepared by Mehta et al. (1999), when the calculated AI value is approximately 0.49, the effective AI value is approximately **0.62**. The listener at the farthest point from the speaker (Fig 8b, R11-R2-D6 direction) effective AI value is **0.62**. It means that speech intelligibility is good. The contribution of only a single ceiling reflection was considered in the AI calculation. However, considering the reflections of different surfaces, it is predicted that the calculated AI value may increase. AI calculation was performed according to the farthest point from the source. This value increases towards the front rows. AI calculation was performed according to the furthest point and the weakest case was analyzed. It was determined that the AI value is not low even in the weakest condition.

Within the scope of this study, acoustic project work was carried out for two different functions in the hall. The use of the hall for speaking and musical purposes was examined and the reverberation time intervals given in the DIN standard were provided. Analyzes were carried out so that music could be perceived harmoniously and speech could be understood. In this direction, reverberation time analysis, bass ratio analysis, reflection analysis, and articulation index analysis were examined. Suggestions were presented to provide design criteria that can improve auditory comfort conditions as much as possible. Since the halls for music and the halls for speech have different design criteria, acoustic environments that vary according to the usage situation were designed. When the purpose of use of the hall is transformed from music to speech, the volume is reduced with movable ceiling profiles. In addition, when the hall is used for speaking purposes, the total absorption value of the space is increased with the movable curtain system.

### **3. Conclusion**

In the room acoustic studies, it is necessary to provide the auditory comfort conditions of the interior space. The auditory comfort conditions vary according to the function of the room. It is very difficult to meet the acoustic requirements of the halls where different functions are used together. In this study, the designs of the halls for music and speech were examined and the necessary design parameters were clarified. A selected hall was designed to be used not only for music purposes but also for speaking purposes. Two separate acoustic project proposals were developed for the use of music and the use of speech. Moveable ceiling systems and changeable surface coating were used to meet different functions' acoustic requirements.

To provide speech intelligibility in speech function and To be perceived music harmoniously in music function, different systems that vary depending on functions were used in the hall. The movable ceiling system increases the volume of the hall in the music function. The movable curtain system increases the total absorption of the hall in the speech function. These movable systems provide to control reverberation time in the desired range. In this study, reverberation time analysis, reflection analysis, bass ratio analysis, loudness analysis, and articulation index analysis were performed. In order to provide acoustic comfort conditions, the determined parameters were tried to be improved as much as possible.

It is estimated that the study will give an idea to academic research. In addition, it is foreseen that the project proposal can help the experts who work on the acoustic project.

#### **4. References**

- Barron, R. F., (2003), *Industrial Noise Control and Acoustics*, Marcel Dekker Inc., Newyork, Basel, ISBN:0-8247-0701-X
- Bozkurt, T.S., Demirkale, S.Y., The laboratory analyses for the plasters prepared with river sand aggregate and hydraulic lime binder, *Construction and Building Materials*. 190, 691–709 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.073>
- Cox, T., D'Antonio, J.P., (2005), *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory Design and Application* Spon Press; Taylor and Francis, ISBN 0-203-49299-4
- DIN Standard, DIN 18041:2016, *Acoustic Quality in Rooms – Specification and Instructions for the Room Acoustic Design*, Berlin, Germany, 2016
- Everest, F., A. Pohlmann, K., C., (2009), *Master Handbook of Acoustics*, McGraw-Hill, Beşinci Baskı, ISBN: 978-0-07-160333-1
- Jaramillo, A. M., Stell, C., (2015), *Architectural Acoustics*, Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1-315-75284-6 (ebk)
- Long, M., *Architectural Acoustics*, Elsevier, Academic Press, ISBN 13: 978-012-455551-8 and ISBN 10: 0-12-455551-9 (2006)
- Lord, P., Templeton, D., (1996), *Detailing for acoustics*, Taylor & Francis, Third edition, ISBN 978-0-419-20210-3

- Maekawa, Z., Rindel, J.H., Lord, P., (2011), Environmental and Architectural Acoustics, Second edition, Spon Press, Taylor & Francis Group, ISBN13: 978-0-203-93135-6 (ebk)
- Mehta, M., Johnson, J., Rocaford J., (1999), Architectural Acoustics Principles and Design, Prentice Hall, ISBN: 0-13-793795-4
- Nocke, C., (2016), New standards in Architectural Acoustics - a German view, Proceedings of Acoustics 2016, 9-11 November 2016, Brisbane, Australia
- Nocke, C., (2016), The new standard DIN 18041 – acoustic quality in rooms, Legislation and Regulations in Building Acoustics: Paper ICA2016-716, Legislation and Regulations in Building Acoustics: Paper ICA2016-716, 22nd International Congress on Acoustics, ICA 2016, Buenos Aires – 5 to 9 September
- TS EN ISO 717-1, Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation
- URL-1, Decustic, Technical specifications acoustic panels, Acoustic panel with aligned holes, [https://www.decustik.com/arxiu/docs/1528477863\\_eng FTP\\_PAP018\\_V2018\\_uk.pdf](https://www.decustik.com/arxiu/docs/1528477863_eng FTP_PAP018_V2018_uk.pdf) ,Last Accessed: 19.08.2022



**Scientific Researches in  
Natural and Engineering  
Sciences**

CHAPTER 10



**On Total Geodesic Submanifolds of Para-Sasakian  
Manifolds On the  $W_5$  Curvature Tensor**

(Tuğba Mert, Mehmet Atçeken)



## On Total Geodesic Submanifolds of Para-Sasakian Manifolds On the $W_5$ Curvature Tensor

Tuğba Mert<sup>1</sup>, Mehmet Atçeken<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Mathematics

E-mail:tmert@cumhuriyet.edu.tr

<sup>2</sup>Aksaray University, Faculty of Science, Department of Mathematics

E-mail:mehmetatceken@aksaray.edu.tr

### 1. Introduction

Invariant submanifolds of a paracontact metric manifold is a very important concept for geometry. This concept allows us to grasp some important topics and problems in many areas of mathematics, such as applied mathematics. To give an important example, invariant submanifolds are used to discuss the properties of non-linear autonomous system (Guojing et al., 1998).

One of the important concepts such as invariant submanifold is that a submanifold is total geodesic. If every geodesic in a submanifold is geodesic in ambient space, this submanifold is called a total geodesic submanifold. Kon showed when invariant submanifolds of a Sasakian manifold would become total geodesic submanifold in (Kon. 1973). In (Kobayashi. 1986), the answer to the question of when each submanifold of a Kenmotsu manifold will be total geodesic is given. Similarly, the total geodesicity of a trans-Sasakian invariant submanifold is discussed in (Sarkar et al., 2012). Also, (Siddesha et al., 2017) deal with the total geodesic invariant submanifolds of the  $(k, \eta)$  –contact metric manifold.

As can be seen from many of the studies mentioned above, total geodesic submanifolds, which are also the simplest submanifolds, play a very important role in an important theory such as the theory of relativity, and many geometers have submitted various important scientific works in this field (Shukla. 2010), (Hui et al., 2018), (Sular et al., 2010), (Montano et al., 2008), (Atçeken et al., 2019), (Venkatesha et al., 2017), (Hui et al., 2018).

Many geometers working on the theory of manifolds have studied para-Sasakian manifolds and investigated some important properties of these manifolds. Invariant submanifolds are very important for a para-Sasakian manifold.

In this study, which motivates the studies of many scientists studying para-Sasakian manifolds, submanifolds of para-Sasakian manifolds that have

never been studied before are discussed. So far under certain important conditions, some necessary and sufficient results are obtained for an invariant submanifold to be  $W_5$ -pseudoparallel,  $W_5$  2-pseudoparallel,  $W_5$ -Ricci generalized pseudoparallel, and  $W_5$  2-Ricci generalized pseudoparallel.

## 2. Preliminary

A  $(2n + 1)$ -dimensional smooth manifold  $\overline{M}^{2n+1}$  has an **almost paracontact structure**  $(\phi, \xi, \eta)$  if it admits a tensor field  $\phi$  of type  $(1,1)$ , a vector field  $\xi$  and a 1-form  $\eta$  satisfying the following conditions;

$$\phi^2 X_1 = X_1 - \eta(X_1)\xi, \eta(\xi) = 1, \phi\xi = 0, \eta \circ \phi = 0. \tag{1}$$

If an almost paracontact manifold is endowed with a semi-Riemannian metric tensor  $g$  such that

$$g(\phi X_1, \phi X_2) = g(X_1, X_2) - \eta(X_1)\eta(X_2), \tag{2}$$

for all vector fields  $X_1, X_2$  on  $\overline{M}^{2n+1}$ , then  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$  is said to be **almost paracontact metric manifold**. It is clear that

$$g(\xi, X_1) = \eta(X_1). \tag{3}$$

The **fundamental 2-form**  $\Phi$  of an almost paracontact metric manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$  is defined by

$$\Phi(X_1, X_2) = g(X_1, \phi X_2).$$

If  $d\eta = \Phi$ , then almost paracontact metric manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$  is called **paracontact metric manifold**. If a paracontact metric structure is normal, this structure is called para-Sasakian. So equivalently, if the structure  $(\phi, \xi, \eta, g)$  satisfies the equations

$$d\eta = 0, \overline{\nabla}_{X_1}\xi = \phi X_1, \tag{4}$$

$$(\overline{\nabla}_{X_1}\phi)X_2 = -g(X_1, X_2)\xi - \eta(X_2)X_1 + 2\eta(X_1)\eta(X_2)\xi, \tag{5}$$

the manifold  $M$  is called **para-Sasakian manifold** or **P-Sasakian manifold**, where  $\overline{\nabla}$  denote the Levi-Civita connection on  $\overline{M}^{2n+1}$ . If the relation

$$(\overline{\nabla}_{X_1}\eta)X_2 = -g(X_1, X_2) + \eta(X_1)\eta(X_2) \tag{6}$$

is satisfied specifically, the para-Sasakian manifold is called the **special para-Sasakian manifold** or the **Sp-Sasakian manifold**.

**Lemma 2.1** A  $(2n + 1)$  –dimensional para-Sasakian manifold provides the following relations.



$$S(X_1, \xi) = -2n\eta(X_1), \tag{7}$$

$$Q\xi = -2n\xi, \tag{8}$$

$$\bar{R}(X_1, X_2)\xi = \eta(X_1)X_2 - \eta(X_2)X_1, \tag{9}$$

$$\bar{R}(\xi, X_1)X_2 = \eta(X_2)X_1 - g(X_1, X_2)\xi, \tag{10}$$

$$\bar{R}(\xi, X_1)\xi = X_1 - \eta(X_1)\xi, \tag{11}$$

$$\eta(\bar{R}(X_1, X_2)X_3) = g(X_1, X_3)\eta(X_2) - g(X_2, X_3)\eta(X_1), \tag{12}$$

$$S(\phi X_1, \phi X_2) = S(X_1, X_2) + (n - 1)\eta(X_1)\eta(X_2), \tag{13}$$

for any vector fields  $X_1, X_2$  on  $\bar{M}^{2n+1}$ , where  $\bar{\nabla}$  is the **Levi-Civita connection**,  $\bar{R}$  and  $S$  denote the **Riemannian curvature tensor** and **Ricci tensor** of  $\bar{M}^{2n+1}$ , respectively.

Now, let  $M$  be an immersed submanifold of a para-Sasakian manifold  $\bar{M}^{2n+1}$ . By  $\Gamma(TM)$  and  $\Gamma(T^\perp M)$ , we denote the tangent and normal subspaces of  $M$  in  $\bar{M}$ . Then the **Gauss and Weingarten formulae** are, respectively, given by

$$\bar{\nabla}_{X_1} X_2 = \nabla_{X_1} X_2 + h(X_1, X_2), \tag{14}$$

and

$$\bar{\nabla}_{X_1} X_5 = -A_{X_5} X_1 + \nabla_{X_1}^\perp X_5, \tag{15}$$

for all  $X_1, X_2 \in \Gamma(TM)$  and  $X_5 \in \Gamma(T^\perp M)$ , where  $\nabla$  and  $\nabla^\perp$  are the induced connections on  $M$  and  $\Gamma(T^\perp M)$ ,  $h$  and  $A$  are called the **second fundamental form** and **shape operator** of  $M$ , respectively. They are related by

$$g(A_{X_5} X_1, X_2) = g(h(X_1, X_2), X_5). \tag{16}$$

The covariant derivative of  $h$  is defined by

$$(\bar{\nabla}_{X_1} h)(X_2, X_3) = \nabla_{X_1}^\perp h(X_2, X_3) - h(\nabla_{X_1} X_2, X_3) - h(X_2, \nabla_{X_1} X_3), \tag{17}$$

for all  $X_1, X_2, X_3 \in \Gamma(TM)$ . If

$$\bar{\nabla} h = 0,$$

then the submanifold  $M$  is said to be its second fundamental form is parallel.

By  $R$ , we denote the Riemannian curvature tensor of submanifold  $M$ , we have the following Gauss equation

$$\begin{aligned} \bar{R}(X_1, X_2)X_3 &= R(X_1, X_2)X_3 + A_{h(X_1, X_3)}X_2 - A_{h(X_2, X_3)}X_1 + (\bar{\nabla}_{X_1} h)(X_2, X_3) - \\ &(\bar{\nabla}_{X_2} h)(X_1, X_3). \end{aligned} \tag{18}$$

For a  $(0, k)$ -type tensor field  $T$ ,  $k \geq 1$  and a  $(0, 2)$ -type tensor field  $A$  on a Riemannian manifold  $(M, g)$ ,  $Q(A, T)$ -tensor field is defined by

$$\begin{aligned} Q(A, T)(X_1, X_2, \dots, X_k; X, Y) &= -T((X \wedge_A Y)X_1, X_2, \dots, X_k) - \dots - \\ T(X_1, X_2, \dots, X_{k-1}, (X \wedge_A Y)X_k), \end{aligned} \tag{19}$$

for all  $X_1, X_2, \dots, X_k, X, Y \in \Gamma(\overline{TM})$ , where

$$(X_1 \wedge_A X_2)X_3 = A(X_2, X_3)X_1 - A(X_1, X_3)X_2. \tag{20}$$

**Definition 2.1** A submanifold of a Riemannian manifold  $(M, g)$  is said to be pseudoparallel, 2-pseudoparallel, Ricci-generalized pseudoparallel and 2-Ricci-generalized pseudoparallel if

$$\begin{aligned} \bar{R} \cdot h \text{ and } Q(g, h) \\ \bar{R} \cdot \bar{\nabla}h \text{ and } Q(g, \bar{\nabla}h) \\ \bar{R} \cdot h \text{ and } Q(S, h) \\ \bar{R} \cdot \bar{\nabla}h \text{ and } Q(S, \bar{\nabla}h) \end{aligned}$$

are linearly dependent, respectively.

Equivalently, these can be expressed by the following relations;

$$\bar{R} \cdot h = L_1 Q(g, h), \tag{21}$$

$$\bar{R} \cdot \bar{\nabla}h = L_2 Q(g, \bar{\nabla}h), \tag{22}$$

$$\bar{R} \cdot h = L_3 Q(S, h), \tag{23}$$

$$\bar{R} \cdot \bar{\nabla}h = L_4 Q(S, \bar{\nabla}h), \tag{24}$$

where  $L_1, L_2, L_3$  and  $L_4$  are, respectively, functions defined on  $M_1 = \{x \in M: h(x) \neq g(x)\}$ ,  $M_2 = \{x \in M: \bar{\nabla}h(x) \neq g(x)\}$ ,  $M_3 = \{x \in M: S(x) \neq h(x)\}$  and  $M_4 = \{x \in M: S(x) \neq \bar{\nabla}h(x)\}$ .

Particularly, if  $L_1 = 0$ , then the submanifold is said to be **semiparallel**, if  $L_2 = 0$ , the submanifold is said to be **2-semiparallel**.

Thus we have the following lemma.

**Lemma 2.2** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}$ . Then the following equalities hold on  $\overline{M}^{2n+1}$ .

$$h(\phi X_1, X_2) = h(X_1, \phi X_2) = \phi h(X_1, X_2), h(X_1, \xi) = 0 \tag{25}$$

for all  $X_1, X_2 \in \Gamma(TM)$ .

### 3. Invariant Pseudoparallel Submanifolds of Para-Sasakian Manifold

Next, we will discuss the types of submanifolds given in the definition for the invariant submanifold  $M$  of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ .

Let  $M$  be an immersed submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, g, \eta)$ . If

$$\phi(T_{X_1}M) \subseteq T_{X_1}M,$$

for each point  $X_1 \in M$ , then  $M$  is said to be an **invariant submanifold**. We clearly know that all properties of an invariant submanifold inherits an ambient manifold as well as.

In the rest of this paper, we will assume that  $M$  is an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ .

On the other hand, the  $W_5$  curvature tensor for Riemannian manifold  $(\overline{M}^{2n+1}, g)$  is given by

$$W_5(X_1, X_2)X_3 = \bar{R}(X_1, X_2)X_3 - \frac{1}{2n}[S(X_1, X_3)X_2 - g(X_1, X_3)QX_2], \quad (26)$$

$$W_5(X_1, X_2)\xi = 2\eta(X_1)X_2 - \eta(X_2)X_1 + \frac{1}{2n}\eta(X_1)QX_2, \quad (27)$$

$$W_5(X_1, \xi)\xi = \eta(X_1)\xi - X_1, \quad (28)$$

$$W_5(\xi, X_2)\xi = 2X_2 - \eta(X_2)\xi + \frac{1}{2n}QX_2, \quad (29)$$

$$W_5(\xi, X_2)X_3 = \frac{1}{2n}\eta(X_3)QX_2 - g(X_2, X_3)\xi, \quad (30)$$

for all  $X_1, X_2, X_3 \in \Gamma(TM)$ . Similarly, the tensor  $W_5 \cdot h$  is defined by

$$(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_4, X_5) = R^\perp(X_1, X_2)h(X_4, X_5) - h(W_5(X_1, X_2)X_4, X_5) - h(X_4, W_5(X_1, X_2)X_5), \quad (31)$$

for all  $X_1, X_2, X_4, X_5 \in \Gamma(TM)$ .

**Definition 3.1** A submanifold  $M$  of a Riemannian manifold  $(\overline{M}, g)$  is said to be  $W_5$ -pseudoparallel,  $W_5$ -2-pseudoparallel,  $W_5$ -Ricci-generalized pseudoparallel and  $W_5$ -2-Ricci generalized pseudoparallel if

$$W_5 \cdot h \text{ and } Q(g, h)$$

$$W_5 \cdot \tilde{\nabla} h \text{ and } Q(g, \tilde{\nabla} h)$$

$$W_5 \cdot h \text{ and } Q(S, h)$$

$$W_5 \cdot \tilde{\nabla} h \text{ and } Q(S, \tilde{\nabla} h)$$

are linearly dependent, respectively.

**Theorem 3.1** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ . If  $M$  is  $W_5$  -pseudoparallel submanifold, then  $M$  is either totally geodesic or  $L_1 = -1$ .

**Proof.** Let's assume  $M$  is the  $W_5$  -pseudoparallel submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}$ . So, we have

$$(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_4, X_5) = L_1 Q(g, h)(X_4, X_5; X_1, X_2),$$

for all  $X_1, X_2, X_4, X_5 \in \Gamma(TM)$ . This leads to from (27)

$$R^\perp(X_1, X_2)h(X_4, X_5) - h(W_5(X_1, X_2)X_4, X_5) - h(X_4, W_5(X_1, X_2)X_5) = -L_1\{g(X_2, X_4)h(X_1, X_5) - g(X_1, X_4)h(X_2, X_5) + g(X_2, X_5)h(X_4, X_1) - g(X_1, X_5)h(X_4, X_2)\} \tag{32}$$

for all  $X_1, X_2, X_4, X_5 \in \Gamma(TM)$ . Taking  $X_2 = X_5 = \xi$  in (32) and taking into account (25), we obtain

$$h(X_4, W_5(X_1, \xi)\xi) = L_1 h(X_4, X_1). \tag{33}$$

If we use (28) out of (33), then we obtain

$$(L_1 + 1)h(X_4, X_1) = 0.$$

This proves our assertion.

From the Theorem-1, we have the following corollary.

**Corollary 3.1** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ . Then  $M$  is  $W_5$  -semiparallel submanifold if and only if  $M$  is totally geodesic.

**Theorem 3.2** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ . If  $M$  is  $W_5$  -Ricci generalized pseudoparallel submanifold, then  $M$  is either totally geodesic or  $L_2 = \frac{1}{2n}$ .

**Proof.** Let's assume  $M$  is the  $W_5$  -Ricci generalized pseudoparallel submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}$ . So, we have

$$(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_4, X_5) = L_2 Q(S, h)(X_4, X_5; X_1, X_2),$$

for all  $X_1, X_2, X_4, X_5 \in \Gamma(TM)$ . This leads to from (27)

$$R^\perp(X_1, X_2)h(X_4, X_5) - h(W_5(X_1, X_2)X_4, X_5) - h(X_4, W_5(X_1, X_2)X_5) = -L_2\{S(X_2, X_4)h(X_1, X_5) - S(X_1, X_4)h(X_2, X_5) + S(X_2, X_5)h(X_4, X_1) - S(X_1, X_5)h(X_4, X_2)\} \tag{34}$$

for all  $X_1, X_2, X_4, X_5 \in \Gamma(TM)$ . Taking  $X_2 = X_5 = \xi$  in (34) and taking into account (25), we obtain

$$h(X_4, W_5(X_1, \xi)\xi) = L_2 S(\xi, \xi)h(X_4, X_1). \tag{35}$$

If we use (28) and (7) out of (35), then we obtain

$$(1 - 2nL_2)h(X_4, X_1) = 0.$$

This proves our assertion.

From the Theorem-2, we have the following corollary.

**Corollary 3.2** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ . Then  $M$  is  $W_5$  –Ricci generalized semiparallel submanifold if and only if  $M$  is totally geodesic.

**Theorem 3.3** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\overline{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ . If  $M$  is  $W_5$  2 –pseudoparallel submanifold, then  $M$  is totally geodesic submanifold.

**Proof.** Let’s assume that  $M$  is the invariant  $W_5$  2-pseudoparallel submanifold. So by definition  $W_5 \cdot \overline{\nabla}h$  and  $Q(g, \overline{\nabla}h)$  are linearly dependent. That’s mean

$$(W_5(X_1, X_2) \cdot \overline{\nabla}h)(X_4, X_5, X_3) = L_3 Q(g, \overline{\nabla}h)(X_4, X_5, X_3; X_1, X_2),$$

for all  $X_1, X_2, X_4, X_5, X_3 \in \Gamma(TM)$ . This means that

$$\begin{aligned} R^\perp(X_1, X_2)(\overline{\nabla}_{X_4}h)(X_5, X_3) - (\overline{\nabla}_{W_5(X_1, X_2)X_4}h)(X_5, X_3) - \\ (\overline{\nabla}_{X_4}h)(W_5(X_1, X_2)X_5, X_3) - (\overline{\nabla}_{X_4}h)(X_5, W_5(X_1, X_2)X_3) = \\ -L_3 \left\{ (\overline{\nabla}_{(X_1 \wedge_g X_2)X_4}h)(X_5, X_3) + (\overline{\nabla}_{X_4}h)((X_1 \wedge_g X_2)X_5, X_3) + \right. \\ \left. (\overline{\nabla}_{X_4}h)(X_5, (X_1 \wedge_g X_2)X_3) \right\}, \tag{36} \end{aligned}$$

for all  $X_1, X_2, X_4, X_5, X_3 \in \Gamma(TM)$ . In (36), taking  $X_1 = X_3 = \xi$ , we have

$$\begin{aligned} R^\perp(\xi, X_2)(\overline{\nabla}_{X_4}h)(X_5, \xi) - (\overline{\nabla}_{W_5(\xi, X_2)X_4}h)(X_5, \xi) - \\ (\overline{\nabla}_{X_4}h)(W_5(\xi, X_2)X_5, \xi) - (\overline{\nabla}_{X_4}h)(X_5, W_5(\xi, X_2)\xi) = \\ -L_3 \left\{ (\overline{\nabla}_{(\xi \wedge_g X_2)X_4}h)(X_5, \xi) + (\overline{\nabla}_{X_4}h)((\xi \wedge_g X_2)X_5, \xi) + \right. \\ \left. (\overline{\nabla}_{X_4}h)(X_5, (\xi \wedge_g X_2)\xi) \right\}. \tag{37} \end{aligned}$$

Now, let’s calculate each of these expressions. From (4), (25), (28) and (30), we obtain

$$R^\perp(\xi, X_2)(\overline{\nabla}_{X_4}h)(X_5, \xi) = -R^\perp(\xi, X_2)\phi h(X_5, X_4), \tag{38}$$

$$(\bar{\nabla}_{W_5(\xi, X_2)X_4} h)(X_5, \xi) = -\frac{1}{2n}\eta(X_4)\phi h(X_5, QX_2), \tag{39}$$

$$(\bar{\nabla}_{X_4} h)(W_5(\xi, X_2)X_5, \xi) = -\frac{1}{2n}\eta(X_5)\phi h(QX_2, X_4), \tag{40}$$

$$(\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, W_5(\xi, X_2)\xi) = 2(\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, X_2) + \frac{1}{2n}(\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, QX_2) + \eta(X_2)\phi h(X_5, X_4), \tag{41}$$

$$(\bar{\nabla}_{(\xi \wedge_g X_2)X_4} h)(X_5, \xi) = \eta(X_4)\phi h(X_5, X_2), \tag{42}$$

$$(\bar{\nabla}_{X_4} h)((\xi \wedge_g X_2)X_5, \xi) = \eta(X_5)\phi h(X_2, X_4), \tag{43}$$

$$(\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, (\xi \wedge_g X_2)\xi) = -\eta(X_2)\phi h(X_5, X_4) - (\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, X_2). \tag{44}$$

Consequently, if we put (38), (39), (40), (41), (42), (43) and (44) in (37), we reach at

$$\begin{aligned} & -R^\perp(\xi, X_2)\phi h(X_5, X_4) + \frac{1}{2n}\eta(X_4)\phi h(X_5, QX_2) + \\ & \frac{1}{2n}\eta(X_5)\phi h(QX_2, X_4) - 2(\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, X_2) - \frac{1}{2n}(\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, QX_2) - \\ & \eta(X_2)\phi h(X_5, X_4) = -L_3\{\eta(X_4)\phi h(X_5, X_2) + \eta(X_5)\phi h(X_2, X_4) - \\ & \eta(X_2)\phi h(X_5, X_4) - (\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, X_2)\}. \end{aligned} \tag{45}$$

If  $\xi$  is taken of  $X_2$  in (45), then we get

$$\phi h(X_5, X_4) + (\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, \xi) = -L_3\{\phi h(X_5, X_4) - (\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, \xi)\}, \tag{46}$$

Where

$$(\bar{\nabla}_{X_4} h)(X_5, \xi) = -\phi h(X_5, X_4). \tag{47}$$

From (46) and (47), we conclude that

$$h(X_5, X_4) = 0$$

which proves our assertions.

From Theorem-3, we have the following corollary.

**Corollary 3.3** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\bar{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ . Then  $M$  is  $W_5$  2 –semiparallel submanifold if and only if  $M$  is totally geodesic.

**Theorem 3.4** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\bar{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ .  $M$  provides  $Q(g, W_5 \cdot h) = 0$  if and only if  $M$  is totally geodesic.

**Proof.** Let's assume that  $Q(g, W_5 \cdot h) = 0$ . So, we can write

$$Q(g, W_5(X_1, X_2) \cdot h)(W, X_3; X_4, X_5) = 0,$$

for all  $X_1, X_2, X_3, X_6, X_4, X_5 \in \Gamma(T\bar{M})$ . Obviously that,

$$\begin{aligned} & -g(X_5, X_6)(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_4, X_3) \\ & +g(X_4, X_6)(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_5, X_3) \\ & -g(X_5, X_3)(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_6, X_4) \\ & +g(X_4, X_3)(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_6, X_5) = 0, \end{aligned}$$

and from the last equality we can write

$$\begin{aligned} & -g(X_5, X_6)[R^\perp(X_1, X_2)h(X_4, X_3) - h(W_5(X_1, X_2)X_4, X_3)] - \\ & h(X_4, W_5(X_1, X_2)X_3] + \\ & g(X_4, X_6)[R^\perp(X_1, X_2)h(X_5, X_3) - h(W_5(X_1, X_2)X_5, X_3) - \\ & h(X_5, W_5(X_1, X_2)X_3)] - \\ & g(X_5, X_3)[R^\perp(X_1, X_2)h(X_6, X_4) - h(W_5(X_1, X_2)X_6, X_4) - \\ & h(X_6, W_5(X_1, X_2)X_4)] + \\ & g(X_4, X_3)[R^\perp(X_1, X_2)h(X_6, X_5) - h(W_5(X_1, X_2)X_6, X_5) - \\ & h(X_6, W_5(X_1, X_2)X_5)] = 0. \end{aligned} \tag{48}$$

If we choose  $X_2 = X_3 = X_4 = X_6 = \xi$  in (48), we get

$$h(X_5, W_5(X_1, \xi)\xi) = 0. \tag{49}$$

If we use (28) in (49), we obtain

$$h(X_5, X_1) = 0.$$

This completes the proof. The proof of the other side of the theorem is obviously.

**Theorem 3.5** Let  $M$  be an invariant submanifold of a para-Sasakian manifold  $\bar{M}^{2n+1}(\phi, \xi, \eta, g)$ .  $M$  provides  $Q(S, W_5 \cdot h) = 0$  if and only if  $M$  is totally geodesic.

**Proof.** Let's assume that  $Q(g, W_5 \cdot h) = 0$ . So, we can write

$$Q(S, W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_6, X_3; X_4, X_5) = 0,$$

for all  $X_1, X_2, X_3, X_6, X_4, X_5 \in \Gamma(T\bar{M})$ . Obviously that,

$$\begin{aligned} & -S(X_5, X_6)(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_4, X_3) \\ & +S(X_4, X_6)(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_5, X_3) \\ & -S(X_5, X_3)(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_6, X_4) \\ & +S(X_4, X_3)(W_5(X_1, X_2) \cdot h)(X_6, X_5) = 0, \end{aligned}$$

and from the last equality we can write

$$\begin{aligned}
 & -S(X_5, X_6)[R^\perp(X_1, X_2)h(X_4, X_3) - h(W_5(X_1, X_2)X_4, X_3) - \\
 & h(X_4, W_5(X_1, X_2)X_3)] + \\
 & S(X_4, X_6)[R^\perp(X_1, X_2)h(X_5, X_3) - h(W_5(X_1, X_2)X_5, X_3) - \\
 & h(X_5, W_5(X_1, X_2)X_3)] - \\
 & S(X_5, X_3)[R^\perp(X_1, X_2)h(X_6, X_4) - h(W_5(X_1, X_2)X_6, X_4) - \\
 & h(X_6, W_5(X_1, X_2)X_4)] + \\
 & S(X_4, X_3)[R^\perp(X_1, X_2)h(X_6, X_5) - h(W_5(X_1, X_2)X_6, X_5) - \\
 & h(X_6, W_5(X_1, X_2)X_5)] = 0.
 \end{aligned} \tag{50}$$

If we choose  $X_2 = X_3 = X_4 = X_6 = \xi$  in (50), we get

$$s(\xi, \xi)h(X_5, W_5(X_1, \xi)\xi) = 0. \tag{51}$$

If we use (28) in (51), we obtain

$$h(X_5, X_1) = 0.$$

This completes the proof. The proof of the other side of the theorem is obviously.

#### 4. Referanslar

- Guojing, Z & Jianguo, W. (1998). Invariant submanifolds and modes of non-linear autonomous system, *Appl. Math. Mech.*, 19, 587-693.
- Kon, M. (1973). Invariant submanifolds of normal contact metric manifolds, *Kodai Math. Sem. Rep.*, 27, 330-336.
- Kobayashi, M. (1986). Semi Invariant submanifolds of a certain class of almost contact metric manifolds, *Tensor (N.S)*, 43, 28-36.
- Sarkar, A. & Sen, M. (2012). On invariant submanifolds trans-Sasakian manifolds, *Proc. Estonian Acad. Sci.*, 61, 29-37.
- Siddesha, M. & Bagewadi, C.S., (2017). On some classes an invariant submanifolds of  $(k, \eta)$ -contact manifold, *J. Of Inforatics and Mathematical Sciences*, 9(1), 13-26.
- Shukla, S.S. (2010). On  $\phi$ -Symmetric para-Sasakian manifolds, *Int. Journal of Math. Analysis*, 16, 761-769.
- Hui, S.K., Mishra, V.N., Pal, T. & Vandana. (2018). Some classes of invariant submanifolds of  $(LCS)_n$ -manifolds, *Italian J. Of Pure and Appl. Math.*, 39, 359-372.



- Sular, S., Özgür, C. & Murathan, C. (2010). Pseudoparallel anti-invariant submanifolds of Kenmotsu manifolds, Hacettepe J. of Math. And Stat., 39, 535-543.
- Montano, B.C., Terlizi, L.D. & Tripathi, M.M. (2008). Invariant submanifolds of contact  $(k, \eta)$ -manifolds, Glasgow Math. J., 50, 499-507.
- Atçeken, M., Yıldırım, Ü. & Dirik, S. (2019). Semiparallel submanifolds of a normal paracontact metric manifold, Hacettepe J. of Math. and Stat., 48, 501-509.
- Venkatesha & Naik, D.M. (2017). Certain results on K-paracontact and para-Sasakian Manifolds, J. Geom., 108, 939-952.
- Hui, S.K., Uddin, S., Alkhaldi, A.H. & Mandal, P. (2018). Invariant submanifolds of generalized Sasakian-space forms, International Journal of Geometric Methods in Modern Physics, 15, 1-21.





# **Scientific Researches in Natural and Engineering Sciences**

## CHAPTER 11



### **Learning Performance of Optimization Algorithms in Convolutional Neural Networks: An Application**

**(İsmail Akgül, Volkan Kaya)**



## **Learning Performance of Optimization Algorithms in Convolutional Neural Networks: An Application**

**İsmail Akgül<sup>1</sup>, Volkan Kaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture,  
Department of Computer Engineering, Erzincan, Turkey.  
E-mail: iakgul@erzincan.edu.tr*

<sup>2</sup> *Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture,  
Department of Computer Engineering, Erzincan, Turkey.  
E-mail: vkaya@erzincan.edu.tr*

### **1. Introduction**

In today's conditions, where technological developments accelerate, studies on recognition in the field of computer vision have accelerated significantly (Feng et al., 2019). In computer vision-based studies, methods that can think and learn like humans have been an important research topic. Especially in computer vision recognition, superior success has been achieved with artificial intelligence technology used in recent years (Suma, 2019). Artificial intelligence is defined as human-specific reasoning, concluding, and making predictions about a particular thought based on past experiences (Zhang & Lu, 2021). Therefore, artificial intelligence is a system that teaches human thinking to computers programmed to perform a specific task and develops itself with the information it collects. Artificial intelligence is a system that imitates humans in the development of systems that think like humans and is used in many areas such as health, education, transportation, e-commerce, and security (Bini, 2018; Chen et al., 2020; Boukerche et al., 2020; Khrais, 2020; Oseni et al., 2021). However, when the studies are examined, the artificial intelligence system, which has a human-like thinking structure, has not reached a sufficient level. Therefore, there are many sub-branches based on artificial intelligence in order to contribute to artificial intelligence studies.

Machine learning, which is a sub-branch of artificial intelligence and emerged to support artificial intelligence, is an artificial intelligence technique that learns directly from data. Three types of learning methods are used in machine learning: supervised, unsupervised, and reinforcement learning (Dhanaraj et al., 2020). Machine learning is trained to make classification and predictions based on these learning methods, and success results are obtained. Many techniques are used in machine learning such as Linear Regression, Logistic Regression, k-Nearest Neighbors, Support Vector Machines, Decision Trees, Random Forests, and Artificial Neural

Networks (Boateng et al., 2020; Mahesh, 2020; Khan et al., 2021). Artificial neural networks, which are among these techniques and imitate the functioning of the human brain, have provided many advantages in artificial intelligence-based applications by learning from data (Yang, & Wang, 2020).

Artificial neural networks, technically, are systems that automatically generate output data in response to the data given to them as input. In order to obtain successful results from artificial neural networks, the number of data must be large enough (Da Silva et al., 2017). Since the high number of data used in the training of artificial neural networks increases both the computational cost and the complexity of the process, it has been replaced by deep learning methods, which have shown great success in recent years (Voulodimos et al., 2018).

Deep learning has emerged with the increase in the number of layers used in artificial neural networks and has shown superior success in many areas such as recognition, classification, detection, and decision making. Deep learning is an artificial neural network developed to extract better features from raw data (Kriegeskorte & Golan, 2019). Because deep learning methods process incoming data and make more accurate predictions, it has made significant advances in data science (Minar & Naher, 2018; Wang et al., 2020; Wu et al., 2020). Deep learning methods are used in various application areas dealing with object recognition, voice recognition, and analysis of big data. Some of the commonly used methods in deep learning are as follows:

- Convolutional Neural Network,
- Long Short-Term Memory,
- Recurrent Neural Network,
- Autoencoders,
- Generative Adversarial Network.

Convolutional neural networks, which are among these methods, form the basis of deep learning algorithms and have shown outstanding performance in many areas in recent years (Khan et al., 2018; Li et al., 2021).

In the study, the convolutional neural network method, which forms the basis of deep learning methods and has achieved great success in many fields in recent years, is included. Convolutional neural networks are usually neural network structures specially designed for use in image recognition and classification processes. While creating the convolutional neural network structure, many parameters are used that affect the success and performance of the neural network.

In this study, a neural network model based on a convolutional neural network is implemented. The learning performance of Adadelata (Zeiler, 2012), Adagrad (Duchi et al., 2011), Adam (Kingma & Ba, 2014), Adamax (Zeng et al., 2016), Ftrl (Shalev-Shwartz, 2012), Nadam (Ruder, 2016), RMSprop (Tieleman & Hinton, 2012), and SGD (Li, 2017) optimization algorithms, which are frequently used in convolutional neural networks to minimize the loss rate of the model network structure and increase the success rate, were evaluated according to the learning rates of 0.1, 0.01, 0.001 and 0.0001 on the MNIST dataset (Github, 2022).

## **2. Material and Methods**

In this section, the system configuration, acquisition of image data, network structure, and training-testing process of the developed neural network are mentioned in detail.

### **2.1. System Configuration**

Using the convolutional neural network model developed in the study, separate trials were conducted with each of the Adadelata, Adagrad, Adam, Adamax, Ftrl, Nadam, Optimizer, RMSprop, and SGD optimization algorithms. The experiments were trained using Python programming language on a computer with Intel Core i7-5700HQ 2.70 GHz processors, 16GB Random Access Memory (RAM), and Nvidia GeForce GTX 960 graphics card, and test results were obtained.

### **2.2. Acquisition of Dataset**

In order to determine which of the optimization algorithms discussed in the study is more successful, the MNIST data set containing numbers from 0 to 9 accepted in the literature was used (Github, 2022). In the MNIST dataset, there are 70,000 handwritten digit images in total, consisting of 60,000 training and 10,000 testing datasets with a pixel size of  $28 \times 28 \times 1$ . The images of the numbers in the MNIST dataset are shown in Figure 1.

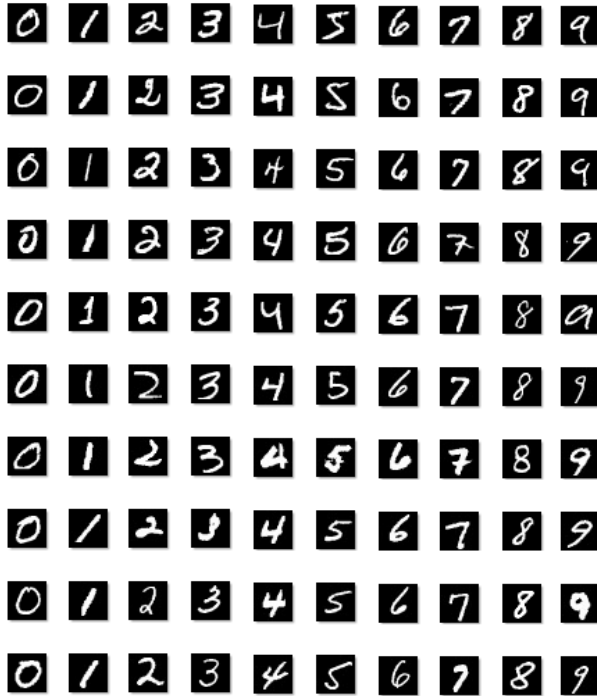


Figure 1: Sample images of the MNIST dataset

### 2.3. Convolutional Neural Network Model Structure

In the study, a new convolutional neural network model structure has been developed to determine which of the Adadelata, Adagrad, Adam, Adamax, Ftrl, Nadam, RMSprop, and SGD optimization algorithms, which are accepted in the literature, is better. The developed model structure was designed by using many trial-error ways to both extract the best features from the preferred MNIST dataset and to get successful results from the optimization algorithms. The layers and parameter values used in the developed convolutional neural network model structure are given in detail in Table 1.



Table 1: The layers and parameter values used in the developed convolutional neural network structure

<b>Layer type</b>	<b>Output shape</b>	<b>Number of parameters</b>
conv2d (1)	(28, 28, 16)	160
conv2d (2)	(28, 28, 16)	2,320
average_pooling2d (1)	(14, 14, 16)	0
dropout (1)	(14, 14, 16)	0
conv2d (3)	(14, 14, 32)	4,640
conv2d (4)	(14, 14, 32)	9,248
conv2d (5)	(14, 14, 32)	9,248
average_pooling2d (2)	(7, 7, 32)	0
dropout (2)	(7, 7, 32)	0
conv2d (6)	(7, 7, 64)	18,496
conv2d (7)	(7, 7, 64)	36,928
conv2d (8)	(7, 7, 64)	36,928
conv2d (9)	(7, 7, 64)	36,928
average_pooling2d (3)	(3, 3, 64)	0
dropout (3)	(3, 3, 64)	0
flatten (1)	(576)	0
dense (1)	(64)	36,928
dropout (4)	(64)	0
dense (2)	(10)	650
<b>Total Parameters</b>		<b>192,747</b>

In the developed convolutional neural network model structure, 2 convolutions with 16 filters, 1 average pooling and 1 30% dropout, 3 convolutions with 32 filters, 1 average pooling and 1 30% dropout, and 4 convolutions with 64 filters, 1 average pooling and 1 30% dropout layer were used. Then, 1 flatten, 1 dense with 64 output, 1 30% dropout, and 1 dense with 10 output in the last layer were used. In addition, the model structure, where ReLU activation function is used after each convolution layer and softmax activation function is used in the output layer, consists of 29 layers. In addition, the model network contains a total of 192,747 parameter values.

## 2.4. Training and Testing

In order to evaluate the learning performance of the optimization algorithms in the model structure based on the convolutional neural network developed in the study, 60,000 were used for model training and 10,000 were used for model testing from the number of images in the MNIST dataset. In order to get successful results from the optimization algorithms used during the training of the model structure, the model structure was trained and tested using the parameters given in Table 2 for each optimization algorithm.

Table 2: Parameter values used in model training and testing in order to evaluate the learning performance of optimization algorithms

Parameters	Values
Epoch	40
Mini Batch Size	128
Loss Function	Categorical_Crossentropy
Classifier Activation	Softmax
Optimizers	Adadelata / Adagrad / Adam / Adamax / Ftrl / Nadam / RMSprop / SGD
Learning Rate	0.1 / 0.01 / 0.001 / 0.0001

### 3. Results

Many experimental studies have been carried out to evaluate the learning performance of the optimization algorithms discussed in the study from the developed model structure. In these studies, 0.1, 0.01, 0.001, and 0.0001 learning rates were applied to each of the optimization algorithms, and the results are given in detail in Table 3.

Table 3: Accuracy (Acc) and loss results according to the learning rates of the optimization algorithms

Optimization Algorithm	Learning Rate (lr)							
	0.1		0.01		0.001		0.0001	
	Acc	Loss	Acc	Loss	Acc	Loss	Acc	Loss
Adadelata	<b>0.9937</b>	<b>0.0219</b>	0.9581	0.1274	0.2333	2.2589	0.1135	2.3023
Adagrad	<b>0.9947</b>	<b>0.0185</b>	0.9916	0.0247	0.9519	0.1556	0.1135	2.3002
Adam	0.1135	2.3042	0.1135	2.3018	<b>0.9943</b>	<b>0.0304</b>	0.9935	0.0206
Adamax	0.0974	2.3054	<b>0.9950</b>	<b>0.0201</b>	0.9944	0.0194	0.9868	0.0429
Ftrl	0.1135	2.3011	0.1135	2.3010	0.1135	2.3013	0.1135	2.3023
Nadam	0.1135	2.3065	0.1135	2.3013	<b>0.9935</b>	<b>0.0290</b>	0.9929	0.0232
RMSprop	0.1135	2.3043	0.1135	2.3021	0.9905	0.0457	<b>0.9914</b>	<b>0.0251</b>
SGD	<b>0.9943</b>	<b>0.0190</b>	0.9862	0.0410	0.8839	0.3727	0.1135	2.3008

When Table 3 is examined, it is seen that when Adadelata optimization algorithm is used, the model network learns at 0.1 and 0.01 learning rates, but not at 0.001 and 0.0001 learning rates. When Adagrad and SGD optimization algorithms are used, it is seen that the model network learns at 0.1, 0.01, and 0.001 learning rates, but not at a 0.0001 learning rate. When Adam optimization algorithm is used, it is seen that the model network learns at 0.001 and 0.0001 learning rates, but not at 0.1 and 0.01 learning rates. When Adamax optimization algorithm is used, it is seen that the model network learns at 0.01, 0.001, and 0.0001 learning rates, but not at a 0.1 learning rate. When the Ftrl optimization algorithm is used, it is seen that the model network does not learn at any of the learning rates.

When Nadam and RMSprop optimization algorithms are used, it is seen that the model network learns at 0.001 and 0.0001 learning rates, but not at 0.1 and 0.01 learning rates. When these results are examined in detail, the best learning performances were obtained with Adadelta (lr=0.1) as 0.9937 acc and 0.0219 loss, with Adagrad (lr=0.1) as 0.9947 acc and 0.0185 loss, with Adam (lr=0.001) as 0.9943 acc and 0.0304 loss, with Adamax (lr=0.01) as 0.9950 acc and 0.0201 loss, with Nadam (lr=0.001) as 0.9935 acc and 0.0290 loss, with RMSprop (lr=0.0001) as 0.9914 acc and 0.0251 loss, and with SGD (lr=0.1) as 0.9943 acc and 0.0190 loss. In the experimental results obtained, the optimization algorithms were evaluated respectively by considering the best learning performances according to the learning rate.

Train-test graph obtained from the model trained using the learning rate of 0.1 in the Adadelta optimization algorithm is shown in Figure 2, the statistical results are shown in Table 4 and the success graph is shown in Figure 3.

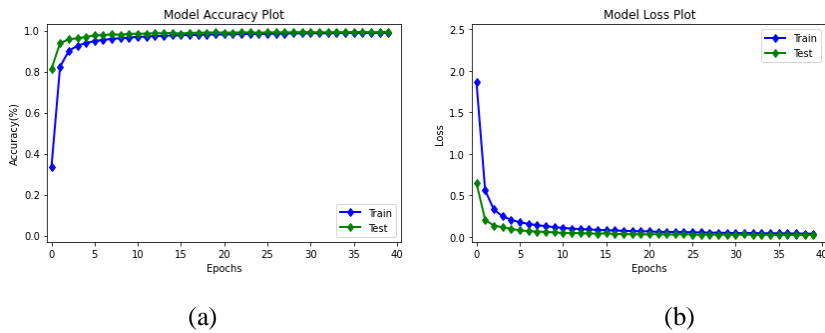


Figure 2: Performance graphs obtained from the model structure using the Adadelta (lr=0.1) optimization algorithm (a) Accuracy (b) Loss

Table 4: Statistical results obtained from the model structure using the Adadelta (lr=0.1) optimization algorithm

	<b>precision</b>	<b>recall</b>	<b>f1-score</b>	<b>support</b>
Digit: 0	.99	1.00	.99	980
Digit: 1	1.00	1.00	1.00	1,135
Digit: 2	.99	1.00	1.00	1,032
Digit: 3	.99	1.00	1.00	1,010
Digit: 4	.99	.99	.99	982
Digit: 5	1.00	.99	.99	892
Digit: 6	.99	.99	.99	958
Digit: 7	.99	.99	.99	1,028
Digit: 8	1.00	.99	.99	974
Digit: 9	.99	.99	.99	1,009
accuracy			.99	10,000
macro avg	.99	.99	.99	10,000
weighted avg	.99	.99	.99	10,000

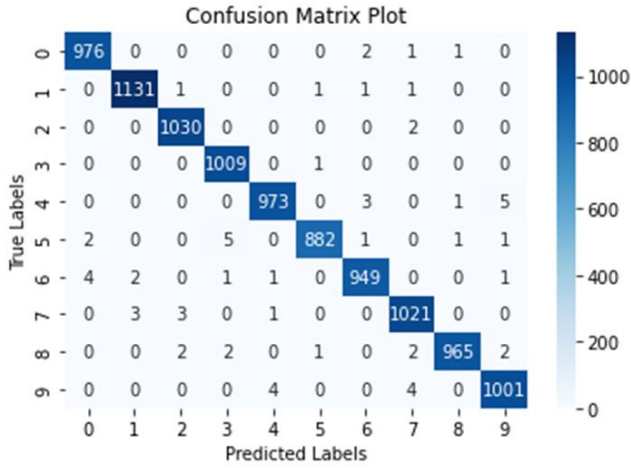


Figure 3: Success graph obtained from the model structure using the Adadelta (lr=0.1) optimization algorithm

Train-test graph obtained from the model trained using the learning rate of 0.1 in the Adagrad optimization algorithm is shown in Figure 4, the statistical results are shown in Table 5 and the success graph is shown in Figure 5.

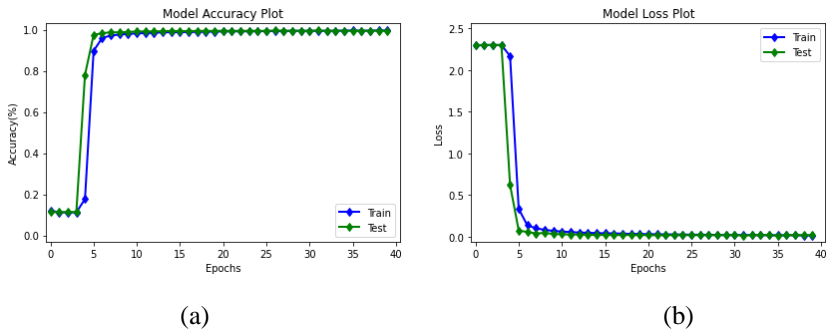


Figure 4: Performance graphs obtained from the model structure using the Adagrad (lr=0.1) optimization algorithm (a) Accuracy (b) Loss

Table 5: Statistical results obtained from the model structure using the Adagrad (lr=0.1) optimization algorithm

	<b>precision</b>	<b>recall</b>	<b>f1-score</b>	<b>support</b>
Digit: 0	1.00	1.00	1.00	980
Digit: 1	.99	1.00	1.00	1,135
Digit: 2	1.00	1.00	1.00	1,032
Digit: 3	.99	1.00	.99	1,010
Digit: 4	1.00	.99	.99	982
Digit: 5	1.00	.99	.99	892
Digit: 6	.99	.99	.99	958
Digit: 7	1.00	.99	.99	1,028
Digit: 8	.99	1.00	1.00	974
Digit: 9	.99	1.00	.99	1,009
accuracy			.99	10,000
macro avg	.99	.99	.99	10,000
weighted avg	.99	.99	.99	10,000

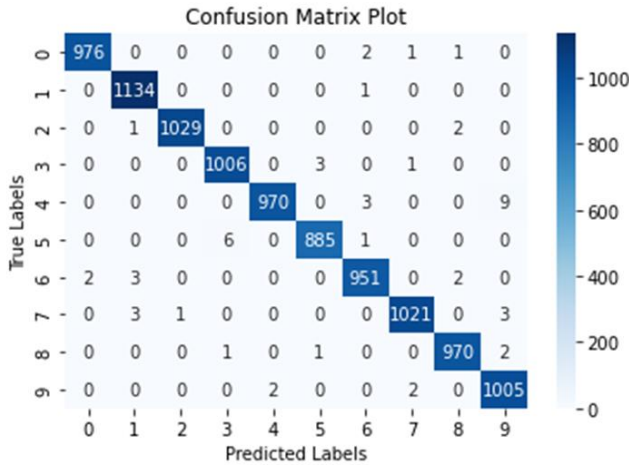


Figure 5: Success graph obtained from the model structure using the Adagrad (lr=0.1) optimization algorithm

Train-test graph obtained from the model trained using the learning rate of 0.001 in the Adam optimization algorithm is shown in Figure 6, the statistical results are shown in Table 6 and the success graph is shown in Figure 7.

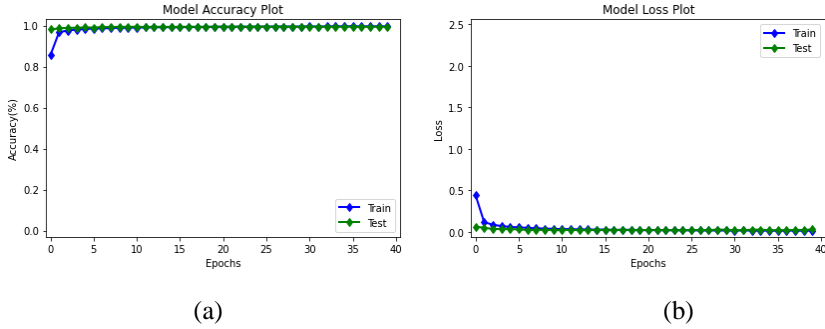


Figure 6: Performance graphs obtained from the model structure using Adam (lr=0.001) optimization algorithm (a) Accuracy (b) Loss

Table 6: Statistical results obtained from the model structure using the Adam (lr=0.001) optimization algorithm

	precision	recall	f1-score	support
Digit: 0	1.00	1.00	1.00	980
Digit: 1	.99	1.00	1.00	1,135
Digit: 2	.99	1.00	.99	1,032
Digit: 3	.99	1.00	1.00	1,010
Digit: 4	.99	1.00	.99	982
Digit: 5	1.00	.99	.99	892
Digit: 6	1.00	.99	1.00	958
Digit: 7	.99	.99	.99	1,028
Digit: 8	1.00	1.00	1.00	974
Digit: 9	.99	.98	.99	1,009
accuracy			.99	10,000
macro avg	.99	.99	.99	10,000
weighted avg	.99	.99	.99	10,000

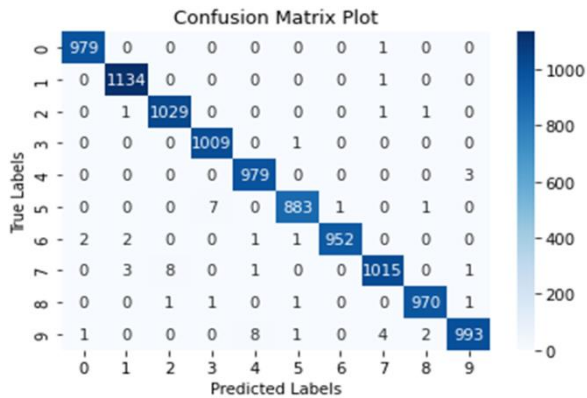


Figure 7: Success graph obtained from the model structure using the Adam (lr=0.001) optimization algorithm

Train-test graph obtained from the model trained using the learning rate of 0.01 in the Adamax optimization algorithm is shown in Figure 8, the statistical results are shown in Table 7 and the success graph is shown in Figure 9.

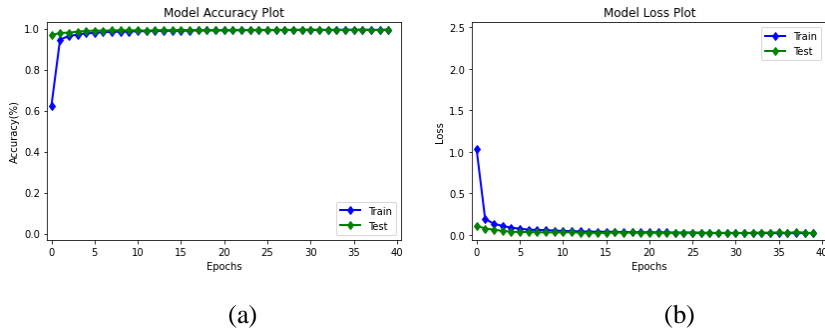


Figure 8: Performance graphs obtained from the model structure using the Adamax (lr=0.01) optimization algorithm (a) Accuracy (b) Loss

Table 7: Statistical results obtained from the model structure using the Adamax (lr=0.01) optimization algorithm

	<b>precision</b>	<b>recall</b>	<b>f1-score</b>	<b>support</b>
Digit: 0	1.00	1.00	1.00	980
Digit: 1	.99	1.00	1.00	1,135
Digit: 2	1.00	1.00	1.00	1,032
Digit: 3	.99	1.00	1.00	1,010
Digit: 4	.99	.99	.99	982
Digit: 5	.99	.99	.99	892
Digit: 6	1.00	.99	.99	958
Digit: 7	1.00	1.00	1.00	1,028
Digit: 8	1.00	.99	.99	974
Digit: 9	.99	.99	.99	1,009
accuracy			.99	10,000
macro avg	1.00	.99	.99	10,000
weighted avg	1.00	.99	.99	10,000

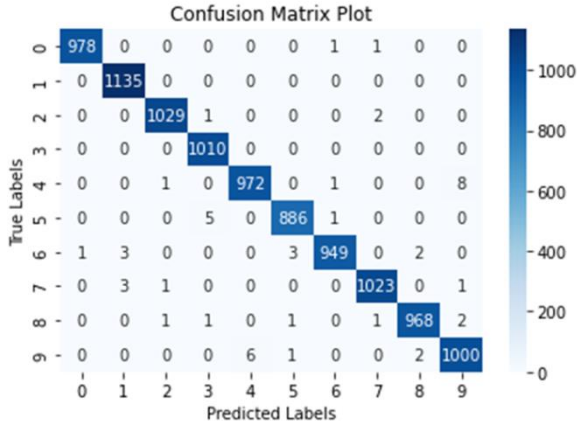


Figure 9: Success graph obtained from the model structure using the Adamax (lr=0.01) optimization algorithm

Since learning does not occur in any of the learning rates used in the Ftrl optimization algorithm, the train-test graph obtained from the model trained using the default learning rate of 0.001 is shown in Figure 10, the statistical results are shown in Table 8 and the success graph is shown in Figure 11.

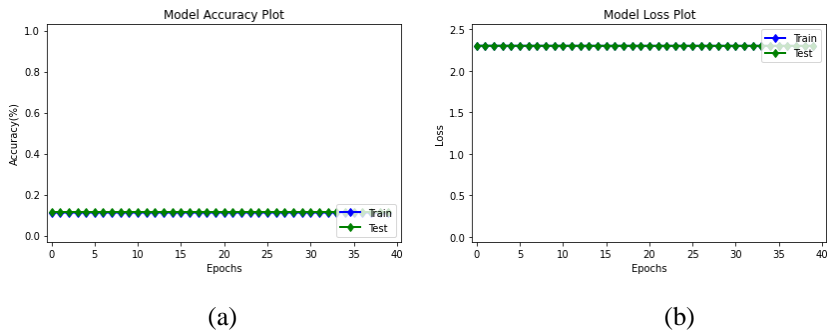
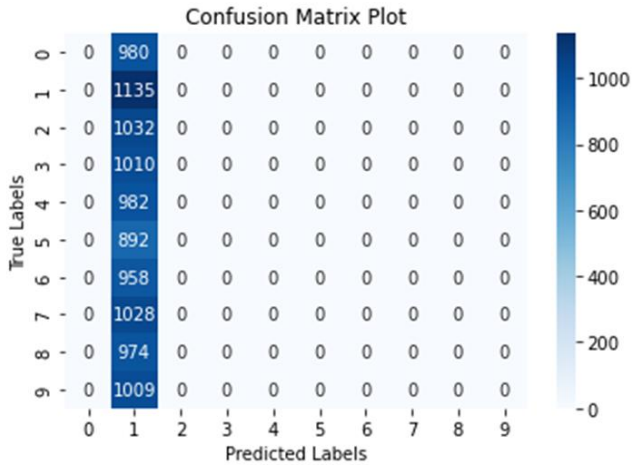


Figure 10: Performance graphs obtained from the model structure using the Ftrl (lr=0.001) optimization algorithm (a) Accuracy (b) Loss



Table 8: Statistical results obtained from the model structure using the Ftrl ( $\text{lr}=0.001$ ) optimization algorithm

	<b>precision</b>	<b>recall</b>	<b>f1-score</b>	<b>support</b>
Digit: 0	.00	.00	.00	980
Digit: 1	.11	1.00	.20	1,135
Digit: 2	.00	.00	.00	1,032
Digit: 3	.00	.00	.00	1,010
Digit: 4	.00	.00	.00	982
Digit: 5	.00	.00	.00	892
Digit: 6	.00	.00	.00	958
Digit: 7	.00	.00	.00	1,028
Digit: 8	.00	.00	.00	974
Digit: 9	.00	.00	.00	1,009
accuracy			.11	10,000
macro avg	.01	.10	.02	10,000
weighted avg	.01	.11	.02	10,000

Figure 11: Success graph obtained from the model structure using the Ftrl ( $\text{lr}=0.001$ ) optimization algorithm

Train-test graph obtained from the model trained using the learning rate of 0.001 in the Nadam optimization algorithm is shown in Figure 12, the statistical results are shown in Table 9 and the success graph is shown in Figure 13.

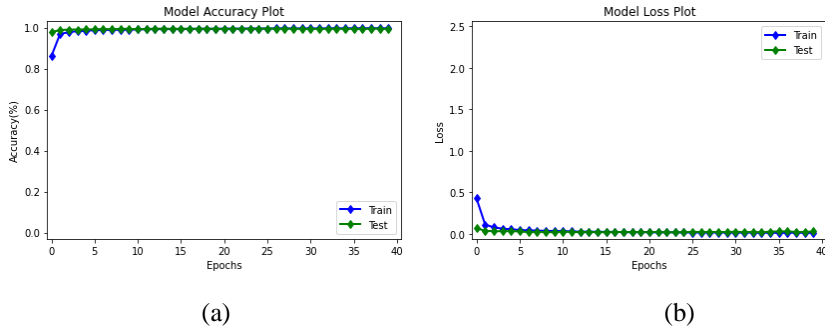


Figure 12: Success graphs obtained from the model structure using the Nadam (lr=0.001) optimization algorithm (a) Accuracy (b) Loss

Table 9: Statistical results obtained from the model structure using the Nadam (lr=0.001) optimization algorithm

	precision	recall	f1-score	support
Digit: 0	.99	1.00	1.00	980
Digit: 1	1.00	1.00	1.00	1,135
Digit: 2	1.00	1.00	.99	1,032
Digit: 3	.99	1.00	.99	1,010
Digit: 4	.99	.99	.99	982
Digit: 5	.99	.99	.99	892
Digit: 6	1.00	.99	.99	958
Digit: 7	.99	.99	.99	1,028
Digit: 8	.99	.99	.99	974
Digit: 9	.99	.99	.99	1,009
accuracy			.99	10,000
macro avg	.99	.99	.99	10,000
weighted avg	.99	.99	.99	10,000

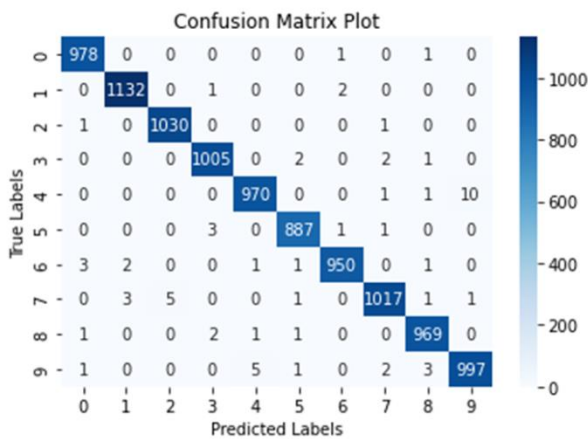


Figure 13: Success graph obtained from the model structure using the Nadam (lr=0.001) optimization algorithm

Train-test graph obtained from the model trained using the learning rate of 0.0001 in the RMSprop optimization algorithm is shown in Figure 14, the statistical results are shown in Table 10 and the success graph is shown in Figure 15.

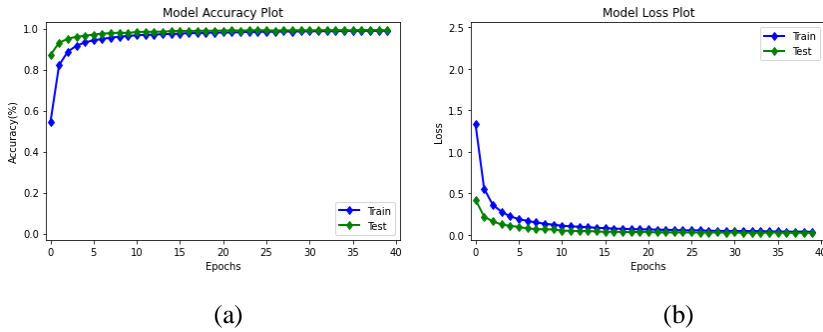


Figure 14: Performance graphs obtained from the model structure using the RMSprop (lr=0.0001) optimization algorithm (a) Accuracy (b) Loss

Table 10: Statistical results obtained from the model structure using the RMSprop (lr=0.0001) optimization

	<b>precision</b>	<b>recall</b>	<b>f1-score</b>	<b>support</b>
Digit: 0	1.00	.99	1.00	980
Digit: 1	1.00	1.00	1.00	1,135
Digit: 2	.99	1.00	.99	1,032
Digit: 3	.99	.99	.99	1,010
Digit: 4	1.00	.98	.99	982
Digit: 5	.99	.99	.99	892
Digit: 6	.99	.99	.99	958
Digit: 7	.99	.99	.99	1,028
Digit: 8	.99	.99	.99	974
Digit: 9	.98	.99	.99	1,009
accuracy			.99	10,000
macro avg	.99	.99	.99	10,000
weighted avg	.99	.99	.99	10,000

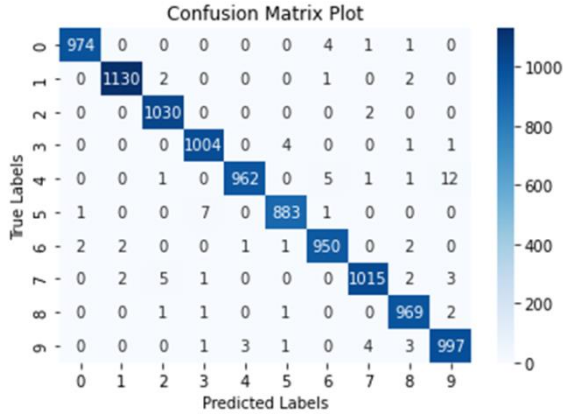


Figure 15: Success graph obtained from the model structure using the RMSprop (lr=0.0001) optimization algorithm

Train-test graph obtained from the model trained using the learning rate of 0.1 in the SGD optimization algorithm is shown in Figure 16, the statistical results are shown in Table 11 and the success graph is shown in Figure 17.

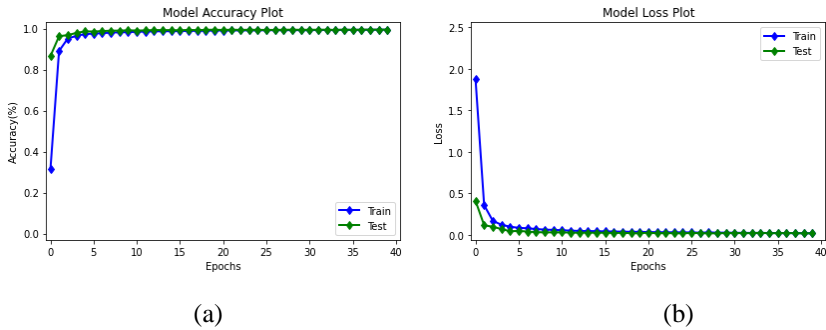


Figure 16. Performance graphs obtained from the model structure using the SGD (lr=0.1) optimization algorithm (a) Accuracy (b) Loss

Table 11: Statistical results obtained from the model structure using the SGD (lr=0.1) optimization algorithm

	precision	recall	f1-score	support
Digit: 0	.99	1.00	.99	980
Digit: 1	.99	1.00	1.00	1,135
Digit: 2	.99	1.00	1.00	1,032
Digit: 3	.99	1.00	1.00	1,010
Digit: 4	.99	1.00	.99	982
Digit: 5	.99	.99	.99	892
Digit: 6	1.00	.99	.99	958
Digit: 7	1.00	.99	.99	1,028
Digit: 8	1.00	.99	1.00	974
Digit: 9	1.00	.99	.99	1,009
accuracy			.99	10,000
macro avg	.99	.99	.99	10,000
weighted avg	.99	.99	.99	10,000

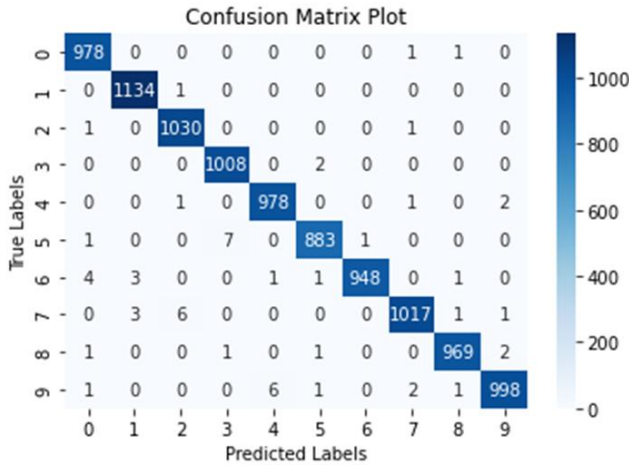


Figure 17: Success graph obtained from the model structure using the SGD (lr=0.1) optimization algorithm

#### 4. Conclusions

Artificial intelligence and its sub-branches contributed to many fields in computer vision-based studies. Deep learning-based convolutional neural network methods, one of the sub-branches of artificial intelligence, have been widely used in recognition and classification applications in recent years. In this study, a model structure has been developed to evaluate the learning performance of Adadelta, Adagrad, Adam, Adamax, Ftrl, Nadam, Optimizer, RMSprop, and SGD optimization algorithms, which are accepted in the literature, in order to minimize the loss rate and increase the success rate of the model networks in recognition and classification applications based on

convolutional neural networks. In order to obtain successful results from the optimization algorithms in the developed model structure, the MNIST dataset was used and the learning performance of the optimization algorithms was evaluated separately according to only 0.1, 0.01, 0.001, and 0.0001 learning rates by choosing the same parameters in the model.

As a result of the evaluations, it was concluded that the Adamax algorithm, which is one of the optimization algorithms according to the preferred learning rates in the model network, showed the best learning performance, while the Ftrl algorithm showed the worst learning performance. Therefore, in the developed convolutional neural network-based model network, it has been seen that both the optimization algorithms and the learning rate directly affect the learning performance of the model network.

## 5. References

- Bini, S. A. (2018). Artificial intelligence, machine learning, deep learning, and cognitive computing: what do these terms mean and how will they impact health care? *The Journal of arthroplasty*, 33(8), 2358-2361. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.02.067>
- Boateng, E. Y., Otoo, J., & Abaye, D. A. (2020). Basic tenets of classification algorithms K-nearest-neighbor, support vector machine, random forest and neural network: a review. *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 8(4), 341-357. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2020.84020>
- Boukerche, A., Tao, Y., & Sun, P. (2020). Artificial intelligence-based vehicular traffic flow prediction methods for supporting intelligent transportation systems. *Computer networks*, 182, 107484. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107484>
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *Ieee Access*, 8, 75264-75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
- Da Silva, I. N., Spatti, D. H., Flauzino, R. A., Liboni, L. H. B., & dos Reis Alves, S. F. (2017). *Artificial neural networks*. Cham: Springer International Publishing, 39.
- Dhanaraj, R. K., Rajkumar, K., & Hariharan, U. (2020). Enterprise IoT modeling: supervised, unsupervised, and reinforcement learning. In *Business Intelligence for Enterprise Internet of Things*, 55-79, Springer, Cham.

- Duchi, J., Hazan, E., & Singer, Y. (2011). Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization. *Journal of machine learning research*, 12(7).
- Feng, X., Jiang, Y., Yang, X., Du, M., & Li, X. (2019). Computer vision algorithms and hardware implementations: A survey. *Integration*, 69, 309-320. <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2019.07.005>
- Github, (2022). "Github", Retrieved in September, 8, 2022 from [https://github.com/myleott/mnist\\_png](https://github.com/myleott/mnist_png)
- Khan, A. A., Laghari, A. A., & Awan, S. A. (2021). Machine learning in computer vision: A review. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 8(32), e4-e4. <https://doi.org/10.4108/eai.21-4-2021.169418>
- Khan, S., Rahmani, H., Shah, S. A. A., & Bennamoun, M. (2018). A guide to convolutional neural networks for computer vision. *Synthesis lectures on computer vision*, 8(1), 1-207. <https://doi.org/10.2200/S00822ED1V01Y201712COV015>
- Khrais, L. T. (2020). Role of artificial intelligence in shaping consumer demand in E-commerce. *Future Internet*, 12(12), 226. <https://doi.org/10.3390/fi12120226>
- Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
- Kriegeskorte, N., & Golan, T. (2019). Neural network models and deep learning. *Current Biology*, 29(7), R231-R236. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.02.034>
- Li, P. (2017). Optimization algorithms for deep learning. Department of Systems Engineering and Engineering Management, The Chinese University of Hong Kong.
- Li, Z., Liu, F., Yang, W., Peng, S., & Zhou, J. (2021). A survey of convolutional neural networks: analysis, applications, and prospects. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2021.3084827>
- Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9, 381-386.
- Minar, M. R., & Naher, J. (2018). Recent advances in deep learning: An overview. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.08169>

- Oseni, A., Moustafa, N., Janicke, H., Liu, P., Tari, Z., & Vasilakos, A. (2021). Security and privacy for artificial intelligence: Opportunities and challenges. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.04661>
- Ruder, S. (2016). An Overview of Gradient Descent Optimization Algorithms. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1609.04747>
- Shalev-Shwartz, S. (2012). Online learning and online convex optimization. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 4(2), 107-194. <http://dx.doi.org/10.1561/22000000018>
- Suma, V. (2019). Computer vision for human-machine interaction-review. *Journal of trends in Computer Science and Smart technology (TCSST)*, 1(02), 131-139. <https://doi.org/10.36548/jtcsst.2019.2.006>
- Tieleman, T., Hinton, G. (2012). Lecture 6.5- Rmsprop: Divide the Gradient by a Running Average of Its Recent Magnitude, COURSE: Neural Networks for Machine Learning, 4(2), 26-31.
- Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep learning for computer vision: A brief review. *Computational intelligence and neuroscience*, 2018, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2018/7068349>
- Wang, X., Zhao, Y., & Pourpanah, F. (2020). Recent advances in deep learning. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 11(4), 747-750. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13042-020-01096-5>
- Wu, X., Sahoo, D., & Hoi, S. C. (2020). Recent advances in deep learning for object detection. *Neurocomputing*, 396, 39-64. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.01.085>
- Yang, G. R., & Wang, X. J. (2020). Artificial neural networks for neuroscientists: A primer. *Neuron*, 107(6), 1048-1070. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.09.005>
- Zeiler, M. D. (2012). Adadelta: an adaptive learning rate method. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1212.5701>
- Zeng, X., Zhang, Z., Wang, D. (2016). AdaMax Online Training for Speech Recognition. Technical reports, 1-8.
- Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100224>



**Scientific Researches in  
Natural and Engineering  
Sciences**

CHAPTER 12



**Atıksulardaki Mikrokirleticilerin Etkileri ve  
Giderilmesinde Kullanılan UV ve O<sub>3</sub> Bazlı  
Yöntemler**

(Ayşe Elif Ateş)



## Atıksulardaki Mikrokirleticilerin Etkileri ve Giderilmesinde Kullanılan UV ve O<sub>3</sub> Bazlı Yöntemler

**Ayşe Elif Ateş**

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,*

*Çevre Mühendisliği Bölümü*

*E-mail: elifdenizler@istanbul.edu.tr*

### 1. Giriş

İki milyardan fazla insan su stresi olan bölgelerde yaşamaktadır [1]. Bu sorun, hem iklim değişikliği, nüfus artışı ve artan su talebiyle hem de bir boşluğa yol açan sanayi ve tarım sektörleri arasındaki su kaynakları için artan rekabetle daha da kötüleşmektedir [2-5]. Sonuç olarak, evsel atıksularının içilebilir şekilde arıtılarak yeniden kullanımı, su kaynakları yönetiminin önemli bir bileşeni haline gelmiştir [6,7].

Atıksularda ve tatlı su kütlelerinde mikro kirleticilerin varlığı, dünyadaki bütün ülkelerde en önemli çevresel sorunlardan biri olmuştur. Farmasötikler, kişisel bakım ürünleri, endüstriyel kimyasallar ve pestisitler gibi kirleticiler yaşamın her alanından sulara karışmaktadır. Bu kirleticilerin yüksek stabilite, fizikokimyasal ve biyolojik bozulmaya karşı dirençleri nedeniyle atıksu arıtma tesislerinde (AAT'ler) kovansiyonel yöntemler kullanılarak yüksek verimlilikle giderilmesi zordur. Atıksu arıtma tesislerinde arıtılmayan mikro kirleticiler yüzey ve yeraltı sularına kolayca geçebilir ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkiye neden olabilirler. Mikro kirleticilerle uzun süreli ve kontrolsüz temas, çevrede ve ekosistemlerde geri dönüşü olmayan değişikliklere yol açabilir ve canlı organizmalarda mutasyonlara ve ciddi bozulmalara neden olabilir [8].

Mikro kirleticiler genellikle, çevrede µg/L ila ng/L veya daha düşük konsantrasyonlarda tespit edilen kimyasal bileşikler ifade eder. Bu terminoloji, Uluslararası Su Birliği de dahil olmak üzere Avrupa kuruluşları tarafından benimsenmiştir. Çeşitli kuruluşlar mikro kirleticiler için farklı terminolojiler kullanırlar. İçme suyu ve atıksuyun arıtılmasında, mikro kirleticiler iki kirletici sınıfını içerebilir: (1) toksik etkileri belirlenmiş ve kontrol önlemleri geliştirilmiş eski kirleticiler; (2) şu anda düzenlemeye tabi olmayan ve çevresel ekosistemler veya insan sağlığı ve güvenliği için potansiyel tehditlere sahip olduğu düşünülen ortaya çıkan kirleticiler. Mikro kirleticiler, işlevlerine veya endüstriyel kullanımlarına göre ayrıca farmasötikler ve kişisel bakım ürünleri (PPCP'ler), endokrin bozucu bileşikler (EDC'ler), yüzey aktif maddeler, pestisitler, sentetik kokular, alev

geciktiriciler, endüstriyel katkı maddeleri ve bunların dönüşüm ürünleri olarak gruplandırılabilir [9]. Bu nedenle, mikro kirleticilerin gerçek su kaynaklarından etkin bir şekilde uzaklaştırılması için ileri arıtım tekniklerinin geliştirilmesine ve test edilmesine ihtiyaç vardır. Yukarıda bahsedilen bileşikler, adsorpsiyon, membran bazlı prosesler, fotokataliz ve/veya kimyasal oksidasyon gibi fizikokimyasal yöntemlerle ve ayrıca bitkiler, mikroplar ve enzimler kullanılarak biyolojik yöntemlerle uzaklaştırılabilir. Fizikokimyasal yöntemler etkili olmasına rağmen enerji kullanımı yüksektir, pahalıdır ve toksik yan ürünler üretebilir [9-12].

## 2. Atıksulardaki Mikro Kirleticiler

Mikro kirleticiler, atıksu ve AAT atıksularında bulunmaktadır. Bu bileşiklerin önemli bir kısmı, çok sınırlı düzenlemeler nedeniyle kontrol dışıdır. Şu anda mikro kirleticilerin deşarjı için yasal bir sınır bulunmamasına rağmen bazı düzenlemeler getirilmiştir. 2000 yılından bu yana Avrupa Birliği, atık sudaki toksik maddeleri ve bunların ara maddelerini tanımlamak için bir strateji oluşturmuştur. 2015 yılında, hormonlar, ilaçlar, kişisel bakım ürünleri ve gıda katkı maddeleri dahil olmak üzere yakın gelecekte gözlemlenecek ve nötralize edilecek öncelikli yüksek riskli bileşiklerin listesi Avrupa Komisyonu tarafından yayımlandı [13]. Bu listenin yayınlanmasıyla kirleticilerin bozunma ürünlerinin etkisi ile ilgili olarak yeni düzenlemeler konusunda dünya çapında daha fazla çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, bugüne kadar, mikro kirleticilerin deşarj limitleri ve bunların AAT atıksularındaki mevcudiyeti konusunda hala katı düzenlemeler bulunmamaktadır [14].

Tehlikeli mikro kirleticilerin en büyük grupları, farmasötik olarak aktif bileşikler (çeşitli anti-enflamatuar maddeler, ağrı kesici bileşikler ve hormonal kontraseptifler dahil) ve kişisel bakım ürünleridir (örneğin, yüzey aktif maddeler, antibakteriyel bileşikler). Çevredeki hem farmasötik hem de kişisel bakım ürünü kirleticilerinin ana kaynakları evsel atık sularıdır [15,16]. Konsantrasyonları, eser seviyelerde bile suda yaşayan organizmalar üzerinde potansiyel toksisite etkisiyle litre başına birkaç ng ile mg arasında değişmektedir [17]. Örneğin, Zuccato ve ark. (2006) , ibuprofen , ofloksasin ilaçlarının bir karışımının İtalyadaki nehirlerde siprofloksasin , furosemid ve sülfametoksazol bulunması sonucunda sucul ekosistemde çoğalma ve hücre döngüsü ilerlemesini azaltarak insan embriyonik hücreleri (HEK293) üzerinde olumsuz bir etkisinin olduğunu belirlemiştir [18]. Balbi et al. (2018) yapılan çalışmasında diklofenak – nonsteroid anti-enflamatuar ilaç – maruz kalma dozunun deniz çift kabuklu (yumuşakça) *Mytilus galloprovincialis* üzerindeki etkisini belirlemiştir. Sulardaki 1 µg/L diklofenakın erken gelişim evrelerinde gen transkripsiyonunu etkilediği gösterilmiştir [19]. Östrojenler,

1 ng/L'lik östrojenik aktivite eşiğini aşan konsantrasyonlarda, lagün havuzu ve deniz suyunda da tespit edilen atıksu ve AAT atıklarında bulunan başka bir farmasötik bileşik türüdür [20]. Atık sulara maruz kalan balıklarda, 11.1 ng/L ve 0.5 ng/L konsantrasyonda 17  $\beta$  -estradiol ve 17  $\alpha$  -etinilestradiol gibi östrojenlerden oluştuğu, kadınsı özelliklerin oldukça gelişmiş olduğu gösterilmiştir [9,21,22].

Kişisel bakım ürünleri su sistemini ve bir dizi canlı organizmayı olumsuz etkileyebilir. Güneş kremlerinde, parfümlerde, kremlerde veya şampuanlarda bulunan UV filtreleri ve stabilizatörler, kentsel alanlarda atıksu şebekelerinden veya kanalizasyon şebekesinden yüzey ve yeraltı sularına girebilen bu tür kişisel bakım ürünü kimyasallarını temsil eder. Nehirlerdeki konsantrasyonlarının 60 ng/L'ye kadar çıkabildiği yapılan çalışmalarda görülmektedir [23]. Etilheksil-metoksisinamat, Potamopyrgus antipodarum ve Melanoides tuberculata hem kozmetikte hem de güneş kremleri gibi kişisel bakım ürünlerinde ultraviyole ışık emici olarak kullanılır ve salyangozlar üzerinde toksik etkisi olduğu gösterilmiştir [24]. Kişisel bakım ürünlerinde bulunan kimyasalların diğer olumsuz etkileri başka yerlerde kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [25]. Mikro kirleticilerin bir diğer önemli grubu tekstil endüstrisinden boyalar ve endüstriyel kimyasallardır. Her yıl, tekstil endüstrisinden tahminen 900 milyon tondan fazla atıksu gelmektedir. Tekstil atıksuları, güçlü biyolojik toksisiteye ve kanserojen, teratojenik ve mutajenik özelliklere sahip boyalar içerirler [26-28]. Özellikle, boyalar karmaşık kimyasal yapıya sahiptir ve kovansiyonel atıksu arıtma prosesinde biyolojik olarak neredeyse hiç parçalanmazlar. Bu, çevrede sık görülmelerini artıran bir etkidir. Boya bileşiklerinin insan üzerinde karıncalanma veya burun akıntısının yanı sıra astım ve alerjik cilt reaksiyonları gibi potansiyel sağlık etkileri vardır [29]. Ek olarak, boyaların varlığının sudaki ışık penetrasyonunu sınırlayabileceğini ve bunun sudaki yaşamın fotosentez hızını önemli ölçüde etkileyebileceği bulunmuştur [9, 30].

Pestisitlerin doğal çevre üzerinde de önemli bir etkisi vardır. Her yıl, bahçecilik ve tarımda yüzlerce ton pestisit kullanılmaktadır [31] ve içme suyu kaynaklarını kirletmektedir [32]. Ek olarak, çevrede bulunan pestisit karışımları, tüm kirleticilerin sinerjistik etkisi nedeniyle problemler yaratır [33]. Düşük pestisit konsantrasyonları herhangi bir sağlık sorununa neden olmadığı halde insanlarda saptanabilir ancak sonuçta yaşam kalitesini etkileyen genetik bozukluklara ve fizyolojik değişikliklere neden olabilir. Pestisit zehirlenmesinin belirtileri muskarinik sendroma (yırtılma, terleme, gastrointestinal ton bozukluğu, bulantı, kusma, ishal, idrar kaçırma, bronkospazm , miyozis ve bradikardi) ve ayrıca nikotin sendromuna (titreme, spazm, hipertonsite, hiperrefleksi, felç, halsizlik, taşikardi , solgunluk, hiperglisemi ve hipertansiyon) neden olabilir. Ek olarak, pestisitler,

anksiyete, baş ağrısı, baş dönmesi, uyku ve hafıza bozuklukları, kasılmalar ve ayrıca solunum depresyonu veya koma ile kendini gösteren merkezi sinir sistemini önemli ölçüde etkileyebilir [34]. Yeraltı sularında en az 143 farklı pestisit ve bunların dönüşümünden kaynaklanan 20'den fazla ürün bulunduğu vurgulanmalıdır [35]. Köck- Schulmeyer ve ark. (2013) atıksu arıtımından sonra AAT atıksuyunda diazinon için 684 ng/L'ye kadar pestisit konsantrasyonlarının hala yüksek olduğunu göstermiştir. En büyük sorunları oluşturan bileşikler arasında diazinon ve diuron bulunur. Bunu atrazin, simazin, malathion, chlortoluron, terbutylazine ve isoproturon takip eder. Bu nedenle, çoğu pestisit bileşiği çevre kalite standartları ve analizleriyle takip edilmelidir [9,36].

### **3. Atıksulardaki Mikrokirleticilerin Giderilmesinde Kullanılan Bazı Yöntemler**

#### **3.1. O<sub>3</sub>/Granül Aktif Karbon (GAC)**

Vatankhah ve ark. (2019) mikrokirleticilerin evsel atıksudan uzaklaştırılmasında ozon (O<sub>3</sub>) ve O<sub>3</sub>'un granüler aktif karbonla (O<sub>3</sub>/GAC) kullanılarak arıtılmasının verimini karşılaştırmak için pilot ölçekte çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, izole ozonlama ve GAC adsorpsiyon deneyleri O<sub>3</sub>/GAC yöntemlerinin birlikte kullanılması karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneylerin tamamında O<sub>3</sub>/GAC deneyleri sırasında tris (2-karboksiletıl) fosfin (TCEP), sukraloz ve meprobamatın giderim veriminin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak deney süresi belirlenirken uzun süreli O<sub>3</sub> (20 saat) uygulanması durumunda GAC giderim veriminde azalma olduğu görülmüştür. Verimin azalmasının nedeni olarak deney sırasında uzun süren ozonlamanın granül aktif karbon yüzey özelliklerinde değişikliklerle ilişkili olduğu düşünülmüştür. Ozonlamanın 6 saat olması durumunda ise granül aktif karbon yüzey alanı artmış ve mikrokirleticilerin adsorpsiyon verimi iyileşmiştir. Çalışmada ozonlama süresinin granül aktif karbon yüzeyinde değişikliğe neden olması sonucunda giderim veriminde oldukça etkili olduğu bulunmuştur [7].

#### **3.2. UV/Klor**

Literatürde mikrokirleticilerin atıksulardan gideriminde UV/Klor yönteminin kullanılması birçok çalışmada mevcuttur. Bu çalışmalarda UV/klor prosesinin diğer arıtma prosesleri ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan mikro kirleticilerin bozunmasındaki etkinliklerini değerlendirmiştir [37-40]. Mikro kirleticilerin UV ile bozunması genellikle yetersizdir çünkü çoğu mikro kirletici düşük molar absorpsiyon katsayılarına ve düşük kuantum verimlerine sahiptir. Bu da tek başına UV kullanımında yetersiz giderim oranlarına neden olur [37, 39, 40]. Klor, anilin içeren bileşiklerle, (örn.,

diklofenak ve sülfametoksazol), birincil aminler (örn., gabapentin), indirgenmiş kükürt grupları (örn., sülfametoksazol ve sotalol), pirimidin (örn., trimetoprim) ve elektrofilik gruplarla ikame edilen üçüncül aminler (örn., venlafaksin ve tramadol) reaksiyona girme eğilimindedir [39,41]. Bununla birlikte, tek başına klorlama, amid grupları (örn., atenolol, fenitoin, primidon, karbamazepin ve iopromid), imid grupları (örn., kafein), azid grupları (örneğin, valsartan asit ve benzotriazol) ve kirleticilere karşı sınırlı reaktivitesi nedeniyle UV/klor işleminden önemli ölçüde daha düşük bozulma oranları göstermiştir [41]. Örneğin, atenololün bozunmasında, UV/klor prosesi 20 dakika içinde 10 µM atenololün %93'ünden fazlasında bozunurken, atenololün %3'ünden daha azı koyu klorlama veya yalnızca UV ile bozunmuştur [40]. Guo et al. [39] sırasıyla yalnızca UV, tek başına klorlama ve UV/klor işlemi ile 27 PPCP'nin bozunma verimliliklerini karşılaştırdılar ve UV/klor işleminin tüm hedef PPCP'ler için •OH'nin katkılarından dolayı çok daha etkili olduğunu gözlemlediler [38].

#### 4. Referanslar

- [1] Behind, L. N. O. (2019). The United Nations World Water Development Report 2019
- [2] Horne, J. (2016). Policy issues confronting Australian urban water reuse. *International Journal of Water Resources Development*, 32(4), 573-589.
- [3] Zodrow, K. R., Li, Q., Buono, R. M., Chen, W., Daigger, G., Dueñas-Osorio, L., ... & Alvarez, P. J. (2017). Advanced materials, technologies, and complex systems analyses: emerging opportunities to enhance urban water security.
- [4] Daigger, G. T. (2009). Evolving urban water and residuals management paradigms: Water reclamation and reuse, decentralization, and resource recovery. *Water environment research*, 81(8), 809-823.
- [5] Larsen, T. A., Hoffmann, S., Lüthi, C., Truffer, B., & Maurer, M. (2016). Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *Science*, 352(6288), 928-933.
- [6] Tian, Y., Hu, H., & Zhang, J. (2017). Solution to water resource scarcity: water reclamation and reuse. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(6), 5095-5097.

- [7] Vatankhah, H., Riley, S. M., Murray, C., Quiñones, O., Steirer, K. X., Dickenson, E. R., & Bellona, C. (2019). Simultaneous ozone and granular activated carbon for advanced treatment of micropollutants in municipal wastewater effluent. *Chemosphere*, 234, 845-854.
- [8] Zdarta, J., Jesionowski, T., Pinelo, M., Meyer, A. S., Iqbal, H. M., Bilal, M., ... & Nghiem, L. D. (2022). Free and immobilized biocatalysts for removing micropollutants from water and wastewater: Recent progress and challenges. *Bioresource Technology*, 344, 126201.
- [9] Yang, W., Zhou, H., & Cicek, N. (2014). Treatment of organic micropollutants in water and wastewater by UV-based processes: a literature review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(13), 1443-1476.
- [10] Cobas, M., Danko, A. S., Pazos, M., & Sanromán, M. A. (2016). Removal of metal and organic pollutants from wastewater by a sequential selective technique. *Bioresource Technology*, 213, 2-10.
- [11] Chaturvedi, P., Giri, B. S., Shukla, P., & Gupta, P. (2021). Recent advancement in remediation of synthetic organic antibiotics from environmental matrices: Challenges and perspective. *Bioresource Technology*, 319, 124161.
- [12] Varga, B., Somogyi, V., Meiczinger, M., Kováts, N., & Domokos, E. (2019). Enzymatic treatment and subsequent toxicity of organic micropollutants using oxidoreductases-A review. *Journal of Cleaner Production*, 221, 306-322.
- [13] Barbosa, M. O., Moreira, N. F., Ribeiro, A. R., Pereira, M. F., & Silva, A. M. (2016). Occurrence and removal of organic micropollutants: An overview of the watch list of EU Decision 2015/495. *Water research*, 94, 257-279.
- [14] Rogowska, J., Cieszyńska-Semenowicz, M., Ratajczyk, W., & Wolska, L. (2020). Micropollutants in treated wastewater. *Ambio*, 49(2), 487-503.
- [15] Asif, M. B., Hou, J., Price, W. E., Chen, V., & Hai, F. I. (2020). Removal of trace organic contaminants by enzymatic membrane bioreactors: Role of membrane retention and biodegradation. *Journal of Membrane Science*, 611, 118345.
- [16] Chen, M., Ren, L., Qi, K., Li, Q., Lai, M., Li, Y., ... & Wang, Z. (2020). Enhanced removal of pharmaceuticals and personal care products from real municipal wastewater using an electrochemical membrane bioreactor. *Bioresource Technology*, 311, 123579.



- [17] Tiwari, B., Sellamuthu, B., Ouarda, Y., Drogui, P., Tyagi, R. D., & Buelna, G. (2017). Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. *Bioresource technology*, 224, 1-12.
- [18] Zuccato, E., Castiglioni, S., Fanelli, R., Reitano, G., Bagnati, R., Chiabrando, C., ... & Calamari, D. (2006). Pharmaceuticals in the environment in Italy: causes, occurrence, effects and control. *Environmental Science and Pollution Research*, 13(1), 15-21.
- [19] Balbi, T., Montagna, M., Fabbri, R., Carbone, C., Franzellitti, S., Fabbri, E., & Canesi, L. (2018). Diclofenac affects early embryo development in the marine bivalve *Mytilus galloprovincialis*. *Science of the total environment*, 642, 601-609.
- [20] Adeel, M., Song, X., Wang, Y., Francis, D., & Yang, Y. (2017). Environmental impact of estrogens on human, animal and plant life: A critical review. *Environment international*, 99, 107-119.
- [21] Liney, K. E., Jobling, S., Shears, J. A., Simpson, P., & Tyler, C. R. (2005). Assessing the sensitivity of different life stages for sexual disruption in roach (*Rutilus rutilus*) exposed to effluents from wastewater treatment works. *Environmental health perspectives*, 113(10), 1299-1307.
- [22] Liney, K. E., Hagger, J. A., Tyler, C. R., Depledge, M. H., Galloway, T. S., & Jobling, S. (2006). Health effects in fish of long-term exposure to effluents from wastewater treatment works. *Environmental health perspectives*, 114(Suppl 1), 81-89.
- [23] Jurado, A., Gago-Ferrero, P., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., Pujades, E., Díaz-Cruz, M. S., & Barceló, D. (2014). Urban groundwater contamination by residues of UV filters. *Journal of hazardous materials*, 271, 141-149.
- [24] Kaiser, D., Sieratowicz, A., Zielke, H., Oetken, M., Hollert, H., & Oehlmann, J. (2012). Ecotoxicological effect characterisation of widely used organic UV filters. *Environmental Pollution*, 163, 84-90.
- [25] Schneider, S. L., & Lim, H. W. (2019). Review of environmental effects of oxybenzone and other sunscreen active ingredients. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 80(1), 266-271.

- [26] Iark, D., dos Reis Buzzo, A. J., Garcia, J. A. A., Côrrea, V. G., Helm, C. V., Corrêa, R. C. G., ... & Peralta, R. M. (2019). Enzymatic degradation and detoxification of azo dye Congo red by a new laccase from *Oudemansiella canarii*. *Bioresource technology*, 289, 121655.
- [27] Guo, G., Hao, J., Tian, F., Liu, C., Ding, K., Zhang, C., ... & Xu, J. (2020). Decolorization of Metanil Yellow G by a halophilic alkalithermophilic bacterial consortium. *Bioresource Technology*, 316, 123923.
- [28] Varjani, S., Rakholiya, P., Ng, H. Y., You, S., & Teixeira, J. A. (2020). Microbial degradation of dyes: an overview. *Bioresource Technology*, 314, 123728.
- [29] Lellis, B., Fávoro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., & Polonio, J. C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275-290.
- [30] Liu, Q. (2020, May). Pollution and treatment of dye waste-water. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 514, No. 5, p. 052001). IOP Publishing.
- [31] Rodríguez-Liévana, J. A., ElGouzi, S., Mingorance, M. D., Castillo, A., & Peña, A. (2014). Irrigation of a Mediterranean soil under field conditions with urban wastewater: Effect on pesticide behaviour. *Agriculture, ecosystems & environment*, 185, 176-185.
- [32] Münze, R., Hannemann, C., Orlinskiy, P., Gunold, R., Paschke, A., Foit, K., ... & Liess, M. (2017). Pesticides from wastewater treatment plant effluents affect invertebrate communities. *Science of the total environment*, 599, 387-399.
- [33] Fernández-Alba, A. R., Guil, L. H., López, G. D., & Chisti, Y. (2001). Toxicity of pesticides in wastewater: a comparative assessment of rapid bioassays. *Analytica chimica acta*, 426(2), 289-301.
- [34] Bernardes, M. F. F., Pazin, M., Pereira, L. C., & Dorta, D. J. (2015). Impact of pesticides on environmental and human health. *Toxicology studies-cells, drugs and environment*, 195-233.
- [35] Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2(1), 1-12.

- [36] Köck-Schulmeyer, M., Villagrasa, M., de Alda, M. L., Céspedes-Sánchez, R., Ventura, F., & Barceló, D. (2013). Occurrence and behavior of pesticides in wastewater treatment plants and their environmental impact. *Science of the total environment*, 458, 466-476.
- [37] Wang, C., Ying, Z., Ma, M., Huo, M., & Yang, W. (2019). Degradation of micropollutants by UV–chlorine treatment in reclaimed water: pH effects, formation of disinfectant byproducts, and toxicity assay. *Water*, 11(12), 2639.
- [38] Yeom, Y., Han, J., Zhang, X., Shang, C., Zhang, T., Li, X., ... & Dionysiou, D. D. (2021). A review on the degradation efficiency, DBP formation, and toxicity variation in the UV/chlorine treatment of micropollutants. *Chemical Engineering Journal*, 424, 130053.
- [39] Guo, K., Wu, Z., Yan, S., Yao, B., Song, W., Hua, Z., ... & Fang, J. (2018). Comparison of the UV/chlorine and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes in the degradation of PPCPs in simulated drinking water and wastewater: kinetics, radical mechanism and energy requirements. *Water Research*, 147, 184-194.
- [40] Gao, Y. Q., Gao, N. Y., Chen, J. X., Zhang, J., & Yin, D. Q. (2020). Oxidation of  $\beta$ -blocker atenolol by a combination of UV light and chlorine: kinetics, degradation pathways and toxicity assessment. *Separation and Purification Technology*, 231, 115927.
- [41] Ribeiro, A. R. L., Moreira, N. F., Puma, G. L., & Silva, A. M. (2019). Impact of water matrix on the removal of micropollutants by advanced oxidation technologies. *Chemical Engineering Journal*, 363, 155-173.



**Scientific Researches in  
Natural and Engineering  
Sciences**

CHAPTER 13



**Akıllı Şehirlerin Geleceği, Teknolojileri ve Türkiye  
Örneği: Konya**

(Ayşe Elif Ateş)



## Akıllı Şehirlerin Geleceği, Teknolojileri ve Türkiye Örneği: Konya

**Ayşe Elif Ateş**

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,*

*Çevre Mühendisliği Bölümü*

*E-mail: elifdenizler@istanbul.edu.tr*

### 1. Giriş

Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Departmanı'na (DESAP) göre kentsel alanlarda yaşayan nüfus sayısı 1950'lerden 2014'e kadar yaklaşık %25 artış göstermiştir ve yapılan çalışmalar sonucunda 2050 yılına kadar artışın yaklaşık %65 olması beklenmektedir [1,2].

Kırsal alanlardan kentsel alanlara bu hızlı göç durumunun temel iki nedeni bulunmaktadır. İlk sebep doğal olarak nüfusun büyümesidir. İkinci ve önemli sebep ise şehirlerde yaşam kalitesinin yüksek olması, ekonomik fırsatların daha iyi olmasıdır. Bu ve benzeri nedenler sonucunda kentsel nüfusun hızlı şekilde artması beraberinde birçok probleme yol açmıştır. Oluşan problemler genel sınıflandırıldığında çevresel kirlenme, yüksek yaşam maliyeti, sağlık ve güvenlik hizmetlerinin aksaması örnek verilebilir. Bu problemlerin aşılması için paydaşların güncel teknolojiyi kullanarak yenilikçi çözümler getirmesi neredeyse zorunlu hale gelmiştir [3].

Teknolojinin günlük hayata dahil edilmesinin faydaları, bireysel düzeyden çok topluluk düzeyinde olmaya başlamıştır. Büyükşehirlerin teknolojiyi şehri yönetirken kullanmaları ve toplumun faydası için yeni yöntemler araması akıllı şehirlerin oluşumunun temelini atmıştır. Özellikle internet ve internetle kullanılan her bir teknoloji yaşamın her alanına nüfus etmiştir. Yeni gelişmelerle birlikte IoT (nesnelerin interneti) günlük yaşamda yeni teknoloji entegrasyon yöntemlerini açmak için insan-bilgisayar etkileşiminde önemli rol oynamaktadır. IoT, "birlikte çalışabilir bilgi ve iletişim teknolojilerini (BİT) kullanarak fiziksel ve sanal şeyleri birbirine bağlayarak gelişmiş hizmetler sağlayan küresel bir altyapı" olarak tanımlanabilir. IoT gibi bulut teknolojisi de akıllı şehir uygulamalarında kullanılmaktadır. IoT teknolojisinde internet tabanlı olarak kullanıcıların ihtiyaçlarına göre teknolojiler yönlendirilirler. Bulut teknolojisinde ise veri depolama kapasitesinin artmasıyla veri işleme verimliliği ve sensör kullanımı artmaktadır. Bu teknolojilerin birleştirilerek oluşturulan akıllı cihazların kullanımının artmasıyla akıllı şehirleşme giderek yaygınlaşmaktadır [3-8].

## 2. Akıllı Şehir

Akıllı şehrin tek tanımının bulunmamasıyla birlikte şehrin yönetiminde teknolojiyi ve sistem entegrasyonunu içeren teknolojilerin kullanılarak halkın daha rahat yaşamasının sağlanması, çevrenin korunması, şehir yönetimine kontrolün artması olarak açıklanabilir. Şehir yönetiminde, eğitimde, sağlık hizmetlerinde, kamu güvenliğinde, ulaşımda ve kamu hizmetlerinde ağ teknolojilerinin kullanılarak IoT teknolojisiyle birlikte sensörler kullanılarak şehir altyapısının tasarlanması akıllı şehirlerin geleceği için kritiktir. Teknolojinin seçiminde öncelikli amaç güvenli, çevre dostu ve verimli bir şehir yaratmak olmalıdır [3,9-11].

### 2.1. Geleceğin Akıllı Şehirleri İçin Gereksinimler

Birlikte İşlerlik- Şehir yönetiminde günümüzün modern teknolojisinde birlikte ağ oluşturmak şehirdeki halkla birlikte kurumlarında birlikte çalışabilirliğinde gelecek için oldukça önemli olmaktadır. IoT ile verilerin yorumlanma yeteneğiyle cihazlar arasındaki veri paylaşımı artırmaktadır. Bunlarla birlikte kullanıcı için arayüzün geliştirilerek cihazlara kolayca erişmesi ve veri elde etmesi sağlanabilmektedir [12,13].

Ölçeklenebilirlik-Bir teknolojinin, nesnenin veya çalışmanın performansının verimliliğinin sağlanabilmesi için ölçeklenebilir olması gereklidir. Aynı durum akıllı şehirlerde kullanılan modern teknolojiler içinde bu durum geçerlidir. Teknolojinin ölçeklenebilir olması tüketici gereksinimin belirlenmesini de kolaylaştırmaktadır. Ayrıca teknolojide bulunan fazla özellik ürünün kullanılabilirliğini artırırken diğer kalemlere harcanan maliyetin azalmasını da teşvik etmektedir [14,15].

Veri dağıtımı- Akıllı şehirlerde kullanılan teknolojilerin şehrin ihtiyaçlarına göre tasarımı veri dağıtımı için oldukça önemlidir. Modern teknolojiyle birlikte daha az işgücü kullanarak sürdürülebilir çalışmalar yapılabilir. Veri dağıtımının hızlı olan akıllı teknolojilerin kullanılması üretim prosedürlerini maliyet ve zaman açısından verimli ve anlaşılır hale getirmektedir [16].

Sağlamlık- Modern teknolojilerin sağlamlığı kullanıcı tercihi bakımından önceliklidir. Sağlamlık teknolojinin çevresel şartlara uzun süre dayanmasıyla kurumların maliyetini düşüreceği için özellikle akıllı şehirde kullanılan teknolojilerde yenilik olarak kabul edilmektedir. Ayrıca teknolojik sağlamlık hataları aşma kabiliyeti açısından da oldukça önemlidir [17,18].

Çevre dostu ve verimlilik- Elektrik çoğu teknoloji için güç kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bazı teknolojilerde ise güç kaynağı birden fazla yakıtla karşılanabilmektedir. Sera gazlarının artışıyla küresel ısınmanın artması ve



küresel hava koşullarındaki olumsuz değişiklikler sonucunda kullanılan teknolojiler son derece çevre dostu ve verimli odaklı hale gelmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektronik cihazların güç tüketimi azalmış ve güç kaynağının çevresel seçilmesiyle çevresel emisyonlarla önemli ölçüde azaltılmıştır [19,20].

## **2.2. Akıllı Şehir İhtiyacı**

Akıllı şehirlerde altyapı kurulurken teknolojinin kullanılmasıyla vatandaşların yaşam kalitesini artar ve kentsel çevreyle etkileşimleri iyileştirilebilir. Halkla doğal çevrenin ilişkisinin entegre edilmesi, düzenlenmesi ve doğru şekilde şehrin kontrol edilmesiyle akıllı şehirlerin ekonomik büyüme potansiyeli diğer şehirlere göre daha fazladır. Şehir yönetiminde kritik olan hava kalitesi ölçüm cihazlarının, toplu taşıma ve enerji tüketimi gibi günlük yaşamda önemli olan verilerin etkin şekilde kullanılabilmesi için şehirlerin uygun teknolojiyi kullanarak akıllı şehir altyapısını geliştirmesi gereklidir. Mevcut kentsel tasarım ve planlama mekanizmalarının (özellikle gelişmekte olan bölgelerde) şehirlerinin tüm kentsel karmaşıklıklarını düzenlemede etkin olma konusunda yetersiz kalmaya başlamıştır. Akıllı şehir dönüşüm ihtiyacı yetersiz ve çok doğru olmayan veri toplama yöntemlerinin yanı sıra sosyo-ekonomik ve mekansal süreçler arasındaki bağlantının az olması sonucunda ortaya çıkmıştır [21].

## **3. Ülkemizdeki Akıllı Şehir Uygulamaları**

Kocaeli, Gaziantep, Konya, Kütahya, İzmir ve Manisa gibi birçok şehirde akıllı çevre projeleri artarak planlanmaktadır [22]. Kocaeli şehrinde akıllı şehir yapısına geçebilmek için yenilenebilir enerji projeleri, akıllı şehir web portalı, bisiklet kullanımının yaygınlaştırılması, toplu taşıma kullanımının teşviki ve emisyon azaltma, çocuklar için trafik eğitimi, akıllı otopark yönlendirme sistemi, akışkan yataklı reaktörde arıtma çamurlarının bertarafı sonucu elektrik üretimi tesisleri ve atıksu scada sistemi gibi altyapı projeleri planlanmaktadır [23]. Gaziantep şehrinde ise alzheimer hastalarına akıllı takip cihazı, coğrafi bilgi sistemi yazılımı geliştirilmesi, dijital triaj, elektrikli araç ve şarj istasyonu projesi, erken uyarı sistemleri (mobil tarım uygulamaları), evim dünyalara bedel akıllı yaşlı destek uygulaması, Gaziantep ekolojik köy projesi gibi akıllı şehir altyapı projelerinin yapılmasını planlanmaktadır [24]. Ülkemizde akıllı şehir planlaması son zamanlarda artış göstermiş olup projeler kurumlar tarafından desteklenmektedir.

#### 4. Akıllı Şehir: Konya

Konya şehrinde akıllı şehir kapsamında uygulamalar akıllı çevre, akıllı ulaşım, akıllı insan, akıllı ekonomi, akıllı yönetim, akıllı enerji, akıllı güvenlik, akıllı sağlık ve akıllı altyapı kategorilerinde planlanmıştır. Bu başlık altında kategorilere göre akıllı şehir projeleri değerlendirilmiştir [25].

##### 4.1. Akıllı Çevre

Şehrin farklı ilçelerine yerleştirilmiş hava kalitesi ölçüm cihazları bulunmaktadır. Cihazlardan veriler saatlik ortalama olup yetkili kurum tarafından sürekli kontrol edilmektedir. Ayrıca anormal hava kalitesi şartlarının oluşması durumunda cihaz yetkililere uyarı mesajları göndererek gerekli tedbirlerin zamanında alınması sağlanabilmektedir. Sabit ölçüm dışında mobil hava kalitesi ölçüm aracı bulunmaktadır [26].



a.

b.

c.

d.

Şekil 2. Akıllı Çevre Uygulamaları a.) hava kalitesi ölçüm cihazları [26], b.) gürültü denetim takip ve uyarı sistemi [27], c.) Mor Şebeke [29], d.) çevre yönetimi bilgi sistem merkezi [31]

Şehirde Gürültü Denetim Takip ve Uyarı Sistemi kullanılarak gürültünün kaynağı elektronik cihazlar yardımıyla sürekli takip edilmektedir. Kullanılan sistemde belirlenen sınır değerinin aşılması durumunda yetkilere bilgilendirme yapılmakta ve gürültü haritası oluşturulabilmektedir [27].

Şehir içerisinde ve çevresinde kaçak hafriyat dökülmesinin önüne geçmek için Hafriyat Araçları Takip Sistemi kurulmuş ve şehirdeki işletmelere ait araçlar anlık takip edilebilmektedir [28].

Mor Şebeke- Atıksu, içmesuyu, şehir suyu, yağmursuyu ve sulama suyu şebekelerinin yanı sıra mor şebeke bulundurarak ülkemizde 6 adet şebekeye sahip tek şehirdir. Atıksu karakterizasyonuna uygun arıtma prosesleri bulunan atıksu geri kazanım sistemiyle arıtma sonrası sulama suyu olarak kullanılmaktadır [29].

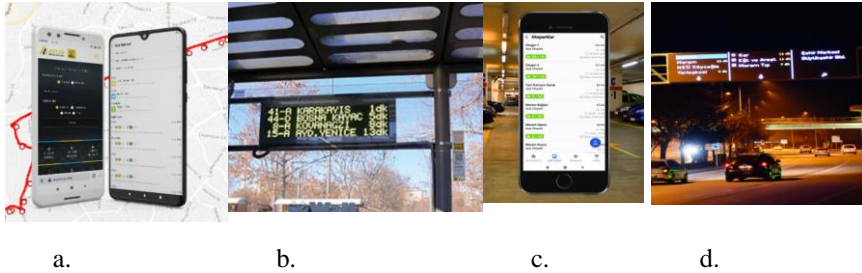
Büyükşehir yönetiminde önemli problemlerden biri içme suyu dağıtım şebekelerinde oluşan arıza sonrasında şehirde arızanın giderilesine kadarki sürede vatandaşın suyu temin edememesidir. Vatandaşların bu arızadan

etkilenmesin önlemek için aktif içme suyu hattı üzerinden branşman hattı bağlantısı yapılmıştır [30].

Çevre Yönetimi Bilgi Sistem Merkezi şehirdeki çevresel sorunların tespit edilmesi ve bu sorunların çözülmesi için gerekli olan verilerin elde edilebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede çözüm yönteminin belirlenmesinde doğru karar alma süreci hızlanmaktadır. Akıllı çevre cihazları (hava kalitesi izleme, gürültü seviyesi izleme, araç takip modülleri vb.) çevre yönetim sistemi tarafından sürekli olarak takip edilmektedir. Sistemde akıllı çevre, akıllı ulaşım, akıllı enerji gibi projelerin verileri de anlık takip edilerek veriler ışığında gerekli haritaların oluşturulmasına (kirlilik haritası, gürültü haritası vb.) olanak sağlamıştır [31].

#### 4.2. Akıllı Ulaşım

Akıllı Toplu Ulaşım Sistemi -Vatandaşların şehirdeki toplu ulaşım araçlarının anlık nerede olduğunu ve belirli duraklara tahmini gelme süresini bilmesini sağlayan sistemdir. Ayrıca sistem sayesinde toplu ulaşım hatlarının güzergahları ve durakların yerlerinin öğrenilebiliyor olması vatandaşın yaşam kalitesini artıran akıllı çevre uygulamalarından biridir. SMS, duraklardaki barkodlar ve web sitesi kullanılarak istenilen bilgiye ulaşılabilmektedir [32].



Şekil 2. Akıllı Ulaşım Uygulamaları a.) akıllı toplu ulaşım sistemi [32], b.) akıllı durak [33], c.) otopark bul [37], d.) elektronik yönlendirme ve bilgilendirme ekranları [38]

Akıllı Durak-Şehir merkezi ilçelerinde yaklaşık 200 durakta vatandaşların kurulan ekranlarla toplu ulaşım araçlarının durağa gelme sürelerini takip edebilmesi sağlanmaktadır [33].

Akıllı kavşak- Şehir merkezinde yaklaşık 100 kavşakta kullanılan Akıllı Trafik Yönetim Sistemi trafik ışıkları araç yoğunluğuna ve ortalama araç hızına göre yönetilebilmektedir. Bu sistemle kavşağa gelen araç sayıları sayılabilmekte ve kavşaktaki trafik ışıklarında yeşil ışık süreleri otomatik ayarlanmaktadır. Araç yoğunluğu yüksek olan yönlerde yeşil ışık süresi uzun olurken araç sayısının az olduğu yönlerde yeşil ışık süresi daha kısadır. Bu

yönetimle trafik sıkışıklığı engellenmekte ve enerji tüketiminde sağlanabilmektedir [34].

Merkezi Trafik İşletim Sistemi-Şehirdeki kavşaklara 7 gün 24 saat canlı bağlantı kurabilen ve kavşakların uzaktan kontrolünün yapılabildiği sistemdir. Aynı zamanda geçmiş ve anlık trafik bilgilerinin de elde edilebilip istatistiksel analizinin yapılarak trafik kontrolünün yapılmasını sağlamaktadır. Sistem uluslararası standarda sahiptir [35].

Bisiklet Yolları ve Akıllı Bisiklet Sistemi-Şehirde bisiklet yolları 550 km olup ülkemizdeki uzun bisiklet yoluna sahip olan şehirlerdendir. Şehir içerisinde 80 farklı noktada bisiklet kiralama istasyonları bulunmaktadır ve istasyonlardan kredi kartı veya belediyeye ait elkartlar kullanılarak kiralanabilmektedir. Kiralanan bisikletler kiralandıkları istasyona veya farklı istasyona bırakılabilmektedir. Bu işlemler görevli olmaksızın bisiklet sistemi üzerinden günün herhangi saatinde yapılabilmektedir. 80 farklı noktada toplam 1000 adet akıllı bisiklet bulunmaktadır. Bisiklet kiralamak isteyen vatandaşlar kiralama istasyonlarında bisiklet olup olmadığını, teslim edilecek peronda boşluk durumu gibi bilgiler belediyenin web sitesi üzerinden veya mobil uygulama üzerinden kontrol edilebilmektedir [36].

Otopark Bul- Mobil uygulama üzerinden hizmet veren “Otopark Bul” uygulamasıyla vatandaşlar kendilerine en yakın otoparkları, otoparkların açık olduğu saatleri, otoparklardaki doluluk oranını görebilmektedir. Ayrıca seçilen otopark için harita üzerinden sesli yön tarifi yapılmaktadır [37].

Elektronik Yönlendirme ve Bilgilendirme Ekranları- Şehir merkezinin birçok yerine elektronik yönlendirme ve bilgilendirme ekranları yerleştirilmiştir. Bu ekranlarda sürücüler buldukları yerden gidecekleri konuma varış sürelerini, otopark durumunu, kaza bilgilerini görebilmektedir. Ayrıca ekranlarda yol çalışması veya kaza durumu bilgisi verilerek trafik akışını düzenlemektedir. Sistemin kullanılmasıyla şehir içerisinde trafik güvenliğinin korunması ve sürücü konforunun artması sağlanmaktadır [38].

### 4.3. Akıllı yapılar



a.

b.

c.

Şekil 3. Akıllı Yapılar a.) Konya Büyükşehir Stadyumu [39], b.) Büyükşehir Belediyesi Spor ve Kongre Merkezi [40], c.) Konya Bilim Merkezi [41],

Konya Büyükşehir Stadyumu- Büyükşehir Stadyumu UEFA'nın tüm standartlarını sağlamakla birlikte Leed sertifikasına da sahiptir. Yüksek çözünürlüklü ve 3D özelliğe sahip 72m<sup>2</sup>'lik 2 tane skorboard mevcuttur. Seyirci kapasitesi 42 bin olan stadyumun dış cephesinin tamamı led lambalar kullanılarak aydınlatılmaktadır. Led lambalar yardımıyla dış yüzeyde istenen renk ve desen elde edilebilmektedir. Stadyum içerisinde yüksek teknoloji ses sistemi kullanılarak seyirci sayısına ve gürültü seviyesine göre sesin seviyesi otomatik ayarlanabilmektedir. Bina akıllı elektrik sistemiyle donatılmıştır. Stadyum içerisinde kablosuz ağ bulunmaktadır. Ayrıca çim yüzeyinin sıcaklığı ve nemi ölçülerek sabit tutulmaktadır [39].

Büyükşehir Belediyesi Spor ve Kongre Merkezi- tesisi ülkemizin Leed sertifikalı ilk kapalı spor ve kongre tesisidir. Ayrıca yapı akıllı otomasyon sistemleriyle donatılmıştır [40].

Konya Bilim Merkezi- Merkez Leed sertifikasına sahip ilk bilim merkezidir. Yapı benzer bilim merkezleriyle karşılaştırıldığında yaklaşık %40 enerji ve %55 su tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca binaya uygun havalandırma sistemiyle bina içerisinde daha iyi hava kalitesi sağlanmaktadır ve sera gazı emisyonları da azaltılmaktadır. Bina yapımında kullanılan malzemelerin yaklaşık yarı geri dönüşebilir özelliktedir. Akıllı bina örneği olup otomasyon sistemiyle kontrol edilmektedir [41].

#### 4.4. Akıllı enerji

Katı Atık Tesislerinde Elektrik Üretimi- Şehrin katı atık depolama sahasından çıkan metan gazlarının elektrik enerjisine dönüştürülmesi için Aslım Katı Atık Depolama sahasına 2011'de tesis açılmıştır. Tesis tam kapasite çalışmaktadır yaklaşık 12.500 hanenin günlük elektrik ihtiyacı karşılamaktadır. Aslım Katı Atık Depolama sahasından sonra kurulan Konya Entegre Katı Atık Bertaraf ve Enerji Üretim tesisinde yaklaşık 40 bin konutun enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir [42].



Şekil 4. Akıllı Enerji a.) Katı Atık Tesislerinde Elektrik Üretimi [42], b.) Akıllı Aydınlatma [43], c.) Güneş Enerjili Meteoroloji İstasyonları [44], d.) Rüzgâr Enerji Santrali [45]

Akıllı Aydınlatma- Şehir içindeki bazı yollarda ve parklarda akıllı aydınlatma sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde sensör, kablosuz ve kablolu ağ kullanılarak uzaktan kontrol edilebilmektedir. Kullanılan akıllı aydınlatma sisteminde arıza durumunda alarm vermesi, ışık miktarının uzaktan kontrol edilmesi, aydınlıkta otomatik dinlenme gibi özellikler bulunmaktadır. Şehir elektrik tüketiminin %60 azalmasını ve bakım maliyetinden %90 tasarruf edilmesini sağlamıştır [43].

Güneş Enerjili Meteoroloji İstasyonları- Konya Meram ilçesindeki meteoroloji istasyonunun elektrik ihtiyacı alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi kullanılarak karşılanmaktadır. Bu istasyonda meteorolojik veriler (rüzgar hızı, yağmur miktarı vb.) meteoroloji ana merkeze aktarılmaktadır. Sistem üzerinden veriler analiz edilerek bölgeye ekilecek bitki türünün seçimi ve ekimi yapılmaktadır [44].

Rüzgar Enerji Santrali- Konya'nın Hüyük ilçesinde Rüzgar Enerjisi Santrali kurulmuştur. Bu santraldeki rüzgar enerji sistemi 2 x 500 kV gücüne sahiptir. Sistemin kurulma amacı şehirde alternatif enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşarak yüksek kapasitelerde verim elde etmektir [45].

## 5. Referanslar

- [1] United Nations. (2011). World urbanization prospects: the 2005 revision. United Nations Publications
- [2] <https://www.unfpa.org/migration>
- [3] Sánchez-Corcuera, R., Nuñez-Marcos, A., Sesma-Solance, J., Bilbao-Jayo, A., Mulero, R., Zulaika, U., ... & Almeida, A. (2019). Smart cities survey: Technologies, application domains and challenges for the cities of the future. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(6), 1550147719853984.
- [4] Coe, A., Paquet, G., & Roy, J. (2001). E-governance and smart communities: a social learning challenge. *Social science computer review*, 19(1), 80-93.
- [5] Palmisano, S. J. (2008). A smarter planet: the next leadership agenda. IBM. November, 6, 1-8.
- [6] Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R. A., Hayes, N., & Nelson, L. E. (2009). Helping CIOs understand "smart city" initiatives. *Growth*, 17(2), 1-17.

- [7] Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000). The vision of a smart city (No. BNL-67902; 04042). Brookhaven National Lab.(BNL), Upton, NY (United States).
- [8] Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., & Williams, P. (2010). Foundations for smarter cities. *IBM Journal of research and development*, 54(4), 1-16.
- [9] Cocchia, A. (2014). Smart and digital city: A systematic literature review. *Smart city*, 13-43.
- [10] Javidroozi, V., Shah, H., Amini, A., & Cole, A. (2014). Smart city as an integrated enterprise: a business process centric framework addressing challenges in systems integration.
- [11] Yin, C., Xiong, Z., Chen, H., Wang, J., Cooper, D., & David, B. (2015). A literature survey on smart cities. *Science China Information Sciences*, 58(10), 1-18.
- [12] Wegner, P. (1996). Interoperability. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 28(1), 285-287.
- [13] Majid, M., Habib, S., Javed, A. R., Rizwan, M., Srivastava, G., Gadekallu, T. R., & Lin, J. C. W. (2022). Applications of wireless sensor networks and internet of things frameworks in the industry revolution 4.0: A systematic literature review. *Sensors*, 22(6), 2087.
- [14] Bondi, A. B. (2000, September). Characteristics of scalability and their impact on performance. In *Proceedings of the 2nd international workshop on Software and performance* (pp. 195-203).
- [15] Hill, M. D. (1990). What is scalability?. *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, 18(4), 18-21.
- [16] Javed, A. R., Shahzad, F., ur Rehman, S., Zikria, Y. B., Razzak, I., Jalil, Z., & Xu, G. (2022). Future smart cities requirements, emerging technologies, applications, challenges, and future aspects. *Cities*, 129, 103794.
- [17] Baker, J. W., Schubert, M., & Faber, M. H. (2008). On the assessment of robustness. *Structural safety*, 30(3), 253-267.
- [18] Fernandez, J. C., Mounier, L., & Pachon, C. (2005, May). A model-based approach for robustness testing. In *IFIP international conference on testing of communicating systems* (pp. 333-348). Springer, Berlin, Heidelberg.

- [19] Han, H., Hsu, L. T. J., Lee, J. S., & Sheu, C. (2011). Are lodging customers ready to go green? An examination of attitudes, demographics, and eco-friendly intentions. *International journal of hospitality management*, 30(2), 345-355.
- [20] Asman, W. A. (1992). Ammonia emission in Europa: Updated emission and emission variations. RIVM Rapport 228471008.
- [21] Mohanty, R., & Kumar, B. P. (2021). Urbanization and smart cities. In *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies* (pp. 143-158). Elsevier.
- [22] <https://www.akillisehirler.gov.tr/basarili-ornekler/>
- [23] <https://www.akillisehirler.gov.tr/basarili-sehirler-kocaeli/>
- [24] <https://www.akillisehirler.gov.tr/basarili-ornekler-gaziantep/>
- [25] <https://akillisehir.konya.bel.tr/>
- [26] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/hava-kalitesi-izleme-sistemi>
- [27] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/gurultu-denetim-takip-veyari-sistemi>
- [28] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/hafriyat-araclari-takip-sistem>
- [29] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/mor-sebeke>
- [30] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/aktif-su-hattindan-bransman-alinmasi>
- [31] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/cevre-yonetimi-bilgi-sistemi-merkezi>
- [32] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/atus-akilli-toplu-ulasim-sistemi>
- [33] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/akilli-durak-ekranlari>
- [34] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/akilli-kavsaklar>
- [35] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/metis-merkezi-trafik-isletim-sistemi>
- [36] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/bisiklet-yollari-ve-akilli-bisiklet-sistemi>



- [37] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/otopark-bul>
- [38] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/elektronik-yonlendirme-ve-bilgilendirme-ekranlari>
- [39] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/konya-buyuksehir-stadyumu>
- [40] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/buyuksehir-belediyesi-spor-ve-kongre-merkezi>
- [41] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/konya-bilim-merkezi>
- [42] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/kati-atik-tesislerinde-elektrik-uretimi>
- [43] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/akilli-aydinlatma>
- [44] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/gunes-enerjili-meteoroloji-istasyonlari>
- [45] <https://akillisehir.konya.bel.tr/uygulama/ruzgar-enerji-santrali>



**Scientific Researches in  
Natural and Engineering  
Sciences**

CHAPTER 14



**Bir Haptik-Teleoperasyon Sisteminin Yapay Sinir  
Ağı (YSA) + Dalga Değişkenleri (DD) Yöntemi ile  
Kontrolü**

**(Tayfun Abut, Servet Soygüder)**



## Bir Haptik-Teleoperasyon Sisteminin Yapay Sinir Ağı (YSA) + Dalga Değişkenleri (DD) Yöntemi ile Kontrolü

**Tayfun Abut<sup>1</sup>, Servet Soygüder<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Muş Alparslan Üniversitesi*

*E-mail: tayfunabut@gmail.com*

<sup>2</sup>*Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi*

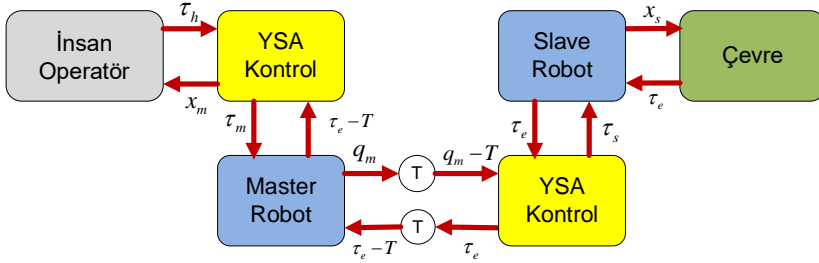
*E-mail: tayfunabut@gmail.com*

### 1. Giriş

Haptik-Teleoperasyon sistemleri robotik cerrahi, savunma sanayiye, vb. (Andrews vd., 2006; Pacchierotti vd., 2015; Hadi Hosseinabadi and Salcudean 2022; Abut ve Soyguder 2022) oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır. Literatürde haptik-teleoperasyon sistemlerinin parametre belirsizlikleri, etkileşimlerini gerçekleştirdikleri ortamın bilinmemesi, zaman gecikmesi ve veri kaybı problemini çözmek için çeşitli kontrol mimarileri önerilmiş ve çalışılmıştır. Ferrel (1966) tek serbestlik dereceli sistemde zaman gecikmesinin düşük miktarının bile sistemde kararsızlığa yol açtığını göstermiş ve bu durumlarda da görevin tamamlanması için yeterince kararlı kalması gerektiği sonucuna varmıştır. Bu kontrol mimarilerinden ilk çalışma Anderson ve Spong (1988) tarafından önerilmiştir. Bu önerilen yöntem zaman gecikmesi probleminin meydana getirdiği kararsızlık durumu için pasiflik (passivity) tabanlı Scattering dönüşümü'dür. Bu yöntemde sistemin kararsızlaşmasının nedeninin pasif olmayan yapısından kaynakladığı sonucuna varılmıştır. 1960'ların başlarında konuya artan ilgi, teleoperasyondaki gecikmenin etkilerini anlamaya çalışmak için Sheridan ve Ferrell (1963); Ferrell ve Sheridan (1967) çeşitli deneyler gerçekleştirmiş, burada kuvveti master robota geri yansıtmanın zaman gecikmeleri etkileri altında test edilmiştir. Pasiflik teorisi ve scattering teorisine dayalı olarak, bir pasif kontrol algoritması olan Dalga Değişkenleri (wave variables) yöntemi Niemeyer ve Slotine (1991); Niemeyer and Slotine (1997) tarafından önerilmiştir. Munir ve Book (2001), değişen zaman gecikmelerinde bile kararlılığı sağlamak için mevcut algoritmayı uyarlamalı bir algoritma ile değiştirerek dalga değişkeni tekniğinin uygulama alanını genişletmiştir.

Sistemlerde hız ölçülebilir olmadığında, Polushin vd. (2006), hız ölçümlerine dayanmayan adaptif bir yaklaşım önermiştir. Kontrolör diğer önerilen adaptif yöntemlere benzerdir ve sistemin sabit parametrelerinin nominal değerlerinin tahmini için oluşturulan tahmin kuralları ekstra bir terim içermektedir. Nuño vd. (2010), önerdiği yöntemi genişleterek, master ve slave robotun yerçekimi kuvvetleri üzerindeki sınırlamayı ortadan

kaldırmak için geliştirilmiş bir adaptif denetleyici önermiştir. Abut ve Soyguder (2017), teleoperasyon sistemleri için kinematik ve dinamik belirsizliklerin üstesinden gelmek için uyarlamalı hesaplanmış tork kontrolü ve operatör ile çevre arasındaki etkileşim kuvvetlerini kullanmıştır. Park vd. (1999), tarafından değişken zaman gecikmesi için klasik kayan kipli kontrol yöntemi modifiye edilmiştir. Bu yöntemde master robotun kontrolü için empedans denetleyici slave robotun kontrolünde ise kayan kipli denetleyici simülasyon çalışmalarında kullanılmıştır. Lineer olmayan yapıya sahip olan kayan kipli denetleyicinin kazanç parametreleri gecikmeden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir. Shahbazi vd., (2013) bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını ayarlamak için iki adaptif kural oluşturmuştur. Bu kurallar iki-yönlü teleoperasyon sistemine uygulamıştır. Pitakwatchara (2015), düzeltici dalga değişkenleri kullanılarak değişken zaman gecikmeli teleoperasyon sisteminin kontrolü gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada kararlılık sağlanmış ve pozisyon takibi iyileştirilmiştir. Bu yöntemde yeterli şeffaflık (transparency) sağlanamamıştır. Sun vd. (2016) , dinamik belirsizlikler ve değişken zaman gecikmeler varlığında iki-yönlü teleoperasyon sistemi için Tip-2 bulanık modelleme ve kontrol çalışması gerçekleştirmiştir. Sistemin dinamik belirsizlikleri ve belirli limitler dahilinde zaman gecikmesi giderilmiştir. Soygüder ve Abut (2016), değişken zaman gecikmesi varlığında haptik-teleoperasyon sistemin kontrolünü gerçekleştirmiştir. Modifiye edilmiş dalga değişken yöntemi kullanılmıştır. Pozisyon takibi ve kararlık sağlanmıştır. Chen vd. (2019) , belirsizlik ve zaman gecikmeli doğrusal olmayan iki-yönlü teleoperasyon sistemleri için RBF-sinir ağı tabanlı adaptif sağlam kontrol önermiş ve uygulamıştır. Bu çalışmada çevre modeli tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada kontrol performansını olumsuz etkileyen sistemin ve etkileşim ortamının belirsiz parametreleri ve zaman gecikmesi probleminin telafisi amaçlanmıştır. İlk olarak tek serbestlik dereceli haptik-teleoperasyon sisteminin hareket denklemleri elde edilmiştir. Belirsiz parametreler ve zaman gecikmesi problemi için Dalga Değişkenleri (DD) yöntemi ve Yapay Sinir Ağı (YSA) kontrol yöntemi önerilmiştir. Hem simülasyon hem de gerçek zamanlı kontrol için dalga değişkenleri yöntemi ve yapay sinir ağı kontrol yöntemi tasarlanmış ve birlikte uygulanmıştır. Bu yöntemlerin uygulanmasında temel hedef minimum pozisyon ve minimum tork hatası elde etmektir. Sonuç olarak, önerilen kontrolör ve yöntem hem simülasyon ortamında hem de gerçek zamanlı laboratuvar ortamında gerçek sistem üzerinde uygulanmış ve sistemin performans sonuçları grafiksel ve performans kriterleri kullanılarak sayısal olarak elde edilmiş, karşılaştırılmış ve irdelenmiştir. Şekil 1'de İki yönlü haptik-teleoperasyon sisteminin kontrolü için önerilen YSA kontrol yönteminin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3. İki yönlü haptik-teleoperasyon sisteminin kontrolü için önerilen YSA kontrol yönteminin blok diyagramı

## 2. Haptik-Teleoperasyon sisteminin Hareket Denklemleri

Haptik-Teleoperasyon sistemin kontrolü için gerekli olan hareket denklemleri Lagrange-Euler denklemleri kullanılarak elde edilmiştir. Sistemimiz tek serbestlik dereceli iki adet robottan oluşmaktadır. Sistemin hareket denklemleri 1 ve 2 nolu denklemlerde gösterilmiştir.

$$I_m \ddot{q}_m + b_m \dot{q}_m = \tau_i + \tau_m \quad (1)$$

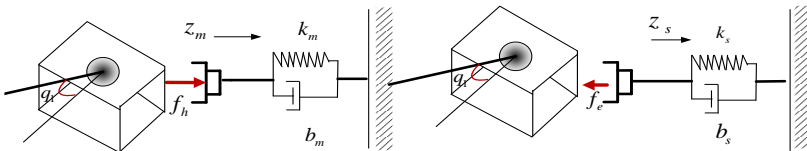
$$I_s \ddot{q}_s + b_s \dot{q}_s = \tau_s - \tau_\zeta \quad (2)$$

$i = m, s$  indisleri master ve slave robot indislerini göstermektedir.

Konum, hız, ivme ve tork ifadeleri sırasıyla  $q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i$  ve  $\tau_i$  ile gösterilmiştir.

Sisteme ait kütle atalet momentleri  $I_m$  ve  $I_s$ , sönüm katsayılarını  $b_m$  ve  $b_s$  göstermektedir. Master ve Slave robotların  $\tau_m$  ve  $\tau_s$  ile tork ifadeleri gösterilmiştir. Kullanıcı tarafından uygulanan ve çevreden sisteme etki eden

bozucu tork ifadeleri  $\tau_i$  ve  $\tau_\zeta$  ile gösterilmiştir. Master ve slave robotların insan ve çevre ile etkileşim modelleri yay-sönüm şeklinde modellenmiştir. Şekil 2’de insan ve çevre etkileşim modeli gösterilmiştir. 3 ve 4 nolu denklemlerde verilen  $f_i$  ve  $f_\zeta$  temas sırasında meydana gelen insan ve çevre kuvvetlerini göstermektedir.



Şekil 2. İki yönlü haptik-teleoperasyon sisteminin kontrolü için önerilen YSA kontrol yönteminin blok diyagramı

$$f_i = k_i \Delta_i + b_i \dot{\Delta}_i, \Delta_i = z_m - z_s \quad (3)$$

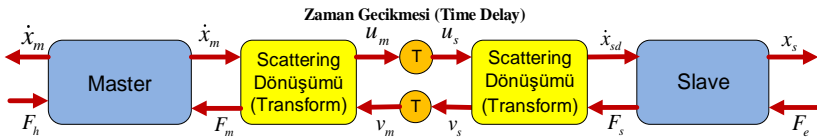
$$f_\zeta = k_\zeta \Delta_\zeta + b_\zeta \dot{\Delta}_\zeta, \Delta_\zeta = z_r - z \quad (4)$$

$$\tau_i = J_m^T f_i, \tau_\zeta = J_s^T f_\zeta, \quad (5)$$

3 ve 4 nolu denklemlerde verilen  $k_i$  ve  $k_\zeta$  yay katsayılarını  $b_i$  ve  $b_\zeta$  ise sönüm katsayılarını göstermektedir. 5 nolu denklemde verilen insan ve çevre tork denklemleri incelendiğinde sistemi oluşturan robotların jakobiyen matrislerinin transpozu, insan ve çevre tarafında oluşan kuvvetlerin çarpımından oluştuğu görülmektedir.

## 2.2. Dalga Değişkenleri (DD) Yöntemi ve Kontrolör Tasarımı

Bu bölümde Dalga değişkenleri yöntemi ve kontrolör tasarımı verilecektir. Zaman gecikmesi probleminin meydana getirdiği kararsızlık durumu için önerilen yöntemlerden biri pasiflik (passivity) tabanlı Scattering dönüşümü (Scattering transformation)'dür. Anderson ve Spong (1998) tarafından önerilen bu yöntemde sistemin kararsızlaşmasının nedeninin pasif olmayan yapısından kaynakladığı sonucuna varılmıştır. Şekil 3'de sabit zaman gecikmeli iki-yönlü teleoperasyon sistemi için scattering dönüşümü gösterilmiştir.



Şekil 3. Sabit zaman gecikmeli iki-yönlü teleoperasyon sistemi için scattering dönüşümü

Pasiflik teorisi ve scattering teorisini dayalı olarak, bir pasif kontrol algoritması olan Dalga Değişkenleri (wave variables) yöntemi Niemeyer ve Slotine (1991); Niemeyer and Slotine (1997) tarafından önerilmiştir. Niemeyer ve Slotine, iletişim kanalının giriş ve çıkışlarına yeni değişkenler tanımlamıştır. Hız ve kuvvet gibi geleneksel güç değişkenleri yerine dalga değişkenleri önermiştir. Hız ve kuvvet sinyallerine iletişim kanalı öncesinde bu dalga değişkenleri dönüşümü uygulanarak sinyaller dalga değişkenlerine dönüştürülmektedir. Standart güç değişkenlerinden aşağıdaki dönüşümlerle dalga değişkenleri elde edilmektedir.



$$u_m = \frac{1}{\sqrt{2b}}(b\dot{x}_m + F_m); \quad u_s = \frac{1}{\sqrt{2b}}(b\dot{x}_s + F_s) \quad (6)$$

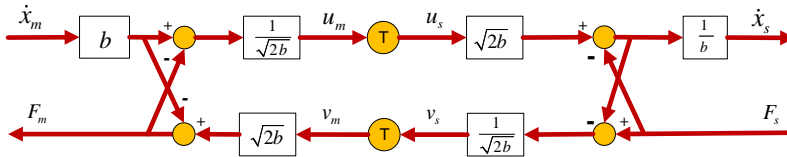
$$v_m = \frac{1}{\sqrt{2b}}(b\dot{x}_m - F_m); \quad v_s = \frac{1}{\sqrt{2b}}(b\dot{x}_s - F_s) \quad (7)$$

Karakteristik empedans veya dalga empedansı olarak adlandırılan  $b$  pozitif sabit bir sayıyı veya simetrik olan bir pozitif matrisi göstermektedir. Kuvvet ve hız modelindeki tek ayarlanabilen parametredir. Master ve slave robotların hızları  $\dot{x}_m$  ve  $\dot{x}_s$ , master ve slave robotların kuvvetleri  $F_m$  ve  $F_s$ , insan operator ve etkileşim sonucu elde edilen kuvvetler  $F_i$  ve  $F_e$  ile gösterilmiştir. Dalga değişkenleri  $u$  ve  $v$  ile gösterilmektedir. Bu iki parametre ( $u$  ve  $v$ ) birbirine göre simetriktir, bu da hız ve kuvvet arasındaki farkı ortadan kaldırmaktadır. Pasiflik(passivity) tabanında bir sisteme bakabilmek öncelikle sistemin gücünün formüle edilmesi gerekmektedir. Güç ( $P_{in}$ ), sisteme giren ( $x$ ) ve çıkan ( $y$ ) vektörlerin skaler çarpımı şeklinde formüle edilmiştir. Bu formülü sağlayan tüm sistemler pasiftir. Sistemdeki güç ya depolanmış ya da harcanmıştır. Aşağıda verilen formüle göre  $t$  anına kadar bir sistem tarafından üretilen toplam enerji ilk depolanan enerjiyle sınırlı olduğu ifade edilebilir, bir başka söylemle enerji dönüşümü negatif ilk enerjiyle sınırlıdır:

$$\int_0^t P_{in}(t) = \int_0^t x^T y d\tau \geq E_{store}(t) - E_{store}(0) \quad (8)$$

Zamanla depolanan enerji  $E_{store}(t)$ , ilk depolanan enerji ise  $E_{store}(0)$  ile tanımlanmıştır. Sistem çalışırken herhangi bir anda iletişim bloğu içerisinde güç girişi aşağıdaki formülle gösterilmektedir. Şekil 4'de Dalga değişkenleri (WV) yönteminin blok diyagramı verilmiştir.

$$P_{in}(t) = \dot{x}_{md}(t)F_m(t) - \dot{x}_{sd}(t)F_s(t) \quad (9)$$



Şekil 4. Dalga değişkenleri (WV) yönteminin blok diyagramı

İletişim kanalında gidiş ve dönüşte iletilen sinyaller  $T$  kadar sabit bir zaman gecikmesine maruz kaldığında, aşağıdaki gibi elde edilir.

$$u_s(t) = u_{md}(t) = u_m(t-T) \quad (10)$$

$$v_m(t) = v_{sd}(t) = v_s(t-T) \quad (11)$$

8 nolu denklemin içerisine elde edilen 10 ve 11 nolu denklemler yazıldığında başlangıç enerjisi varsayılarak master ve slave robotlar arasında iletişim esnasında depolanan toplam enerji miktarı 12 nolu denklem ile elde edilmektedir. 12 nolu denklem incelediğinde kayıpsız ve pasif bir iletişim kanalı elde edilmiştir ve pasiflik özelliğinin  $T$  zaman gecikmesi miktarından tamamen bağımsız olduğu görülmektedir.

$$E = \int_0^t P_{in}(\tau) d\tau = \int_0^t (\dot{x}_{md}(\tau)F_m(\tau) - \dot{x}_{sd}(\tau)F_s(\tau)) d\tau$$

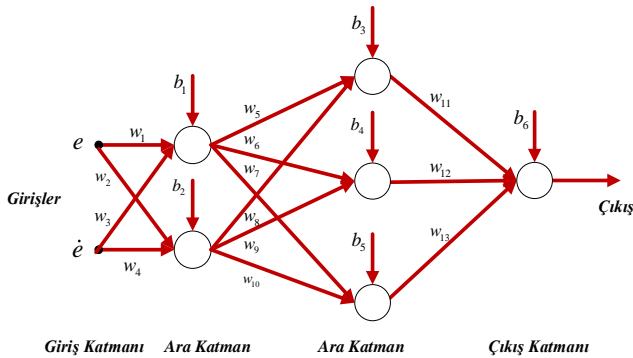
$$E = \frac{1}{2} \int_0^t (u_m^T(\tau)u_m(\tau) - v_m^T(\tau)v_m(\tau) + v_s^T(\tau)v_s(\tau) - u_s^T(\tau)u_s(\tau)) d\tau$$

$$E = \frac{1}{2} \int_0^t (u_m^T(\tau)u_m(\tau) + v_s^T(\tau)v_s(\tau)) d\tau \geq 0 \quad (12)$$

Dalga değişkenleri yönteminde zaman gecikmesinin enerji üretmediği görülmektedir. Bu nedenle, sabit zaman gecikmeli teleoperasyon sistemleri için kararlılığı garanti etmektedir. Yapay zekâ teknikleri son yıllarda aktif olarak kullanılmakta ve kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. İnsan beyninin çalışma biçimini yapay bir şekilde modellemeye çalışan Yapay Sinir Ağları (YSA) sistem tanılama (modelleme), sinyal işleme, görüntü işleme ve kontrol vb. çok geniş bir alanda kullanılmakta ve kullanım alanlarına farklı bakış açıları kazandırmaktadır. Yapay sinir ağları tek veya çok katmanlı yapıya sahip olan paralel olarak birçok doğrusal olmayan hücreden meydana gelen matematiksel model olarak tanımlanabilmektedir (Zurada 1992). YSA bilgi işleme becerisini, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden almaktadır. Bir YSA kontrol yöntemi öğrenme biçimi katmanlar, ağırlık ve bias katsayılarından oluşmaktadır (Bishop 1995; Hecht-Nielsen 1992; Rumelhart vd., 1995). İstenen hedefi ortaya koyabilmek için bu hücrelerin ağırlıkları farklı öğrenme teknikleriyle elde edilmektedir. Öğrenme süreci boyunca bilgi toplayan ve ağırlıklar vasıtasıyla bilgiyi saklayan YSA davranışını değiştirebilen bir yöntem olması en büyük özelliklerinden biridir. YSA'nın eğitim sürecinde çeşitli öğrenme biçimleri mevcuttur. Bu biçimler problemlerin yapısına göre değişmektedir. Haptik-teleoperasyon sistemlerinin kontrolü için yapay zekâ kontrol yöntemlerinden biri olan Yapay Sinir Ağı (YSA) kontrol yöntemi kullanılan bir diğer

yöntemdir. Bu çalışmada YSA kontrol algoritmasında ağ türü olarak ileri beslemeli ağ, ağırlık ve bias katsayılarının elde edilmesinde geriye yayılım öğrenme (backpropagation) algoritması kullanılmıştır (LeCun vd.,1988; Vogl vd.,1988). Ayrıca katmanlar arasında sırasıyla bir tansig ve pürelin fonksiyonları kullanılmıştır. İki yönlü teleoperasyon sisteminin kontrolü için önerilen YSA kontrol yönteminin blok diyagramı Şekil 3.26'da verilmiştir.

Kontrolör, hatayı ( $e$ ) ve hataların değişim oranını ( $\dot{e}$ ) giriş değeri olarak kullanmaktadır. Bu sistemin kontrolü için 3 katmandan oluşmuş ileri beslemeli bir YSA modeli tercih önerilmiş ve uygulanmıştır. YSA modeli 2 nörondan oluşan birinci katman, 3 nörondan oluşan ikinci katman ve tek nörondan oluşan çıkış katmanından oluşmaktadır (Şekil 5). Ara katmanlarda bulunan nöron sayısı yöntemi uygulayan tecrübesine bağlı olarak seçilmiştir. Bu yöntemin uygulanması için herhangi bir araç kutusu (toolbox) kullanılmamıştır. Tablo 1'de elde edilen ağırlık katsayıları ve bias değerleri verilmiştir.



Şekil 5. İleri beslemeli 3 katmandan oluşan YSA modeli

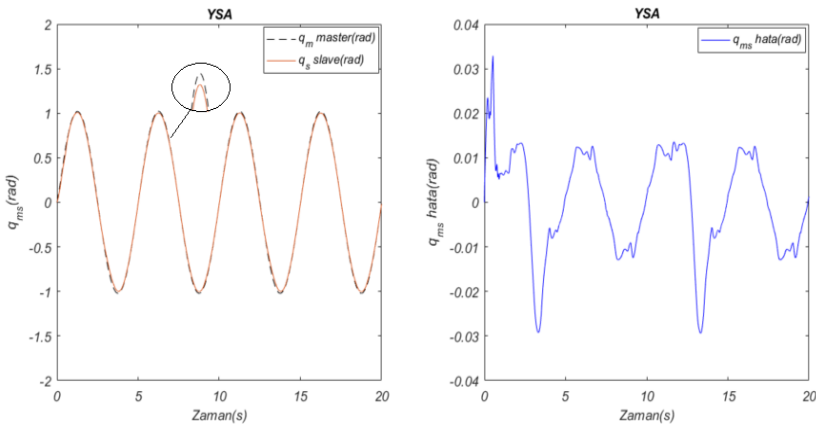
Tablo 1. YSA kontrol yöntemi ile elde edilen ağırlık katsayıları ve bias değerleri

$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$	$w_9$	$w_{10}$	$w_{11}$
130.42	25.64	36.46	0.48	43.75	58.4	24.8	0.24	1.45	0.87	5.79
$w_{12}$	$w_{13}$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$			
100.7	132.45	78.2	4.49	1.03	18.6	5.08	68.7			

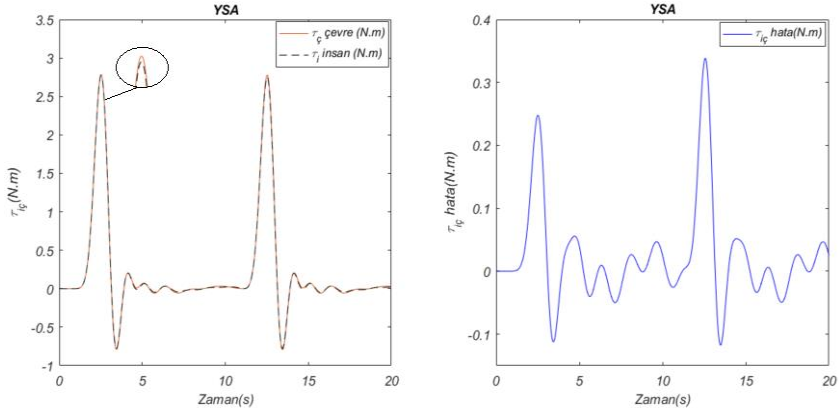
### 3. Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde TSD'li Haptik-Teleoperasyon sisteminin simülasyon sonuçları verilmiştir. Simülasyon çalışmasında çalışma süresi 20 saniye olarak alınmıştır. Sistemin başlangıç parametreleri  $q_{başlangıç}=0$  (rad) ve

$\tau_{başlangıç} = 0$  ( $N.m$ ) alınmıştır. Sisteme girilen referans parametreleri  $q_{ref}=1$  ( $rad$ ) ve  $\tau_{ref} = 3$  ( $N.m$ )'dir. Master ve slave robotların fiziksel parametreleri  $m_m=m_s=0.038kg$ ,  $l_m=l_s=0.1525m$  ve  $I_m=I_s=0.01 kg\cdot m^2$  şeklinde alınmıştır. İnsan ve çevre modellerinin yay katsayıları  $k_i = k_c = 10 N/m$  ve sönüm katsayıları  $b_i$  and  $b_c = 2 Ns/m$ 'dir. Ayrıca insan ve çevre tork değerleri elde edilirken başlangıç şartı yani  $z_0=0$  alınmıştır. Gerçeğe yakın simülasyon yapabilmek için sisteme ölçüm ve işlem gürültüsü eklenmiştir. Bu gürültüleri yok etmek için ikinci dereceden alçak geçiren filtre uygulanmıştır. TSD'li robotlardan oluşan sistemin kararlılık ve şeffaflığını etkileyen problemlerin telafisi için önerilen ve uygulanan bir diğer yöntem yapay zekâ kontrol algoritmalarından biri olan Yapay Sinir Ağı (YSA) ile kontrol ve Dalga Değişken (DD) yöntemidir. Bu çalışmada YSA kontrol yönteminde ağ türü olarak ileri beslemeli ağ, ağırlık ve bias katsayılarının elde edilmesinde geriye yayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır. Ayrıca katmanlar arasında sırasıyla bir tansig ve pürelin fonksiyonları kullanılmıştır. Bu sistem için 3 katmandan oluşmuş ileri beslemeli bir YSA modeli önerilmiş ve uygulanmıştır. YSA modeli 2 nörondan oluşan birinci katman, 3 nörondan oluşan ikinci katman tek nörondan oluşan çıkış katmanından oluşmaktadır. Dalga empedans terimi  $b=400$  alınmıştır. YSA kontrol + DD yöntemi kullanılarak elde edilen açısız pozisyon ( $q_{m,s}$ ) ve pozisyon hata ( $q_{m,s,hata}$ ) grafiği ile insan ve çevre tarafında oluşan tork ( $\tau_{i,c}$ ) ve tork hata ( $\tau_{i,c,hata}$ ) grafikleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6: YSA + DD yöntemi kullanılarak elde edilen açısız pozisyon ( $q_{m,s}$ ) ve pozisyon hata ( $q_{m,s,hata}$ ) grafiği



Şekil 7: YSA + DD yöntemi kullanılarak elde edilen insan ve çevre tarafında oluşan tork ( $\tau_{i,\zeta}$ ) ve tork hata ( $\tau_{i,\zeta}^{hata}$ ) grafiği

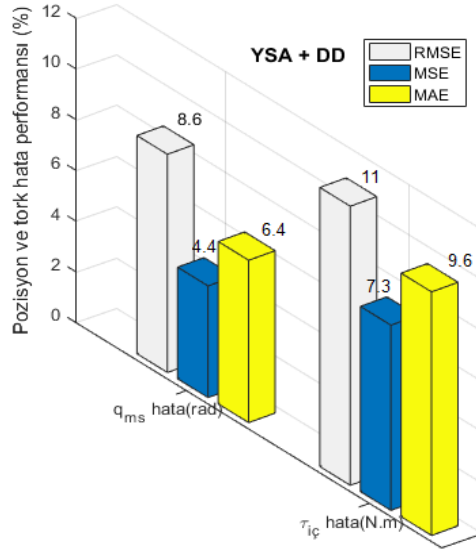
Şekil 6 incelendiğinde master tarafında üretilen açılal pozisyonun slave robot tarafından yaklaşık ortalama 0.030 radyan hata oranıyla takip edildiği görülmektedir. Benzer şekilde şekil 7 incelendiğinde slave robot tarafında etkileşim sonucu elde edilen çevresel tork değerinin master robot tarafına yaklaşık ortalama 0.25 N.m hata oranıyla iletildiği görülmektedir. Simülasyon süresince slave robotun tam temasında elde edilen maksimum tork hata oranının kısmen daha azaldığı görülmektedir. Zaman gecikmesi problemi ve belirsiz dinamik etkiler altında YSA kontrol + DD yöntemi kullanılarak, PID+DD, BMK+DD kontrol yöntemlerine göre daha düşük hata oranı elde edilmiştir. Ancak AB+DD yöntemine göre daha yüksek hata sonucu elde edilmiştir. YSA kontrol + DD yöntemi kullanılarak elde edilen verilerin performans hata kriterleri kullanılarak elde edilen karşılaştırma tablosu Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: YSA+DD yönteminin hata performans sonuçları

YSA + DD	RMSE	MSE	MAE
Açılal pozisyon ( $q_{m,s}$ ) (rad)	0.0857	<u>0.0435</u>	0.0641
İnsan-operatör ve çevresel tork performans ( $\tau_{i,\zeta}$ ) (N.m)	0.3304	<u>0.2203</u>	0.2906

Tablo 2’ye göre en düşük açılal pozisyon hata performansı MSE kriterine göre elde edilmiş ve değeri 0.0435 radyandır. En kötü pozisyon hata performansı ise 0.0857 radyan değeri ile RMSE kriterine göre elde edilmiştir. En düşük kuvvet hata performansı MSE kriterine göre elde edilmiş ve değeri

0.2203 N.m 'dir. En kötü kuvvet hata performansı ise 0.3304 N.m değeri ile RMSE kriterine göre elde edilmiştir. En düşük hata değerleri tabloda altı çizili şekilde verilmiştir. YSA + DD yönteminin uygulanması sonucu elde edilen pozisyon ve tork hata değerlerinin hata kriterlerine göre yüzdesel hata performansı Şekil 8'de verilmiştir.

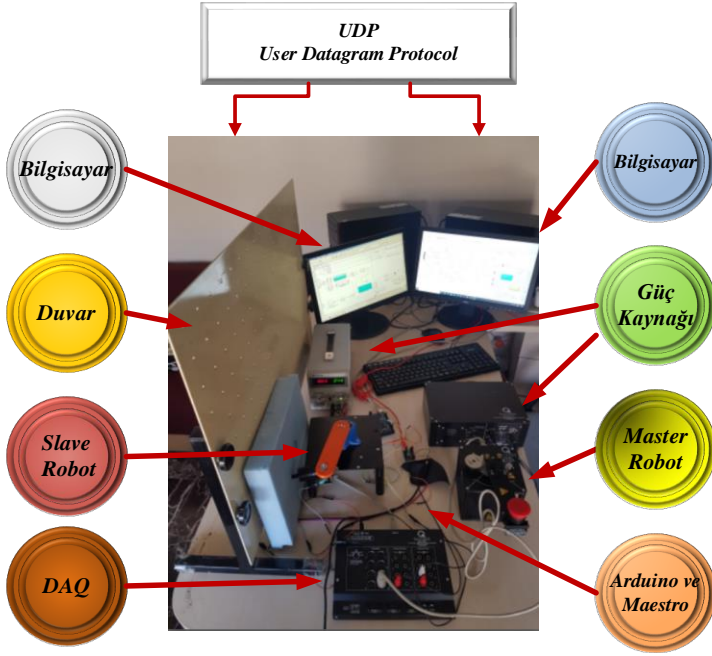


Şekil 8: YSA+DD yöntemi kullanılarak elde edilen pozisyon ve tork hata değerlerinin RMSE, MSE ve MAE kriterine göre yüzdesel hata performansı

Şekil 8'de verilen yüzdesel hata performansı grafikleri incelendiğinde performans kriterlerine göre hem açısal pozisyon hem de tork takibi açısından sırasıyla %4.4 ve %7.3 ile MSE kriterine göre en düşük hata yüzdeleri elde edilmiştir. En yüksek hata yüzdeleri ise RMSE kriterine göre elde edilmiş bunlar sırasıyla açısal pozisyon hata % 8.6 ve tork hata %11 değerleri elde edilmiştir. MAE kriterine göre elde edilen yüzdesel hata değerleri açısal pozisyon için 6.4 ve tork hata için 9.6'dır.

#### 4. Deneysel Sonuçlar

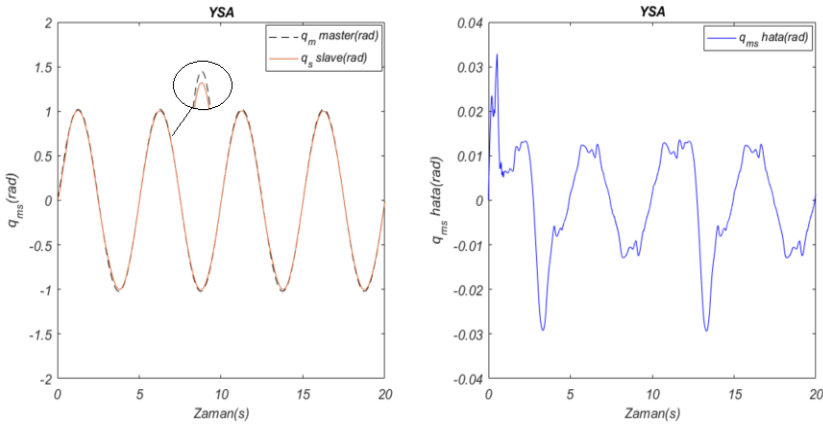
Tek Serbestlik Dereceli (TSD) robotlardan oluşan haptik-teleoperasyon sistemi çok serbestlik dereceli teleoperasyon sistemlerinde meydana gelebilecek kontrol hatalarının önceden görülmesi ve düzeltilmesi bakımından önemli bir temel oluşturmaktadır. Master ve slave robottan oluşan teleoperasyon sisteminin iki-yönlü pozisyon ve kuvvet kontrolü gerçekleştirilmiştir. TSD haptik-teleoperasyon sistemi deney düzeneği Şekil 9'da gösterilmiştir.



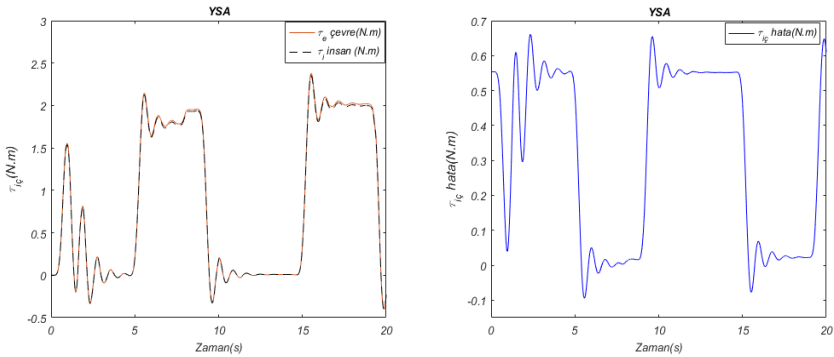
Şekil 9: Tek serbestlik dereceli haptik-teleoperasyon sistemi

Sistem iki adet tek serbestlik dereceli robot, iki adet bilgisayar, mikro-denetleyiciler, veri toplama kartı ve güç kaynağından meydana gelmektedir. Tek serbestlik dereceli robotlar 1 adet motorla tahrik edilmektedir. Master robot SC-0254MG metal dişli DC-Servo motorla tahrik edilmektedir. Slave robotun kontrolünde SC-0252 MG metal dişli DC motor mikro denetleyici kartı kullanılmıştır. Slave robot SC-0254MG metal dişli dijital DC-Servo motorla tahrik edilmektedir. Slave robotun kontrolünde Arduino Mega 2560 ve 12 kanallı Maestro mikro denetleyici kartı kullanılmıştır. Sistemden veri toplamak için MATLAB Real-Time Workshop™ Toolbox ile kullanılan Quanser Q8 USB veri toplama kartı ve WinCon™ / RTXTM gerçek zamanlı kontrol sistemi kullanılmıştır. Sistemin haberleşmesinde Kullanıcı Datagram Protokolü (UDP) kullanılmıştır. Master robot tarafından slave robot tarafına gönderilen veri sinyalleri Arduino 'ya (mikro-denetleyici) gönderildiğinden 0-5 V volt arasındaki değerlere dönüştürülmüştür. Arduino ile Maestro arasında RX-TX haberleşme sağlanmıştır. Master robottan gelen veri sinyalleri veri toplama kartı olan Quanser Q8 USB 'nin giriş (input) kısmından yazdırılmıştır. Servo motordan alınan geri besleme sinyali ile temas sonucu elde edilen kuvvet sinyalleri veri toplama kartının çıkış bölümüne yazdırılmıştır. Tüm veriler tekrar dönüşüm yapılarak okunmuştur. Haptik- teleoperasyon sisteminde yapılan gerçek zamanlı tüm deneyler için çalışma süresi 20 saniye alınmıştır. Sisteme giriş parametresi  $q_{ref} = 0$  (rad)

ve  $\tau_{ref} = 0$  (N.m) alınmış olup sistemden hissedilebilecek maksimum tork değeri  $\tau_{maksimum} = 3$  (N.m)'dir. Tam temas sırasında sistemin hareketi sabit tutularak maksimum elde edilebilecek tork değeri gözlemlenmiştir. Bu kısımda önerilen Yapay Sinir Ağı (YSA) ile kontrol ve Dalga Değişken (DD) yönteminin deneysel ortamda birlikte kullanılması sonucu elde edilen veriler gösterilecektir. Dalga empedans terimi  $b=450$  alınmıştır. YSA kontrol yöntemi ve DD yöntemi kullanılarak elde edilen deneysel açısal pozisyon ( $q_{m,s}$ ) ve pozisyon hata ( $q_{m,shata}$ ) grafiği ile insan ve çevre tarafında oluşan tork ( $\tau_{i,\zeta}$ ) ve tork hata ( $\tau_{i,\zeta,hata}$ ) grafikleri sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 10: YSA + DD yöntemi kullanılarak elde edilen deneysel açısal pozisyon ( $q_{m,s}$ ) ve pozisyon hata ( $q_{m,shata}$ ) grafiği



Şekil 11: YSA+DD yöntemi kullanılarak elde edilen insan ve çevre tarafında oluşan tork ( $\tau_{i,\zeta}$ ) ve tork hata ( $\tau_{i,\zeta,hata}$ ) grafiği



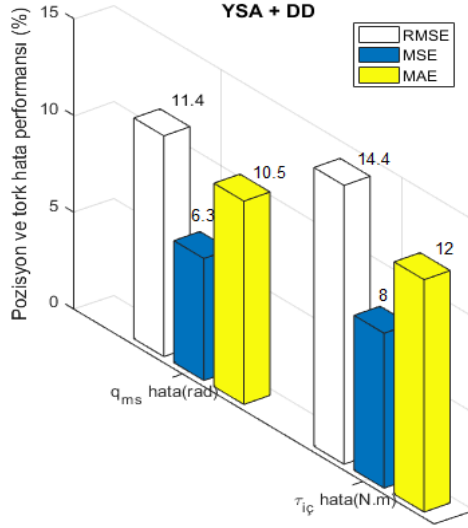
Şekil 10 incelendiğinde master tarafında üretilen açısız pozisyonun slave robot tarafından yaklaşık ortalama 0.035 radyan hata oranıyla takip edildiği görülmektedir. Benzer şekilde şekil 11 incelendiğinde slave robot tarafında etkileşim sonucu elde edilen çevresel tork değerinin master robot tarafına yaklaşık ortalama 0.37 N.m hata oranıyla iletildiği görülmektedir. Çalışma süresince slave robot 2 defa duvar ile tam temas gerçekleştirmiş ve bu temaslar ırasıyla yaklaşık 4.9 – 9.6 saniye ve 15 – 19.3 saniye aralığındadır. Zaman gecikmesi problemi ve belirsiz dinamik etkiler altında YSA + DD yöntemi kullanılarak, PID+DD, BMK+DD kontrol yöntemlerine göre daha düşük hata oranı elde edilmiştir. Ancak AB+DD yöntemine göre daha yüksek hata sonucu elde edilmiştir. YSA + DD yöntemi kullanılarak elde edilen deneysel verilerin performans hata kriterleri kullanılarak elde edilen karşılaştırma tablosu Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: YSA+DD yönteminin hata performans sonuçları

YSA + DD	RMSE	MSE	MAE
Açısız pozisyon ( $q_{m,s}$ ) (rad)	0.1143	<u>0.0643</u>	0.1046
İnsan-operatör ve çevresel tork performans ( $\tau_{i,c}$ ) (N.m)	0.4332	<u>0.2406</u>	0.3625

Tablo 3’e göre en düşük açısız pozisyon hata performansı MSE kriterine göre elde edilmiş ve değeri 0.0643 radyandır. En kötü pozisyon hata performansı ise 0.1143 radyan değeri ile RMSE kriterine göre elde edilmiştir. En düşük kuvvet hata performansı MSE kriterine göre elde edilmiş ve değeri 0.2406 N.m’dir. En kötü kuvvet hata performansı ise 0.4332 N.m değeri ile RMSE kriterine göre elde edilmiştir. Elde edilen en iyi düşük hata değerleri tabloda altı çizili şekilde verilmiştir. YSA + DD yönteminin uygulanması sonucu elde edilen pozisyon ve tork hata değerlerinin hata kriterlerine göre yüzdesel hata performansı Şekil 12’de verilmiştir.

Şekil 12’de verilen yüzdesel hata performansı grafikleri incelendiğinde performans kriterlerine göre hem açısız pozisyon hem de tork takibi açısından sırasıyla % 6.3 ve %8 ile MSE kriterine göre en düşük hata yüzdeleri elde edilmiştir. En yüksek hata yüzdeleri ise RMSE kriterine göre elde edilmiş bunlar sırasıyla açısız pozisyon hata % 11.4 ve tork hata %14.4 değerleri elde edilmiştir. MAE kriterine göre elde edilen yüzdesel hata değerleri açısız pozisyon için 10.5 ve tork hata için 12’dir.



Şekil 12: YSA +DD yöntemi kullanılarak elde edilen pozisyon ve tork hata değerlerinin RMSE, MSE ve MAE kriterine göre yüzdesel hata performansı

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada haptik-teleoperasyon sisteminin kontrol performansını olumsuz etkileyen sistemin ve etkileşim ortamının belirsiz parametreleri ve zaman gecikmesi probleminin telafisi amaçlanmıştır. Tek serbestlik dereceli robotlardan oluşan haptik-teleoperasyon sisteminin hareket denklemleri elde edilmiştir. Belirsiz parametreler ve zaman gecikmesi problemi için Dalga Değişkenleri (DD) yöntemi ve yapay zekâ kontrol algoritmalarından Yapaya Sinir Ağı (YSA) önerilmiş ve hem simülasyon hem de gerçek zamanlı laboratuvar ortamında birlikte uygulanmıştır. Sonuç olarak, önerilen yöntemin (YSA+DD) sisteme uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar grafiksel ve performans kriterleri (RMSE, MSE ve MAE) kullanılarak sayısal olarak elde edilmiş, karşılaştırılmış ve irdelenmiştir. Uygulanan kriterler arasında MSE kriteri kullanılarak elde edilen hem simülasyon hem de deneysel sonuçlar göz önüne alındığında gerek açıl pozisyon gerekse de tork hata değerleri açısından kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2211/C Öncelikli Alanlar Doktora Burs Programı kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca bu çalışma Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi ve

Dinamik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma Tayfun Abur'un doktora tezinden üretilmiştir.

## 6. Referanslar

Abut, T., & Soyguder. S. (2017). Real-time control of bilateral teleoperation system with adaptive computed torque method. *Industrial Robot: An International Journal* 44(3), 299-311.

Abut, T., & Soyguder. S. (2022). Optimal adaptive computed torque control for haptic-teleoperation system with uncertain dynamics. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering* 236(4), 800-817.

Anderson, R. J., & Spong, M.W. (1988). Bilateral control of teleoperators with time delay. In *Proceedings of the 1988 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* Vol. 1 IEEE pp. 131-138.

Andrews, S., Mora, J., Lang., J., & Lee, W.S. (2006). Hapticast: a physically-based 3D game with haptic feedback. *Proceedings of FuturePlay* 30.

Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition*. Oxford university press.

Chen, Z., Huang, F., Sun, W., Gu, J. & Yao., B. (2019). RBF-neural-network-based adaptive robust control for nonlinear bilateral teleoperation manipulators with uncertainty and time delay. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 25(2) , 906-918.

Ferrell, W.R. (1966). Delayed force feedback. *Human factors* 8(5), 449-455.

Ferrell, W.R., & Sheridan, T.B. (1967) Supervisory control of remote manipulation. *IEEE spectrum* 4(10), 81-88.

Hadi Hosseinabadi, A.H. & Salcudean, S.E. (2022). Force sensing in robot-assisted keyhole endoscopy: A systematic survey. *The International Journal of Robotics Research* 41(2), 136-162.

Hecht-Nielsen, R. (1992). Theory of the backpropagation neural network. In *Neural networks for perception* (pp. 65-93). Academic Press.

LeCun, Y., Touresky, D., Hinton, G., & Sejnowski, T. (1988). A theoretical framework for back-propagation. In *Proceedings of the 1988 connectionist models summer school* (Vol. 1, pp. 21-28).

- Niemeyer, G., & Slotine, J.J. (1991). Stable adaptive teleoperation. *IEEE Journal of oceanic engineering* 16(1), 152-162.
- Niemeyer, G., & Slotine, J.J. (1997). Using wave variables for system analysis and robot control. In *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation* Vol. 2 IEEE pp. 1619-1625.
- Munir, S., & Book, W.J. (2001). Internet based teleoperation using wave variables with prediction. In *2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings* Vol. 1 IEEE pp. 43-50.
- Nuño, E, Ortega, R., & Basañez, L. (2010). An adaptive controller for nonlinear teleoperators. *Automatica* 46(1), 155-159.
- Pacchierotti, C., Meli, L., Chinello, F., Malvezzi, M., & Prattichizzo, D. (2015). Cutaneous haptic feedback to ensure the stability of robotic teleoperation systems. *The International Journal of Robotics Research* 34(14), 1773-1787.
- Park, J.H., & Cho, H.C. (1999). Sliding-mode controller for bilateral teleoperation with varying time delay. In *1999 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics* IEEE pp. 311-316.
- Pitakwatchara, P. (2015). Control of time-varying delayed teleoperation system using corrective wave variables In *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* IEEE pp. 4550-4555.
- Polushin, I.G., Tayebi, A., & Marquez, H.J. (2006). Control schemes for stable teleoperation with communication delay based on IOS small gain theorem. *Automatica* 42(6), 905-915.
- Rumelhart, D. E., Durbin, R., Golden, R., & Chauvin, Y. (1995). Backpropagation: The basic theory. *Backpropagation: Theory, architectures and applications*, 1-34.
- Shahbazi, M., Atashzar, S.F., Talebi, H.A., Towhidkhan, F., & Yazdanpanah, M.J. (2013). A sliding-mode controller for dual-user teleoperation with unknown constant time delays. *Robotica* 31(4), 589-598.
- Sheridan, T.B., & Ferrell, W.R. (1963). Remote manipulative control with transmission delay. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics* 1, 25-29.

- Soyguder, S., & Abut, T. (2016) .Haptic industrial robot control with variable time delayed bilateral teleoperation. *Industrial Robot: An International Journal* 43(4), 390–402.
- Sun, D., Naghdy, F., & Du, H. (2016). A novel approach for stability and transparency control of nonlinear bilateral teleoperation system with time delays *Control Engineering Practice* 47, 15-27.
- Vogl, T. P., Mangis, J. K., Rigler, A. K., Zink, W. T., & Alkon, D. L. (1988). Accelerating the convergence of the back-propagation method. *Biological cybernetics*, 59(4), 257-263.
- Zurada, J. (1992). *Introduction to artificial neural systems*. West Publishing Co..



insac

[www.insackongre.com](http://www.insackongre.com)  
[insackongre@gmail.com](mailto:insackongre@gmail.com)

