



**EJBCS**

**Eurasian Journal of  
Biological and Chemical Sciences  
(Eurasian J. Bio. Chem. Sci.)**

*Cilt: 4    Volume: 2    Year: 2021*

**e-ISSN 2651-5237**



# EJBCS

Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences

**Cilt: 4    Volume: 2    Year: 2021**

**Published Biannually**

### Corresponding Address

Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Gaziantep, Turkey

E-mail: mtdogan1@gmail.com

Web: <http://www.dergipark.org.tr/ejbc>

### Editor in Chief

Prof. Dr. Muhittin DOĞAN

### Editor (Associate)

Assist. Prof. Dr. Muhammet DOĞAN

### Editorial Board

Prof. Dr. Ali Tuncay ÖZYILMAZ	Hatay Mustafa Kemal University, Turkey
Prof. Dr. Anna PEKSA	Wrocław University, Poland
Prof. Dr. Elif LOLOĞLU	Gazi University, Turkey
Prof. Dr. Elif ÖZTETİK	Eskisehir Technical University, Turkey
Prof. Dr. Erol ATAY	Hatay Mustafa Kemal University, Turkey
Prof. Dr. Hikmet GEÇKİL	İnönü University, Turkey
Prof. Dr. Issa SHARİFPOUR	Iranian Fisheries Research Organization, Iran
Prof. Dr. İsmet YILMAZ	İnönü University, Turkey
Prof. Dr. Osman GÜLNAZ	Cukurova University, Turkey
Prof. Dr. Osman Selçuk ALDEMİR	Adnan Menderes University, Turkey
Prof. Dr. Vladimer TSITSISHVILI	Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia
Prof. Dr. Zeliha SELAMOĞLU	Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Gökhan NUR	Gaziantep University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. H. Ahmet DEVECİ	Gaziantep University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Şenay UĞUR	Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Utku AVCI	Recep Tayyip Erdoğan University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Mustafa PEHLİVAN	Gaziantep University, Turkey
Dr. Ardalan PASDARAN	Shiraz University, Iran.
Dr. Eva URGEOVÁ	The University of St. Cyril and Methodius of Trnava, Slovakia

### Language Editor

Assist. Prof. Dr. Demet DOĞAN    Gaziantep University, Turkey

### Technical Editor

Assoc. Prof. Dr. Mustafa SEVİNDİK    Osmaniye Korkut Ata University, Turkey

Owner / Publisher  
Muhammet DOĞAN

This journal is peer-reviewed and published twice (June, December) a year.  
All responsibility of the articles belongs to the authors.

**e-ISSN 2651-5237**



# EJBCS

Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences

**Cilt: 4    Volume: 2    Year: 2021**

## Contents / İçindekiler

---

### Research Articles / Araştırma Makeleleri

**Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in algae : Giresun coastline-Eastern Black Sea Region ..... 30-36**

*Tayyibe Beyza YÜCEL*

**Reaktif Orange 16 (R016) boyarmaddesinin Ti/IrO<sub>2</sub> karışık metaloksit elektrot kullanılarak giderimine destek elektrolit türünün etkisi ..... 37-43**

*Elif DELİKTAS, Yusuf YAVUZ, Savaş KOPARAL*

**Development of a Liquid Chromatographic Method for Apomorphine Hydrochloride Quantitation in the Active Pharmaceutical Ingredients and in the Dosage Forms ..... 44-50**

*Beyza Sultan AYDIN, İbrahim BULDUK*

**Investigation of extraction method effect on yeast beta glucan productioni ..... 51-55**

*Fatma KARSLIOĞLU, Suna ERTUNÇ, Zeynep YILMAZER HİTİT, Bülent AKAY*

**Hatay İli Reyhanlı-Kumlu Bölgesi Topraklarının pH, Kireç ve Organik Madde İçeriklerinin Belirlenmesi ..... 56-62**

*Mehmet YALÇIN*

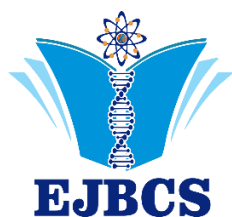
### Review Articles / Derleme Makaleler

**Technological importance of asteroid mining..... 63-68**

*Senem ÇABUK, Nazım ÇABUK*

**7. Nanoteknoloji Uygulamalarında Hayatımıza Yansımalar ..... 69-79**

*Zülfü TÜYLEK*



## Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in algae : Giresun coastline- Eastern Black Sea Region

Tayyibe Beyza YÜCEL <sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Giresun University, Health Services Vocational School, Giresun, Turkey

\*Corresponding author : [beyza.yucel@giresun.edu.tr](mailto:beyza.yucel@giresun.edu.tr)

Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-2632-8325>

Received : 01/02/2021

Accepted : 17/12/2021

**Abstract:** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are often measured in the atmosphere for air grade valuation, and sea creatures for environmental monitoring, in residue and for safety cases in food materials, in biological tissues for health-effects monitoring. In this study, Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) concentrations in algae of *Ulva rigida* species, as an environmental indicator, in the spring of 2019 were collected from eight stations in Giresun coastline in May. In general, algae samples are extracted by methanol solutions with Soxhlet apparatus. By applying the necessary purification processes to the obtained solution, the concentrations of 16 PAH components were determined with the GC/MS device. The amount of most of the 16 PAH compounds in the Keşap coast algae samples was the highest. The highest amount compounds are found to phenanthrene, fluorene and anthracene, and it is high in Bulancak, Giresun-Central and Keşap sites. It belongs to seaweed samples collected from Piraziz site, which has the lowest values among eight stations. The PAH compound concentration is determined 0.08-340.96 ppb values. In the spring sampling, the lowest value is Espiye and Tirebolu stations with Benzo[a]pyrene compound and the highest value is Keşap station with Phenanthrene compound. Since the benzo [g,h,i]perylene is lower than the detection levels in many stations. The main origins of PAHs were found as both pyrolytic and petrogenic at most stations.

**Keywords:** Algae, Polycyclic aromatic hydrocarbon, GC/MS, Eastern Black Sea

© EJBCS. All rights reserved.

### 1. Introduction

PAH compounds are a family of many toxic compounds are mutagenic and carcinogenic potential. They are known that environmental pollution with two or more fused aromatic rings. PAH compounds are organic pollutants that are mixed into water, air and soil with industrial waste discharge, atmospheric particles and fossil fuels pouring into the water environment. (Kafouris et al. 2020; Lampa et al. 2018; Tongo et al. 2017).

PAH compounds consist of two sources: first of all, sustained sources such as domestic heating, aluminum and iron-steel industry, oil refinery, power and heat generation and mobile sources such as exhaust gases or aromatic hydrocarbons named pyrogenic-pyrolytic occur during forest fires origin. The other arises from fixed sources refinery facilities during petrogenic sources oil transportation. This is caused by ship accidents and oil transportation in areas with much ship traffic (Clark 1997; UNEP/IOC/IAEA 1982).

There is a significant accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) in the Black Sea because of the spillage or leakage of waste fuel burned by vehicles such

as ships and tankers passing through the Black Sea, rivers exposure to discharge waters and flowing into the Black Sea. The entry of PAH compounds into seawater is linked to coastal sea waters, rivers, streams, and by waters (Güven et al. 2009).

Because of the low solubility in water, PAH compounds accumulates in the sediment at the bottom of the water. Due to the fact that sea creatures such as crab, lobster, shrimp, mussel, many fish species and algae that are buried in the sea bottom, are fed by filtering into their bodies, they accumulate PAH compounds in their tissues over time (Nwaichi and Ntorgbo 2016; Ololade et al. 2017; Yang et al. 2013; Zhang et al. 2015). Among these sea creatures, seaweed enters the body of people with food chain because its consumption as a foodstuff by many cultures. Since PAH compounds have toxic, carcinogenic and mutagenic properties. They cause many diseases such as lung, skin, bladder cancer in humans (Racovita et al. 2020). One of the best defined founded on their genotoxic and carcinogenic properties and most toxic of 16 species PAH is benzo(a) pyrene, which is generally used as the indicator of PAHs (Albuquerque et al. 2016). The International Agency for Research on Cancer has

categorized benzo[a] pyrene into group 1, showing that it is “carcinogenic to humans”; dibenz [a,h] anthracene is in group 2A, displaying it is “probably carcinogenic to humans”(Honda et al. 2021).

The interest in macroalgae is increasing because they are generally used as food approximately 160 species in island countries and the Far East countries especially China, Japan and Korea. Since macroalgae are considered to be an excellent source of protein, it is expected that macroalgae will replace animal and vegetable protein sources in time to meet protein needs. They contain high quality proteins as riboflavin and niacin, lipids and water-soluble fiber and are abundant in minerals and vitamin needed for human nutrition (Alçay et al. 2017; Øverland et al. 2019).

Green macroalgae species, especially *Ulva* or sea lettuce species such as *Ulva rigida* and *Ulva lactuca*, compose of major primary producers of marine ecosystems (Maghraby and Hassan 2021; Neckev et al. 2002; Rosioru et al. 2018). They are found in the rocky parts of shallow waters and this type of algae has leaves that look like thin plates. It grows naturally on the Black Sea coasts and the Bosphorus (Akyurt et al. 2011, Turna and Uzunköprü 2015). These *Ulva* species are dried into powder and added to fast food foods in Scandinavia, Great Britain, Ireland, China, Japan and Korea. Antioxidant polysaccharides called “ulvans” are obtained from sea lettuce species.

Due to it grows very much between 0-3 meters deep, prevalence in the marine ecosystem, high absorption capacity to the environment and accessible species and easy to collect algae material, it is widely preferred in environmental studies as biomonitors and bioindicators of potential hazards in marine environments (Cheney et al. 2014; Pavoni et al. 2003; Zeroual et al. 2020).

Also, algae are highly preferred bioindicators for the detection of different types of pollution in aquatic environments. In many countries, various seaweed species is chosen as a bioindicator for the detection of soil, water and other environment pollutions because it accumulates PAH compounds, which are organic pollutants in the water, and are widely available (Kaur et al. 2020; Li et al. 2021; Namiesnik et al. 2012; Wang and Zhao 2007).

There are studies in which many samples generally air, water, sediment, sea creatures and algae are used for PAH measurements in Turkey and world. In previous works, while air, water, sediment, marine organism were preferred more in PAH studies, on seaweeds were more limited in Turkey (Ayyıldız and Esen 2020; Balcıoğlu et al. 2017; Eleren and Yücel 2021; Koçak 2021).

In this paper we report results on the ability of *Ulva* species seaweed to accumulate polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). In fact, *Ulva* species especially *Ulva rigida* species are ubiquitous in the Black Sea region as well as other seas and brackish coastal ecosystems. *Ulva rigida* is one of the dominant algae species. To the best of our knowledge, there are no previous reports on determination of PAH in *Ulva* species in East Black Sea Region.

## 2. Materials and Method

The samples were collected from 8 different stations around Giresun central and district in 2019 at 1-2m depth by diving during the spring seasons. Stations 1 and 8 are far to the port of Giresun. Station 1. Piraziz, 2. Bulancak, 3. Giresun Central, 4. Keşap, 5. Espiye-Opet, 6. Tirebolu, 7. Görele and 8. Eynesil station. The 1st station is near the airport Ordu site, and the 8th station is near Trabzon, and the stations are oriented in the east-west direction of Giresun. All coordinations are given Table 1. All samples were brought to the laboratory under cold chain and in polyethylene bottle. The collected samples were washed in seawater and kept in 0-4 °C until analysis. However, the physicochemical parameters of seawater at the time the sample was collected are shown in Table 2.

The algae were authenticated immediately after collection. The green seaweed and image microscope are shown in Figure 1 and Figure 2.



Figure 1. Green seaweed (*Ulva rigida*) collected from Giresun, Turkey.

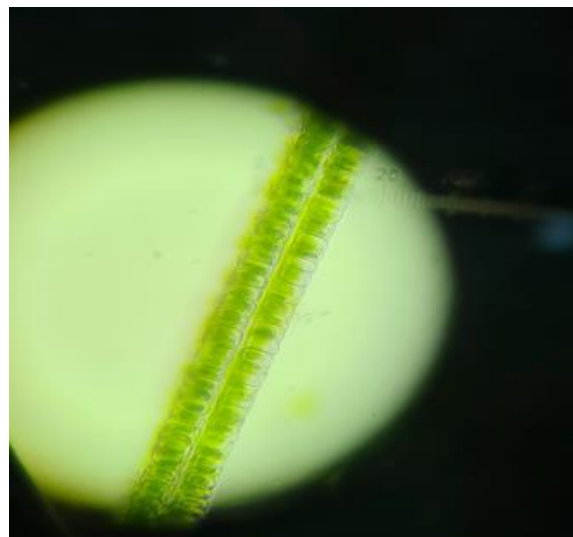


Figure 2. Screen microscopy of cross sections of cell layers

In this study, 16 PAH components which are in the priority contaminants list of the United States Environmental Protection Agency (US-EPA 610) were designated. Investigated PAHs are listed as naphthalene (NAP), acenaphthylene (ACL), fluorene (FL), acenaphthene (AC), phenanthrene (PHE), anthracene (AN), fluoranthene (FA), pyrene (PY), chrysene (CHR), benzo(a) anthracene (BaA), benzo(b) fluoranthene (B[b]FA), benzo[k] fluoranthene (B[k]FA), benzo(a) pyrene (BaP), dibenz-(a,h) anthracene (DBahA), indeno (1,2,3-cd) pyrene (IP), benzo(g,h,i) perylene (BghiP) in Table 2 (EPA 2009).

In general, the amount of seaweed samples to be tested was weighed around 15-20 g, placed in the Soxhlet cartridge, the cartridge was placed in the Soxhlet apparatus and 250 mL of HPLC grade methanol was added into the flask and extracted with Soxhlet for 12 hours. At the end of the period, 0.7 M KOH 20 mL and 30 mL distilled water were added to the solution, and the mixture was refluxed for 2 hours. The resulting solution was combined with n-hexane extracts 3 times (90 mL in 1st, 2nd and 3rd 50 mL hexane) and its volume was reduced to 5 mL in the evaporator. Purification was done through silica column. The first components from the hexane-conditioned column were aliphatic hydrocarbons, the later fractions were combined to consist of PAHs. PAH solutions in hexane were stored in a refrigerator to be given to the GC/MS device.

### 2.1. Chemicals

For the preparation of seaweed samples, potassium hydroxide, dichloromethane, methanol, anhydrous sodium sulfate, HPLC grade n-hexane were purchased from Sigma-Aldrich. PAH standards: naphthalene, fluoranthene, and phenanthrene, fluorene, pyrene from Supelco Sigma – Aldrich as PAH Calibration Mix was obtained from TraceCERT. Florisil 60 with 60–100 mesh size was obtained from Sigma-Aldrich.

### 2.2 PAH analysis-GC/MS

GC analysis is the Agilent 7890A-(5975C inert MSD) model. Gas chromatography conditions are; HP-5MS 5% Phenyl Methyl Silox column, GC furnace was equipped with an RTX5M 30 m capillary column (0.25 mm ID, 0.25 µm film thickness) with carrier gas helium at 1.5 mL min<sup>-1</sup> flow rate. The analysis start temperature is 55 °C(1 min), the mold will reach 320 °C (16.6 min) at 5 °C/min. The final temperature was 320 °C and the analysis was terminated by staying at the same temperature for 1 minute. As the carrier gas (1.5 mL / min), the temperature of the injector and detector are 290 °C and 320 °C, respectively. Scan mode (70-300 m/z) is used for mass intake (Bates et al. 2008).

0.5, 1, 2 and 4 ppb (µg/kg) of the standard solution used in the PAH analysis were prepared by dissolving the stock solutions in hexane. Solutions were injected in the GC-MS instrument and a chromatogram of the PAH components was generated by extracting the calibration curve.

## 3. Results

The lowest detected value, 0.08 ppb, was measured as benzo[a] pyrene compound in seaweed samples at Espiye and Tirebolu stations in the spring sampling. The highest value of 340.96 ppb is the concentration of phenanthrene (PHE) compound at the Keşap station in the spring sampling. The high values of all 16 PAH compounds were determined in Keşap station. It can be said that the amounts of especially phenanthrene, fluorene, benzoanthracene, anthracene, dibenzoanthracene, chrysene compounds are quite high. These concentrations of PAH compounds are given in Table 3.

The amount of fluorene, phenanthrene and antresen are the highest compounds, and they are high concentrations in Bulancak, Giresun Central and Keşap. It belongs to the seaweed samples collected from the Piraziz site, which has the lowest values among 8 stations. Benzo [g,h,i] perylene could not be found since the detection values were lower than the level in many stations.

Some evaluations are made to understand whether the source of PAH is pyrolytic or petrogenic.

- Fluoranthene(FA) and pyrene(PY) compounds are PAH compounds of pyrogenic origin, and if their ratio (FA/PY>1) is greater than 1, they are thought to be PAH compounds from pyrolytic sources (Soclo et al. 2000).

- If the ratio of phenanthrene(PHE) and anthracene(AN) is lower than 10, it can be said to be from pyrolytic deposits, if it is greater than 15(PHE/AN>15), it can be said to be from petrogenic originated deposits (Soclo 1986).

- In some cases, it can be said that there is petrogenic pollution if the ratio of fluoranthene/pyrene (FA/PY), to the phenanthrene/anthracene(PHE/AN) value is less than 2(<2), if the pyrolytic is greater than 2(>2) (Sicre et al. 1987).

- Another PAH pollution source determination ratio is Benzo(a)antrecene and chrycene (BaA/CHR) ,formed as a result of low-temperature combustion, component ratios. If these components are higher than 0.9, it showed that petrogenic pollution (Gschwend and Hites 1981).

According to the results of algae samples on the concentrations of 16 PAH components in this study;

- When evaluated according to the ratios of floranthene/pyrene (PHE/AN) and benzo(a)anthracene/chrycene (BaA/CHR) in spring sampling; Among the 8 stations, the PHE/AN ratio was found to be 17 only in the Piraziz station.

According to this result, it was determined that the type of pollution was caused by petrogenic sources and the pollution in other stations was PAH pollution originating from pyrolytic.

- Sampling stations coordinates as shown in Table 1.
- Spring sampling physicochemical measurements as shown in Table 2.
- Seaweed samples PAH values on spring season (ppb) was shown in Table 3.



**Table 1** Sampling stations coordinates

Stations	Coordinates	Stations	Coordinates
1 Piraziz	40° 70' 56'' N 38° 33' 50'' E	5 Espiyce-Opet	40° 71' 00'' N 38° 55' 07'' E
2 Bulancak	40° 14' 64'' N 38° 35' 11'' E	6 Tirebolu	41° 84' 05'' N 38° 81' 12'' E
3 Giresun Central	40° 51' 98'' N 38° 85' 99'' E	7 Görece	41° 48' 40'' N 39° 36' 60'' E
4 Keşap	40° 46' 70'' N 38° 66' 28'' E	8 Eynesil	41° 02' 10'' N 39° 53' 60'' E

**Table 2.** Spring sampling physicochemical measurements

	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperature	16,6	19,1	17,8	19,3	15,7	16,7	16,4	16,8
pH	7,81	8,05	7,66	7,7	8,52	7,85	7,7	7,52
% O <sub>2</sub>	113,7	107,4	107	105,3	103,6	110,3	103,5	93,4
mg/L O <sub>2</sub>	10,83	9,73	9,93	9,53	10,5	10,46	9,85	8,78
Conductivity	22272	11702	21043	18723	2921	15931	18983	14476
Superconductivity	26523	13168	24680	21038	3519	19065	22742	17179
Salinity	16,2	7,6	15,1	12,6	11,9	11,3	13,8	10,2
ORP	-49	-59	-33	-31	-79	-47	-44	-23
TDS(mg/L)	17223	8578	16077	13367	2245	12374	14866	11150

Naphthalene, anthracene and phenanthrene is fossil fuel sourced. These compounds are formed as a result of coal combustion, pyrolysis of petroleum and incomplete combustion of organic compounds (Yalaki 2005). Naphthalene is one of the dangerous atmospheric pollutants. In our study, naphthalene levels were found to be higher at Bulancak, Keşap, Görece and Eynesil stations, where traffic density and industry are more intense, compared to other stations.

#### 4. Discussion

In the literature, there are studies about the concentration determination of PAH compounds in seaweed samples in different seas of the world. However, the use of algae in

the seas in PAH study in Turkey has remained fairly limited. In this study, EPA 16 PAH compound concentrations were determined in seaweed samples collected from a total of 8 stations along the Black Sea Giresun-Ordu coast and the pollutant types were determined with some parameters.

Algae are widely used specimens in environmental studies in many countries around of the world. In addition, some types of algae are used as foodstuffs in many eastern countries. The human body obtains higher levels of PAH compounds from food than from atmospheric air or drinking water (Barranco et al. 2003).

**Table 3.** Seaweed samples PAH values on spring season(ppb)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Naphthalene (NAP)	7.58	35.56	6.00	32.23	10.36	9.83	34.95	49.80
Acenaphthylene ACL)	0.24	2.91	5.88	14.42	0.98	0.84	0.85	1.17
Acenaphthene (AC)	4.97	12.34	3.09	44.23	1.21	1.10	7.54	18.29
Fluorene (FL)	0.82	9.16	7.13	187.67	2.78	2.00	1.77	2.63
Phenanthrene (PHE)	6.09	164.79	100.20	340.96	33.07	20.78	11.37	21.77
Anthracene (AN)	0.35	66.52	40.45	137.64	13.35	8.39	4.59	8.79
Fluoranthene (FA)	0.34	12.16	11.69	39.54	2.70	3.35	2.45	4.58
Pyrene (PY)	0.23	3.67	8.02	9.72	1.25	1.47	1.67	1.81
Benzo[a]anthracene (BaA)	1.28	0.71	5.31	142.31	0.99	1.77	1.81	1.09
Chrysene (CHR)	0.49	0.27	2.04	54.57	0.38	0.68	0.70	0.42
Benzo[b]fluoranthene (B[b]FA)	0.95	1.41	5.19	12.99	0.88	2.32	0.94	0.95
Benzo[k]fluoranthene (B8k)FA)	0.48	0.71	2.62	6.55	0.44	1.17	0.48	0.48
Benzo[a]pyrene (BaP)	0.32	0.11	2.10	16.04	0.08	0.08	0.60	0.13
Dibenz[a,h]anthracene (DBahA)	0.46	2.70	7.83	87.50	1.82	1.18	0.64	0.70
Indeno[1,2,3-cd]pyrene(IP)	0.18	0.23	1.72	14.39	0.46	0.80	3.41	0.63
Benzo[g,h,i]perylene (BghiP)	0.76	2.38	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.63	N.D.

The most important of these PAH compounds is benzopyrene (BaP). It is formed as a result of the combustion of automobile and other vehicle fuel types and reaches the atmosphere. This compound, which has a high carcinogenic effect, then reaches the land, drinking waters, and the sea, along with the precipitation, and enters with the organism. Considering the amounts of this compound, it was found as 0.08 ppb at most stations, while it was measured as 16.04 ppb at the Keşap station. The station with the highest PAH compounds analyzed in this study

was found to be the Kesap station with a concentration of Phenanthrene compound of 340.96 ppb. The lowest concentration was analyzed as benzo [a] pyrene compound with 0.08 ppb at Espiye and Tirebolu stations.

High molecular weight compounds such as pyrene, fluorantene, phenanthrene, chrysene are more stable and are formed as a result of burning fossil fuels under high temperatures. The ratio of fluorantene and pyrene is used to determine the type of pollution. In most stations, along with other ratings; The ratio of these two compounds is



greater than 1 (FA/PY>1), that is, it can be said that they are pyrolytic pollution. Also, determination of phenantren (PHE), pyrene (PY) and benzo(a)anthracene (BaA), acenaphthylene (ACL), acenaphthene (AC) and chrysene (CHR) components indicates that Keşap station has been exposed to continual pollution.

Güven et al. (2009), found higher PAH amounts in the samples from the eastern black sea region than the samples collected from the western and central Black Sea regions in their study to determine the level of oil pollution on mussels, snails and algae collected from the Black Sea coast. It can be said that especially PAH measure in port samples are more polluted.

In other study by Okay et al. (2000), they were studied that the accumulation in mussels algae-fed exposed to the common PAH benzopyrene pollutant. They found that the benzopyrene ratio in tissue of mussel samples feeding with algae was quite high. BaP can be say to be a contaminant whose presence and toxicity be passed through the food chain. In this study; benzopyrene ratio is found to generally low level except for Keşap station. The Keşap station is also important for the food chain of sea creatures that feed on algae and for the health of people.

Karacık et al. (2009), were determined PAH amount and PAH's effects on marine organism in İstanbul strait. They identified 16 PAHs and calculated to assess the origins of PAHs (PHE/AN, FA/PYR and CRY/BaA) in samples., the Amounts of PHE, FA, PY, BaA, AN compounds were found to be high in the polluted stations similar to our study.

Another study Balcioğlu et al. (2017) were found to similar PAH value in mussel samples in Mediterranean. The important contributors to PAH concentrations were chrysene, fluoranthene and benzo(a)pyrene (BaP) were determined in mussels. In this respect, it is similar to this study, chryesene and fluoranthene in Keşap station higher than other stations. Although some stations exposed to shipping activity was found to petrogenic origins related to instant traffic contamination.

Fogaça et al. (2018) were studied PAH determination in *Ulva* sp. species algae and shrimp. The highest value acenaphthene ( $49.11 \pm 5.19$ ), fluorene ( $1.78 \pm 0.92$ ) and naphthalene ( $0.96 \pm 0.29$ ) was identified by high-performance liquid chromatography. According to results of this study; acenaphthene (44.23), fluorene (187.67) and naphthalene (32.23) were found highest PAH concentrations in algae.

## 5. Conclusion

In recent years, interest in determination of PAHs in environmental samples stems from possible adverse health effects of PAHs. The present study revealed the EPA 16 PAH compound in seaweed samples collected from Giresun coastline for the first time. This study will provide a resource for future studies on PAH pollution in the Eastern Black Sea region.

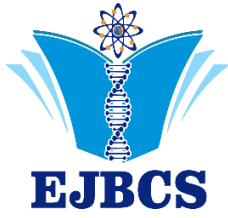
## Acknowledgements

This study was supported by a grant of Giresun University-FEN-BAP-A-230218-16. The author thanks to Ass. Prof. Dr. Ali KARAÇUHA for characterization and Ass. Prof. Dr. Esra Deniz CANDAN for screening microscopy of algae.

## References

- Akyurt İ, Şahin Y, Koç H. 2011. Deniz marulunun (*Ulva* Sp.) sıvı organik gübre olarak değerlendirilmesi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, (4): 55-62.
- Albuquerque M, Coutinho M, Borrego C. 2016. Long-term monitoring and seasonal analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) measured over a decade in the ambient air of Porto, Portugal Sci Total Environ. 543:Part A 1: 439-448.
- Alçay AÜ, Bostan K, Dinçel E and Varlık C. Algae as a Food Source for Humans. Aydın Gastronomy. 1(1): 47-59
- Ayyıldız EG and Esen F. 2020. Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) at Two Sites, in Bursa, Turkey: Determination of Concentrations, Gas-Particle Partitioning, Sources, and Health Risk. Arch Environ Contam Toxicol. 78:350-366.
- Balcioğlu EB, Aksu A, Balkis N, Öztürk B. 2017. Origin and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Mediterranean Mussels (*Mytilus Galloprovincialis*, Lamarck, 1819) of the Turkish Straits System. Polycycl Aromat Compd. 40(1):50-60.
- Barranco A, Alonso-Salces RM, Bakkali A, Berrueta LA, Gallo B, Vicente F and Sarobe M. 2003. Solid-phase clean-up in the liquid chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils. J Chromatogr A. 988: 33-40.
- Bates M, Bruno P, Caputi M, Caselli M, Gennaro G, Tutino M. 2008. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in airborne particles by direct sample introduction thermal desorption GC/MS. Atmos Environ. 42(24): 6144-6151.
- Cheney D, Rajic L, Sly E, Meric D, Sheahan T. 2014. Uptake of PCBs contained in marine sediments by the green macroalga *Ulva rigida*. Mar Pollut Bull. 88(1-2): 207-214.
- Clark RB. 1997. Marine Pollution, 4th ed. Clarendon Press, Oxford, ISBN: 1-870553-13-6.
- Eleren SÇ and Taşdemir Y. 2021. Levels, distributions, and seasonal variations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in ambient air and pine components. Environ Monit Assess (2021) 193: 253-270.
- EPA (Enviromnetal Protect Agency). Standart Methods. 3620B.
- Fogaça SFH, Soares C, Oliveira M, Alves RN, Mauivault AL, Barbosa VL, Anacleto P, Magalhaes JA, Bandarra NM, Ramalhoasa MJ, Morais S, Marques A. 2018. Polycyclic aromatic hydrocarbons bioaccessibility in seafood: Culinary practices effects on dietary exposure. Environ Res. 164:165-172.
- Gschwend PM and Hites RA. 1981. Fluxes of the polycyclic aromatic compounds to marine and lacustrine sediments in the northeastern United States, Geochim. Cosmochim. Acta, 45:2359-2367.
- Güven KC, Nesimigil F, Cumalı S. 2009. Oil pollution in the Black Sea marine organisms during 2003-2006: mussel,

- shellfish, and algae yosunuae. J Black Sea/Medit Environ. 15:165-178.
- Honda M, Mukai K, Nagato E, Uno S and Oshima Y. 2021. Correlation between Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Wharf Roach (*Ligia spp.*) and Environmental Components of the Intertidal and Supralittoral Zone along the Japanese Coast. Int J Environ Res. 18:630-646.
- Kafouris D, Koukkidou A, Christou E, Hadjigeorgiou M, Yiannopoulos S. 2020. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products and charcoal grilled meat in Cyprus. Meat Sci. 164:108088.
- Karacık B, Okay OS, Henkelmann B, Bernhöft S, Schramm KW. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons and effects on marine organisms in the Istanbul Strait. Environ Int. 35(3): 599-606.
- Kaur N, Arora DS, Kalia N and Kaur M. 2020. Bioactive potential of endophytic fungus *Chaetomium globosum* and GC-MS analysis of its responsible components. Sci Rep. 10(1): 18792-18802.
- Koçak T.K. 2021. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Batman River by Liquidliquid and Solid-phase Extractions and the Statistical Comparison of the Two Extraction Techniques. Int J Environ. Geoinformatics. 8(4): 521-528.
- Lampa E, Eguchi A, Todaka E, Mori C. 2018. Fetal exposure markers of dioxins and dioxin-like PCBs. Environ Sci Pollut Res. 25:11940-11947.
- Li X, Wang C, Li N, Gao Y, Ju Z, Liao G, and Xiang D. 2021. Combined Effects of Elevated Temperature and Crude Oil Pollution on Oxidative Stress and Apoptosis in Sea Cucumber (*Apostichopus japonicus*, Selenka). Int J Environ Res Public Health. 18(2):801-817.
- Maghraby DM and Hassan IA. 2021. Photosynthetic and Biochemical Response of *Ulva lactuca* to Marine Pollution by Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) Collected from Different Regions in Alexandria City, Egypt. Egypt J Bot. 61(2): 467-478.
- Namiesnik J, Szefer P, Moncheva S, Ham KS, Kang SG, A.Avila P, Toledo F, Goshev I, and Gorinstein S. 2012 Characterization of *Rapana thomasiana* as an indicator of environmental quality of the Black Sea coast of Bulgaria. Environ Technol. 33(2): 201-209.
- Nechev JT, Khotimchenko SV, Ivanova AP, Stefanov KL, Dimitrova-Konaklieva SD, Andreev S, and Popov SS. 2002. Effect of diesel fuel pollution on the lipid composition of some wide-spread black sea algae and invertebrates, Z. Naturforsch. C: Biosci. 57: 339-343.
- Nwaichi EO & Ntorgbo SA. 2016. Assessment of PAHs levels in some fish and seafood from different coastal waters in the Niger Delta. Toxicol Rep. 3:167-172.
- Okay OS, Donkin P, Peters LD and Livingstone DR. 2000. The role of algae (*Isochrysis galbana*) enrichment on the bioaccumulation of benzo[a]pyrene and its effects on the blue mussel *Mytilus edulis*. Environ Pollut. 110(2000) 103-113.
- Ololade IA, Adetiba BO, Oloye FF, Ololade OO, Oladoja NA, Obadawo SB, Anifowose MM, Akinnifesi TA, Akerele D, Alabi AB, & Adeola AO. 2017. Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and environmental risk (ER) assessment: the case of the Ogbese River, Nigeria Reg. Stud Mar Sci. 9: 9-16.
- Øverland M, Mydland LT, Skrede A. 2019. Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. J Sci Food Agric. 99: 13-24.
- Pavoni B, Caliceti M, Sperti L and Sfriso A. 2003. Organic micropollutants (PAHs, PCBs, pesticides) in seaweeds of the lagoon of Venice. Oceanol Acta 26: 585-596.
- Racovita RC, Secuianu C, Ciuca MD, & Israel-Roming F. 2020. Effects of Smoking Temperature, Smoking Time, and Type of Wood Sawdust on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Accumulation Levels in Directly Smoked Pork Sausages. J Agric Food Chem. 68(35): 9530-9536.
- Rosioru DM, Oros A, Coatu V, Stoica E and Marin O. 2018. The Characterization of The Main Macroalgae from Romanian Black Sea Coast with Potential of Biotechnological Use. International Multidisciplinary Scientific Geo Conference: SGEM; Sofia, 18(6.4):283-291.
- Sicre MA, Marty JC, Saliot A, Aparicio X, Grimalt J, Albaiges J. 1987. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean Sea: Occurrence and origin. Atmos Environ. 21(10):2247-2259.
- Soclo H. 1986. Etude de la distribution des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sediments marins recents, identification des sources. Ph.D.Thesis, University Bourdeaux I, Bourdeaux, France, 158.
- Soclo HH, Garrigues, PH ve Ewald M. 2000. Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Marine Sediments, Case Studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) Area, Mar Pollut Bull. 40, 387-396.
- Tongo I, Ezemonye L, Akpeh K. 2017. Distribution, characterization, and human health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs in Ovia River. Southern Nigeria. Environ Monit Assess. 189(6):247-263
- Turna, İ and Uzunköprü Ç. 2015. İstanbul Boğazi'nda dağılım gösteren deniz marulunun (*Ulva spp.* ve *Enteromorpha spp.*) mevsimsel değişimleri ve bölgesel değerlendirilebilirliği. Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi. 11(2): 1-7.
- UNEP/IOC/IAEA, 1992. Determination of Petroleum Hydrocarbons in Sediments, Reference Methods for Marine Pollution Studies. 20, UNEP, pp 77.
- Yalaki S. 2005. The Organic Air Pollutants and Atmospheric Polyaromatic Hydrocarbons Originating from Traffic in Urban and Rural Areas of Adana. Institute of Natural and Applied Sciences. Department of Chemistry. Doctorate Thesis. Adana, Turkey.
- Yang B, Zhou LL, Xue ND, Li FS, Li YW, Vogt RD, Cong X, Yan YZ, & Liu B. 2013. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Huanghuai Plain, China: comparison of three receptor models. Sci Total Environ. 443:3-39.
- Zeroual S, Bakkal SE, Mansori M, Lhernould S, Faugeton-Girard C, Kaoua M, Zehhar N. 2020. Cell wall thickening in two *Ulva* species in response to heavy metal marine pollution. Reg Stud Mar Sci. 35: 101125-101132.
- Zhang G, Pan Z, Wang X, Mo X, & Li X., 2015. Distribution and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the food web of Nansi Lake, China. Environ Monit Assess. 187:173-185.
- Wang XC and Zhao HM. 2007. Uptake and Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Marine Seaweed. J Coast Res. SI 50:1056-1061.



## Reaktif Orange 16 (RO16) boyarmaddesinin Ti/IrO<sub>2</sub> karışık metaloksit elektrot kullanılarak giderimine destek elektrolit türünün etkisi

Yusuf Yavuz<sup>1</sup>, Elif Deliktaş\*<sup>1</sup>, A. Savaş Koparal<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

<sup>2</sup>Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Eskişehir, Türkiye

\*Corresponding author : [elifdeliktas@eskisehir.edu.tr](mailto:elifdeliktas@eskisehir.edu.tr)  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-5289-1285>

Received : 26/06/2021  
Accepted : 17/12.2021

**Özet:** Tekstil ürünlerine olan talebin her geçen gün artması ile tekstil endüstrileri ve buna paralel olarak tekstil endüstrisi atıksuları hızla artarak dünyadaki en önemli endüstriyel kaynaklı atıksulardan birini oluşturmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularında karşılaşılan en büyük problem atıksuların yüksek miktarlarda boyar madde içermesidir. Boyama sürecinde elyafa yapışmadan atık suya karışan boyalar arıtılmadan alıcı ortama verildiklerinde renk oluşturmada, estetik görünümü bozmakta ve suyun ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentezi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bu atıksuların arıtılmaları daha da önemli hale gelmiştir.

Bu çalışmada Ti/IrO<sub>2</sub> karışık metaloksit elektrotlarla Reaktif Orange 16 (RO16) boyarmaddesinin elektrokimyasal oksidasyon yöntemi ile renk giderimine destek elektrolit tür ve derişiminin katkısı araştırılmıştır. Destek elektrolit olarak Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub> ve NaCl kullanılmıştır. Akım yoğunluğu, akış hızı, pH, başlangıç kirlilik derişimleri gibi parametreler belirlendikten sonra destek elektrolitlerin ortamdaki varlığı değerlendirilerek en uygun elektrolit türüne karar verilmiştir.

Başlangıç kirlilik derişiminin 30 mg/L olduğu model çalışma çözeltisinin Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektroliti ile elektrokimyasal oksidasyonunda 50 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu, 155,84 mL/dk akış hızı, pH<sub>11</sub> ve 0,01 M elektrolit varlığında 90 dk'lık bir arıtım süresi sonunda %65 renk giderim verimi ve 1,7454 kwh/m<sup>3</sup> enerji tüketimi elde edilmiştir. Başlangıç kirlilik derişiminin 30 mg/L olduğu model çalışma çözeltisinin NaNO<sub>3</sub> elektroliti ile elektrokimyasal oksidasyonunda 50 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu, 155,84 mL/dk akış hızı, pH<sub>0</sub>(5,94) ve 0,01 M elektrolit varlığında 90 dk'lık bir arıtım süresi sonunda %51 renk giderim verimi ve 2,0534 kwh/m<sup>3</sup> enerji tüketimi elde edilmiştir. Başlangıç kirlilik derişiminin 30 mg/L olduğu model çalışma çözeltisinin NaCl elektroliti ile elektrokimyasal oksidasyonunda 50 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu, 155,84 mL/dk akış hızı, pH<sub>0</sub>(5,71) ve 0,05 M elektrolit varlığında 20 dk'lık bir arıtım süresi sonunda ~%100 renk giderim verimi ve 0,6557 kwh/m<sup>3</sup> enerji tüketimi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrokimyasal oksidasyon, boyarmadde, destek elektrolit, Ti/IrO<sub>2</sub> elektrot

### *The effect of support electrolytes to the removal of Reactive Orange 16 (RO16) dyestuff by Ti/IrO<sub>2</sub> mixed metaloxide electrodes with electrochemical oxidation method*

**Abstract:** With the ever-increasing demand to textile products, the textile industries and the textile industry wastewater increases rapidly, making it one of the most important industrial source wastewater in the world. The biggest problem encountered in textile industry wastewater is that wastewater contains high amounts of dyestuff. The paints mixed with waste water without sticking to the fiber during the dyeing process create color when they are applied to the receiving environment without being purified, disrupt the aesthetic appearance and negatively affect the photosynthesis by reducing the light transmittance of the water. Therefore, the treatment of these wastewater has become even more important.

In this study, the effect of support electrolytes was investigated the to the color removal of Reactive Orange 16 (RO16) dyestuffs by Ti/IrO<sub>2</sub> mixed metaloxide coated electrodes with electrochemical oxidation method. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub> and NaCl as support electrolytes were evaluated amount and contents. After determining the parameters such as current density, flow rate, pH and initial pollution concentrations, the most suitable electrolyte type was determined by evaluating the presence of the supporting electrolytes in the environment.

In the presence of 50 A/m<sup>2</sup> current density, 155.84 mL/min flow rate, pH<sub>11</sub> and 0.01 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte in the electrochemical oxidation of the model working solution with the initial pollution concentration of 30 mg/L after a 90 minute treatment period, 65% color removal efficiency and 1,7454 kwh/m<sup>3</sup> energy consumption was obtained. In the presence of 50 A/m<sup>2</sup> current density, 155.84 mL/min flow rate, pH<sub>0</sub> and 0.01 M NaNO<sub>3</sub> electrolyte in the electrochemical oxidation of the model working solution with the initial pollution concentration of 30 mg/L after a 90 minute treatment period, 51% color removal efficiency and 2,0534 kwh/m<sup>3</sup> energy consumption was obtained. In the presence of 50 A/m<sup>2</sup> current density, 155.84 mL/min flow rate, pH<sub>0</sub> and 0.05 M NaCl electrolyte in the electrochemical oxidation of the model working solution with the initial pollution concentration of 30 mg/L after a 20 minute treatment period, ~100% color removal efficiency and 0,6557 kwh/m<sup>3</sup> energy consumption was obtained.

**Keywords:** Electrochemical oxidation, dyestuff, support electrolyte, Ti/IrO<sub>2</sub> electrode

## 1. Giriş

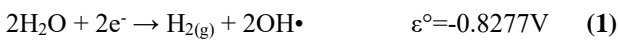
Tekstil ürünlerine olan talebin her geçen gün artması ile tekstil endüstrileri ve buna paralel olarak tekstil endüstrisi atıksuları hızla artarak dünyadaki en önemli endüstriyel kaynaklı atıksulardan birini oluşturmaktadır. Tekstil endüstrilerinde farklı teknolojiler paralelinde uygulanan her işlem açığa çıkan atıksuların standart bir arıtma yöntemi ile arıtılmasını olanaksız hale getirmektedir. Tekstil endüstrisi atıksuları süreç ve üretim sırasında kullanılan çok fazla çeşitliliğe sahip kimyasal madde ve boyar madde içermekte, buna bağlı olarak renkli ve yüksek hacimlerde atıksu açığa çıkarmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularında karşılaşılan en büyük problem atıksuların yüksek miktarlarda boyar madde içermesidir. Boyama sürecinde elyafa yapışmadan atık suya karışan boyalar arıtılmadan alıcı ortama verildiklerinde renk oluşturmada, estetik görünümü bozmakta ve suyun ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentezi olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı zamanda boyar maddelerin ve yan ürünlerinin doğada toksik etki, insanlar üzerinde mutajenik ve kanserojenik etki göstermesi arıtılmalarını zorunlu hale getirmektedir (Rajaguru ve ark. 2002, Weisburger 2002, Pandey ve ark. 2007).

Elektrokimyasal yükseltgenme yönteminin (EKO) enerji verimliliği, otomasyon imkânı ve artım neticesinde çamur oluşmaması son yıllarda özellikle tekstil endüstrisinde ilgi görmektedir. EKO süreçleri arıtım için herhangi bir ilave kimyasal madde ihtiyacı duymamaktadır ve bu nedenle de ikincil bir atık ürün oluşturmamaktadır. Böylece ikincil bir çevre kirliliğinin önüne geçilmesi ve etkin bir atıksu arıtımı da mümkün olmaktadır. Bu arıtma sisteminde elektrolit içerisinde bulunan mevcut oksijen kirlitici bileşiklere aktarılır. Tepkimeler doğrudan anodik yükseltgeme ve dolaylı redoks tepkimelerinden oluşur (Rajeshwar ve ark. 1995, Fernandes ve ark. 2004).

Deney sistemine elektrolit eklenmesinin amacı sistemin iletkenliğini artırarak sistemden daha fazla akımın geçmesini sağlamak ve kullanılan elektrolite bağlı olarak dolaylı yükseltgenmeyi desteklemektir. Elektrokimyasal parçalanmayı dolayısıyla da KOI giderimini etkilediği için elektrolit miktarı sistemi etkileyen parametrelerden biridir (Uğurlu 2004). Sisteme çeşitli elektrolitler (sülfat, hidrojen peroksit ve demir iyonu gibi) eklenebilir. İletken olmayan kimyasalların elektrokimyasal olarak parçalanması için ortama iletkenliği sağlayan tuzlar eklenmesi gerekmektedir (Özdemir 2005).

Genel olarak kullanılan NaCl elektrolitinin varlığında katot ve anotta gerçekleşen temel elektrolit reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir.

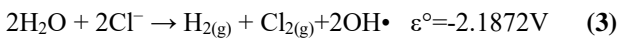
### Katot:



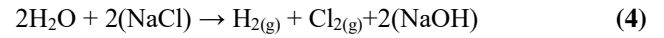
### Anot:



### Toplam:



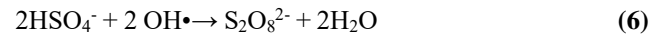
Eşitlik 1 ve 2'deki tepkimeler katot ve anotta gerçekleşen temel elektrolit tepkimeleridir. Katotta öncelikle su molekülleri indirgenir, su moleküllerinin elektron alma eğilimlerinin daha yüksek olması nedeniyle sodyum iyonu çözeltide herhangi bir değişime uğramaz ve Eşitlik 4'teki tepkime gerçekleşir;



Daha önce yapılan çalışmalarda sülfatın elektrooksidasyon tepkimelerinde bir etkisi olmadığı sadece sistemin elektriksel iletkenliğine fayda sağladığı konusunda bilgiler yer almasına rağmen yapılan son çalışmalar bu bilgiyi çürütmektedir. Sülfat varlığında oluşan peroksidisülfatların ( $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ) oksidant olarak etki gösterdikleri kanıtlanmıştır (Muruganathan ve ark. 2007, Li ve ark. 2010).

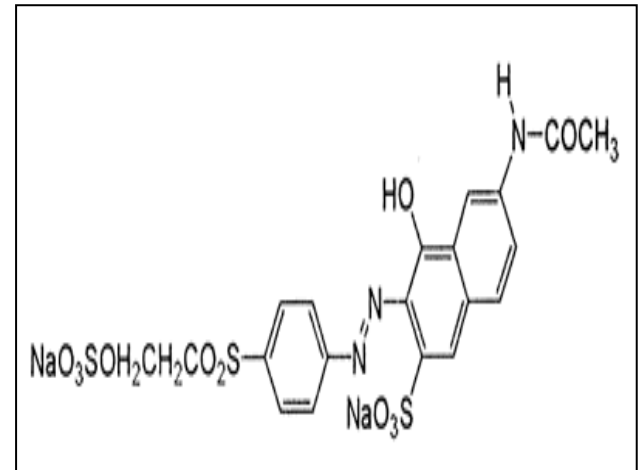


Ayrıca  $\text{OH}^\bullet$  radikalının peroksidisülfat oluşturmak için sülfat oksidasyonunda yer aldığı da kanıtlanmıştır (Muruganathan ve ark. 2007, Bechtold ve ark. 2006).



## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada Reaktif Orange 16 (RO16) boyar maddesi kullanılarak model çalışma çözeltisi hazırlanmıştır. Aşağıda kullanılan boyar maddenin özellikleri ve kimyasal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1. RO16 boyarmaddesinin kimyasal yapısı (http-1)

Tablo 1. Kullanılan boyarmaddenin özellikleri (http-1)

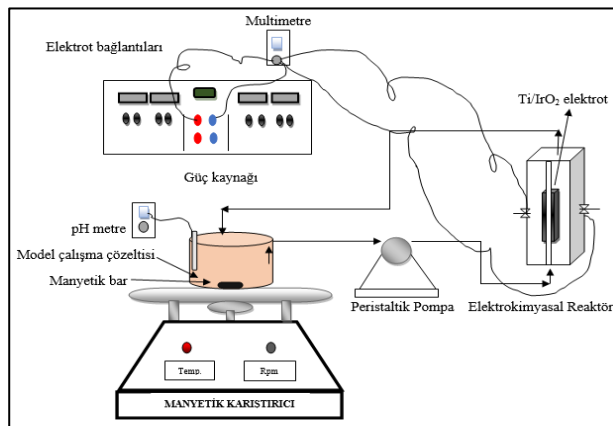
Moleküler Formül	$\text{C}_{20}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{Na}_2\text{O}_{11}\text{S}_3$
Molekül ağırlığı (g/mol)	617,54
Kompozisyon	Boya içeriği, $\geq 70\%$
Absorpsiyon	(1.) $\lambda_{\text{max}}$ 388 nm (2.) $\lambda_{\text{max}}$ 494 nm

Çalışmamızda elektrokimyasal arıtım işlemi, Ti/IrO<sub>2</sub> karışık metal oksit kaplı titanyum elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiş, sistemin verimliliği ve sürdürülebilirliği araştırılmıştır. Anot materyalleri, akım yoğunluğu, akış hızları, pH gibi parametrelerin optimizasyonu yapılarak renk giderimine destek elektrolitlerin katkısı değerlendirilmiştir. Renk parametresi için UV Spektrofotometre cihazı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. İncelenen parametreler Tablo 2’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.** Model çalışma çözeltisinin optimizasyonunda kullanılan parametreler

Parametre	Değer
<b>Başlangıç Kirlilik Derişimi</b>	20 – 30– 125 mg/L
<b>Elektrot</b>	Ti /IrO <sub>2</sub>
<b>Akış hızları (mL/dk)</b>	155,84/ 175,7/ 234,2/ 324,3
<b>Akım Yoğunluğu (A/m<sup>2</sup>)</b>	1,6/5/8/10/15/20/25/30/40/50/75/100/150
<b>pH</b>	pH <sub>0</sub> /pH <sub>3</sub> /pH <sub>11</sub>
<b>Elektrolitler</b>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaNO <sub>3</sub> , NaCl
<b>Arıtım Süresi</b>	1-90 dk
<b>Analiz Parametreleri</b>	Renk, Enerji Tüketimi

- 1000 mg/L’lik stok çözelti hazırlanarak, 500 mL hacimdeki standart çalışma çözeltisi ile deneyler yürütülmüştür.
- Elektrot boyutları 12,5cmx5cmx0,2 cm’dir. Elektrotlar arası mesafe 4 mm’dir.
- Çalışma çözeltisinin iletkenliği ~25µs/cm ve pH’ı 6-7 aralığında değişiklik göstermektedir.
- UV aralıklarında özel spektroskopik çalışmalar için UV/vis. spektrofotometrik cihazlar kullanılarak analizler yapılmış 10 mm ışın yollu kuvars küvetler kullanılmıştır. Renk giderimlerine bakılmıştır.
- İletkenlik ve pH iletken ölçer ve pH metre cihazı kullanılarak ölçülmüştür.
- Model çalışma çözeltilerini hazırlamak için deiyonize su, ters ozmos ve iyon değişimini birleştiren ultra saf su hazırlama ünitesi kullanılmıştır.



**Şekil 2.** Deneyler için kullanılan reaktör düzeni

### 3. Bulgular ve Tartışma

Başlangıç kirlilik derişimi 30 mg/L olan çalışma çözeltisi ile optimizasyon çalışmaları yürütülmüş ve elde edilen optimum koşullar 20 ve 125 mg/L’lik kirlilik derişimlerine uygulanarak arıtım verimleri elde edilmiştir. Akım yoğunluğu değerleri 1,6/2,5/5/8/10/15/20/25/30/40/50/75/100/150 A/m<sup>2</sup>, akış hızları 155,84, 175,7, 234,2 ve 324,3 mL/dk, model çalışma çözeltisinin doğal pH’nın yanı sıra (6-7) pH<sub>3</sub> ve pH<sub>11</sub>, destek elektrolit olarak Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub> ve NaCl’nin miktar ve etkisi araştırılmıştır. Elektrolit miktarı olarak 0.01/0,02/0,03/0,04/0,05/0.1 M derişimleri tercih edilmiştir.

#### 3.1. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektroliti ile elde edilen veriler

Tablo 3’te Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektroliti kullanılarak optimum koşullarda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

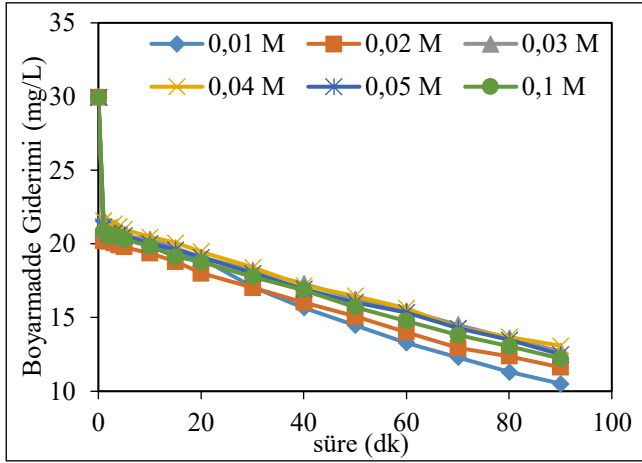
**Tablo 3.** Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektroliti ile optimum koşullarda elde edilen deney sonuçları

Zaman (dk)	Voltaaj (V)	Renk Giderimi (mg/L)	Renk Giderimi (%)	Enerji Tüketimi (kwh/m <sup>3</sup> )	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m <sup>3</sup> )
0	0	0	0	0	0
1	3,4	21,55	28	0,1164	0,1164
2	3,4	21,19	29	0,1164	0,2327
3	3,4	21,03	30	0,1164	0,3491
4	3,4	20,83	30	0,1164	0,4654
5	3,4	20,64	31	0,1164	0,5818
10	3,4	20	33	0,1164	0,6982
15	3,4	19,24	36	0,1164	0,8145
20	3,4	19,05	36	0,1164	0,9309
30	3,4	17,06	43	0,1164	1,0472
40	3,4	15,67	48	0,1164	1,1636
50	3,4	14,48	52	0,1164	1,2799
60	3,4	13,29	56	0,1164	1,3963
70	3,4	12,30	59	0,1164	1,5127
80	3,4	11,31	62	0,1164	1,6290
90	3,4	10,52	65	0,1164	1,7454

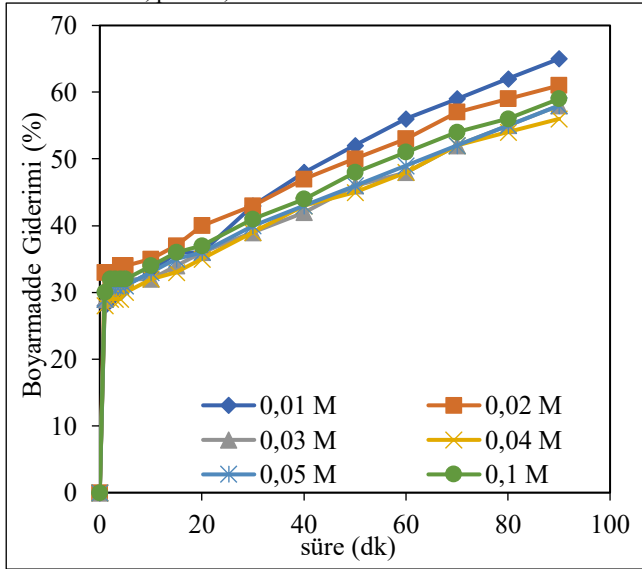
Co: 30 mg/L, I=50A/m<sup>2</sup>, Q=155,84 mL/dk, D.E.=0,01 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH<sub>11</sub>:11/pHson:11, E<sub>0</sub>:2194µs/cm, E<sub>son</sub>:1900µs/cm

Elektrolit miktarının araştırıldığı optimizasyon çalışmalarında 0.01/0,02/0,03/0,04/0,05/0,1 M’lik Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> miktarları deneyerek deneysel çalışmalar sürdürülmüştür.

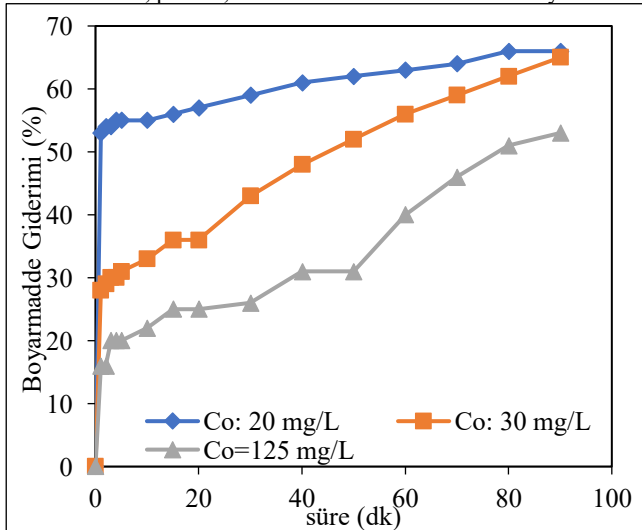
Başlangıç kirlilik derişimi 30 mg/L, 155,84 mL/dk akış hızı, 0,01 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH<sub>11</sub>’de yapılan akım yoğunluğu optimizasyonunda 90 dk’lık bir süre sonunda 50 A/m<sup>2</sup>’de %65 boyarmadde giderimi ile en iyi sonucu vermiştir. Bundan sonraki deneyler bu veriler baz alınarak devam ettirilmiştir. Son olarak elde edilen bütün optimum koşullar 20 ve 125 mg/L’lik başlangıç kirlilik derişimlerine uygulanmıştır.



Şekil 3. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, C<sub>0</sub>= 30 mg/L, Q=155,84 mL/dk, D.E.= Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH=11, I=50 A/m<sup>2</sup>'de elde edilen arıtım verimleri



Şekil 4. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, C<sub>0</sub>= 30 mg/L, Q=155,84 mL/dk, D.E.= Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH=11, I=50 A/m<sup>2</sup>'de elde edilen arıtım yüzdeleri



Şekil 5. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, Q=155,84 mL/dk, D.E.=0,01 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH=11, I=50 A/m<sup>2</sup>'de elde edilen arıtım yüzdeleri

Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektroliti ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler tartışıldığında, pH<sub>11</sub> değerinde elde edilen arıtım verimleri pH<sub>0</sub> ve pH<sub>3</sub> değerlerinin üzerine çıkmıştır. Alkaline koşullarda enerji uyarımı ve elektron transferi ile sistem içerisindeki peroksidisülfat oluşumu aktive edilebilir (Lominchar ve ark. 2018). Sistem içerisinde alkaline pH etkisi ile peroksidisülfat oluşumlarının arttığı ve bu nedenle arıtım yüzdelерinin arttığı söylenebilir. Başlangıç kirlilik derişiminin 125 mg/L olduğu durumda yaklaşık %50 renk giderim verimleri elde edilmesi yüksek derişimlerde dahi sistemin arıtım kapasitesinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

### 3.2. NaNO<sub>3</sub> elektroliti ile elde edilen veriler

Tablo 4'te NaNO<sub>3</sub> elektroliti kullanılarak optimum koşullarda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4. NaNO<sub>3</sub> elektroliti ile optimum koşullarda elde edilen deney sonuçları

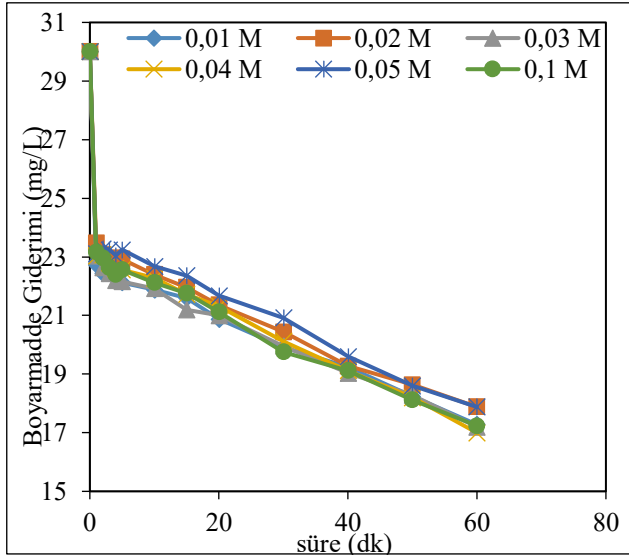
Zaman (dk)	Voltaj (V)	Renk Giderimi (mg/L)	Renk Giderimi (%)	Enerji Tüketimi (kwh/m <sup>3</sup> )	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m <sup>3</sup> )
0	0	0	0	0	0
1	4	22,72	24	0,1369	0,1369
2	4	22,44	25	0,1369	0,2738
3	4	22,6	25	0,1369	0,4107
4	4	22,28	26	0,1369	0,5476
5	4	22,12	26	0,1369	0,6845
10	4	21,88	27	0,1369	0,8214
15	4	21,6	28	0,1369	0,9582
20	4	20,88	30	0,1369	1,0951
30	4	19,92	34	0,1369	1,2320
40	4	19,24	36	0,1369	1,3689
50	4	18,24	39	0,1369	1,5058
60	4	17,28	42	0,1369	1,6427
70	4	16,76	44	0,1369	1,7796
80	4	15,88	47	0,1369	1,9165
90	4	14,80	51	0,1369	2,0534

C<sub>0</sub>:30 mg/L D.E.=0,01 M NaNO<sub>3</sub>, I=50 A/m<sup>2</sup>, Q=155,84 mL/dk, pH<sub>0</sub>:5,94/pH<sub>son</sub>:5,70 Eİo:1241µs/cm Eİson:1016µs/cm

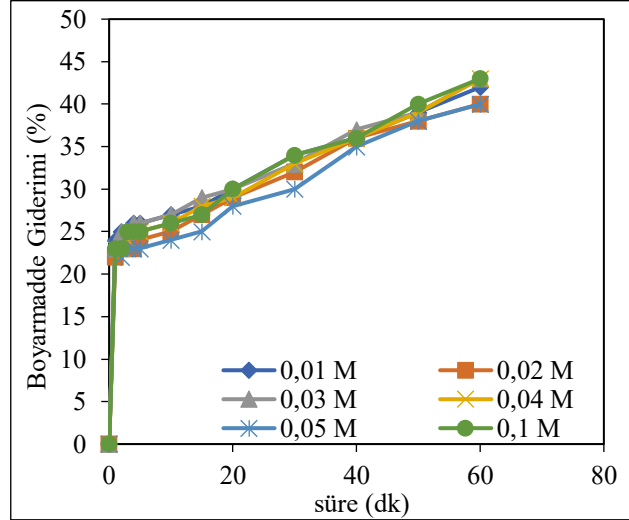
Elektrolit miktarının araştırıldığı optimizasyon çalışmalarında 0.01/0,02/0,03/0,04/0,05/0,1 M'lık NaNO<sub>3</sub> miktarları denenerek deneysel çalışmalar sürdürülmüştür.

Bütün kirlilik derişimlerinde yaklaşık %51 renk giderim verimi elde edilmiştir. NaNO<sub>3</sub> elektroliti için pH ve akış hızı değerleri arıtım verimlerini etkilememiştir. Sistemin doğal pH'ı en yüksek arıtım verimlerini elde etmemizi sağlamıştır.

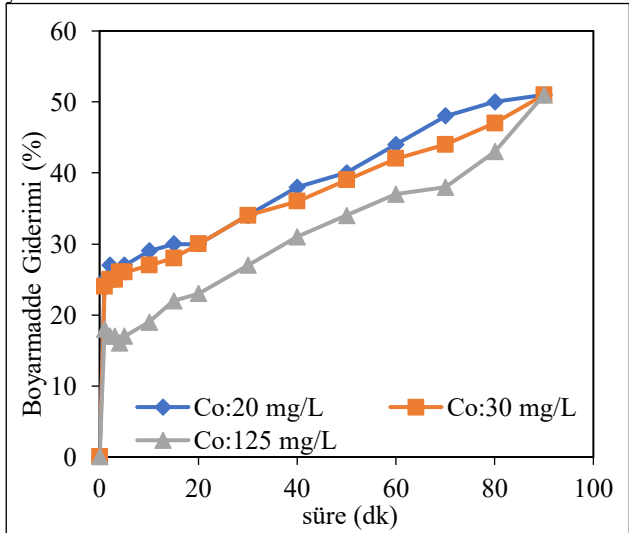




Şekil 6. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, C<sub>0</sub>=30 mg/L, Q=155,84 mL/dk, D.E.=NaNO<sub>3</sub>, pH<sub>0</sub> (5,94-6,41), I=50 A/m<sup>2</sup>'de elde edilen arıtım verimleri



Şekil 7. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, C<sub>0</sub>=30 mg/L, Q=155,84 mL/dk, D.E.=NaNO<sub>3</sub>, pH<sub>0</sub> (5,94-6,41), I=50 A/m<sup>2</sup>'de elde edilen arıtım yüzdeleri



Şekil 8. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, Q=155,84 mL/dk, D.E.=0,01 M NaNO<sub>3</sub>, pH<sub>0</sub>'da, I=50 A/m<sup>2</sup>'de elde edilen arıtım yüzdeleri

### 3.3. NaCl elektroliti ile elde edilen veriler

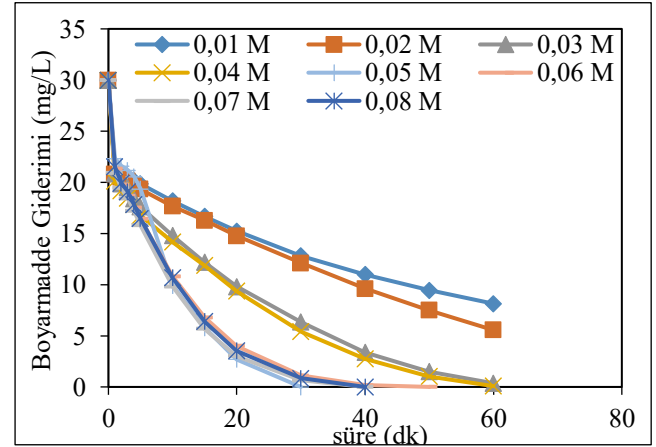
Tablo 5'te NaCl elektroliti kullanılarak optimum koşullarda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 5. NaCl elektroliti ile optimum koşullarda elde edilen deney sonuçları

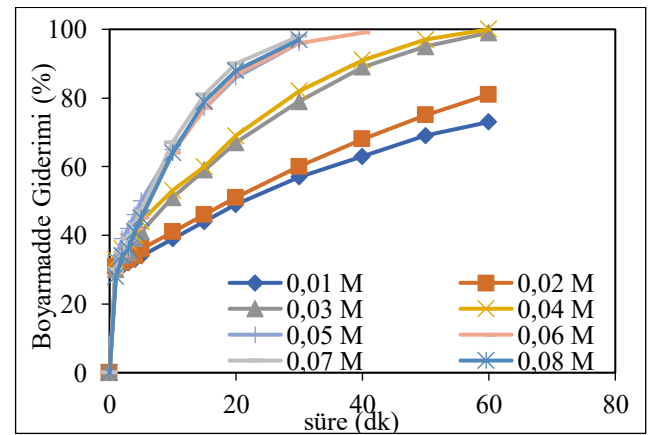
Zaman (dk)	Voltaj (V)	Renk Giderimi (mg/L)	Renk Giderimi (%)	Enerji Tüketimi (kwh/m <sup>3</sup> )	Kümülatif Enerji Tüketimi (kwh/m <sup>3</sup> )
0	0	0	0	0	0
1	2,7	20,67	31	0,0820	0,0820
2	2,7	19,40	35	0,0820	0,1639
3	2,7	17,38	42	0,0820	0,2459
4	2,7	14,88	50	0,0820	0,3278
5	2,7	11,31	62	0,0820	0,4098
10	2,7	4,56	85	0,0820	0,4917
15	2,7	1,39	95	0,0820	0,5737
20	2,7	~0	~100	0,0820	0,6557

C<sub>0</sub>:30 mg/L, D.E.=0,05 M NaCl, Q=175,7 mL/dk, I=50 A/m<sup>2</sup>, pH<sub>0</sub>:5,71/pHson:6,99, Elo:5,10ms/cm, Elson:4,22ms/cm

Elektrolit miktarının araştırıldığı optimizasyon çalışmalarında 0,01/0,02/0,03/0,04/0,05/0,06/0,07/0,08 M'lık NaCl miktarları denenerek deneysel çalışmalar sürdürülmüştür.



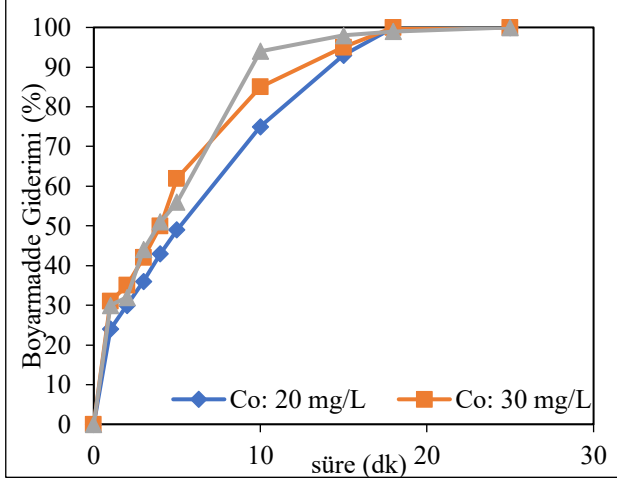
Şekil 9. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, C<sub>0</sub>=30 mg/L, Q=155,84 mL/dk, pH<sub>0</sub> (6,15-6,29), I=50 A/m<sup>2</sup>'de elde edilen arıtım verimleri



Şekil 10. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, C<sub>0</sub>=30 mg/L, Q=155,84 mL/dk, pH<sub>0</sub> (6,15-6,29), I=50 A/m<sup>2</sup>'de elde edilen arıtım yüzdeleri



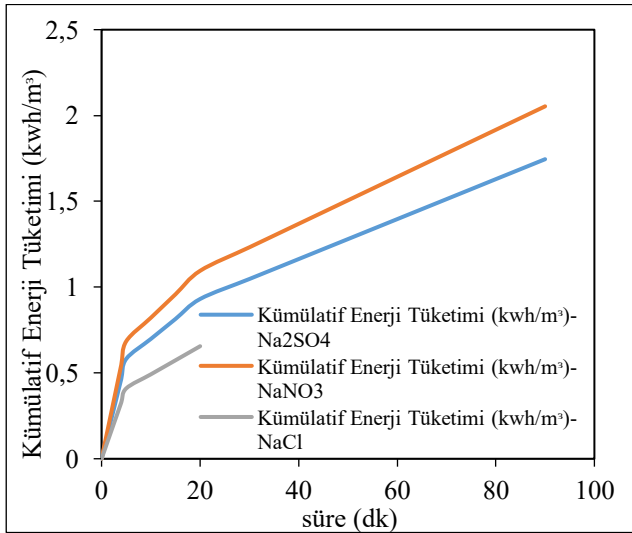
Başlangıç kirlilik derişimi 30 mg/L, 155,84 mL/dk akış hızı, 0,05 M NaCl, pH<sub>0</sub>'da yapılan akım yoğunluğu optimizasyonunda 20 dk'lık bir süre sonunda 50 A/m<sup>2</sup>'de ~%100 boyarmadde giderimi ile en iyi sonucu vermiştir. Bundan sonraki deneyler bu veri baz alınarak devam ettirilmiştir. Son olarak elde edilen bütün optimum koşullar 20 ve 125 mg/L'lik başlangıç kirlilik derişimlerine uygulanmıştır.



Şekil 11. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, Q=155,84 mL/dk, D.E.=0,05 M NaCl, pH<sub>0</sub> (5,71-6,15), I=50 A/m<sup>2</sup> de elde edilen arıtım yüzdeleri

NaCl içeren çözeltilerde, anot yüzeyi üzerinde klor, hipoklorik asit veya hipoklorit iyonu gibi aktif kloro-türler üretilebilir ve sonuç olarak organik maddeler oksitlenebilir (De Paiva Barreto ve ark. 2014, Rajkumar ve ark. 2005, Ramalho ve ark. 2010). NaCl elektrolitinde klorürün arıtım verimlerini arttırmasının yanısıra oluşturduğu aktif klor bileşikleri ile de oksidasyona katkı sağlamakta ve arıtım yüzdelerini arttırmaktadır. Yüksek molar konsantrasyonları daha yüksek arıtım verimleri elde etmemizi sağladığı için kısa sürelerde rengin tamamı giderilmiştir.

### 3.4. Enerji Tüketimi



Şekil 12. Ti/IrO<sub>2</sub> elektrotlarla, C<sub>0</sub>=30 mg/L, Q=155,84 mL/dk, D.E.=(0,01M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-pH<sub>11</sub>)-(0,01M NaNO<sub>3</sub> pH<sub>0</sub>)-(0,05M NaCl, pH<sub>0</sub>), I=50 A/m<sup>2</sup> de elde edilen enerji tüketim değerleri

Ülkemiz için tek terimli tek zamanlı ticarethane (Orta Gerilim) için kwh başına elektrik birim fiyatı 0,896979 TL/kwh+KDV(±10krş.)'dir (http-2). Buna göre Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektrolitinin kullanıldığı optimum koşullarda 30 mg/L başlangıç kirlilik derişimi için 90 dk'lık arıtım süresi sonunda 1,57 TL/m<sup>3</sup>, NaNO<sub>3</sub> elektrolitinin kullanıldığı optimum koşullarda 30 mg/L başlangıç kirlilik derişimi için 90 dk'lık arıtım süresi sonunda 1,84 TL/m<sup>3</sup>, NaCl elektrolitinin kullanıldığı optimum koşullarda 30 mg/L başlangıç kirlilik derişimi için 20 dk'lık arıtım süresi sonunda 0,59 TL/m<sup>3</sup> ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektrolitinin kullanıldığı optimum koşullarda 125 mg/L başlangıç kirlilik derişimi için 90 dk'lık arıtım süresi sonunda 1,61 TL/m<sup>3</sup>, NaNO<sub>3</sub> elektrolitinin kullanıldığı optimum koşullarda 125 mg/L başlangıç kirlilik derişimi için 90 dk'lık arıtım süresi sonunda 1,89 TL/m<sup>3</sup>, NaCl elektrolitinin kullanıldığı optimum koşullarda 125 mg/L başlangıç kirlilik derişimi için 40 dk'lık arıtım süresi sonunda 0,76 TL/m<sup>3</sup> enerji tüketim maliyetleri oluşmuştur. Enerji tüketim değerleri değerlendirildiğinde NaCl elektroliti en düşük enerji miktarını oluşturmuştur.

### 4. Sonuç

Destek elektrolitlerin arıtım verimlerine olan katkılarının miktar ve içerik olarak değerlendirildiği optimizasyon çalışmalarında NaCl elektrolitinin arıtım verimlerine olan katkısı Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaNO<sub>3</sub> elektrolitlerinin etkisinden çok daha fazladır sonucuna varılmıştır. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektroliti'nde NaNO<sub>3</sub> elektrolitine göre çok daha iyi sonuç vermiştir. NaCl elektroliti için klorlu aktif bileşiklerin oluşarak oksidasyona katkı sağlamaları arıtım verimlerinin artmasını açıklamaktadır. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> elektroliti için yapılan araştırmalarda sülfatın peroksidisülfat oluşturma kapasitesi göz önüne alındığında oksidasyona katkı sağlaması arıtım verimlerinin artmasına yol açmıştır denilebilir. Enerji tüketim verileri de gözönüne alındığında NaCl elektroliti yüksek arıtım verimleri ve düşük enerji tüketim değerleri ile oldukça başarılı sonuç vermiştir.

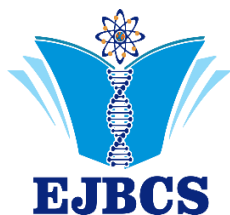
### Teşekkür

Bu çalışma ESTÜ BAP Komisyonu 1708F474 no'lu proje ile desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- Bechtold T, Turcanu A, Schrott W. 2006. Electrochemical decolourisation of dispersed indigo on boron-doped diamond anodes. *Diam Relat Mater.* 15:1513-1519.
- De Paiva Barreto JP, Viera dos Santos E, Medeiros Oliveira M, Ribeiro da Silva D, Fernandes de Souza J, Martinez-Huitle CA. 2014. Electrochemical mediated oxidation of phenol using Ti/IrO<sub>2</sub> and Ti/Pt-SnO<sub>2</sub>-Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> electrodes. *J Electrochem Sci Eng.* 4:259-270.
- Fernandes A, Magrinho M, Lopes A, Goncalves I. 2004. Electrochemical degradation of C.I. acid orange 7. *Dyes and pigments.* 61:287-296.

- Li H, Zhu X, Ni J. 2010. Inactivation of *Escherichia coli* in Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte using boron-doped diamond anode. *Electrochim Acta*. 56:448-453.
- Lominchar MA, Santos A, De Miguel E. 2018. Remediation of aged diesel contaminated soil by alkaline activated persulfate. *Sci Total Environ*. 622-6234:1-48.
- Muruganathan M, Yoshihara S, Rakuma T, Uehara N, Shirakashi T. 2007. Electrochemical degradation of 17 $\beta$ -estradiol (E2) at boron-doped diamond (Si/BDD) thin film electrode. *Electrochim Acta*. 52:3242-3249.
- Özdemir K. 2005. Meyve suyu fabrikası atıksularının elektrokimyasal olarak arıtılması. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pandey A, Singh P, Iyengar L. 2007. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. *Int. Biodeter. Bio Degr*. 59:73-84.
- Ramalho AMZ, Martinez-Huitle CA, Silva DR. 2010. Application of electrochemical technology for removing petroleum hydrocarbons from produced water using a DSA-type anode at different flow rates. *Fuel*. 89:531-534.
- Rajaguru P, Vidya L, Baskarathupathi B, Kumar PA, Palanivel M, Kalaiselvi K. 2002. Genotoxicity evaluation of polluted groundwater in human peripheral blood lymphocytes using the comet assay. *Mutation Research*. 517:29-37.
- Rajeshwar K, Zhou M, Myung N, Chen X. 1995. Electrochemical deposition and stripping of copper, nickel and copper nickel alloy thin films at a polycrystalline gold surface: a combined voltammetry coulometry electrochemical quartz crystal micro gravimetry study. *Journ of Electroanal Chem*. 398(1-2):5-12.
- Rajkumar D, Kim JG, Palanivelu K. 2005. Indirect electrochemical oxidation of phenol in the presence of chloride for wastewater treatment. *Chem Eng Technol*. 28:98-105.
- Uğurlu M. 2004. The Removal of some inorganic compounds from paper mill effluents by the electrocoagulation method. *G.U. Journ of Scien*. 17(3):85-99.
- Weisburger JH. 2002. Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health. *Mutation Res*. 506-507:9-20.
- [http1:www.sigmaaldrich.com/meetings/past/200/abstracts/symposia/fl/0841.pdf](http://www.sigmaaldrich.com/meetings/past/200/abstracts/symposia/fl/0841.pdf) . Erişim tarihi 2 Aral. 2019.
- [http2: https://www.epdk.org.tr/](http2:https://www.epdk.org.tr/). Erişim tarihi 30 Nis. 2020.



## Development of a Liquid Chromatographic Method for Apomorphine Hydrochloride Quantitation in the Active Pharmaceutical Ingredients and in the Dosage Forms

Beyza Sultan Aydın<sup>1\*</sup> , İbrahim Bulduk<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>İzmir Institute of Technology, Faculty of Science, Molecular Biology and Genetics, İzmir, Turkey

<sup>2</sup>Uşak University, Faculty of Health, Department of Chemistry, Uşak, Turkey

\*Corresponding author : [beyzaaydin@std.iyte.edu.tr](mailto:beyzaaydin@std.iyte.edu.tr)  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-2960-5535>

Received : 19/02/2021  
Accepted : 10/09/2021

**Abstract:** Apomorphine is currently used as a dopamine agonist to treat advanced Parkinson Disease. In the present study, we developed a sensitive, simple, reliable, and robust HPLC method for quality control of apomorphine hydrochloride in bulk drug and pharmaceutical formulations. C18 column was used for separation. Isocratic elution was performed using mobile phase A: 50 mM potassium dihydrogen phosphate solution (pH:3 with ortho-phosphoric acid), B: acetonitrile in the ratio of 85:15 (A: B), and the mobile-phase flow rate was kept at 1 mL·min<sup>-1</sup>. Analyses were carried out at 272 nm using a UV detector. A perfect linear relationship between peak-area versus drug concentration in the range of 10-100 µg·mL<sup>-1</sup> was observed (r<sup>2</sup>, 0.9999). It has been found that the developed method is sensitive (Detection and quantification limits were determined as 1.3 µg·mL<sup>-1</sup> and 3.8 µg·mL<sup>-1</sup>, respectively), precise (RSD<0.9%, for repeatability and <1.2% for intermediate precision, inside appropriate precision ranges), accurate (recovery in various dosage forms, 99.68-100.56%, in a reasonable range, 80-120%), specific and robust (RSD% <0.80, for system suitability parameters). The proposed method for the determination of apomorphine hydrochloride in pharmaceutical formulations has been successfully applied.

**Keywords:** Apomorphine, HPLC, Pharmaceuticals, Quality control

© EJBCS. All rights reserved.

### 1. Introduction

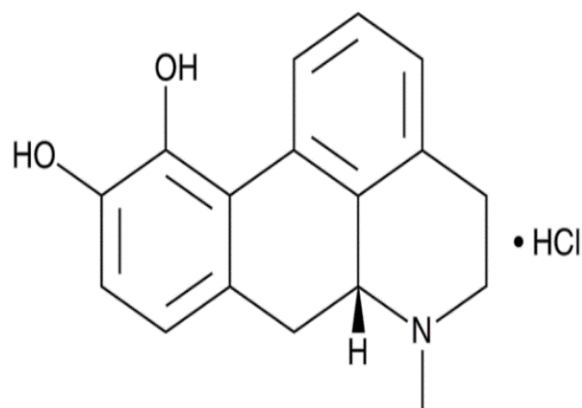
Parkinson's disease (PD) is the second most common neurodegenerative disease that affects 1% of the population over the age of 60. This rate reaches up to 3% in the highest age groups. (Tysnes and Storstein, 2017; Poewe et al., 2017). Highly effective treatments for PD are available. Replacement of dopamines by oral levodopa is still the gold standard of many symptomatic treatments. It is balanced only by apomorphine due to its scale of effect on motor symptoms (Kempster et al., 1990). The response to levodopa continues for a long time, but as the disease progresses, motor complications (dyskinesia and other complications) are developed in many patients. (Poewe and Lees and Stern, 1986; Sweet and McDowell, 1975)

Apomorphine's principal role in the treatment of PD is in the regulation of motor problems attributed to levodopa. Apomorphine, derived from the acidification of morphine, is an aporphine alkaloid. Comprises a tetracycline aporphine ring, its structure is responsible for affinity and

lipophilicity for dopaminergic receptors. Specifically, the ortho-catechol group is structurally similar to dopamine. (Ernst and Smelik, 1966) It also contains a moiety of piperidine, as most antipsychotic drugs. Apomorphine has been described as an agonist of dopamine, but it varies greatly from other oral agonists of dopamine used in Parkinson's disease. Apomorphine functions as a potent agonist dopamine receptor with a wide range on both D1- and D2- like receptors, due to its catechol moiety (Auffret and Drapier and Vérin, 2018). In contrast, oral dopamine agonists pramipexole and ropinirole predominantly bind to D1, D2, and D3 receptors. (Millan et al., 2002). The action mode of apomorphine is more like that of dopamine or its precursor levodopa. Additionally, apomorphine has antagonistic effects on serotonergic and adrenergic receptors and agonistic effects on serotonergic receptors. (Jenner and Katzenschlager, 2016). Apomorphine has no affinity for opioid receptors unlike its mother compound, morphine. (Le Witt et al., 2009). The main role of

apomorphine in treating PD is in controlling motor problems associated with levodopa.

Apomorphine Hydrochloride (6 $\alpha\beta$ -Aporphine-10,11-diol hydrochloride hemihydrate) is currently used to treat advanced PD as a dopamine agonist (Figure 1). Arppe first synthesized apomorphine by heating morphine with excess sulfuric acid in 1845 and named it sulfomorphite. Later, Matthiessen and Wright synthesized apomorphine hydrochloride by heating morphine with concentrated hydrochloric acid in 1868. (Arppe, 1845). The compound was called apomorphia to emphasize its origin and distinction from the compound of the mother, morphine. Apomorphine started to attract interest in both veterinary and human medicine after the experiments by Matthiessen and Wright. (Matthiessen and Wright, 1868). Apomorphine has been used in various experiments in humans and animals in the years after its discovery and had several effects which led to its use in various medical fields. According to the experiments carried out in humans and animals by Gee, Hare, Pierce, Siebert, and Harnack, the impacts of apomorphine are associated with activity on the central nervous system. (Taba and Lees and Stern, 2013; Pierce, 1870; Hare, 1912; Gee, 1869; Taba and Lees and Stern, 2013). Most importantly, an emetic reaction was always detected in dogs and humans with parenteral and oral treatment. An adverse effect in the use of apomorphine, emesis has been the drug's primary signal for many decades and has contributed to its application in extracting foreign particles from the esophagus or managing poisoning. In cases of opioid, alcohol, and smoking dependency, this emetic response has been used to induce adverse conditioning by administering the drug with the undesired stimulus. (Raymond, 1963). Oral apomorphine undergoes significant first-pass metabolism resulting in poor bioavailability, and in most trials and tests parenteral delivery of the drug was the favored route of administration. (Hughes and Lees and Stern, 1991; Stibe et al., 1988). Between the beginning of the twentieth and the end of the nineteenth century, the clinical use of apomorphine covered almost every medicinal field. The sedative effects of the drug have been utilized in various psychiatric conditions such as hysteria, mania, anxiety, dementia, schizophrenic excitement, and alcohol-related disorders. (Lemere, 1987). Spontaneous erection in these experiments was observed as an unexpected consequence. This situation led to the commercialization of apomorphine in later years to treat erectile dysfunction. (Mulhall, 2002). De Weill first hypothesized in 1884 that apomorphine may be beneficial in patients with PD. (De Weill, 1884). Many studies supported their findings, which resulted in the acceptance of apomorphine as an alternative therapy to decrease "down" time in advanced PD over the following years.



**Figure 1.** Molecular structure (Apomorphine HCl)

Various analytical methods have been reported for analyzing the apomorphine HCl, including liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry (Yang, 2006), proton nuclear magnetic resonance spectrometry (Tan, 2016) liquid chromatography. (Ang and Boddy and Liu and Sunderland, 2016), titrimetry (The United States Pharmacopeia; European Pharmacopoeia). These analytical methods (Liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry, proton nuclear magnetic resonance spectrometry) is more accurate and sensitive, however costly, therefore, limit their utility in the quality control of pharmaceutical formulations. In titrimetric methods, significant quantities of solvent are consumed and these solvents usually adversely impact human and environmental health.

In this study, a rapid, simple, accurate, and sensitive HPLC-UV method has been developed. It can precisely and accurately quantify and detect the smallest amount of the drug with a short working time in pharmaceutical formulations. Here, the method has been validated for precision, accuracy, sensitivity, selectivity, and different other validation parameters as per ICH guidelines.

## 2. Material and Method

### 2.1. Chemicals

Analytical grade chemicals were used without further purification in this study, Ortho-phosphoric acid ( $\geq 85\%$ , Sigma-Aldrich), Potassium dihydrogen phosphate (99.5-100.5%, Sigma-Aldrich), and HPLC-grade acetonitrile ( $\geq 99.9\%$ , Sigma-Aldrich) were used. Deionized water was purified using a Milli-Q system (Millipore) with conductivity lower than  $18.2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Apomorphine HCl bulk powder and injectable solution (APO-GO, 20 mg  $2 \text{ mL}^{-1}$ ) were obtained from Abdi İbrahim Pharmaceuticals Industry and Trade Co. Ltd. (Istanbul, Turkey).

## 2.2. Stock standard solution

100 mg pure drug was accurately weighed, dissolved in about 30 mL of deionized water, and transferred to a 100 mL volumetric flask. To get 1 mg mL<sup>-1</sup> of the stock solution, the volume was completed to 100 mL with deionized water. The resulting stock solution was sonicated and filtered through a 0.45 µm filter. The stock solution was further diluted with deionized water to obtain the required concentration of standard solutions (10-100 µg·mL<sup>-1</sup>) before being injected into the system for analysis.

## 2.3. Sample solution

10 ampoules containing 20 mg 2 mL<sup>-1</sup> solutions for injection or infusion were broken and their contents were poured into a 50 mL volumetric flask. It was well mixed. 10 mL of this solution was taken and transferred to a 100 mL volumetric flask. The volume is completed with deionized water to obtain a solution containing 1000 µg·mL<sup>-1</sup> and then filtered through a 0.45 µm filter.

## 2.4. Determination of λ<sub>max</sub>

Standard solution (40 µg·mL<sup>-1</sup>) was subjected to scanning between 200-800 nm on a UV spectrophotometer (Shimadzu UV-1800 spectrophotometer). λ<sub>max</sub> was examined from the UV spectrum of the standard solution.

## 2.5. Chromatographic conditions

Chromatographic analysis was performed on a column of ACE C18 (4.6 mm × 150 mm, 5.0 µm). The mobile phase consisted of potassium dihydrogen phosphate 50 mM (pH 3.0) and acetonitrile (85:15, v/v). The mobile phase was filtered and degassed through a 0.45 µm membrane filter before use and then pumped at a flow rate of 1 mL·min<sup>-1</sup>. The column has been thermostated at 30 °C. The run time was 10 min under these conditions.

## 2.6 Method validation

The analytical method validation has been performed as per ICH guidelines of Validation of Analytical Procedure: Q2 (R1) (ICH, 2005; CDER, 1994). The validation parameters such as system suitability, linearity, the limit of detection (LOD), the limit of quantification (LOQ), accuracy, specificity, precision, and robustness were addressed.

### Linearity

Standard calibration has been prepared using six standard solutions within the concentration range of 10-100 µg·mL<sup>-1</sup>. In optimized chromatographic conditions, each standard solution was chromatographed for 10 minutes three times. Least squares linear regression analysis of the average peak area versus concentration data were used to evaluate the linearity of the method.

### Precision

Precision was analyzed by calculating variations of the method in intraday (repeatability performed by analyzing standard solution on the same day) and inter-day (repeatability carried out by analyzing standard solution on three different days). The precision study was performed by injecting six times of standard solution at three different

concentrations, 20, 40, and 60 µg·mL<sup>-1</sup> on the same day and three consecutive days.

### Specificity/Selectivity

Selectivity is the analytical method's ability to provide an analyte response in the presence of other interventions. The selectivity of the method was tested by comparing the chromatograms obtained for Favipiravir standard, tablet, and blank solutions. The parameters retention time and tailing factor were calculated to prove that the method chosen was specific.

### Accuracy

Recovery studies were conducted by the standard addition technique to confirm the accuracy of the developed method. In this method, 80%, 100%, and 120% of three different levels of the pure drug were added to the previously analyzed sample solutions, and favipiravir's recovery was calculated for each concentration.

### LOD and LOQ

These values were determined using the standard error (s) and slope of the regression line (m) as shown in following equations.

$$\text{LOD} = 3.3 * s/m$$

$$\text{LOQ} = 10 * s/m$$

### Robustness

A robustness analysis was performed to determine the impact of minor yet systematic differences in chromatographic conditions. The modifications include different flow rates of the mobile phase (± 0.1 mL min<sup>-1</sup>), acetonitrile ratio in the mobile phase (± 1 %), and column temperatures (± 2 °C). After each change, System suitability parameters were checked by injecting the sample solution into the chromatographic system and the results were compared with those under the original chromatography conditions.

### Analysis of marketed formulations

4 mL of the above-prepared sample solution has been transferred into a volumetric flask of 100 mL and filled the mark with deionized water to prepare at the concentration of 40 µg·mL<sup>-1</sup> sample solution. This sample solution was filtered using a 0.45 µm filter and then analyzed.

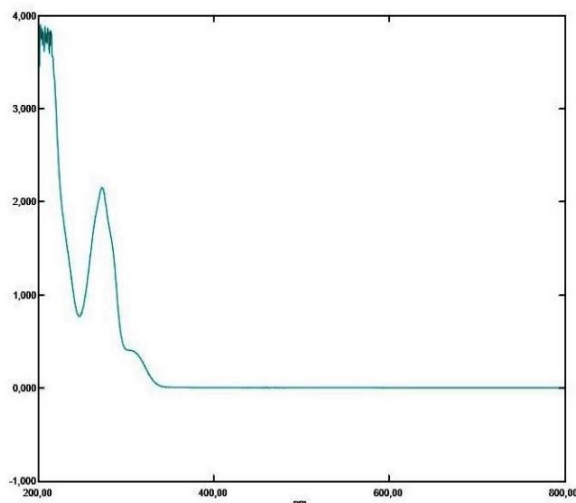
### Stability of standard and sample solution

The stability of the sample and standard solutions has been monitored for 24 hours. For this, standard and sample solutions were injected into the system at 8-hour periods, and the peak area and retention time were evaluated. During the stability study, standard solutions have been stored at ambient temperature (25°C) and protected from light.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Determination of λ<sub>max</sub>

The wavelength corresponding to maximum absorbance (λ<sub>max</sub>) was determined as 272 nm from the UV-vis. absorption spectrum of standard solution (Figure 2).



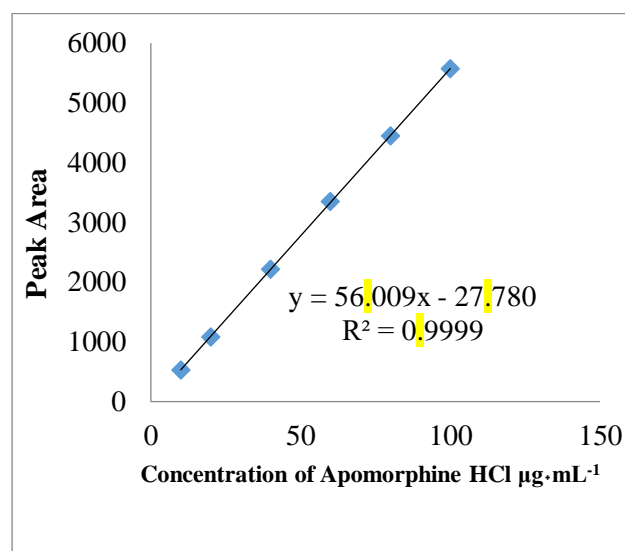
**Figure 2.** UV-vis. absorption spectrum (Standard solution, 40  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )

Method development. Several preliminary studies have been performed to optimize the chromatographic conditions for Apomorphine HCl quantification. Mobile phases consisting of several buffer systems were tried at the beginning of the study, they could not meet the required system parameters. Then only potassium dihydrogen phosphate buffer system was tested without using organic modifiers, long analysis times were obtained. Different acetonitrile solution ratios were investigated to obtain optimum conditions. The acetonitrile ratio was determined as 15% against 50 mM potassium dihydrogen phosphate solution (pH = 3.0) due to the Apomorphine HCl peak being well shaped and symmetrical using this system. Eventually, it was found that the mobile phase consisting of 50 mM potassium dihydrogen phosphate solution (pH: 3.0 with ortho-phosphoric acid) and acetonitrile (85:15, v/v) provided stronger theoretical plates ( $> 2000$ ) and peak tailing factor ( $< 1.0$ ). Mobile phase running at different flow rates ( $0.5\text{-}1.5\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ) and containing mixtures of organic solvents and acetate buffers, with ionic strengths and pH ranges were tested. Collectively, the best chromatographic conditions have been achieved using an isocratic mobile phase comprising 50 mM potassium dihydrogen phosphate (pH = 3.0) and acetonitrile (85/15, v/v) at a flow rate of  $1.0\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  on an ACE C18 column ( $4.6\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ ,  $5.0\ \mu\text{m}$ ). The analysis was conducted at  $30^\circ\text{C}$ , which offers a lot of advantages such as good chromatographic peak shape, enhanced column efficiency, and low-column pressure, in addition to being economic. The eluate has been monitored using a UV detector set at 272 nm. Under the chromatographic conditions, Apomorphine HCl was eluted at 4.637 min of retention time. The tablet solution was analyzed for 60 minutes to ensure that no matrix components were remaining in the column for much longer under the specified conditions. However, continuing the analysis after 10 minutes will increase both the analysis time and the cost. Overlapping peaks were not observed to overlap in samples from sample analyses injected into the system consecutively with 10 minutes of analysis time. Due to all these, the analysis time was determined as 10 min.

### 3.2 Method validation

#### 3.3.1. Linearity

The stock standard solution of Apomorphine HCl has been diluted appropriately with deionized water to obtain standard solutions within the concentration range of 10 to  $100\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ . Each standard solution was injected three times into the HPLC system under the above-mentioned chromatographic working conditions. The linearity of the proposed method has been estimated at 6 concentration levels in the range of  $10\text{-}100\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  (10-20-40-60-80-100) by regression analysis. The calibration curve has been developed by plotting the average peak area versus standard concentration (Figure 3). The correlation coefficient, slope, and intercept of the regression line were determined using the least-squares method. The relation between mean peak area  $Y$  ( $n=3$ ) and concentration,  $X$  expressed by the equation  $Y = a + bX$ , was linear. Values of the slope, intercept, and correlation coefficient ( $r$ ) were 56.009, -27.780, and 0.9999, respectively as shown in Table 1. Overlay chromatogram of Apomorphine HCl standard solutions ( $10\text{-}100\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) was demonstrated in Figure 4A.



**Figure 3.** A calibration curve ( $\lambda$ : 272 nm)

**Table 1.** Statistical data (Calibration curve, Apomorphine HCl)

Parameter	Value
Linearity range ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	10 - 100
Slope	56.009
Intercept	-27.780
Correlation coefficient	0.9999
SE of Intercept	8.6902
SD of Intercept	21.287
LOD/ LOQ ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	1.30/3.80

#### 3.3.2. Specificity / Selectivity

The chromatogram of Apomorphine HCl standard solution has been given in Figure 4B. There is only one peak at the retention time of 4.637 min. The chromatogram of the injectable solution has been given in Figure 4C. There is only one peak at the retention time of 4.637 min in this chromatogram. There are no other peaks caused by excipients and additives in this chromatogram. The chromatogram of the mobile phase has also given in Figure



4D. There are no other peaks caused by the contents of the mobile phase in this chromatogram. This indicates that the analytical method is specific. The parameters retention time and tailing factor were calculated to prove that the method chosen has been specific. Retention time, theoretical plate number, and peak tailing factor values were 4.637, 11798, and 0.600, respectively. All of the values were within the accepted level.

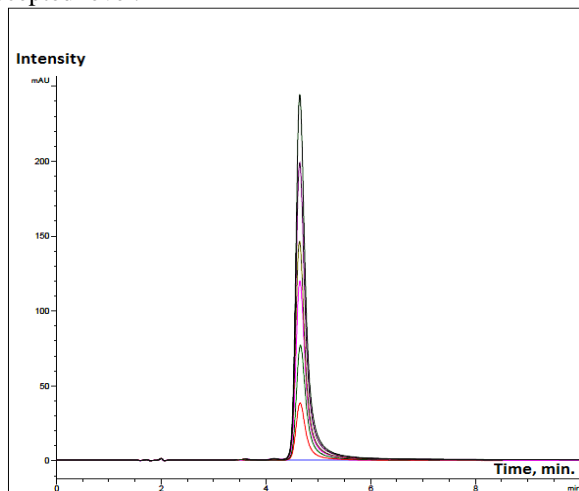


Figure 4. A. Overlay chromatogram (Standard solutions, 10-100 µg·mL<sup>-1</sup>)

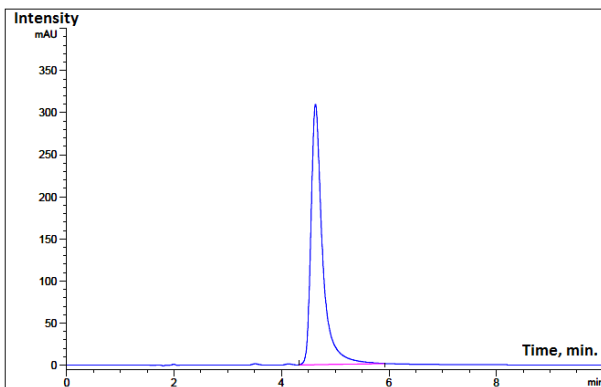


Figure 4. B. Chromatogram (Standard solution, 80 µg·mL<sup>-1</sup>, λ:272 nm)

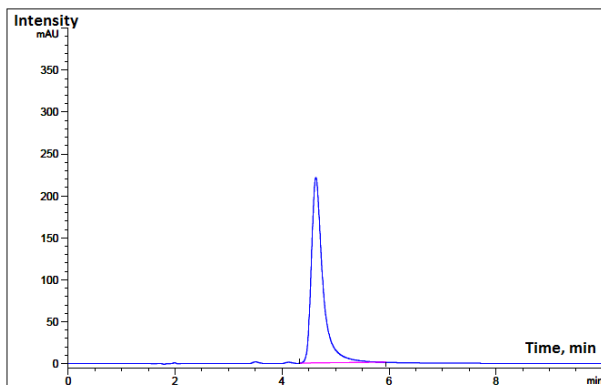


Figure 4. C. Chromatogram (Sample solution, 60 µg·mL<sup>-1</sup>, λ:272 nm)

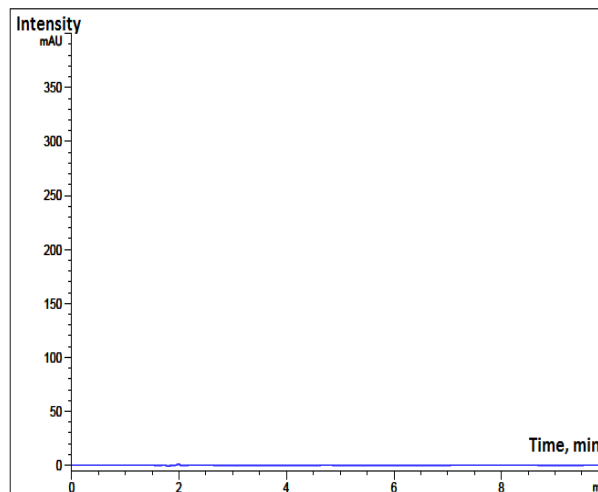


Figure 4. D. Chromatogram (Blank solution, λ:272 nm)

3.3.3. Precision

The precision study was performed by injecting six times of standard solution at three different concentrations, 20, 40, and 60 µg·mL<sup>-1</sup> on the same day and three consecutive days. The precision data were given in Table 2. All RSD values for retention time and peak area for selected Apomorphine HCl concentrations were less than 0.2 and 1.2 %, respectively. In this case, the method is precise and can be used for our intended purpose.

Table 2. Precision data

Std. Conc. µg·mL <sup>-1</sup>	Intraday precision			Interday precision		
	Found conc. (6) µg·mL <sup>-1</sup>	Peak area RSD %	Retention time RSD %	Found conc. (6) µg·mL <sup>-1</sup>	Peak area RSD %	Retention time RSD %
20	20.34	0.819	0.145	19.80	1.105	0.185
40	40.22	0.560	0.095	40.05	0.862	0.123
60	60.08	0.620	0.102	60.18	0.644	0.097

3.3.4. Accuracy Study

A known quantity of standard solution has been added to the sample solutions previously analyzed at three different levels in 50 mL (80%, 100%, and 120%). Concentration was 40 µg·mL<sup>-1</sup> within the 50 mL. Quantity of apomorphine was 2000 µg. So, 80% level refers to 1600 µg 100% refers to 2000 µg and the last one 120% refers to 2400 µg. The amount recovered for Apomorphine HCl has been calculated for three concentrations. The recovery data were summarized in Table 3. RSD% values for all analyses were less than 0.2% indicating that excipients found in pharmaceutical formulations do not interfere and the analytical method is very accurate.



**Table 3.** Recovery data (40 µg·mL<sup>-1</sup>)

Spiked Level	Amount added (µg·mL <sup>-1</sup> )	Amount recovered (µg·mL <sup>-1</sup> )	Recovery (%)	Average (%)	S.D.	RSD (%)
80%	32	32.13	100.41	100.56	0.174	0.173
	32	32.24	100.75			
	32	32.17	100.53			
100%	40	39.95	99.88	99.93	0.050	0.050
	40	39.97	99.93			
	40	39.99	99.98			
120%	48	47.83	99.65	99.68	0.032	0.032
	48	47.86	99.71			
	48	47.85	99.69			

### 3.3.7. Robustness

The results showed that the change in flow rate and mobile phase concentration had little effect on the chromatographic attitude of Apomorphine HCl. The small change in the mobile phase flow rate and acetonitrile content have a small impact on the retention time of Apomorphine HCl. The change in the column temperature did not have a significant effect on the method. The results of this study, expressed as RSD%, were presented in Table 4.

**Table 4.** Robustness data

Condition	Variation	Assay %	SD	RSD %
Mobile phase flow rate (1.00 mL·min <sup>-1</sup> )	0.90 mL min <sup>-1</sup>	99.65	0.80	0.80
	1.10 mL min <sup>-1</sup>	99.88	0.75	0.75
Acetonitrile ratio in mobile phase (15 %)	13 %	100.25	0.70	0.70
	17 %	99.90	0.67	0.67
Column temperature (30 °C)	28 °C	99.94	0.50	0.50
	32 °C	100.12	0.45	0.45

Stability of standard and sample solution. The stability of the sample and standard solutions has been monitored for 24 hours. No changes in standard concentrations have been observed over a period of 24 hours. The RSD% for peak area (n = 3) was 0.077% and the value for retention time (n=3) was 0.036% for standard solution. The results have been demonstrated in Table 5. No major changes in inactive ingredient concentration have also been found in the tablet solution.

**Table 5.** Standard solution stability (40 µg mL<sup>-1</sup>).

Time, hours	Peak area	Mean	SD	RSD%	Retention time (min)	Mean	SD	RSD %
8	2220.0	2221.30	5.57	0.251	4.636	4.639	0.03	0.115
	2227.4				4.640			
	2216.5				4.641			
16	2217.7	2218.23	3.83	0.173	4.635	4.638	0.03	0.192
	2214.7				4.638			
	2222.3				4.640			
24	2218.2	2219.37	1.32	0.059	4.636	4.637	0.02	0.15
	2219.1				4.635			
	2220.8				4.639			

### 3.3.8. Application of the method to the marketed tablets

The developed and validated method has been applied successfully for the determination of Apomorphine HCl in pharmaceutical formulations. The result of the assay of the marketed injectable solution of Apomorphine HCl is shown in Table 5. The results obtained are closely related to the amount indicated on the labels of the tablets. This shows that the method for content evaluation is useful.

**Table 6.** Method application results

Formulation	Label claim (mg)	Amount of drug (mg)	% Assay ± SD
APO-GO	10 mg mL <sup>-1</sup>	10.03 mg	100.03 ± 0.45

## 4. Conclusion

Liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry, proton nuclear magnetic resonance spectrometry-liquid chromatography, and titrimetry are all known methods for apomorphine analysis. These analytical methods are more precise and sensitive, but they are also more expensive, therefore their utility for pharmaceutical formulation quality control is restricted. Titrimetric procedures use a lot of solvents, which are usually bad impression for human and environmental health.

A very quick, cost-effective, precise, and accurate HPLC method for the determination of Apomorphine HCl has been developed and validated in compliance with ICH guidance Q2. Besides the short run time (10 min), retention time (4.637), and flow rate of mobile phase (1 mL·min<sup>-1</sup>) made the method attractive because these features save analysis time and cost. Sodium acetate, used as a general-purpose buffer, has many interesting properties. The most important of these features are good buffering capacity in the selected pH range, easy availability, low toxicity and cost, and greatly improved separation ability without colon degradation. In short, this method is sensitive, selective, reproducible, and rapid for favipiravir in bulk and tablets.

The accuracy and precision are within reasonable limits, the maximum of quantification is as small as  $3.80 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  and finally, the analytical method is reliable and robust.

### Acknowledgments

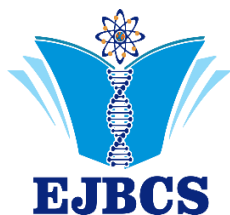
The author would like to thank Abdi İbrahim Pharmaceuticals Industry and Trade Co. Ltd. (Istanbul, Turkey) for providing a pure drug reference sample and supporting this work.

### Authors' contributions:





The article is written by İB and data analyzes were determined by İB. Experiments were done and the last arrangement about article was done by BSA.

### References

- Tysnes OB, Storstein A 2017 Epidemiology of Parkinson's disease. *J Neural Transm.* 124(8): 901–905
- Poewe W, Seppi K, Tanner CM, et al. 2017. Parkinson disease. *Nat Rev Dis Primers.* 3: 17013-17018
- Kempster PA, Frankel JP, Stern GM, Lees AJ 1990. Comparison of motor response to apomorphine and levodopa in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 53(11): 1004–1007
- Poewe WH, Lees AJ, Stern GM 1986. Low-dose L-dopa therapy in Parkinson's disease: a 6-year follow-up study. *Neurology.* 36(11): 1528–1530.
- Sweet RD, McDowell FH 1975. Five years' treatment of Parkinson's disease with levodopa. Therapeutic results and survival of 100 patients. *Ann Intern Med.* 83(4): 456–463.
- Ernst AM, Smelik PG. 1966. Site of action of dopamine and apomorphine on compulsive gnawing behavior in rats. *Experientia.* 22(12): 837–8
- Auffret M, Drapier S, Vérin M 2018. Pharmacological insights into the use of apomorphine in parkinson's disease: clinical relevance. *Clin Drug Investig.* 38(4): 287–312.
- Millan MJ, Maiofiss L, Cussac D, Audinot V, Boutin J-A, Newman- Tancredi A 2002. Differential actions of antiparkinson agents at multiple classes of monoaminergic receptor. I. A multivariate analysis of the binding profiles of 14 drugs at 21 native and cloned human receptor subtypes. *J Pharmacol Exp Ther.* 303(2): 791–804.
- Jenner P, Katzenschlager R 2016. Apomorphine pharmacological properties and clinical trials in Parkinson's disease. *Park Relat Disord.* 33: 13–21.
- Le Witt PA, Ondo WG, Van Lunen B, Bottini PB 2009. Open-label study assessment of safety and adverse effects of subcutaneous apomorphine injections in treating 'off' episodes in advanced Parkinson disease. *Clin Neuropharmacol.* 32(2): 89–93.
- Arppe AE 1845. Ueber eine merkwürdige Veränderung des Morphins durch Schwefelsäure. *Ann der Chemie und Pharm.* 55(1): 96–101.
- Matthiessen A, Wright CRA 1868. Researches into the Chemical constitution of the opium bases. Part I. on the action of hydrochloric acid on morphia. *Proc R Soc Lond.* 17: 455–60
- Taba P, Lees A, Stern G. 2013. Erich Harnack (1852-1915) and a short history of apomorphine. *Eur Neurol.* 69(6): 321–4.
- Pierce FM 1870. Notes on Apomorphia. *British Medical Jomal.* 1(478): 204.
- Hare F. 1912. On alcoholism its clinical aspects and treatment. London: JandA Churchill.
- Gee S. 1869. On the action of a new organic base, apomorphia. *Clin Soc Trans.* 2: 166–169
- Taba P, Lees A., and Stern, G. 2013. Erich Harnack (1852–1915) and a short history of Apomorphine.
- Raymond MJ 1963. The treatment of addiction by aversive conditioning with apomorphine. *Behav Res Ther.* 1(2–4): 287–291
- Hughes AJ, Lees AJ, Stern GM 1991. The motor response to sequential apomorphine in parkinsonian fluctuations. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 358–360
- Stibe CMH, Kempster PA, Lees AJ, Stern GM. 1988. Subcutaneous apomorphine in Parkinsonian on-off oscillations. *Lancet.* 331(8582): 403-406
- Lemere F: 1987. Aversion treatment of alcoholism: some reminiscences. *Addiction.* 82(3): 257–258
- Mulhall JP 2002. Sublingual apomorphine for the treatment of erectile dysfunction. *Expert Opinion Investig Drugs.* 11(2): 295–302
- De Weill E. 1884. l'apomorphine dans certains troubles nerveux. *Lyon Med.* 47: 411–18
- Yang B, Yu Y, Cai L, Deng C, Duan G 2006. Determination of apomorphine in canine plasma by liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry and its application to a pharmacokinetic study. *J. Sep. Sci.* 29: 2173–2178
- Tan L, Chin SF, Miner VW, Dong L, Gupta S, Fields SM 2016. Determination of apomorphine freebase in sublingual tablets by proton nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis.* 129: 378-382
- Ang ZY, Boddy M, Liu Y, Sunderland B 2016. Stability of apomorphine in solutions containing selected antioxidant agents. *Drug Des Devel Ther.* 10: 3253-65.
- Apomorphine Hydrochloride Monographs. The United States Pharmacopeia (USP 32) Volume No. 32(5). 1438-39
- Apomorphine Hydrochloride Tablets Monographs. The United States Pharmacopeia (USP 32). 32(5): 1573-1574
- Apomorphine hydrochloride Monographs. European Pharmacopoeia (EP 6.0) 1206-1207
- ICH. 2005. Q2 (R1), harmonized tripartite guideline, validation of analytical procedures: text and methodology, In Proceedings of the International Conference on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use.
- Center for Drug Evaluation and Research (CDER). 1994. Reviewer Guidance: Validation of Chromatographic Methods. CMC, 3.



## Investigation of extraction method effect on yeast beta glucan production

Fatma Karslioglu<sup>1</sup> , Suna Ertunc<sup>1\*</sup> , Zeynep Yilmazer Hitit<sup>1,2</sup> , Bulent Akay<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Ankara, TURKEY

<sup>2</sup>Université de Montréal, Département de Microbiologie, Infectiologie et Immunologie, Québec, CANADA

\*Corresponding author : [ertunc@eng.ankara.edu.tr](mailto:ertunc@eng.ankara.edu.tr)  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-0139-7463>

Received : 10/05/2020  
Accepted : 09/12/2021

**Abstract:** Nowadays, due to the stressful, tiring and busy lives of humans, the immune system becomes weak and can get sick easily. Therefore, scientists have been doing researches about new, natural and healthy products that can strengthen their immune systems and can provide to adapt life standards. One of these products is the beta glucan. It is a polysaccharide molecule that consists of D-glucose monomers bonding with beta glycosidic bonds. Beta ( $\beta$ ) glucans have been produced from different sources (microorganisms, cereals and mushrooms) so they have different branched structures such as (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 6), (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4), (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 2). Thus, different branched beta glucans show different physicochemical properties and biological activities that designate their usage purposes. Especially yeast beta glucan has lots of biological activities. On the other hand, it is a fact that the extraction method affects the molecular weight, yield, purity and other properties of beta glucans. The main purpose of this study is to compare the performances of ultrasonically assisted alkali-acidic and autolysis extraction methods to produce a high yield of beta glucan. Also, it was aimed to determine the effect of extraction method on the molecular weight of yeast beta glucan. As a result of this work, it was found that the yeast beta glucan yield for ultrasonic supported autolysis extraction (12 %) is higher than that of the ultrasonic supported alkali-acidic extraction (8 %). On the other hand, having the lower molecular weight of yeast beta glucan (87 kDa) was produced by using an ultrasonic supported autolysis extraction method.

**Keywords:** Beta glucan, *Saccharomyces cerevisiae*, yeast, alkali-acidic extraction, autolysis, molecular weight

© EJBCS. All rights reserved.

### 1. Introduction

Humans have struggled with a lot of illnesses from past to present. Today world is fighting the Covid-19 pandemic. There is no doubt that the immune systems of humans should be strengthened for preventing and overcoming illnesses. Therefore, different natural and synthetic substances have been used to stimulate the immune system, modulating humoral and cellular immunity due to their beneficial effect in fighting infections (bacterial, viral, fungal and parasitic) (Mantovani 2008). Beta glucan is one of them (Murphy et al. 2020). It is a polysaccharide molecule which consists of D-glucose monomers bonding with beta glycosidic bonds. Different sources (microorganisms, cereals and mushrooms) consist of different branching structures and quantities of beta glucans. They have main three branching structures as (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -Glucan, (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -Glucan and (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -Glucan. Microorganisms and mushrooms contain the branching structures of (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 6) and (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 2) whereas cereals, grasses, and mushrooms involve (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4) branching structure (Stone 2009;

Synytysa and Novak 2014). Beta glucan is generally found in cell walls of sources. 2 – 4.83 % total dry mass of cereals, 11.26 – 14.57 % total dry mass of mushrooms and 8 – 16 % total dry mass of baker yeast consist of beta glucan (Klis et al. 2002; Maheshwari et al. 2017; Özcan and Ertan 2018; Sapirstein 2016). In comparison to other sources, *S.cerevisiae* yeast has the highest beta glucan content and it shows most of the biological activities of beta glucans. It is important to emphasize that properties of beta glucan changes from source due to differing branching structure of beta glucan. For this reason, beta glucan is used in different areas such as food, medicine, cosmetics. Moreover, usage areas of beta glucan have been increasing day by day thanks to new researches.

It is a well-known fact that the properties and yield of beta glucan produced by using different extraction methods from sources are affected by both source and extraction methods. Hence, extraction method should be optimized in order to obtain the beta glucan with requested properties such as yield, purity, molecular weight, antioxidant and antitumoral activity, swelling, fat binding, emulsion and foam capacity,

viscosity, etc. (Adachi et al. 2013; Du et al. 2014; Karimi et al. 2019; Khan et al. 2017; Volpato et al. 2018; Yılmaz 2010; Zhu et al. 2016). Khan et al. (2016) reported that decreased molecular weight by using irradiation resulted in an increase in the antibacterial activity against both gram-positive and gram-negative bacteria. This is because of the low molecular weight yeast  $\beta$ -d-glucan enters into the cell, disturbing the metabolism of microbes which in turn cause the lysis of the microbial cell (Khan et al. 2016; Kim et al. 2013; Kofuji et al. 2011; Valasquez-Junior et al. 2014). Alzorqi et al. (2014), it is aimed to compare the different extraction methods (Soxhlet, hot water and ultrasonic assisted extraction) used to obtain beta glucan from *G.lucidum* mushroom. Beta glucan obtained from *G.lucidum* mushroom by ultrasonic assisted extraction method was found higher molecular weight, antioxidant activity, and appropriate branching degree compared to beta glucans obtained by the other two methods. Karimi et al. (2019), the aim of this study was to examine the effects of different enzymatic extractions used in the production of beta glucan from barley on the physicochemical properties of beta glucan and concluded that using several different enzymes increases the purity of beta glucan and decreases the molecular weight since they also cause degradation of beta glucan.

The main purpose of this study is to compare the performances of ultrasound assisted alkali-acidic and autolysis extraction methods to produce high yield of beta glucan and determine the effect of extraction method on the molecular weight of it.

## 2. Materials and Method

### 2.1. Chemicals and yeast culture strains

NaOH, acetic acid, absolute ethanol, sodium phosphate dibasic, sodium phosphate monobasic and all media components were purchased from Sigma-Aldrich, Merck and Oxoid. A pure strain of *Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-567 yeast was provided Northern Regional Research Laboratory, Peoria USA.

### 2.2. Yeast cultivation

*Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-567 yeast was incubated in the liquid growth media consisting of 20 g/L glucose, 3 g/L  $K_2HPO_4$ , 3.35 g/L  $(NH_4)_2SO_4$ , 3.76 g/L  $NaH_2PO_4$ , 0.52 g/L  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.017 g/L  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  and 6 g/L yeast extract (Sabuncu, 2016). Yeast was inoculated from agar to 60 mL growth medium and incubated at 32°C, 150 rpm for 12 hours (Incubator / Shel Lab S16/SI6R). After the growth of yeast cells they were separated from the liquid medium by centrifugation at 3000 rpm for 15 min (Rotofix 2800) Then they were inoculated to the fresh liquid medium of 600 mL in the laminar flow cabinet (NuAire, Biological Safety Cabinet Class II) and incubated at 32°C, 150 rpm for 8 hours by using an orbital shaker. The growth medium was divided in to 50 mL falcon tubes and yeast cells were collected by using centrifugation at 5865 rpm for 15 min (HERMLE Z 326 K). Wet yeast cells were portioned as four equal weights to perform extraction procedures.

### 2.3. Ultrasound assisted alkali-acidic extraction (UA-AA)

Yeast cells into two falcon tubes were extracted by using an ultrasound assisted alkali-acidic extraction method. They were treated with 2 M NaOH solution (0.008 v/w) at 90°C for 1 hour in a heated ultrasonic water bath (40 kHz, 6 L, AZİM) applied ultrasonic waves at 40 kHz for 15 min at the beginning. Suspension was centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 15 min. The precipitate was washed with pure water and centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 5 min. After removing the supernatant 3 % acetic acid solution (0.008 v/w) was added and waited at 85°C for 1 hour in a water bath. Suspension was centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 15 min. again. The precipitate was washed with pure water and centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 5 min. The supernatant was removed and the precipitate was washed with absolute ethanol (0.008 v/w). The last centrifugation was conducted at 5865 rpm, 4°C for 15 min and the precipitate was dried in the oven (THERMOMAC FDO 30) until the samples reach constant weight. All these experimental procedures were realized as three replicated.

### 2.4. Ultrasound assisted autolysis extraction (UA-A)

Sodium phosphate buffer solution (pH 7.3, 30 % w/v) was added into the two falcon tubes contains the yeast cells. Suspensions were autolyzed at 50°C, 200 rpm for 24 hours in the incubator. After autolysis, ultrasonic wave was applied at 40 kHz for 15 min to the suspensions by using an ultrasonic bath. Then they were centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 15 min. Precipitates were washed with pure water and were centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 5 min. By the addition of 3 % acetic acid solution (0.008 v/w) they waited at 85°C for 1 hour in water bath. Suspensions were centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 15 min. Precipitates were washed with pure water and centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 5 min. Precipitates were washed with absolute ethanol (0.008 v/w). Suspensions were centrifuged at 5865 rpm, 4°C for 15 min. Precipitates were dried in the oven till they reach constant weight. Experiments were performed three replicated.

### 2.5. Determination of molecular weight

Beta glucans produced by two extraction methods were dissolved using tetrahydrofuran (THF, Riedel-de Haën, > 99 puriss, stabilized) in certain solid/solvent ratio (5 %) to obtain diluted polymer solutions in room temperature (0.05, 0.04, 0.03 and 0.02 mg/mL). Viscosity average molecular weights of the samples were determined by using Ubbelohde viscometer and Mark-Houwling equation (Equation 1). K and  $\alpha$  constants of (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -Glucan is not present in the literature. So, K and  $\alpha$  constants of cellulose nitrate were used in this study because the molecular structure of cellulose nitrate is similar to the (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -Glucan. K and  $\alpha$  values for cellulose nitrate are  $25 \times 10^{-2}$  mL/g and 1.00, respectively. Firstly, the relative viscosities of beta glucan-THF solutions were measured by Ubbelohde viscometer in room temperature. These values were used to calculate the relative ( $\eta_r$ ), specific ( $\eta_{sp}$ ) and reduced viscosities ( $\eta_{sp}/C$ ) of the solutions. In order to obtain the intrinsic viscosity ( $\eta$ ), reduced viscosities were plotted versus the polymer solution concentration. Finally,

the viscosity average molecular weight of beta glucan samples was evaluated by using the Equation 1 is known as the Mark-Houwling equation.

$$[\eta]=K \cdot M_v^\alpha \tag{1}$$

**2.6. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)**

Pellets prepared with beta glucan sample and potassium bromide (KBr) by weight 1:140 were analysed by Shimadzu FTIR-8400 S at room temperature between 4000-400 cm<sup>-1</sup> wave number region. Beta glucan from Sigma was used as the reference sample (Glucan from baker’s yeast (*S.cerevisiae*) CAS Number: 9012-72-0)

**3. Results**

**3.1. Comparison of beta glucan yields produced from different extraction methods**

Results were obtained from three replicated experiments realized for both extraction methods. As seen in Table 1, beta glucan yields obtained with UA-AA are lower than those obtained with the UA-A method. On the other hand, beta glucan yields of UA-AA-1 and UA-A-1 are higher than the others because yeast cells were harvested at the end of the 12 h of growth time however, yeast cell growth was retained for 8 h for the other experiments (UA-AA-2, 3 and UA-A-2,3).

**3.2. The effect of extraction method on the molecular weight of beta glucan**

Relative, specific and intrinsic viscosities obtained for different concentrations of beta glucan-THF solutions which are used for the calculation of viscosity average molecular weight were given in Table 2. Beta glucan-THF solutions were prepared with produced by both UA-AA and UA-A extraction methods. According to Table 2, as expected, viscosities decreases as the concentrations are lowered.

**Table 1** Beta glucan yields obtained by two extraction methods

Extraction method	Beta glucan yield (g dry beta glucan/g dry yeast)
UA-AA-1	0.1500
UA-AA-2	0.0610
UA-AA-3	0.0486
UA-A-1	0.1708
UA-A-2	0.0774
UA-A-3	0.1278

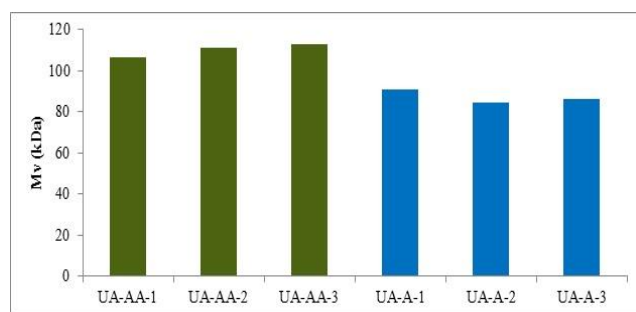
UA-AA: Ultrasound assisted alkali-acidic extraction

UA-A: Ultrasound assisted autolysis extraction

**Table 2** Relative, specific and intrinsic viscosities for different concentrations of beta glucan-THF solutions

Extraction method	Concentration (mg/mL)	Relative viscosity	Specific viscosity	Intrinsic viscosity
UA-AA-1	0.05	1.0476	0.0476	0.952
	0.04	1.0350	0.0350	0.876
	0.03	1.0201	0.0201	0.671
	0.02	1.0073	0.0073	0.364
UA-AA-2	0.05	1.0460	0.0460	0.920
	0.04	1.0345	0.0345	0.863
	0.03	1.0195	0.0195	0.650
	0.02	1.0071	0.0071	0.353
UA-AA-3	0.05	1.0472	0.0472	0.944
	0.04	1.0353	0.0353	0.883
	0.03	1.0202	0.0202	0.673
	0.02	1.0072	0.0072	0.360
UA-A-1	0.05	1.0511	0.0511	1.022
	0.04	1.0317	0.0317	0.793
	0.03	1.0207	0.0207	0.692
	0.02	1.0078	0.0078	0.388
UA-A-2	0.05	1.0516	0.0516	1.032
	0.04	1.0320	0.0320	0.800
	0.03	1.0212	0.0212	0.706
	0.02	1.0077	0.0077	0.387
UA-A-3	0.05	1.0504	0.0504	1.008
	0.04	1.0336	0.0336	0.840
	0.03	1.0228	0.0228	0.760
	0.02	1.0079	0.0079	0.395

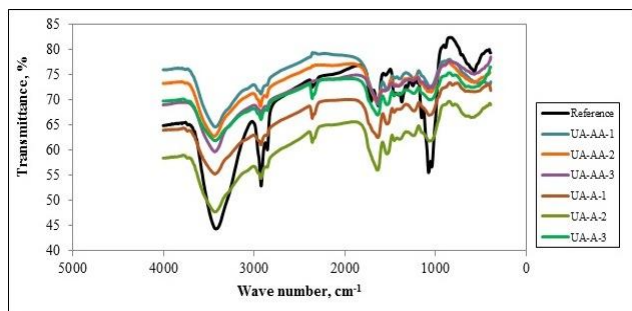
Viscosity average molecular weights of the produced beta glucans by UA-AA and UA-A methods were given in Figure 1. It is seen from the Figure 1 that molecular weights of beta glucans produced by using UA-AA methods were higher than that molecular weights of beta glucans produced by using UA-A methods. By using UA-AA method viscosity average molecular weight was obtain about 110 kDa whereas was obtained 87 kDa by UA-A.



**Figure 1** Molecular weights (M<sub>v</sub>) of beta glucans produced by using UA-AA and UA-A methods

### 3.3. FTIR results

Figure 2 shows the FTIR spectra for the beta glucans produced by two different extraction methods. This analysis is also important in terms of produced beta glucan characterization because the characteristic peaks in this spectra determine the identity of the sample. Beta glucan from Sigma (Glucan from baker's yeast (*S.cerevisiae*) cas Number: 9012-72-0) was used as the reference sample. Peaks on 1030-1250  $\text{cm}^{-1}$  wave number show the beta glycosidic bond for both produced beta glucans by different extraction methods and the reference sample.



**Figure 2** FTIR spectras of beta glucans

### 4. Discussion

*S.cerevisiae* yeast was used as a source in this study due to having highest beta glucan content and extensive biological activities of beta glucans. Freimund et al. (2003) used beta glucans produced from baker yeast using hot water and enzymatic extraction methods and beta glucan yield was found as 25-26%. Liu et al. (2008), produced the beta glucans from spent baker yeast using autolysis, hot water extraction, homogenization and enzymatic extraction methods and beta glucan yield was observed as 11%. Khan et al. (2016) by using alkaline-acidic extraction method yeast beta glucan yield was noticed 38.5%. Tang et al. (2017) beta glucan extracted yield as 19% from baker yeast using alkaline extraction method. Beta glucan is 8-16 % of dry cell wall of baker yeast. Normally, beta glucan yield obtained in the previous studies should be between 8 and 16%. Presented in the literature these extreme values of yield can not be comparable due to the different definition of it. Even beta glucan yield was not defined in most of the articles.

Effects of extraction methods on beta glucan production and properties were investigated in this study. The results show that higher yield of beta glucan was obtained by using UA-A method than UA-AA. A reason for the results are possible that UA-AA contains two-step cell wall disruption whereas UA-A has only one. Thus, because the beta glucan is a cell wall component of the yeast cell, a higher extraction yield was achieved by the extraction method containing the more efficient cell wall disruption. Otherwise, it was showed that the prolonged yeast growth can promote the beta glucan yield using different prolonged yeast growth time, but it should be confirmed by more of a replicated experimentation. Viscosity average molecular weights of beta glucans were determined to research effect of extraction methods on molecular weight of them. Lack of Mark-Houwling equation's coefficients for beta-glucan was

led to an assumption of usage of cellulose nitrate coefficients in the Mark-Houwling equation due to the structural similarities of beta-glucan and cellulose nitrate to determine the viscosity average molecular weight of beta-glucan. Molecular weights of beta glucans produced by using autolysis extraction were found lower than the molecular weights of beta glucans produced by using alkali-acidic extraction since beta glucanase enzyme in yeast cell acts in autolysis extraction break up beta glucan molecule and cause of decreasing molecular weight of it. It is an obvious fact that extraction method is an important and critical parameter should be considered in beta glucan production and properties in light of these results.

### 5. Conclusion

Nowadays, beta glucan has been an important product according to its antitumoral, antimicrobial and antioxidant properties. Knowledge and usage areas about beta glucans increased by means of multidisciplinary researches (Murphy et al. 2020). The results show that extraction method affects both yield and molecular weight of beta glucan. Thus, the extraction method should be selected according to the requested interval value of molecular weight and providing high beta glucan yield. If lower molecular weight values besides high yields are required, the ultrasound assisted autolysis extraction method should be preferred. It can be concluded that beta glucan having the characteristic bonds is produced by both extraction methods.

### Acknowledgements

Authors are thankful to Ankara University Research Fund (Project Number:17H0443006) for the encouragement and support to carry out the research.

### Authors' contributions:

SE planned and designed the experiments; FK carried out the experiments, SE and BA analyzed the data, SE and FK wrote the manuscript, SE and ZYH reviewed and edited the written manuscript.

### Conflict of interest disclosure:

There is no conflict of interest.

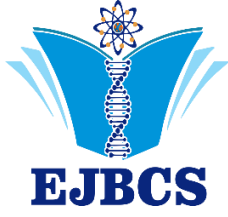
### References

- Adachi M, Kowhakul W, Masamoto H, Shigematsu, M. 2013. Bioactivities of  $\beta$ -glucan and tannin extracted with superheated water by using a macchinetta extractor. 4th international conference on biology, environment and chemistry. 58. 71-76.
- Alzorqi I, Sudheer S, Lu T-J, Manickam S. 2017. Ultrasonically extracted  $\beta$ -D- glucan from artificially cultivated mushroom, characteristic properties and antioxidant activity. Ultrasonics Sonochemistry 35, 531 – 540.
- Du B, Zhu F, Xu B. 2014.  $\beta$ -Glucan extraction from bran of hull-less barley by accelerated solvent extraction combined with response surface methodology. J Cereal Sci 59:95-100.
- Freimund S, Sauter M, Kappeli O, Dutter H. 2003. A new non-degrading isolation process for 1,3- $\beta$ -D-glucan of high purity from baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Carbohydrate Polymers 54, 159-171.



- Karimi R, Azizi MH, Xu Q. 2019. Effect of different enzymatic extractions on molecular weight distribution, rheological and microstructural properties of barley bran  $\beta$ -glucan. *Int J Biol Macromol* 126:298-309.
- Khan AA, Gani A, Masoodi FA, Mushtaq U, Naik AZ. 2017. Structural, rheological, antioxidant, and functional properties of  $\beta$ -D glucan extracted from edible mushrooms *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* and *Coprinus atrimentarius*. *Bioact Carbohydr Diet Fibre* 11:67-74.
- Khan AA, Gani A, Masoodi FA, Amin F, Wani IA, Khanday FA, Gani A. 2016. Structural, thermal, functional, antioxidant & antimicrobial properties of  $\beta$ -D glucan extracted from baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) – Effect of  $\alpha$ - irradiation. *Carbohydr Polym* 140:442-450.
- Kim HJ, White PJ. 2013. Impact of the Molecular Weight, Viscosity, and Solubility of  $\beta$  – Glucan on in Vitro Oat Starch Digestibility. *J Agric Food Chem* 61:3270-3277.
- Klis FM, Mol P, Hellingwerf K, Brul S. 2002. Dynamics of cell wall structure in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiol Rev* 26:239-256.
- Kofuji K, Aoki A, Tsubaki K, Konishi M, Isobe T, Murata Y. 2012. Antioxidant Activity of  $\beta$ -Glucan ISRN Pharmaceuticals Article ID 125864, 1-5.
- Liu XY, Wang Q, Cui SW, Liu HZ. 2008. A new isolation method of  $\beta$ -D- glucans from spent yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Hydrocolloids* 22, 239–247.
- Maheshwari G, Sowrirajan S, Joseph B. 2017. Extraction and Isolation of  $\beta$ -Glucan from Grain Sources-A review. *J Food Sci* 7:1535-1545.
- Mantovani MS Bellini MF, Angeli JPF, Oliveira RJ Silva, AF, Ribeiro LR. 2008.  $\beta$ -Glucans in promoting health: Prevention against mutation and cancer. *Rev Mutat Res* 658:154-161.
- Murphy EJ, Masterson C, Rezoagli E, Otoole D, Major I, Stack G D, Lynch M, Laffey JG, Rowan NJ. 2020.  $\beta$ -Glucan extracts from the same edible shiitake mushroom *Lentinus edodes* produce differential in-vitro immunomodulatory and pulmonary cytoprotective effects— Implications for coronavirus disease (COVID-19) immunotherapies. *Science of the Total Environment* 732, 139330.
- Özcan Ö, Ertan F. 2018. Beta-glucan Content, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Some Edible Mushroom Species. *Food Sci Technol* 6(2):47-55.
- Sabuncu N. 2016. Investigation of growth conditions and pH control in a bioreactor to increase  $\beta$ -glucan content of *S. cerevisiae*. Master Thesis, Ankara University 40, Ankara.
- Sapirstein, HD. 2016. Bioactive Compounds in Wheat Bran. Wrigley C, Seetharaman K, Corke H, Faubian J (ed) 2<sup>nd</sup> edn Academic Press, 2:268-276.
- Synytsya A, Novak M. 2014. Structural analysis of glucans. *Ann Transl Med* 2(2):17. doi:10.3978/j.issn.2305-5839.2014.02.07
- Stone, Bruce. 2009. Chemistry of  $\beta$ -Glucans. *Chemistry, Biochemistry, and Biology of 1-3 Beta Glucans and Related Polysaccharides.* 5-46. doi:10.1016/B978-0-12-373971-1.00002-9.
- Tang Q, Huang G, Zhao F, Zhou L, Huang S, Li H. 2017. The antioxidant activities of six (1  $\rightarrow$  3)-  $\beta$ -d-glucan derivatives prepared from yeast cell wall. *International Journal of Biological Macromolecules* 98: 216 – 221.
- Valasques-Junior GL, de Lima FO, Boffo EF, Santoz JTG, da Silva BC, de Assis SA. 2014. Extraction optimization and antinociceptive activity of (1 $\rightarrow$ 3)- $\beta$ -D-glucan from *Rhodotorula mucilaginosa*. *Carbohydr Polym* 105:293-299.
- Volpato H, Scariot DB, Soares EFP, Jacomini AP, Rosa FA, Sarragiotto MH, Ueda-Nakamura T, Rubira AF, Pereira GM, Manadas R, Leitao AJ, Borges O, Nakamura CV, do Ceu Sousa M. 2018. In vitro anti-*Leishmania* activity of T6 synthetic compound encapsulated in yeast-derived  $\beta$ -(1,3)-D-glucan particles. *Int J Biol Macromol* 119:1264-1275.
- Yilmaz C. 2010. Extraction of Glucan from *Saccharomyces cerevisiae*. Master Thesis, Kocaeli University 117, Kocaeli.
- Zhu H, Du B, Xu B. 2016. A critical review on production and industrial applications of beta-glucans. *Food Hydrocoll.* 52:275-288.





## Determination of pH, Lime and Organic Matter Content of Hatay Province Reyhanlı-Kumlu Region Soils

Mehmet Yalçın\*<sup>ID</sup>

Hatay Mustafa Kemal University, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Hatay/Turkey

\*Corresponding author : myalcin@mku.edu.tr  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0001-7832-8389>

Received : 09/08/2021  
Accepted : 11/09/2021

**Abstract:** In this study, it was aimed to determine the pH, lime and organic matter contents of the soils of Reyhanlı-Kumlu region of Hatay province. For this purpose, a total of 80 soil samples were taken from two different depths (0-20 and 20-40 cm) and 40 different points, representing the study area soils. The pH, lime and organic matter contents of the soils were determined in the samples. According to the results of the research; The pH content of the soils varies between 6.86-8.44, and although the pH of the soil samples varies between neutral and slightly alkaline, it has been observed that 30.00% of the soils taken are neutral and 70.00% are slightly alkaline. The lime content of the Reyhanlı-Kumlu region soils is 2.71-64.23%, although the lime contents vary between calcareous and very calcareous, 7.50% of the soils are calcareous, 27.50% are medium calcareous, 30.00% are very calcareous and 35.00% are very calcareous. it was seen to be too chalky. The organic matter content of the study area soils is between 0.40-2.89% and although the organic matter of the soil samples varies between very little and medium, 3.75% of the soils are very little, 78.75% less and 17.50% organic matter is medium. A positive and significant relationship was determined between the lime and organic matter content of the soils, and no significant relationship was determined between pH content and other properties.

**Keywords:** pH, Lime, Organic Matter

### *Hatay İli Reyhanlı-Kumlu Bölgesi Topraklarının pH, Kireç ve Organik Madde İçeriklerinin Belirlenmesi*

**Özet:** Bu çalışmada Hatay ili Reyhanlı-Kumlu bölgesi topraklarının pH, kireç ve organik madde içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için çalışma alanı topraklarını temsil edecek şekilde iki farklı derinlikten (0-20 ve 20-40 cm) ve 40 ayrı noktadan olmak üzere toplamda 80 toprak örneği alınmıştır. Örneklerde toprakların pH, kireç ve organik madde içerikleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; toprakların pH içerikleri 6.86-8.44 arasında değişmekte olup toprak örneklerinin pH'ları nötr ile hafif alkalın arasında değişmekte birlikte, alınan toprakların % 30.00'u nötr ve % 70.00'i ise hafif alkalın özellikte olduğu görülmüştür. Reyhanlı-Kumlu bölgesi topraklarının kireç içerikleri % 2.71-64.23 olup kireç içerikleri kireçli ile çok fazla kireçli arasında değişmekte birlikte, toprakların % 7.50'si kireçli, % 27.50'si orta kireçli, % 30.00'u fazla kireçli ve % 35.00'i ise çok fazla kireçli görülmüştür. Çalışma alanı topraklarının organik madde içerikleri % 0.40-2.89 arasında olup toprak örneklerinin organik maddeleri çok az ile orta arasında değişmekte birlikte, toprakların % 3.75'i çok az, % 78.75'i az ve % 17.50'si ise orta oranda organik madde görülmüştür. Toprakların kireç ile organik madde içeriği arasında pozitif önemli ilişki belirlenmiş olup, pH içeriği ile diğer özellikler arasında önemli ilişkiler belirlenmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** pH, Kireç, Organik Madde

© EJBCS. All rights reserved.

## 1. Giriş

Toprak, yeryüzünün oluşumu, sürdürülebilirliği ve özellikleri için her zaman oldukça önemli bir unsurdur. Toprak daha kısa ve öz ifade edilmek istenirse; yeryüzünü ince bir kabuk şeklinde kaplayan, kayaç ve birçok mineralin farklı biçimlerde ayrışması ve parçalanmasıyla meydana gelen, yapısında ve üzerinde değişik boyutlarda canlılar bulunduran, bitkiler için besin elementi sağlayan ve yaşamlarını sürdürdükleri ortamı oluşturan, belirli

oranda hava ve su içeren üç boyutlu dinamik bir varlıktır (Yalçın, 2020).

Sürdürülebilir bir tarımda toprak içerisinde bitkinin devamlı bir gelişim gösterebilmesi, bulunduğu toprak içerisindeki kimyasal ve fiziksel özellikler ile yakından ilgilidir. Toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin düzeltilmesi için başvurulan en önemli yöntemlerden birisi organik kökenli materyallerin ilavesi ile mümkün olmaktadır (Alagöz ve ark., 2006).

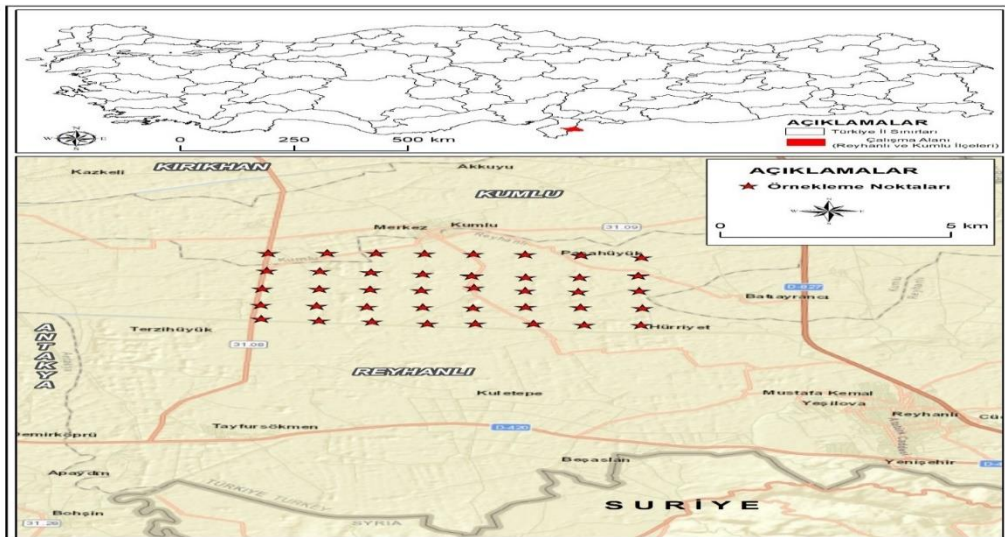
Toprakların mevcut özellikleri yanı sıra kimyasal özelliklerinin de bitkisel üretimde önemli bir faktör olduğu gerçeğini kabul etmek gerekmektedir. Bundan dolayı; toprakların kimyasal özelliklerinin korunması için gerekli önlemler alınmalıdır. Aksi durumda hızla artan nüfus karşısında bitkisel üretimin kaynağı olan topraklardan beklenen yarar sağlanamayacaktır. Toprakların önemli kimyasal özelliklerinden olan pH, kireç ve organik madde içeriği bitkisel üretim açısından önemli fonksiyonlara sahiptir (Gökpinar ve Yalçın, 2020). Toprak pH'sı topraktaki birçok kimyasal reaksiyonun oluşmasını, mineral ve organik maddenin parçalanmasını ve besin elementinin yayılmasını önemli ölçüde etkilemektedir (Tan, 1993). Organik madde; topraklarda strüktür oluşumunu, havalanmayı, su tutma ve ısı kapasitesini olumlu etkiler aynı zamanda KDK'nin yüksek olması dolayısıyla besin elementinin tutulmasını sağlar (Sposito, 1989). Kireç ise; toprağın pH içeriğinin istenilen düzeye yükseltilmesini, yararlı fosfor miktarının azaltılması ve fosforun bağlanmasının arttırılmasını sağladığı gibi aynı zamanda mikroorganizmaların faaliyetlerinin arttırılması gibi birçok fonksiyonu bulunmaktadır (Akalın, 1977). Tarım topraklarının pH, kireç ve organik madde içerikleri ile benzer birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan en önemlileri aynı bölge topraklarında yapılan çalışmalardır. Aynı bölgede yapılan çalışmada, Yeter ve Yalçın (2020) Hatay ili Kırıkhan-Kumlu bölgesi topraklarının pH, kireç ve organik madde içeriklerinin belirlenmesini için yürüttükleri çalışmada; çalışma alanı topraklarının pH içerikleri 7.95-8.43 arasında değişmekte olup toprak örneklerinin pH'larının tüm bölgede hafif alkalın özellikte olduğu görülmüştür. Kırıkhan-Kumlu bölgesi topraklarının kireç içerikleri % 0.47-26.59 olup kireç içerikleri az kireçli ile çok fazla kireçli arasında değişmekte birlikte, toprakların % 11.66'sı az kireçli, % 5.00'i kireçli, % 35.00'i orta kireçli, % 45.00'i fazla kireçli ve % 3.34'ü ise çok fazla kireçli görülmüştür. Çalışma alanı topraklarının organik madde içerikleri % 1.16-6.08 arasında olup toprak örneklerinin organik maddeleri az ile yüksek arasında değişmekte birlikte, toprakların % 30.00'u az, % 48.34'ü orta, % 15.00'i iyi ve

% 6.66'sı ise yüksek oranda organik madde görülmüştür. Toprakların kireç ile organik madde içeriği arasında negatif önemli ilişki belirlenmiş olup, pH içeriği ile diğer özellikler arasında önemli ilişkiler belirlenmemiştir. Yine aynı bölgede yapılan çalışmada, Yalçın (2020) Hatay ili Kırıkhan-Reyhanlı tarım topraklarının pH, kireç, organik madde ve kation değişim kapasitesi (KDK) içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucuna göre; çalışma alanı topraklarının pH içerikleri 7.57-8.36 arasında değişmekte olup toprak örneklerinin pH'sı tüm bölgede hafif alkalın özellikte olduğu görülmüştür. Kırıkhan-Reyhanlı tarım topraklarının kireç içerikleri % 5.66-51.14 olup kireç içerikleri orta kireçli ile çok fazla kireçli arasında değişmekte birlikte, toprakların % 28.33'ü orta kireçli, % 35.00'i fazla kireçli ve % 36.67'si ise çok fazla kireçli görülmüştür. Çalışma alanı tarım topraklarının organik madde içerikleri % 1.42-4.10 arasında olup toprak örneklerinin organik maddeleri az ile yüksek organik madde arasında değişmekte birlikte, toprakların % 23.33'ü az, % 48.34'ü orta, % 25.00'i iyi ve % 3.33'ü ise yüksek oranda organik madde görülmüştür. Mevcut araştırma kapsamında; Hatay ili Reyhanlı-Kumlu bölgesinde yer alan topraklarının pH, kireç ve organik madde içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler; bir yandan Reyhanlı-Kumlu bölgesi topraklarının oluşumunda temel verileri sağlayacak, diğer yandan da Reyhanlı-Kumlu bölgesi topraklarının arazi kullanım planlamalarına ışık tutacak ve topraklarda olası kimyasal sorunları ortaya çıkartacaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### Materyal

Çalışmada yöreyi temsil edecek şekilde Hatay ili Reyhanlı-Kumlu bölgesindeki toprak alanlarından 40 noktadan, 0-20 ve 20-40 cm derinliklerinden toplamda 80 toprak örneği usulüne uygun olarak alınmıştır (Şekil 1; Çizelge 1). Aynı gün laboratuvara getirilen toprak örnekleri gölgede hava kurusu olacak biçimde kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1. Alınan toprak örneklerinin Reyhanlı-Kumlu ilçe haritası üzerindeki gösterimi

**Çizelge 1.** Toprak örneklerinin alındığı yerler

Toprak No	Örnek Yeri	Toprak No	Örnek Yeri
1	Akkerpiç 1	21	Karahüyük 5
2	Akkerpiç 2	22	Karahüyük 6
3	Kumlu 1	23	Ahmetbeyli 3
4	Kumlu 2	24	Ahmetbeyli 4
5	Kumlu 3	25	Suluköy 1
6	Paşahüyük 1	26	Suluköy 2
7	Paşahüyük 2	27	Suluköy 3
8	Paşahüyük 3	28	Karahüyük 7
9	Karasüleymanlı 1	29	Karahüyük 8
10	Karasüleymanlı 2	30	Karahüyük 9
11	Karasüleymanlı 3	31	Batı Ayrancı 1
12	Karahüyük 1	32	Batı Ayrancı 2
13	Karahüyük 2	33	Suluköy 4
14	Karahüyük 3	34	Suluköy 5
15	Ahmetbeyli 1	35	Suluköy 6
16	Ahmetbeyli 2	36	Paşaköy 1
17	Karasüleymanlı 4	37	Paşaköy 2
18	Karasüleymanlı 5	38	Paşaköy 3
19	Karasüleymanlı 6	39	Paşaköy 4
20	Karahüyük 4	40	Paşaköy 5

### Yöntem

Toprakların pH değerleri saturasyon çamuru ekstraktında pH metre aletinde ölçülmüştür (Horneck ve ark., 1989). Toprakların kireç ( $\text{CaCO}_3$ ) içerikleri Scheibler kalsimetresi aleti ile ölçülmüştür (Nelson, 1982). Toprakların organik madde içerikleri, Nelson ve Sommers (1982) tarafından bildirildiği şekilde modifiye edilmiş Walkley-Black yöntemiyle belirlenmiştir. Toprak özellikleri arasındaki korelasyon ve regresyon analizleri SPSS 17 istatistik programında yapılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987).

### 3. Bulgular Ve Tartışma

#### Toprakların pH, kireç ve organik madde durumları

Araştırmada kullanılan toprak özelliklerinin pH, kireç ve organik madde içeriklerine ait bulgular Çizelge 2’de verilmiştir. Araştırma topraklarının pH içeriği örneklerde en düşük 6.86 iken, en yüksek pH içeriği 8.44 olarak belirlenmiştir. Toprakların 0-20 cm derinliğindeki örneklerinin ortalama pH içeriği 7.56 iken 20-40 cm derinlikteki örneklerde ise 7.78 olup iki derinlikte ortalama olarak 7.67 bulunmuştur. Toprak örneklerinin Kacar (1995)’in bildirdiği sınır değerleri göre pH’ları nötr ile hafif alkalın arasında değişmekle birlikte, alınan toprakların % 30.00’i nötr (6.5-7.5) ve % 70.00’i ise hafif alkalın (7.5-8.5) özellikte olduğu görülmüştür (Çizelge 2). Çalışmada bulunan sonuçlar, bölge topraklarında çalışan

Yalçın ve Çimrin (2017)’nin Hatay ili Kırıkhan-Reyhanlı bölgesi çayır-mera topraklarının bor içeriğinin belirlenmesi ve toprağın bazı özellikleri ile ilişkilerinin saptanmasını amaçladıkları çalışma ile uyumludur. Farklı bir bölgede ise, Eren (2019) Kızıltepe yöresinde buğday tarımı yapılan toprakların bazı verimlilik durumlarının belirlenmesini amaçladığı çalışmada toprakların pH içeriği yönünden benzer sonuçlar ortaya koymuştur.

Araştırma topraklarının kireç içeriği örneklerde en düşük % 2.71 iken, en yüksek kireç içeriği % 64.23 olarak belirlenmiştir. Toprakların 0-20 cm derinliğindeki örneklerinin ortalama kireç içeriği % 22.55 iken 20-40 cm derinliklerde ise % 22.13 olup, iki derinlikte ortalama olarak % 22.34 bulunmuştur. Toprak örneklerinin Loeppert ve Suarez (1996)’ın bildirdiği değerlere göre kireç içerikleri kireçli ile çok fazla kireçli arasında değişmekle birlikte, toprakların % 7.50’si kireçli (% 1-5), % 27.50’si orta kireçli (% 5-15), % 30.00’u fazla kireçli (% 15-25) ve % 35.00’i ise çok fazla kireçli (% > 25) olarak görülmüştür (Çizelge 2). Aynı bölgede yapılan çalışmada, Yeter ve Yalçın (2020) Hatay ili Kırıkhan-Kumlu bölgesi topraklarının pH, kireç ve organik madde içeriklerinin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada benzer sonuçları rapor etmiştir. Yakın bir bölgede ise, Keleş Uzel ve Çimrin (2020) Gaziantep ili Nizip ilçesi zeytin bahçelerinin yaprak ve toprak örnekleri ile beslenme durumunun belirlenmesini amaçladıkları çalışmada benzer sonuçlar ortaya koymuşlardır.

**Çizelge2.** Hatay ili Reyhanlı-Kumlu bölgesi topraklarının pH, kireç ve organik madde içerikleri

Toprak No	Derinlik	pH	Kireç (%)	OM (%)	Bünye Sınıfı
1	0-20	7.69	25.80	1.04	C
	20-40	7.73	25.31	0.40	C
2	0-20	7.32	64.23	2.55	C
	20-40	7.39	63.14	2.65	C
3	0-20	7.44	59.91	2.89	C
	20-40	7.72	58.99	2.70	SiC
4	0-20	7.12	23.86	2.09	C
	20-40	7.65	22.91	1.43	C
5	0-20	7.70	28.84	1.82	C
	20-40	7.39	28.44	1.77	C
6	0-20	7.56	22.31	1.51	CL
	20-40	7.07	23.52	1.41	C
7	0-20	7.51	30.42	1.50	CL
	20-40	7.86	31.87	1.19	SiC
8	0-20	7.48	29.07	1.78	SiC
	20-40	7.96	29.52	1.70	C
9	0-20	7.75	29.15	1.61	SiC
	20-40	7.31	30.81	1.52	SiC
10	0-20	7.02	29.31	1.37	SiC
	20-40	7.34	28.84	1.60	SiC
11	0-20	7.84	28.60	1.53	SiC
	20-40	8.19	26.94	1.36	SiC
12	0-20	7.74	25.60	1.48	C
	20-40	8.10	25.68	1.69	C
13	0-20	7.74	25.83	1.27	C
	20-40	8.05	27.65	1.27	C
14	0-20	7.38	14.85	1.93	C
	20-40	8.44	15.49	1.83	C
15	0-20	7.86	15.41	1.71	C
	20-40	7.96	13.83	1.81	C
16	0-20	7.95	12.96	1.76	C
	20-40	7.91	12.69	1.52	C
17	0-20	7.34	12.67	1.63	C
	20-40	8.07	11.88	1.61	C
18	0-20	7.67	14.70	1.73	C
	20-40	8.11	7.28	1.85	C
19	0-20	8.06	15.27	2.09	C
	20-40	7.64	14.48	2.00	C
20	0-20	7.70	15.93	1.82	C
	20-40	7.74	15.59	1.30	C
21	0-20	7.24	14.67	2.08	SiC
	20-40	8.18	15.72	2.02	C
22	0-20	7.66	15.96	1.33	C
	20-40	7.98	16.91	1.21	C
23	0-20	7.52	15.49	1.24	C
	20-40	7.76	18.65	1.16	C
24	0-20	7.81	13.75	1.25	C
	20-40	8.13	13.91	1.40	C
25	0-20	6.92	13.19	1.41	C
	20-40	7.86	13.83	1.66	C
26	0-20	6.86	13.27	1.62	C
	20-40	7.61	12.96	1.52	C
27	0-20	7.42	16.99	1.48	C
	20-40	7.67	16.83	1.42	C
28	0-20	7.51	14.77	1.40	C
	20-40	7.27	14.22	1.80	C
29	0-20	7.90	12.64	1.61	C
	20-40	7.41	12.64	1.72	C
30	0-20	7.50	17.70	1.64	C

	20-40	8.07	16.04	0.94	C
31	0-20	7.54	13.93	1.06	C
	20-40	7.25	13.91	1.05	C
32	0-20	8.04	22.94	1.57	C
	20-40	7.81	21.65	2.00	C
33	0-20	8.17	23.36	1.53	C
	20-40	8.44	22.67	2.34	C
34	0-20	7.52	19.67	1.85	C
	20-40	7.79	19.20	1.75	C
35	0-20	8.01	41.93	1.49	C
	20-40	7.99	34.79	2.03	C
36	0-20	7.28	46.93	2.23	C
	20-40	8.12	47.80	2.59	C
37	0-20	8.08	47.82	2.40	C
	20-40	8.05	48.22	2.29	C
38	0-20	7.33	4.82	1.24	L
	20-40	7.13	4.50	1.20	L
39	0-20	7.21	4.54	1.00	L
	20-40	7.25	3.16	1.07	L
40	0-20	6.90	2.88	1.18	L
	20-40	7.99	2.71	1.26	L
<b>Min</b>		<b>6.86</b>	<b>2.71</b>	<b>0.40</b>	
<b>Max</b>		<b>8.44</b>	<b>64.23</b>	<b>2.89</b>	
<b>Ort. (Av.)</b>	<b>0-20</b>	<b>7.56</b>	<b>22.55</b>	<b>1.64</b>	
<b>Ort. (Av.)</b>	<b>20-40</b>	<b>7.78</b>	<b>22.13</b>	<b>1.62</b>	
	<b>Ort. (Av.)</b>	<b>7.67</b>	<b>22.34</b>	<b>1.63</b>	

Topraklarının organik madde içeriği örneklerde en düşük % 0.40 iken, en yüksek organik madde % 2.89 olarak belirlenmiştir. Toprakların 0-20 cm derinliğindeki örneklerinin ortalama organik madde % 1.64 iken 20-40 cm derinlikteki örneklerde ise % 1.62 olup iki derinlikte ortalama olarak % 1.63 bulunmuştur. Toprak örneklerinin Ülgen ve Yurtsever (1995)'in verdiği sınır değerlere göre organik maddeleri çok az ile orta arasında değişmekle birlikte, toprakların % 3.75'i çok az (% 0-1), % 78.75'i az (% 1-2) ve % 17.50'i ise orta (% 2-3) oranda organik madde görülmüştür (Çizelge 2).

Aynı bölge topraklarında yapılan bir çalışmada, Gökpnar ve Yalçın (2020) Hatay ili Arsuz bölgesi topraklarının pH, kireç, organik madde ve KDK içeriklerinin belirlenmesinin amaçlandığı çalışmada toprakların % 87'sine yakının az ile orta düzeyde organik madde içerdiğini ortaya koyarak toprakların organik madde içeriği yönünden benzer sonuçlar bildirmiştir. Yakın bir bölgede, Bozgeyik ve Çimrin (2020) Gaziantep ili Nizip ilçesini temsilen seçilen antepfıstığı bahçelerinin

beslenme durumlarını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada toprakların organik madde yönünden benzer sonuçlar ortaya koymuşlardır.

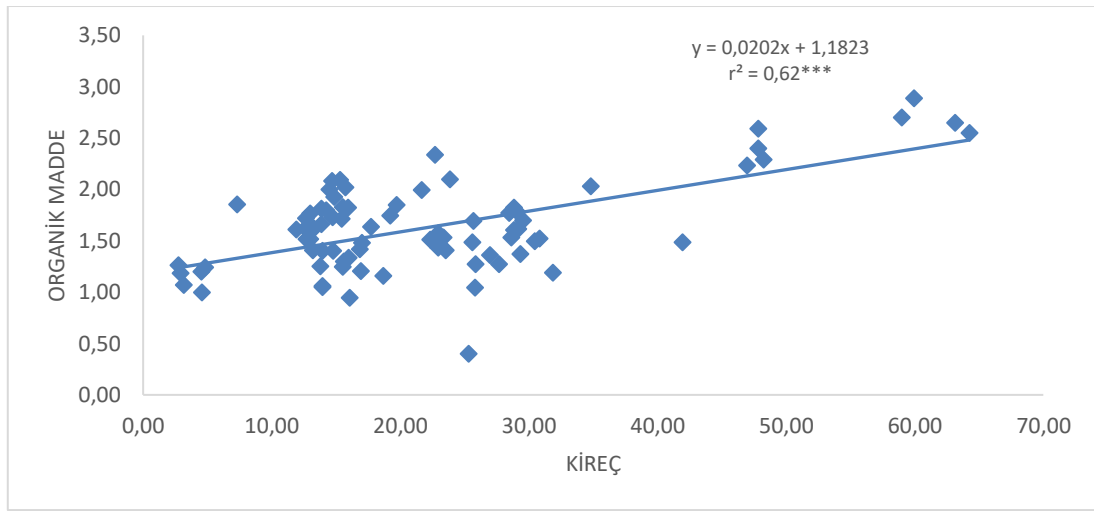
#### **Bazı Toprak Özellikleri (pH, Kireç ve Organik madde) Arasındaki İlişkiler**

Araştırma konusu toprak özelliklerinden pH, kireç ve organik madde içerikleri arasındaki ilişkiler Çizelge 3'de verilmiştir. Tablonun incelenmesinden de anlaşılacağı gibi kireç içeriği ile organik madde içeriği arasında pozitif önemli ( $r: 0.62^{***}$ ; Şekil 2) ilişki belirlenir iken pH içeriği ile kireç içeriği arasında herhangi bir ilişkiye rastlanamamıştır. Erdoğan Bayram (2019) Gediz havzası tütün tarımı yapılan toprakların bazı fiziksel-kimyasal özellikleri ile besin elementi içerikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinin amaçlandığı çalışmada toprakların kireç ile organik madde içeriği arasında pozitif önemli ilişki belirleyerek benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

**Çizelge 3.** Hatay ili Reyhanlı-Kumlu topraklarının pH, kireç ve organik madde özellikleri arasında önemli bulunan korelasyon katsayıları

	pH	Kireç %	Organik Madde %
pH	1.00		
Kireç (%)	0.08	1.00	
Organik Madde (%)	0.13	0.62***	1.00

\*\*\* 0.001 düzeyinde önemli



Şekil 2. Toprak örneklerinin kireç ve organik madde içerikleri arasındaki ilişki

#### 4. Sonuç

Hatay ili Reyhanlı-Kumlu bölgesindeki tarım topraklarının pH, kireç ve organik madde içeriklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan çalışmada, toprakların büyük çoğunluğunun pH içeriği yönünden nötr ile hafif alkalin reaksiyonlu, kireç içerikleri bakımından % 65'inde fazla ile çok fazla kireç içeren topraklara sahip, organik madde yönünden toprakların % 80'in üzerinde yetersiz organik maddeye ve bölge topraklarının % 90'nın kil ile siltli kil arasında bünyeye sahip topraklar oldukları belirlenmiştir. Araştırma konusu toprak içeriğinin tamamında pH 8.44'nın altında olmasına rağmen, bazı topraklarda bu sınıra yakın değerler olduğu görülmektedir. Özellikle bu topraklarda dikkatli olunması gerekmektedir. Bu nedenle; pH'nın daha fazla yükselmemesi ve hatta bir miktar düşürülmesi için araştırma alanı topraklarında özellikle gübre uygulamalarında; amonyum sülfat gibi asit içerikli gübreler tercih edilmelidir. Aynı zamanda çalışma alanı topraklarının kireç içeriklerinin çok yüksek olması Reyhanlı-Kumlu bölge toprakları açısından sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Toprakların organik madde içerikleri, çok çeşitli besin elementlerini içermesi ve gübre özelliğinin yanı sıra; toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini de önemli ölçüde iyileştirmektedir. Çalışma alanı topraklarının çok fazla yetersiz organik madde içeriğine sahip olması toprakların daha fazla çiftlik gübresi ile organik gübrelenmeye teşvik edilmelidir. Bu açıdan bakıldığında Reyhanlı-Kumlu bölge topraklarının organik madde içeriğinin yükseltilmesi hem toprakların verimliliği hem de sürdürülebilirliği bakımından büyük önem ortaya koymaktadır.

#### Teşekkür

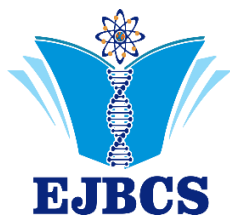
Bu çalışma MY'nin yürütücülüğündeki MKÜ BAP koordinatörlüğünün 19.YL.037 nolu projesi ile desteklenmiş olup projenin bir bölümünden türetilmiştir.

#### Kaynaklar

- Akalan İ. 1977. Toprak (oluşu, yapısı ve özellikleri). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 662, Ders Kitabı: 204, Ankara Üniversitesi Basımevi. 342 s.
- Alagöz Z, Yılmaz E, Öktüren F. 2006. Organik materyal ilavesinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkileri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (2): 245-254.
- Bozgeyik T, Çimrin KM. 2020. Gaziantep ili Nizip ilçesi antepfıstığı ağaçlarının yaprak ve toprak örnekleri ile beslenme durumunun belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 23 (3): 722-732.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F. 1987. Araştırma deneme metotları (istatistik metotları-II). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:1021, Ankara, 381s.
- Erdoğan Bayram S. 2019. Gediz havzası tütün tarımı yapılan toprakların bazı fiziksel-kimyasal özellikleri ile besin elementi içerikleri arasındaki ilişkiler. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (11): 1917-1923.
- Eren A. 2019. Kızıltepe yöresinde buğday tarımı yapılan toprakların bazı verimlilik durumlarının belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD), 8(1): 1-9.
- Gökpinar RC, Yalçın M. 2020. Hatay ili Arsuz bölgesi topraklarının pH, kireç, organik madde ve KDK içeriklerinin belirlenmesi. Eurasian Journal Bio Chem Sci., 3(1):31-37.
- Homeck DA, Hart JM, Topper K, Koepsell B. 1989. Methods of soil analysis used in the soil testing laboratory at Oregon State University. P 1-21. Agr. Exp. Sta. Oregon, USA.
- Kacar B. 1995. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri, III. Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No:3, Ankara.
- Keleş Uzel N, Çimrin KM. 2020. Gaziantep ili Nizip ilçesi zeytin bahçelerinin yaprak ve toprak örnekleri ile beslenme durumunun belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 23 (4): 1039-1053.
- Loeppert RH, Suarez DL. 1996. Carbonate and gypsum. in methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods, 437-474. Edited by D.L. Spark. Madison, Wisconsin, USA.



- Nelson RE. 1982. Carbonate and gypsum. methods of soil analysis part 2. chemical and microbiological properties second edition. Agronomy, No: 9 Part 2. Edition P: 191-197.
- Nelson DW, Sommers LE. 1982. Organic matter. methods of soil analysis part 2. chemical and microbiological properties second edition. Agronomy, No: 9 Part 2. Edition P: 574- 579.
- Ülgen N, Yurtsever N. 1995. Türkiye gübre ve gübreleme rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, Ankara.
- Sposito G. 1989. The chemistry of soils. Oxford University Press., 277 p.
- Tan KH. 1993. Principles of soil chemistry. Maarcel Dekker, Inc., 362 p.
- Yalçın M. 2020. Hatay ili Kırıkhan-Reyhanlı tarım topraklarının pH, kireç, organik madde ve KDK içeriklerinin belirlenmesi. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 2020: 4(3), 623-634.
- Yalçın M, Çimrin KM. 2017. Hatay İli Kırıkhan-Reyhanlı bölgesi çayır-mera topraklarının bor içeriği ve bazı toprak özellikleri ile ilişkilerinin belirlenmesi. Mesleki Bilimler Dergisi, 6(2): 201-210.
- Yeter K, Yalçın M. 2020. Hatay ili Kırıkhan-Kumlu bölgesi topraklarının pH, kireç ve organik madde içeriklerinin belirlenmesi. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 4(2): 150-158.



## Technological importance of asteroid mining

Senem Çabuk<sup>1\*</sup>, Nazım Çabuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ankara University, Faculty of Science, Department of Astronomy and Space Sciences, Ankara, Turkey.

<sup>2</sup>Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Physics Engineering, Ankara, Turkey.

\*Corresponding author : [secabuk@ankara.edu.tr](mailto:secabuk@ankara.edu.tr)  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-2772-7598>

Received : 26/12/2020  
Accepted : 01/10/2021

**Abstract:** With the ever-growing demands of the population and the ever-growing world of consumption and technology, the resources of the planet Earth are limited. Some of the Earth's major resources, such as metals and minerals needed to develop the technology and food industries, may be depleted within the next 40-50 years, based on known terrestrial reserves and increased consumption. For industrial and technological development of humanity, new discoveries are needed in future realization as well as future discoveries. Asteroids are celestial bodies of scientific importance to reveal the formation, chemical composition and evolution of the Solar System. As the name implies, "Near Earth Asteroids", metal have been found to be potentially close to possible because they are sufficiently close and can be found in precious metals and minerals. The reservoirs of important substances such as water, metals and semiconductors can be found in these celestial bodies. Although the Asteroids and the Earth are composed of the same elements, the Earth's relatively stronger gravity has attracted all the heavy elements to its core over time. An asteroid rain deprived of such valuable elements results in the formation of gold, cobalt, iron, manganese, molybdenum, nickel, osmium, palladium, platinum, rhenium, radium, ruthenium and tungsten elements (from the core to the surface). Today, these metals are extracted from the Earth's crust and are required for economic and technological advancements. Therefore, the geological history of the Earth can be a very good step for the future of asteroid mining.

**Keywords:** Asteroid mining, REEs, technology, metals, valuable asteroids.

© EJBCS. All rights reserved.

### 1. Introduction

Asteroids are celestial bodies that are of fundamental scientific importance for uncovering the formation, composition and evolution of the solar system (Badescu 2013). Mining an asteroid is a concept that even predates space programs, as an idea initially proposed in the early 20th century by Konstantin Tsiolkovsky. Recent analysis suggests that specially Near-Earth Asteroids (NEAs) are close enough and could contain billions of dollars worth of precious metals and minerals. Reservoirs of important substances such as water, metals and semiconductors can be found in these celestial bodies (Hellgren 2016).

The extraction of volatiles is currently the most realistic near-term asteroid mining application. Therefore, several concepts for extraction and supply of water were developed recently (Badescu 2013). These concepts consider water extraction for refueling of spacecraft, radiation shielding, and potable water for life support systems in outer space (Hellgren 2016).

In the last twenty years, a vast amount of data and results from space missions have been collected. Observations

from spacecraft are mainly used to complement theories and findings which were deduced from ground based asteroid data (Badescu 2013). Although a full-scale exploitation of space resources has not been achieved yet, some minimal asteroid samples have been retrieved for analysis and testing on earth. The number of discovered NEAs goes beyond 15000, with an average of 30 new asteroids discovered per week (<https://www.nasa.gov/planetarydefense/faq/>). However, estimates from ground-based observations do not guarantee the accurate composition of asteroid candidates. Therefore, spacecraft are required for in-situ measurements complementing the data and establishing a clear candidate for exploitation. Current missions for asteroid mining consider spacecraft prospection as a first step before the extraction process. Prospection itself usually falls into three different phases (Badescu 2013): discovery, remote characterization, local characterization. These last two characterization phases are endeavors are endeavors currently pursued by asteroid mining companies using small spacecraft (<https://www.planetaryresources.com/missions/arkyd-301/>). However, recent advances in the miniaturization of spacecraft components and mining equipment may allow

for a more cost effective and reliable approach to mine NEAs overall (Calla et al., 2018).

In this article we briefly discussed the need for asteroid mining for materials required by technology.

The Keck Institute of Space Studies mentions that there are five categories of benefits from the return of an asteroid sample or a full asteroid retrieval, which are:

- 1) Synergy with near-term human exploration,
- 2) Expansion of international cooperation,
- 3) Synergy with planetary defense,
- 4) Exploitation of asteroid resources,
- 5) Public engagement.

Two major companies, Planet Resources (PR) and Deep Space Industries (DSI), plan to evaluate, explore and collect space resources. These resources include metals, water, and many useful elements for development and construction, both in space and on Earth. Both companies make credible claims about how they will achieve their goals (Hellgren 2016).

Although the history of the idea of asteroid mining is a hundred years old, realistic and concrete studies on this subject have started in our very recent past. Although its foundations were laid primarily with official institutions such as NASA, ESA and JAXA, private companies are currently directing and supporting serious studies on this issue.

For nearly 60 years, NASA dominated space, but a revolution began when they gave up low-earth orbit to private companies like SpaceX and Planet Labs. Fast-moving startups have increased innovation and lowered costs in unprecedented ways.

Planetary Resources Corporation runs the world's first commercial deep space exploration program. The aim is to determine the critical water resources necessary for human civilization to have a say in a wide region in space.

Water as a resource is the first step towards creating a civilization in space. Water is used for life support functions and can also be refined for propellants used in rockets. PR Company's primary goal is to identify asteroids containing the best water source and simultaneously provide vital information needed to construct a commercial mine that will collect water for use in space (<https://www.planetaryresources.com/>).

Planetary Resources Company aims to be the leading resource provider for astronauts and needed resources in space with the aim of detecting, extracting and refining resources in near-Earth asteroids. The company's first technological satellite, Arkyd-3, was launched from Cape Canaveral in 2015 and deployed to the International Space Station. This spacecraft data collection will include global hydration mapping and underground extraction displays to determine the amount of water and the value of available resources. The information gathered will allow the PR

company to design, build and operate the first commercial mine in space

(<https://www.planetaryresources.com/missions/arkyd-301/>).



**Fig. 1** Arkyd-3 satellite

Deep Space Industries, or DSI, is a privately owned American company operating in the space technology and space exploration industries. Deep Space is the second company established to deal with asteroid mining. DSI develops and builds spacecraft technology that enables private companies and government agencies to access their destinations throughout the solar system. The stated goal of DSI is to democratize deep space access by fundamentally changing the deep space access paradigm and greatly reducing cost (<http://deepspaceindustries.com/>).



**Fig. 2** Xplorer spacecraft

The first of DSI's 2 major projects, Xplorer is designed to do something that no spacecraft has ever done: it uses its propulsion system to autonomously navigate from a given coordinate on Earth from low Earth orbit (LEO). This spacecraft is designed to be deployed in low earth orbit to take advantage of its relatively low cost and high commercial value. With this capability, it provides many research and high delta-V applications for geosynchronous orbit, as far away as Mars and near-Earth asteroids (<http://deepspaceindustries.com/>).

## 2. What is An Asteroid?

Asteroid, any of the many small rocky or metallic objects in the Solar System, mostly lying in a zone (the asteroid belt) between the orbits of Mars and Jupiter; also known as a minor planet. They range in diameter from almost 1000 km for Ceres down to less than 10 m for the smallest so far detected. The total mass of all asteroids is  $4 \times 10^{21}$  kg, about one-twentieth the mass of the Moon (Oxford, A Dictionary of Astronomy, 2018). They are made from different kinds of rock and metals, with the metals being mostly Ni and Fe. Some of them called "minor planets" but they are smaller than the planets or their moons. Since Chladni (1794) published "On the Origin of the Pallas Iron and Others Similar" to it, and on "Some Associated Natural Phenomena" and made plausible the hypothesis that rocks could fall from the sky, the definition of the word meteorite has remained essentially unchanged, as reflected in the ten quotations given above. Nearly all modern reference works use a similar definition. Meteorites are almost always defined to be solid bodies that have fallen through the Earth's atmosphere and landed on the Earth's surface (Rubin and Grossman 2010).

## 3. Classification of Asteroids

The first more complete asteroid taxonomy was based on a synthesis of polarimetry, radiometry, and spectrophotometry, using a survey of 110 asteroids. The defined a class C for dark carbonaceous objects, a class with the label S for siliceous objects, and X for objects that did not fit either class. This system has the disadvantage that it was not detailed enough and is based on the exclusion principle. The groundwork for the most complete taxonomy, that significantly expands the previous taxonomy has been proposed by Tholen (Tholen 1984).

Asteroids are divided into three categories according to their structure.

### 3.1. C-type

C-type (carbonaceous) asteroids are the most common variety, forming around 75% of known asteroids. They are distinguished by a very low albedo because their composition includes a large amount of carbon, in addition to rocks and minerals. They occur most frequently at the outer edge of the asteroid belt, 3.5 astronomical units (AU) from the Sun, where 80% of the asteroids are of this type, whereas only 40% of asteroids at 2 AU from the Sun are C-type. The proportion of C-types may actually be greater than this, because C-types are much darker (and therefore less detectable) than most other asteroid types except and others that are mostly at the extreme outer edge of the asteroid belt (Binzel et al., 1989).

The C symbol in the asteroid species represents carbon and the surface of such asteroids is almost as black as coal. This type of asteroid contains large amounts of rock and metals, as well as large amounts of carbon molecules. They are very similar in composition to carbonaceous 'chondrite' meteorites. Hydrated minerals are present in C-type asteroids. These meteorites are thought to be fragmented during collisions between C-type asteroids.

### 3.2. S-type

Accounts for about 17 percent of known asteroids. Relatively bright with an albedo of 0.10-0.22. Composition is metallic iron mixed with iron- and magnesium-silicates. S-type asteroids dominate the inner asteroid belt (<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/text/asteroids.txt>).

The S-asteroid class includes a number of distinct compositional subtypes [designated S(I)-S(VII)] which exhibit surface silicate assemblages ranging from pure olivine (dunites) through olivine-pyroxene mixtures to pure pyroxene or pyroxene-feldspar mixtures (basalts). S-asteroid absorption bands are weaker than expected for pure silicate assemblages, indicating the presence of an additional phase, most probably FeNi metal, although the abundance of metallic or feldspar components is not well constrained. The diversity within the S-class probably arises from several sources, including the coexistence of undifferentiated, partially differentiated, and fully differentiated objects within the general S-asteroid population and the exposure of compositionally distinct units from within metamorphosed and partially and fully differentiated parent bodies (Gaffey 1993). These asteroids have abundant Fe, Ni, Mg, Mo, Al, Ti and Co elements on their surface. In addition, Au, Pt and Ra are also very abundant. Because its composition resembles our planet, It is possible to build structures in space without taking material from Earth.

### 3.3. M-type

M-type asteroids are asteroids of partially known composition; they are moderately bright (albedo 0.1-0.2). Some are made of nickel-iron, either pure or mixed with small amounts of stone. These are thought to be pieces of the metallic core of differentiated asteroids that were fragmented by impacts and are thought to be the source of iron meteorites. M-type asteroids are the third most common asteroid type (Rivkin et al., 2000).

M-type spectra are flat to reddish and usually devoid of large features, although subtle absorption features longward of 0.75  $\mu\text{m}$  and shortward of 0.55  $\mu\text{m}$  are sometimes present (Bus and Binzel 2000).

16 Psyche is the largest M-type asteroid. 21 Lutetia, probably non-metallic object, was the first M-type asteroid to be imaged by a spacecraft when the Rosetta space probe visited it on July 10, 2010. Another M-type asteroid, 216 Kleopatra, was imaged by radar by the Arecibo Observatory in Puerto Rico and has a dog bone-like shape (Lupishko et al., 1982).

There is abundant evidence, from telescope observations and meteorite samples, that the strength and porosity of near-Earth objects (NEOs) is related to taxonomic type and mineral composition, with carbonaceous C-type asteroids expected to be more porous and less robust than siliceous S types or M types. Impact events also suggest that there is wide diversity in the structural robustness of impactors, with airbursts caused by objects that disrupt violently in the atmosphere, while similarly sized objects with a largely metallic composition have a relatively high density and

strength and can reach the ground to form a crater (e.g., Barringer Crater, Arizona), thus causing much greater damage. Furthermore, there is currently considerable interest in the potential of NEOs as sources of raw materials, including various metals, for future activities in space and, eventually perhaps, for use on Earth. NASA's Asteroid Redirect Mission concept involves capturing a small asteroid and returning it to lunar orbit for investigations of relevance to planetary defense and resources exploitation.

For these reasons it is important to improve our knowledge of the mineralogical compositions of asteroids, and their potential as future sources of economically valuable raw materials. In this context we note that while the missions Hayabusa (Fujiwara et al., 2006) and Stardust (Brownlee et al., 2006) have returned material samples to Earth from the S type NEO Itokawa and comet 81P/Wild 2, respectively, and further sample-return missions (e.g., Hayabusa-2: Saiki et al., 2013; OSIRIS-REx: Lauretta et al., 2012), are currently under development, no object thought to be metal rich is amongst their targets. Furthermore, due to their robustness and ability to survive passage through the atmosphere, metallic objects are disproportionately well represented in meteorite collections on Earth. Understanding the true number of metal rich objects in the solar system remains a longstanding problem.

#### 4. Asteroid Mining

Asteroid mining offers the possibility to revolutionize supply and availability of many resources vital for human civilization. Analysis suggests that Near-Earth Asteroids (NEA) contain enough volatile and high value minerals to make the mining process economically feasible (as shown in Table 1). Considering possible applications, specifically the mining of water in space has become a major focus for near-term options. Most proposed projects for asteroid mining, however, involve spacecraft based on traditional designs resulting in large, monolithic and expensive systems (Calla 2018).

Asteroid mining has been proposed as an approach to complement Earth-based supplies of rare earth metals and supplying resources in space, such as water. However, existing studies on the economic viability of asteroid mining have remained rather simplistic and do not provide much guidance on which technological improvements would be needed for increasing its economic viability. Both, in-space resource provision such as water and return of platinum to Earth are considered (Hein et al., 2018).



Fig. 3 Platinum Group Metals (PGMs)

Existing research on asteroid mining has mainly looked into its economic viability technological feasibility, cartography of asteroids and legal aspects. More recently, environmental arguments for asteroid mining have been made, in particular with regards to platinum group metals (Hein et al. 2018).

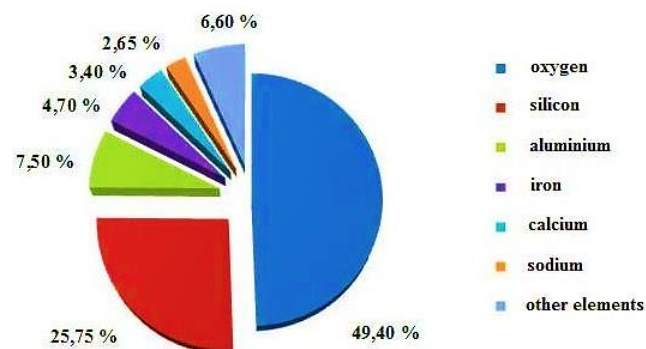


Fig. 4 Percentage distribution of elements on earth (Helešicová M., 2014)

Although the asteroids and Earth were composed of the same elements, the relatively stronger gravity of the Earth attracted all the heavy elements to its core in its molten youth more than four hundred years ago. An asteroid rain, deprived of such valuable elements, produces gold, cobalt, iron, manganese, molybdenum, nickel, osmium, palladium, platinum, rhenium, radium, ruthenium and tungsten (in a flow from the core to the surface) (Brenan and McDonough 2009). Today, these metals are extracted from the Earth's crust and are essential for economic and technological advances. Therefore, the geological history of the Earth can be a very good stage for the future of asteroid mining.

Earth-approaching asteroids could provide raw materials for space manufacturing. For certain asteroids the total energy per unit mass for the transfer of asteroidal resources to a manufacturing site in high Earth orbit is comparable to that for lunar materials. For logistical reasons the cost may be many times less. Optical studies suggest that these asteroids have compositions corresponding to those of carbonaceous and ordinary chondrites, with some containing large quantities of iron and nickel; others are thought to contain carbon, nitrogen, and hydrogen, elements that appear to be lacking on the moon. The prospect that several new candidate asteroids will be discovered over the next few years increases the likelihood that a variety of asteroidal resource materials can be retrieved on low-energy missions (O'Leary 1977).

#### 5. Why is Asteroid Mining Needed?

The exploitation of asteroids, and in particular Near Earth Asteroids (NEAs) has been repeatedly proposed as a source of resources for Earth and space (Lewis 1996). Ross (2001), distinguishes between metals and volatiles as resources along with their use in a variety of applications such as construction, life support systems, and propellant. In particular, volatiles have received attention for in space use, due to their relative ease of extraction. For example, Calla et al., (2018) explored the technological and economic viability of supplying water from NEAs to cislunar orbit.



**Table 1** 10 most valuable asteroids according to ASTERANK (Asteroid Database and Mining Rankings) database

Name	Type	Value (\$)	Est. Profit (\$)	Group
Davida	C	>100 trillion	>100 trillion	MBA
Chicago	C	>100 trillion	>100 trillion	OMB
Alauda	B	>100 trillion	>100 trillion	MBA
Diotima	C	>100 trillion	>100 trillion	MBA
Palma	B	>100 trillion	>100 trillion	MBA
Winchester	C	>100 trillion	>100 trillion	MBA
Kreusa	C	>100 trillion	>100 trillion	MBA
Stereoskopia	C	>100 trillion	>100 trillion	OMB
Chiron	Cb	>100 trillion	>100 trillion	CEN
Siegena	C	>100 trillion	>100 trillion	MBA

Only resources with a high value to mass ratio are interesting, due to the high cost of returning such material. Therefore, high-value metals such as rare earth metals and in particular the subgroup of platinum group metals have been the subject of mining studies (Andrews et al., 2015). The supply of rare earth metals is crucial for many “green technologies” such as fuel cells, catalyzers, high capacity batteries, and solar cells. As shown in Table 2 more accessible than the Moon, near-Earth asteroids are comprised of natural resources that will accelerate humanity’s exploration and development of deep space.

**Table 2** Semi-major axis (a), eccentricity (e) and Minimum-Orbit Intersection Distance (MOID) values of the 10 most valuable asteroids (Asteroid Database and Mining Rankings database)

Name	a (AU)	e	$\Delta v$ (km/s)	MOID (AU)
Davida	3.165	0.188	11.145	1.593070
Chicago	3.890	0.024	11.704	2.782950
Alauda	3.192	0.017	12.758	2.120800
Diotima	3.066	0.036	11.224	1.942490
Palma	3.150	0.259	11.988	1.446870
Winchester	3.006	0.339	10.423	1.088250
Kreusa	3.167	0.158	10.791	1.704160
Stereoskopia	3.376	0.119	10.768	1.978950
Chiron	13.669	0.380	11.922	7.471030
Siegena	2.900	0.169	11.557	1.440160

The rare earth elements (REE) form the largest chemically coherent group in the periodic table. Though generally unfamiliar, the REE are essential for many hundreds of applications. The versatility and specificity of the REE has given them a level of technological, environmental, and economic importance considerably greater than might be expected from their relative obscurity.

High-technology and environmental applications of the rare earth elements (REEs) have grown dramatically in diversity and importance over the past four decades. As many of these applications are highly specific, in that substitutes for the REEs are inferior or unknown, the REEs have acquired a level of technological significance much greater than expected from their relative obscurity. Although actually more abundant than many familiar industrial metals, the REEs have much less tendency to become concentrated in exploitable ore deposits. Consequently, most of the world’s supply comes from only a few sources (Haxel et al. 2002).

The diverse nuclear, metallurgical, chemical, catalytic, electrical, magnetic, and optical properties of the REEs have led to an ever-increasing variety of applications. The material required by all technological devices to be developed in these areas will not be able to meet the needs of the growing population. At this point, demands can be met by asteroid mining.

Extraterrestrial resources should be the basic sources of materials for the development of humankind civilization in space as well as they could replace the Earth’s resources when they would be exhausted. They can be obtained from the planets, their moons or asteroids, primarily NEOs but also from the asteroid belt. Taking into account the homogenous spatial distribution of metallic grains (proved by author’s microscopic observations) and knowing the amount of FeNi minerals in rocks with H chondrite composition, the amount of potential FeNi resources on H parent bodies can be calculated. It was estimated that the iron resources from Hebe’s FeNi minerals would cover 1.3 million years of terrestrial mining production whereas nickel resources would last for approximately 100 million years. A small NEO asteroid like (143624) 2003 HM16 (2 km in diameter) has resources comparable with 15 months of mining iron production and over 100 years of nickel production at present rate (Blutstein et al., 2018).

Many applications of REE are characterized by high specificity and high unit value. For example, color cathode-ray tubes and liquid-crystal displays used in computer monitors and televisions employ europium as the red phosphor; no substitute is known. Owing to relatively low abundance and high demand, Eu is quite valuable—\$250 to \$1,700/kg (for Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) over the past decade.

Fiber-optic telecommunication cables provide much greater bandwidth than the copper wires and cables they have largely replaced. Fiber-optic cables can transmit signals over long distances because they incorporate periodically spaced lengths of erbium-doped fiber that function as laser amplifiers. Er is used in these laser repeaters, despite its high cost (~\$700/kg), because it alone possesses the required optical properties (Haxel et al. 2002).

## 6. Conclusion

We need to learn about the mineral ratios of asteroids and those that are future economically valuable raw materials. In this context, the Hayabusa (Fujiwara et al., 2006) and Stardust (Brownlee et al., 2006) projects returned material samples from the S-type NEO Itokawa and comet 81P /



Wild2 to the Earth and took more samples, respectively. These tasks (eg Hayabusa-2: Saiki et al., 2013; OSIRIS-REx: Lauretta et al., 2012) are currently under development and are not intended to generate economic profit. The approximate number of metal-rich asteroids has been investigated for a very long time.

Permanent magnet technology has been revolutionized by alloys containing Nd, Sm, Gd, Dy, or Pr. Small, lightweight, high-strength REE magnets have allowed miniaturization of numerous electrical and electronic components used in appliances, audio and video equipment, computers, automobiles, communications systems, and military gear. Many recent technological innovations already taken for granted (for example, miniaturized multi-gigabyte portable disk drives and DVD drives) would not be possible without REE magnets.

Environmental applications of REE have increased markedly over the past three decades. This trend will undoubtedly continue, given growing concerns about global warming and energy efficiency. Several REE are essential constituents of both petroleum fluid cracking catalysts and automotive pollution-control catalytic converters. Use of REE magnets reduces the weight of automobiles. Widespread adoption of new energy-efficient fluorescent lamps (using Y, La, Ce, Eu, Gd, and Tb) for institutional lighting could potentially achieve reductions in U.S. carbon dioxide emissions equivalent to removing one-third of the automobiles currently on the road. Large-scale application of magnetic-refrigeration technology also could significantly reduce energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions (Haxel et al., 2002). These rare earth elements can be abundantly obtained through asteroid mining and used for future technology.

Although it will reduce employment within the traditional labor-intensive mining industry, it will also provide the opportunity for a technological development boost that will spawn entirely new job sectors. Society will also benefit from new capabilities arising from increased access to previously rare materials (Welch 2010).

There are more than 16,000 asteroids close to Earth. Asteroids serve as a station for life in space and include resources to carry a new journey and the continuation of the human generation to different planets. With asteroid mining technologies, not only the Earth, but also planets from every corner of the universe will be candidates to be our home.

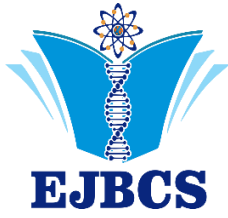
### Acknowledgements

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### References

Badescu V. 2013. Asteroids: prospective energy and material resources, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.  
 Binzel RP, Farinella P, Zappala V, Cellino A. 1989. Asteroid rotation rates-distributions and statistics. IN: Asteroids II; Proceedings of the Conference, Tucson, AZ, Mar. 8-11, 1988 (A90-27001 10-91). Tucson, AZ, University of Arizona Press, 1989, p. 416-441.

Blutstein K, Przylibski TA, Łuszczek K. 2018. Zawartość minerałów FeNi w chondrytach H jako wskaźnik zasobności pozaziemskich skał rudonośnych w wybrane metale Concentration of FeNi minerals in H chondrites as an indicator of extraterrestrial ore-bearing rocks wealth in selected metals *Przeład Geologiczny*, 66(12):776-784.  
 Brennan JM, McDonough WF. 2009. Core formation and metal-silicate fractionation of osmium and iridium from gold. *Nat Geosci*, vol 658:798-801.  
 Brownlee D, Tsou P, Aléon J, Alexander CM O'D, Araki T, Bajt S, Baratta GA, Bastien R, Bland P, Bleuet P. 2006. Comet 81P/Wild 2 Under a Microscope. *Science* 314(5806):1711-6.  
 Bus SJ, Binzel RP. 2002. Phase II of the small main-belt asteroid spectroscopic survey. A Feature-Based Taxonomy. *Icarus* 158(1):106-145.  
 Calla P, Fries D, Welch C. 2018. Asteroid mining with small spacecraft and its economic feasibility. *Acta Astronautica*, eprint arXiv:1808.05099.  
 Cohen M. 2007. Networks of absolute calibration stars for SST, AKARI, and WISE. The Future of Photometric, Spectrophotometric and Polarimetric Standardization, ASP Conference Series, 364:333-353.  
 Fujiwara, A., Kawaguchi, J., Yeomans, D. K., Abe, M. and Mukai, T. 2006. The Rubble-Pile Asteroid Itokawa as Observed by Hayabusa. *Science*, vol 312.  
 Haxel GB, Hedrick JB, Orris GJ. 2002. Rare earth elements—critical resources for high technology. U.S. Geological Survey Fact Sheet 087-02.  
 Hellgren V. 2016. Asteroid mining: A review of methods and aspects. B.S. thesis, Lund University.  
 Lauretta DS, Barucci MA, Bierhaus EB, Brucato JR, Campins H, Christensen PR, Clark BC, Connolly HC, Dotto E, Dworkin JP, Emery J, Garvin JB, Hildebrand AR, Libourel G, Marshall JR, Michel P, Nolan MC, Nuth JA, Rizk B, Sandford SA, Scheeres DJ, Vellinga JM. 2012. The OSIRIS-REx mission—sample acquisition strategy and evidence for the nature of regolith on asteroid (101955) 1999 RQ36. *Asteroids, Comets, Meteors 2012*, Proceedings of the conference held May 16-20, 2012 in Niigata, Japan. LPI Contribution No. 1667, id.6291.  
 Norton OR. 2002. *The Cambridge encyclopedia of meteorites*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp. 374. ISBN 0521621437.  
 O'Leary B. 1977. Mining the Apollo and Amor asteroids. *Science* 197, no. 4301 (1977): 363-66.  
 Rubin AE, Grossman JN. 2010. Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions. *Meteorit Planet Sci*, 45:114-122.  
 Saiki T, Sawada H, Okamoto C, Yano H, Takagi Y, Akahoshi Y, Yoshikawa M. 2013. Small carry-on impactor of HAYABUSA-2 mission. *Acta Astronautica*. 84. 227-236. 10.1016/j.actaastro.2012.11.010.  
 Tholen DJ. 1984. Asteroid Taxonomy From Cluster Analysis Of Photometry. Ph.D. Thesis, University of Arizona, Tucson, 1984, 166 pp.  
 Welch C, Yi S, Lasslop A. 2010. Asteroid mining technologies roadmap and applications (ASTRA). International Space University Space Studies Program 2010 Graffenstaden-France.



## Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences

Journal homepage: [www.dergipark.org.tr/ejbc](http://www.dergipark.org.tr/ejbc)



### Reflections to our Lives in Nanotechnology Applications

Zülfü Tüylek<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Malatya Turgut Özal University, Electronics and Automation Department, Malatya, Turkey

\*Corresponding author : [zulfu.tuylek@ozal.edu.tr](mailto:zulfu.tuylek@ozal.edu.tr)  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-9086-1327>

Received : 03/04/2021  
Accepted : 01/10/2021

**Abstract:** New technologies are developed by transforming basic sciences, education, research, production transition and technology transfer elements into new and useful products. Thanks to new technologies, academics, students, industrial researchers and manufacturers come together in collaborative work areas. It is seen that different technologies have emerged thanks to this approach. Thanks to these collaborations to be developed, advanced technologies will emerge. Thanks to the collaborations to be developed, advanced technologies emerge. One of the technologies that emerged in this way is nanotechnology. Today scientists have the view that nanotechnology will radically change human life. This raises awareness of current developments and applications in nanotechnology. It is also seen as a technological development that will guide future technologies. For this purpose, in recent years, it has been observed that nanotechnology-based drug delivery systems have begun to be applied to intra-nasal drug delivery in order to overcome the various limitations that arise during mucosal administration. Thanks to developments in these practices, progress has been made in moving to the stage where Effective Drug Delivery is possible. Vaccines and therapeutic drugs, developed on the basis of nanomedicine and currently undergoing clinical trials, offer the potential to be innovative alternatives to combat COVID-19.

Nanotechnology acts under the dynamic conditions that create and develop it, and this is very important for its development. It is seen that the year confronted with the production processes, which are a top stage without fully completing their development. This is seen as a disadvantage in terms of new technologies. Considering that this technology is still in its infancy all over the World and causes various social pains even in developed countries, the presence of negativities is normally accepted.

In this article, developments in nanotechnology in many fields such as structural materials, food and agriculture, nano Safety, Environment and water, health field, which stand out with their dynamic and interdisciplinary structure, will be discussed through literature review.

**Keywords:** Nanotechnology, Nano dimension, Nanomedicine, Nano application, Nanotechnological effect

### *Nanoteknoloji Uygulamalarında Hayatımıza Yansımalar*

**Özet:** Temel bilimler, eğitim, araştırma, üretim geçişi ve teknoloji transferi unsurlarını yeni ve faydalı ürünlere dönüştürerek yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Yeni teknolojiler sayesinde akademisyenler, öğrenciler, endüstriyel araştırmacılar ve üreticiler ortak çalışma alanlarında bir araya geliyor. Bu yaklaşım sayesinde farklı teknolojilerin ortaya çıktığı görülmektedir. Geliştirilecek bu işbirlikleri sayesinde ileri teknolojiler ortaya çıkacaktır. Bu şekilde ortaya çıkan teknolojilerden biri de nanoteknolojidir. Bugün bilim adamları nanoteknolojinin insan yaşamını kökten değiştireceği görüşüne sahiptir. Bu da nanoteknolojideki güncel gelişmeler ve uygulamalar hakkında bir farkındalık yaratır. Aynı zamanda gelecekteki teknolojileri yönlendirecek bir teknolojik gelişme olarak da görülmektedir. Bu amaçla son yıllarda mukozal uygulama sırasında ortaya çıkan çeşitli sınırlamaların üstesinden gelmek için nanoteknoloji tabanlı ilaç verme sistemlerinin burun içi ilaç dağıtımına uygulanmaya başlandığı gözlenmiştir. Bu uygulamalardaki gelişmeler sayesinde etkili ilaç teslimatının mümkün olduğu aşamaya geçme konusunda ilerleme sağlanmıştır. Nanotıp temelinde geliştirilen ve şu anda klinik denemelerden geçen aşilar ve terapötik ilaçlar, COVID-19 ile mücadele için yenilikçi alternatifler olma potansiyeli sunuyor.

Nanoteknoloji, kendisini yaratan ve geliştiren dinamik koşullar altında hareket eder ve bu onun gelişimi için çok önemlidir. Tam anlamıyla gelişimlerini tamamlamadan bir üst aşama olan üretim işlemleri ile karşı karşıya kaldıkları görülmektedir. Bu durum, yeni teknolojiler açısından bir dezavantaj olarak görülmektedir. Bu teknolojinin tüm dünyada henüz emekleme aşamasında olduğu ve gelişmiş ülkelerde bile çeşitli sosyal sancılara neden olduğu düşünüldüğünde, olumsuzlukların bulunması normal olarak kabul edilmektedir.

Bu makalede, dinamik ve disiplinler arası yapısı ile öne çıkan yapısal malzemeler, gıda ve tarım, nano güvenlik, çevre ve su, sağlık alanı gibi birçok alanda nanoteknolojideki gelişmeler literatür taraması yapılarak tartışılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoteknoloji, Nanoboyut, Nanotıp, Nano Uygulama, Nanoteknolojik Etki

## 1. Giriş

Nanoteknoloji, günümüzün ileri teknolojilerini kullanarak birçok yeniliği beraberinde getiriyor. Nanoteknoloji, giydiğiniz giysiler ve güneş gözlüklerinden bilgisayar sabit disklerine ve hatta temizlik ürünlerine kadar "genellikle doğal dünyadan ilham alan" birçok tanınmış ürünün üretiminde önemli bir rol oynar (Lines 2008). Doğanın nanoteknolojisini taklit etmek günümüz teknolojilerinde önemli bir görev haline gelmiştir. Giydiğimiz giysilerden, hastalandığımızda kullandığımız ilaçlara kadar, içinde yaşadığımız dünyayı değiştirme kabiliyetine sahip bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Flippino ve Sutherland 2013). Nanoteknolojinin varlığı, sürtünmeyi azaltmak için uçanın yüzeyini kaplayan nanopartiküllerden otel havuzunun temizlenme şekline kadar farklı alanlarda hissedilir. Nanoteknolojinin evlerimizde modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline geldiği de görülüyor. Yani elinizi uzatırsanız, nanoteknolojiyi kullanan teknoloji sayesinde geliştirilmiş birçok şeyi kesinlikle yakalarsınız. Ancak çoğu zaman bu durum bizim tarafımızdan fark edilemez (Körözlü 2016).

Nanoteknoloji, 1 nanometre (nm) ile 100 nanometre (nm) arasındaki yapıları içeren bir teknolojidir. Başka bir deyişle, bu nanoyapıların uygulama aralığı 1-100 nm arasındadır. Teknolojiyi anlamak için, nano ölçekli boyutlarda bunun ne anlama geldiğini düşünmeden önce onu başka bir boyutla karşılaştırmak en iyisi olacaktır (Tolochko 2009). Nano boyutu daha iyi anlamak için, insan saç kalınlığı ile bir karşılaştırma yapmak yerinde olacaktır. Bir insan saçının çapı ortalama 80.000 nanometredir. Karşılaştırma yaptığımızda 80.000 nanometrenin bir saç teline sığması anlamına geldiği görülmektedir. O halde 1 metre yüksekliğinde bir nesne düşünelim. Bu cisimde böyle bir yüksekliğe ulaşmak için 1 milyar nanometre parçacığın üst üste yerleştirilmesi gerekiyor (Appenzeller 1991).

Nanoteknoloji, yaşamımızın birçok alanında bizi derinden etkileyebilecek hatta yeni bir çağ açabilecek bir gelişmedir. Bugün bu teknoloji çağımızın yeni sanayi devrimi olarak tanımlanıyor. "Nano" kelimesi "fiziksel miktarın milyarda biri" olarak tanımlanır. Nanoteknoloji, maddenin 1 ila 100 nanometre arasındaki davranışını anlama ve kontrol etme bilimidir (Tolochko 2009). Nanomalzemelerin davranışı ve yapısal özelliklerinin kontrolü birçok alanda radikal yeniliklere yol açmaktadır. Nanomalzemeleri büyük parçacıklara sahip malzemelerden ayıran sadece nanopartiküllerin büyüklüğü değildir. Kimyasal reaktivite, enerji absorpsiyonu ve biyolojik hareketlilik açısından farklı yapısal özellikler gösterirler. Nanoteknolojiyi bu kadar ilginç kılan şey, malzemeler nano ölçekte olduğunda, makro dünyadan ve hatta mikro dünyadan farklı davranışlarıdır (Tarhan ve ark. 2010). Günümüz kullanım alanlarını incelediğimizde, sağlık, ilaç endüstrisi, tekstil, elektronik, otomotiv, gıda ve uzay gibi farklı alanlardan birçok ürünün geliştirildiği görülmektedir (Serena 2016).

Günümüzde kullanılan ileri nanoteknolojileri incelediğimizde, çeşitli alanlarda uygulamaları olduğu görülmektedir. Sağlık alanındaki uygulamaları incelediğimizde hayal bile edilemeyecek birçok farklı

gelişme olduğu görülmektedir. Bu işlemin bir sonucu olarak, ilaç salım sistemleri (aşılar ve terapötik ilaçlar) hastalıkları iyileştirir ve insan vücuduna zarar vermeden kaybolur (Yang ve ark. 2015). Nanopartiküller kullanarak hastalıkların tedavisi hedeflenen araştırmalardan biridir. SARS-CoV-2 enfeksiyonu ile ilgili veriler SARS-CoV-2'nin asemptomatik bulaşmasını gösterdiğinden aşilar önemlidir (Luo ve ark. 2017). Ayrıca, aşiların ve terapötiklerin geliştirilmesi, SARS-CoV-2 enfeksiyonu ile mücadele etmek ve enfekte hastaları tedavi etmek için en cazip seçenektir. Bilim adamları ve doktorlar, tam viral doğayı, enfeksiyon modunu, bulaşma modunu, önleme, immüno-patojenik mekanizmaları ve en etkili tedavi stratejilerini araştırmak ve deşifre etmek için sürekli çalışıyorlar. Bu nedenle şimdiye kadar, bilim adamları yeni nano tabanlı teknolojiler de dahil olmak üzere uygun nano aşiları ve tedavi seçeneklerini hızlı bir şekilde tanımlamak ve geliştirmek için çalışıyorlar (Sahu ve ark. 2020). Gelecekte bu çalışmalar, tıp alanında etkili bir şekilde kullanılacaktır. Bu amaçla araştırmacılar, doğadaki nanoyapılar hakkında daha fazla bilgi edinmeyi amaçlıyorlar Doğadaki atomik dizilim ilkesini taklit etme üzerine kurulan çalışmalardır (Gök 2007).

Sonuç olarak, nanoteknolojik gelişmelerle elde edilen ürünlerin hayatımızın çeşitli alanlarına girdiğini görüyoruz. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen nano ölçekli ürünler ve malzemeler; modern teknolojinin fonksiyonel yapısı, şekli, boyutu ve reaktivitesi gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin günümüzde neredeyse tüm sektörlerde üretim ve tüketim entegrasyonunda kullanıldığı görülmektedir (Özkaleli ve ark. 2016). Yeni yüzyılda kritik bir teknoloji devrimi olarak görülen nanoteknoloji bugün halen kuluçka döneminindedir. Yeni araştırmalar sayesinde, bu kritik teknolojinin yıllar içinde gelişimini tamamlaması ve yaşamın tüm alanlarına girmesi bekleniyor. Yeni bir teknoloji olmasına rağmen, mevcut teknolojilere yeni bir bakış açısı getiriyor (Yıldız ve Seçkin 2019). Nanoteknoloji, bir yandan bilinen ürün ve süreçler için teknik, ekonomik ve ekolojik parametrelerde performans iyileştirmeleri sağlarken, diğer yandan mevcut teknolojilerin geliştirilmesiyle oluşturulan yeni ürün ve uygulamaları destekler (Namlığöz ve ark. 2007).

## 2. Nanoteknolojinin Tarihsel Gelişimi

Nano boyutun öneminin ilk tanınması, nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman'ın 29 Aralık 1959'da California Institute of Technology'de American Physical Society'nin yıllık toplantısında yaptığı konuşmaya dayanmaktadır. Feynman, "Temelde yeterince boş alan var" başlıklı tarihi konuşmasında, nanometre aralığındaki ilk malzemelerin ve cihazların özelliklerinin gelecekte farklı fırsatlar sunacağı belirtmiştir. Özetle, bu tarihi konuşmasında Feynman, bazı şeyleri küçük ölçekte manipüle etme ve kontrol etme fikrini ifade etti (Feynman 1969). Ancak 1974'te Tokyo Bilim Üniversitesi'nden Norio Taniguchi, nanoteknoloji kelimesini ilk kullanan kişi oldu. 1980'lerde moleküler üretimin temel fikirleri K. Eric Drexler tarafından "Moleküler Üretim İçin Protein Tasarımı" makalesinde tanıtıldı. Daha sonraki bir çalışmada, K. Eric Drexler, kendi kendini kopyalayan bir "derleyici" yaratarak karmaşık

atomik özellikler biçiminde aygıtlar ve yapılar oluşturmanın olası yöntemlerini açıkladı. Bu evrensel "derleyici" görüşü tartışmalı olsa da, bugün nanoteknoloji çalışmalarının önemli bir dalı haline gelmiştir. Bu evrensel "derleyici" görüşü tartışmalı olsa da, nanomalzemelerin üretimi için aşağıdan yukarıya teknolojilerin kullanımına hitap eden önemli bir uygulama dalıdır (Maclurcan 2004). Nanoteknolojinin gelişmesini sağlayan buluş, 1981 yılında Taramalı Tünelleme Mikroskopunun keşfi ile büyük bir ivme kazanmıştır (Luther 2004). Bu mikroskop sayesinde iletken yüzeylerdeki atomlar hareket ettirilebilir. Başka bir deyişle, iletken yüzeylerdeki atomların konumu bu mikroskop ile değiştirilebilir. Bu sürecin gerçekleştirilmesi, nanoteknoloji tarihindeki bir başka kilometre taşıdır. 1985'te Curl Kroto ve Smalley, bu mikroskobu "Buckyball", "fullerenes" olarak adlandırılan yeni bir nanoyapılı karbon modifikasyonunu keşfetmek için kullandılar. Binnig G. ve Rohrer H. bu alandaki çalışmaları nedeniyle 1986 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü. 1990'larda Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Japonya'daki federal hükümetler, nano-elektronik, nano-materyaller vb. nanoteknolojinin çeşitli dallarındaki programlarla ilgilenmeye başladılar. 1990'ların sonuna doğru, bu alanın çeşitli küçük bilimsel alanların yayılmasıyla değil, nanoteknolojinin farklı yönleriyle ele alınması gerektiği kabul edildi. Bu arada, neredeyse tüm sanayileşmiş ülkelerde nanoteknoloji, devlete ait araştırma ve geliştirme programlarının özel bir alanı haline geldi ve araştırma / geliştirme merkezleri kuruldu. 1991 yılında, fullerenler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, esas olarak bir silindir oluşturmak için yuvarlak kenarlı grafit tabakalardan oluşan karbon atomlarının tüp benzeri yapılarının keşfedilmesinin, elektronik mühendisliğinde malzeme mühendisliğinde muazzam uygulama potansiyeline sahip olacağı tahmin edildi. 2000 yılında ABD'nin nanoteknoloji yatırımı sonucunda birçok ülkede nanoteknoloji araştırmaları başlamıştır. Bugün bu alandaki gelişmeler tüm hızıyla devam ediyor. Nanoteknolojinin güncel ve gelişen uygulamalarından bazıları tabloda görülmektedir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Nanopartiküllerin güncel ve gelişen uygulamaları (Rittner 2002).

<b>Elektronik, Optoelektronik ve Manyetik Uygulamalar</b>	<b>Biyomedikal, İlaç ve Kozmetik Uygulamalar</b>	<b>Enerji, Katalizör ve Yapısal Uygulamalar</b>
Kimyasal-mekaniksel cilalama	Antimikrobisidler	Otomotiv katalizörü
Elektro-iletken kaplamalar	Biyolojik geciktirme ve işaretleme	Seramik membranlar
Manyetik akışkan contalar	MRG kontrast	Yakıt pilleri
Çoklu-tabakalı Seramik kondansatörler	Ortopedi ve implantlar	Foto katalizörler
Fosforlar	Koruyucu güneş kremleri	Propellantlar
Kuantum optik aygıtlar	Termal sprej kaplamalar	Çizilmeye dayanıklı kaplamalar
Optik fiberler		Güneş pilleri

### 3. Nanoteknoloji ve Etki Alanları

Nanoteknoloji bu günlerde yaygın bir kelimedir, ancak çoğumuz günlük yaşamlarımız üzerindeki inanılmaz etkisinin farkında değiliz. Nanoteknoloji, yaklaşık 1 ila 100 nanometre arasında bir nano ölçekte yürütülen bilim, mühendislik ve teknolojidir (Tolochko 2009). Bir nanometre bir metrenin 10-9 u kadardır. Bir gazete sayfasının kalınlığı yaklaşık 100.000 nanometre kalınlığındadır. Aynı zamanda hızla genişleyen bir alandır. Bilim adamları ve mühendisler, büyük ölçekli muadillerine kıyasla daha yüksek mukavemet, daha hafif ağırlık, artan elektrik iletkenliği ve kimyasal reaktivite gibi gelişmiş özelliklerden yararlanmak için nano ölçekli malzemeler üretmede büyük başarı elde ettiler. Yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmayı hedefleyen, yeni ve hızla gelişen bir bilim ve teknoloji alanıdır (Tarhan ve ark.,2010). Araştırmalarda atomların ve moleküllerin nano ölçekte farklı davranışlar sergiledikleri görülmektedir. Bu yeni çalışma yaklaşımları sayesinde nanoteknolojinin geleceği hakkında daha iyi fikir sahibi olmak ve sunduğu iş fırsatlarından yararlanmak için bu alanda daha iyi konumlanmak gerekiyor (Martín-Gago ve ark. 2009). Bu yeni yaklaşım sayesinde etkilenen alanları şu şekilde sıralamak mümkün olacaktır.

1. Nanoteknoloji bilgisayar dünyasında önemli bir yere sahiptir. Uygun kullanıma sahip bir nano robot geliştirmenin en kolay yolu, nano parçacıkların düzgün bir şekilde analiz edilerek tasarımının gerçekleştirilmesidir. Nanorobotlarda nanobilgisayarlar önemli bir kullanıma sahiptir. Bilgisayarlar yapılan işlemlerin kontrol edilerek görüntülenmesinde kullanılmaktadır (Cavalcanti ve ark. 2008). İlk nesildeki bilgisayarlar, mikroişlemcilerin minyatürleşmesine tanık oldu ve şimdi nanometre ölçeği olma sürecindedir. Günümüzde daha uzun ömürlü pillerle çok daha az güç tüketen daha hızlı, daha küçük ve daha güçlü bilgisayarlar üretmek mümkündür. Karbon nanotüplerden yapılan devreler, bilgisayar gücünün artırılmasında hayati önem taşıyabilir ve Moore Yasasının devam etmesine izin verebilir (Brainina ve ark. 2018).

2. Geleceğin en heyecan verici teknolojisi olan çip, bilgisayar bilimi, elektronik ve biyoloji alanlarının bir sonucudur. Elektronik alanda yapılan çalışmalar küçük robotların boylarından çok daha büyük işler başaracağını göstermektedir. Yakın zamanda çok daha fazla hayatımıza girmesi beklenen nanorobotlar sayesinde gelecek nesiller cerrahi operasyonlar için bile doktora gitmek zorunda kalmayabilir. Nanoelektronik, fotolitografi (gelişmiş bir tür baskı yöntemi) ve yeni biyomateryallerin ortak kullanılması, cerrahi aletlerle çalışma ve ilaç tanı ve dağıtımını gibi birçok alanda yaygın medikal uygulamaları mevcuttur (Venkatesan ve Jolad 2010). Nanoelektronikte çipler hızlı, doğru, minyatürdür ve bir bilgisayar çipi kadar avantajlı hale gelmeleri beklenebilir. Daha hızlı, daha işlevsel ve daha doğru tıbbi teşhis ekipmanı kullanmak mümkündür. Çipteki laboratuvar teknolojisi, tıbbi bakımın sunumunu hızlandıran gerçek zamanlı bakım noktası testine olanak tanır. Kullanılan implantlardaki nanomateryal yüzeyler aşınmayı iyileştirir ve enfeksiyona karşı daha

dirençli hale gelir. Bu endüstriyi bilgisayar endüstrisindeki işlemci yongaları kadar evrensel olarak uygulanabilir hale getirmedeki en büyük zorluk, yaygın uygulamayı desteklemek için çeşitli "anakart" sistemleriyle kullanılabilen standartlaştırılmış bir yonga platformunun geliştirilmesidir (Deisingh ve ark. 2009).

3. Farmasötik bilimlerin evrimini etkileyebilecek en önemli itici güçleri belirlemek için farmasötik bilimler, endüstri, düzenleme ve toplumdaki uzmanlarla yapılan tartışmalara dayanan dört potansiyel gelecek senaryosu bulunmaktadır. Nanopartiküllerin vücuttaki farmasötik ürünlerde emilimini arttırmak ve sıklıkla birlikte kullanılan tıbbi cihazlar sayesinde ilaçların hastalıklı bölgeye ulaştırılmasını kolaylaştırmaktır. Nanopartiküller ayrıca kemoterapi ilaçlarını kanser hücreleri gibi spesifik hücrelere vermek için de kullanılabilir (Murali ve ark. 2018). Örneğin solunabilir nanopartiküllerin akciğerlere verilmesi, geleneksel oral veya intravenöz ilaç uygulama yöntemleri ile serumdaki yüksek ilaç konsantrasyonlarının neden olduğu yan etkiler gibi dezavantajların üstesinden gelir. Akciğer inhalasyon aerosolleri olarak işlev görebilen nanopartiküller geliştirmek için çeşitli nanoteknolojiler uygulanmıştır. Bu solunabilir nanopartiküller, aerodinamik boyut aralığına uyacak şekilde beş mikrona kadar üretilen mikropartiküller tarafından kapsüllenebilir veya aerodinamik boyut aralığına aglomera edilebilir. Çoğu nanopartiküller, koloidal dispersiyonları püskürterek veya kuru toz inhalerleri ve katı formda basınçlı ölçülü doz inhaleleri yoluyla doğrudan akciğerlere verilir (Yang ve ark.2008).

4. Nanokompozitler, bir fazın nanopartiküller, nanotüpler veya katmanlı nano yapılar gibi nano ölçekli morfolojiye sahip olduğu kompozitlerdir. Günümüzde nanokompozitler, farklı mühendislik malzemelerinin sınırlamalarının üstesinden gelmek için yararlı alternatifler sağlamak üzere ortaya çıkmaktadır. Nanokompozitlerde metal iyonları ve metal oksitler organik modifiye nanokiller, kitosan gibi doğal biyopolimerler, doğal antimikrobiyel ajanlar, enzimler ve sentetik antimikrobiyeller kullanılır (Mohanty 2017). Antimikrobiyal ilaçlar, COVID-19 için yapılan klinik çalışmalarda kullanılmaktadır. Örneğin, klorokin, ritonavir, lopinavir, ribavirin ve remdesivir, SARS-CoV-2 viral enfeksiyonuna karşı olumlu sonuçlar sergiler. Antimikrobiyal ilaçların nanoenkapsülasyonu, COVID-19 ve diğer viral hastalıklar için daha güvenli tedavilerin geliştirilmesini sağlar (Mainardes ve Diedrich 2020).

Metale göre daha hafif, daha güçlü ve kimyasal olarak daha dirençli nanokompozit malzemelerden araç parçaları oluşturarak araç yakıt verimliliğini ve korozyon direncini arttırmaya yardımcı olur. Araçlarda kullanılan nanofiltreler, havadaki partikülleri neredeyse yanma odasına ulaşmadan önce ortadan kaldırarak gaz kilometresini daha da iyileştirir (Santosh Bahadur ve ark. 2014). Kuşkusuz, malzemelerin nasıl kullanıldığına dair temel anlayış nano ölçekte manipüle edilebilir. Nanoyapıların ve nano işlemlerin teknolojik yeniliklere dahil edilmesi, daha iyi performansa

sahip ucuz ürünler üretmemize neden olacaktır (Babatunde ve ark. 2019).

5. Nanoteknolojideki tekstil uygulamaları, vücut fonksiyonlarının ve metabolizmasının tıbbi takibini, rehabilitasyonu ve giysiye entegre edilmiş elektronik cihazları içerir. Ek olarak, bu teknolojiler sensörlerin tekstile entegre edilmesine izin verir. Kumaşlardaki nanopartiküller veya nanofiberler, kumaşın ağırlığında, kalınlığında veya sertliğinde önemli bir artış olmadan leke direncini, su direncini ve alev direncini artırabilme özelliğine sahiptir (Mattmann ve ark. 2007). Örneğin, pantolonlardaki "nano bıyıklar" onları suya ve lekelerle karşı dirençli hale getirir. Tıbbi tekstilde ise bandajlar, plasterler, sargı bezleri, gazlı bezler, tamponlar kullanılmaktadır. Nanofiblerin yara örtülerinde büyük bir kullanım alanı vardır (Annappoorani 2013).

6. Nano ölçekli parçacıkları tanıyan filtreler nanoteknoloji kullanılarak üretilir. 15-20 nanometre genişliğindeki nanopartikülleri geçirmeyecek şekilde üretilen su filtreleri bu nanoboyuttaki tüm virüs ve bakterileri yok etme özelliğine sahiptir. Bu sayede uygun maliyetli, portatif su arıtma sistemleri gelişmektedir. Bu teknoloji kullanılması sayesinde ülkelerde içme suyu kalitesini arttırmak mümkün olmaktadır (Yan ve ark. 2016).

Yapay böbrek, yapay akciğer ve yapay karaciğerlerde kanı filtrelemek amacı ile kullanılan cihazlar tıbbi tekstil elemanlardır. Yapay karaciğer, kan plazmasını temizler. Yapay akciğer sahip olduğu gaz değiştirici sayesinde kanda oluşan karbondioksiti uzaklaştırır, ihtiyacı duyulan oksijeni temin eder. Filtreleme ve gaz değiştirme işlemi aşamasında nanolif ve mikrolif membran kullanılır. Yapay böbrek ise dışardan vücuda dışardan bağlanarak hemodiyaliz filtresi ile kanı temizler (Lee ve ark. 2007).

7. Karbon molekülleri nanoteknolojik pek çok ürünün sentezlenmesine imkan tanır. Kullanımında avataj sağlayan yüksek dayanıklılık ve elastik modül özellikleri gibi benzersiz özelliklere sahiptir. Karbon nanotüpler sayesinde, spor ekipmanlarını daha güçlü ve daha hafif hale getirmek de dahil olmak üzere çeşitli ticari kullanımlara sahiptirler (Scida ve ark. 2011). Örneğin, karbon nanotüplerden yapılmış bir tenis raketi, darbe sırasında daha az bükülerek, teslimatın gücünü ve doğruluğunu artırır. Nanopartiküller kullanılarak elde edilen tenis topları, standart tenis toplarından çok daha fazla sıçrama özelliği kazanabilir. Performans / dayanıklılık açısından% 10-20 daha da geliştirilmiş spor aletleri pazarda daha çok satan ürünler haline gelmekte ve nanomalzemeler bazı spor aletlerini belki de kat kat daha iyi hale getirebilmektedir. Bununla birlikte, önerilen çeşitli avantajlara rağmen, teknoloji oldukça pahalı ve uğraşması karmaşık olduğu için piyasada nanoteknoloji ile geliştirilmiş pek çok spor ekipmanı bulunmamaktadır (Patel 2012).

8. Günümüzdeki güneş kremlerinin çoğu, daha tehlikeli ultraviyole aralığı da dahil olmak üzere ışığı etkili bir şekilde emen nanopartiküllerden yapılmıştır. Ayrıca cilde daha kolay yayılabilme özelliğine sahiptirler. Koruyucu giysiler ve gözlükler, güneşten kaçınma, gölge arama ve antioksidan kullanımı gibi davranış değişiklikleri güneş

güvenlik önlemlerini tamamlar. Güneş koruyucunun cilt kanserini önlemedeki rolü incelenmiştir. Yakın tarihli bir rapor, güneş koruyucu kullanımının cilt kanserini önlemedeki etkinliğini belgeledi ve melanom riskinin yarı yarıya azaldığı gözlemlendi (Green ve ark. 2011). Nanopartiküllerin aynı zamanda UV maruziyetini azaltmak ve raf ömrünü uzatmak için gıda ambalajlarında da kullanıldığı görülmektedir (Erdem ve Gökür 2015).

9. Farklı amaçlarla kullanılan plastik içecek şişelerinde oksijen, karbondioksit ve neme karşı direnci ve geçirgenliği artıran nanokil (nanoclay) içeren yapılar kullanıldığı görülmektedir. Temel nanokil hammaddesi montmorillonittir. Nanoclay teknolojisi yeni bir gelişmedir, ancak kil bilimi tarih öncesi çağlardan beri mevcuttur. Seramikçiler antik çağlardan beri nanopartikülleri kullandılar, ancak nanoteknoloji, nanopartiküllerin bilerek bilimsel kullanımınıdır. Bolluk (toprakta ve tortularda bulunur), düşük maliyetli ve doğa dostu killer ve kil mineralleri (allofan, kaolinit, montmorillonit) nedeniyle, tıp ve eczacılık dahil birçok alanda uygulama bulmuştur (Gomes ve ark. 2007). Bu, karbonatlaşmanın ve basıncın korunmasına ve raf ömrünün birkaç ay daha uzatılmasına yardımcı olur.

10. Nanoteknoloji sayesinde, belirli bir kimyasal inanılmaz derecede düşük seviyelerde, örneğin tek bir molekülde milyarlarca tespit etmek için çok çeşitli kimyasal sensörler programlanabilir. Bu özellik, laboratuvarlarda, sanayi sitelerinde ve havalimanlarında gözetim ve güvenlik sistemleri için ideal bir uygulamadır. Sağlık alanında kullanılan nanosensörler, vücuttaki belirli hücreleri veya maddeleri doğru bir şekilde tanımlamak için de kullanılabilir. Hücre-hücre koordinasyonu ve adezyon ilişkileri, normal hücrelerde çeşitli biyolojik fonksiyonların yürütülmesinden sorumludur. Enfeksiyonlar sırasında ligand-reseptör etkileşimlerinin tersine çevrilebilirliği, buna bağlıdır. Nanopartiküller, konakçı hücrelere bağlanan virüsü bloke edebilen umut verici antiviral ajanlardır. PAMAM'ın (poliamidoamin) çok değerlikli konjugatları, influenza enfeksiyonlarına karşı etkili antiviral aktiviteye sahiptir (Hassanzadeh 2020). Geleneksel biyosensörlerin ana fonksiyonel bileşenleri, bir antikor, enzim, nükleik asit ve tam hücre gibi bir biyolojik tanıma reseptörü; biyolojik bağlanma olayını tespit edilebilir bir sinyale (elektrokimyasal, optik, vb.) dönüştürmek için bir dönüştürücü; ve analit molekülünün hem varlığını hem de konsantrasyonunu gösteren bir sinyal ekranı veya okuması (Terry ve ark. 2005). Biyo-tanıma mekanizmasına göre, biyosensörler, biyokatalitik ve biyoafinite temelli biyosensörlerden oluşan iki ana kategoriye ayrılabilir. Biyokatalitik sistemde, biyoreseptör (enzim, tam hücre, doku, vb.) Analiti tanıyarak ve analitin tüketimine yol açan bir reaksiyonu katalize ederken, biyoafinite sisteminde biyoreseptör (örn. Antikor veya aptamer) spesifik olarak analit ve bir dengeye genellikle ulaşılır (Thévenot ve ark. 2001). Farklı transdüksiyon yollarına göre yaygın biyosensör tipleri listelenmekte ve her tip için kullanılan ilgili tipik biyolojik tanıma unsurları tanımlanmaktadır.

Bunlar, nanoteknolojinin toplumu etkilediği binlerce uygulamadan sadece birkaçı. Nanoteknoloji alanında

yapılan başarılı çalışmalar sayesinde hemen her gün önemli gelişmelerin yaşandığına dair açıklamalar yapılmaktadır. Çoğu insan hala bu teknolojileri kullanıyor olsa da, onlar hakkında bir şey bilmiyorlar. Bilim dünyasındaki ortak inanç, nanoteknoloji bilgisini anlaşılır bir şekilde yayabilirsek, tüm bu olumsuzlukların ortadan kalkacağıdır. İnsanlar çoğunlukla bilim dergilerini okumuyorlar, bu yüzden bugün nanoteknolojide geline noktayı bilmiyorlar. Canlı sistemler (mantık, bellek, hareket, kimyasal sentez, enerji dönüşümü, hatta kendi bilincimiz) nano ölçekli yapısal karmaşıklığın doğrudan bir sonucudur. Günümüzde teknolojilerinde kullanılan milyonlarca sayıdaki transistörler, bilgisayarlar ve cep telefonları açıkça nanoyapılardır. Bu nedenle nanoteknoloji alanı, moleküler biyolojiden elektronığa ve ötesine kadar oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir (Chen ve ark. 2017).

#### 4. Nanoteknoloji Nedir ve Neden Önemlidir?

Nanoteknoloji, nano uygulamanın her aşamasında atomik ölçeklerde çalışmak, atomlara hakim olmak ve akıl yürütme sonucunda bir sonuca ulaşmak için geliştirilen bilim ve mühendislik alanı olarak tanımlanabilir. Nanoteknoloji çalışmalarında maddenin doğal özelliklerinde değişiklikler veya ona yeni özellikler eklenmesi söz konusudur. Ayrıca, belirli bir amaca hizmet edecek her şeyin yapımı, kullanımı ve düzenlenmesi için gerekli araç, yapı ve sistemlerin tasarımı ve üretimi üzerinde çalışmak mümkündür. Günlük hayatta kullandığımız birçok aracın boyutundaki hızlı düşüşe rağmen, bir nesnenin, objenin kullanılan olaya, duruma göre işe yarar olmasındaki kayda değer gelişmeler nanoteknolojinin önemli getirisi (Tarhan ve ark. 2010). Nanoteknolojik uygulamaların neler olduğu ve bizler açısından önemini daha iyi anlayabilmek adına farklı uygulamaları incelemek faydalı olacaktır.

Deniz suyu içerisindeki tuzun ve bakterilerin, en etkin şekilde kullanılan nanoteknoloji temelli filtreler sayesinde temizlenmesi amaçlı yapılan uygulamalar her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Nanoteknoloji boyutu küçük olmasına rağmen çok büyük ve geniş bir etkiye sahip olmakla birlikte günümüz teknolojisinde akla gelen, ambalajdan elektronığa, gıdadan savunma sanayine, optikten sağlığa (Nanotıp), yapı malzemelerinden tarıma kadar tüm sektörleri etkilemektedir. Yapılan teknolojik araştırma ve çalışmalara bakıldığında ülkelerin nanoteknoloji pazarlarının önümüzdeki yıllarda yüz milyarlarca dolara ulaşacağı tahmin ediliyor. Ülkemiz açısından bakıldığında baş döndürücü hızla gelişen bir teknoloji olduğunu ve yükselen trendi yakalamak için nanoteknoloji alanının daha çok gelişmesi gerektiği görülmektedir. Ayrıca nanoteknoloji alanında nanosensör uygulamalarını görüyoruz. Raf ömrünü uzatmak, gıda bozulmalarını tespit etmek ve gerektiğinde nanoantimikrobiyal salgılamak için akıllı paketleme işleminde kullanılmaktadır. Nano sensörler, algılama amaçlı olarak kullanılan gelişmiş nano yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Nano parçacıklarla ilgili bilgileri makroskopik dünyaya iletme için kullanılan biyolojik, kimyasal ya da cerrahi sensör noktalarıdır (He ve Hwang 2016). Nano sensörlerin farklı kullanım alanlarından biri akıllı ambalaj üretiminde ortaya çıkmaktadır. Akıllı ambalajların üretiminde kullanılan



nanosensörler sayesinde gıdalardaki bozulmalar erkenden tespit edilmektedir. Bu sayede olası bozulmaların önüne geçilerek ürünlerin çöpe gitmesini önlemektedir. Yanlış depolama uygulamalarının önüne geçmek için günümüzde bu alanda yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Saleh 2016).

Nanoteknoloji konusuna kısa ama öz bir giriş yapıldığında, nanoteknolojinin etik ve sosyal çıkarımlara mükemmel bir bakış açısı sunduğunu da görüyoruz. Hızla gelişen bu önemli teknolojiyi ve beraberinde getirdiği sosyal ve etik sorunları dengeli bir şekilde anlamamız geleceğimiz için önemlidir. Nanopartiküllerin biyolojik sistemler üzerindeki toksikolojik etkiler yaratabileceği unutulmamalıdır. Nanoteknoloji moleküler, hücresel ve genetik özelliklerin manipüle edilmesiyle tıptan tarıma birçok alanda yeni ürün ve hizmet geliştiren biyoteknoloji bilim dallarının birleşmesi sonucu oluşan, biyolojik sistemleri taklit eden sistemlerin elektronik sistemlerle uyumlu çalışmasını sağlayan yapılarıdır (Fakruddin ve ark. 2012). Bu nedenle, teknolojiyi üç kısımda incelemek yararlı olacaktır. Nanoteknoloji kapsamlı bir araştırma sonucu ile başlatılmalı, ardından nanoteknolojinin etkilerini değerlendirmek için gerekli riskler ve düzenlemeler açısından temel konular ve ilkeler takip edilmelidir. Son olarak, çevre, gizlilik, tıp ve insani gelişme gibi en önemli uygulama alanları dikkate alınmalı ve bu uygulamaların sosyal ve etik sonuçları dikkatle incelenmelidir (Mao ve ark. 2016). Nanoteknolojinin riskli olabileceği düşüncesiyle gıda ve gıda benzeri ürünlerin üretimleri aşamasında temkinli yaklaşılmalıdır. En çok bilinen ve satın olarak kullanılan ürünler arasında iletişim ve tekstil ürünler gelmektedir. Tüketicilerin farklı ürün kategorilerinde fırsat algılarının risk algılarından daha güçlü olduğu görülmektedir. Ancak vücuda temas eden veya vücuda giren ürünlerde kullanıcıların risk algılarının daha güçlü olduğu saptanmıştır (Sufer ve ark. 2011). Araştırmalar, normalde iyi huylu maddelerin nano ölçekli parçacıklara dönüştürüldüğünde toksik olabileceğini göstermiştir. Küçük boyutları, vücutların etrafında kolayca hareket edebilecekleri anlamına gelir ve geniş yüzey alanı / hacim oranı, onları kimyasal ve biyoreaktif hale getirir. Giderek artan toksikolojik kanıtlar, nanomalzemelerin insan ve çevre sağlığı için riskler taşıdığını göstermektedir (Gupta ve ark. 2018). Günümüzde birçok toksisite mekanizması araştırılmaktadır. Bu yapıların en önemlilerinden biri canlı dokularda reaktif oksijen türlerinin üretilmesidir. Bu, DNA'ya zarar verebilir ve her hücrede bulunan küçük enerji üreten organeller olan mitokondrinin çalışmasını bozabilir (Ranjan ve ark. 2018).

Nanoteknoloji alanında istihdam edilecek bireylerin eğitim alması önemlidir. Bireyler nanoteknolojinin ne olduğu ve neden önemli olduğu konusunda yeterli bilgiye sahip olmalıdır. Nanoteknolojinin ve ekolojik çevrenin geleceği için, politika yapımcılar, bilim adamları ve endüstri yöneticileri çok değerli bir kaynak üzerinde çalıştıklarının farkında olmalıdır. Çünkü nanoteknoloji insan hayatını kökten değiştirebilecek bir potansiyele sahiptir (Duncan, 2011). Bu nedenle, büyük bir risk olmadan önce çevreye dikkatle bakmalı ve bununla başa çıkmak için bilinçli önlemler almalıyız. Nanosensörler, insan faaliyetlerinin

çevre üzerindeki etkilerini doğru ve hızlı bir şekilde belirlememizi ve izlememizi sağlayacak yapılardır. Bir risk normalden daha büyük olduğundan, çevreye verilen zararı azaltmak için nanoteknolojik çözümler kullanılabilir. Nanoteknoloji, mevcut kirlilikleri iyileştirmemize ve mevcut kaynaklarımızın uygun şekilde kullanılmasına yardımcı olur (Ahmadi ve ark. 2019). Günümüz nanoteknoloji sayesinde insanların görüş alanında beliren sanal bir ekrana bilgi aktarması, nanoteknoloji ürünü bir bilgisayar içeren kontakt lenslerin kullanımı gelecekte hayatımıza girecek ifadelerini kullanmak yanlış olmamalıdır. İleri teknolojileri kullanan malzeme bilimi ve nanoteknoloji alanı incelendiğinde, insanları bekleyen gelişmeler ve sürprizler karşısında ne kadar heyecanlı oldukları görülmektedir. Bugün, tüm gelişmelerin ana kaynağı malzeme kökenlidir. Nanopartiküllerin üretilebilmesi için nanoboyutta temel fizik ve kimya bilgilerinin anlaşılması ve nasıl ticari hale getirilebileceğinin bilinmesi gerekmektedir (Charinpanitkul ve ark. 2008). Yeni nanomalzemelerin hayatımıza girmesi ile birlikte kullandığımız bilgisayarlar ve cep telefonları gibi daha birçok ürün gün geçtikçe boyutsal olarak küçülmektedir. Ancak bu küçülme işlevselliği üzerinde daralmaya yol açmamaktadır. Örneğin daha kullanışlı olması nedeniyle (kullanım açısından) çoğunlukla büyük boyutlu ürünler tercih edilse de küçük boyuta sahip cep telefonları daha çok tercih edilmektedir. İster küçük ister büyük olsun, hiç olmadığı kadar dayanıklı ve kullanışlı malzemelerin gittikçe daha fazla kullanımda yer aldıklarını görmekteyiz. Bugün, nanomalzeme teknolojisini incelediğimizde hayatlarımızı kökten değiştiren uygulamaların artmaya başladığını görüyoruz. Elektron mikroskop teknolojisindeki hızlı gelişmeler sayesinde, doğada hali hazırda bulunan nanomalzemeler gözlemlendi. Bu gelişme sayesinde bugün nanomalzeme üzerinde yapılan çalışmalarda kontrol sağlanmaktadır (Güzeloğlu 2015). Gelişen teknolojiye paralel olarak nanoteknolojiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Sonuç olarak, malzeme ve nanoteknoloji mezunları için iş fırsatları her geçen gün artmaktadır. Bu bölümlerden mezun olan bireyler; malzeme üretim alanları (seramik, cam, polimer ve kompozit), metalurji sanayi, savunma sanayi, sağlık sektörü, uzay, otomotiv, beyaz eşya, kimya, tekstil, plastik, elektronik gibi alanlar başta olmak üzere tüm üretim alanlarındaki sektörlerde iş imkânına sahip olmaktadır. Nanoteknoloji, insan yaşamında ve bilim dünyasında büyük fırsatlar sunan bir teknolojidir. Nanoteknoloji ile üretilen ürünler; malzeme ve imalat sektörü, nanoelektronik ve bilgisayar teknolojileri, havacılık ve uzay araştırmaları, tıp ve sağlık, çevre ve enerji, biyoteknoloji ve tarım, savunma, bilim ve daha birçok alanda kolaylık sağlamaktadır. Son yıllarda, dünyanın dört bir yanındaki birçok bilim insanı nanoteknoloji eğitimi aldı, böylece her alanda bilimsel sıçramalar yaşandı (Gunasekera ve ark. 2009).

Doğal yaşamda bitkiler nanokristallerde bulunan enerjiyi kloroplastlarında tutar nanoteknoloji ise bu işlemi nano ölçekte yapmaya çalışır. Çünkü nanoteknoloji aynı zamanda enerji depolama sürecinde de kullanılmaktadır. Nanoteknoloji, uygun depolama için daha verimli çözümler sunmaktadır. Günümüzde, enerji depolama sorunu en

büyük ikilemlerden biridir. Bugün bu zorluğa nanoteknoloji ile meydan okumaya çalışılmaktadır. Nanoteknolojinin uygulanması, temiz enerji üretiminin verimliliğini artıracaktır. Nanoteknolojik çalışmalar sayesinde fosil enerji yerini yenilenebilir enerjiye bırakacak. Yenilenebilir tarımsal materyallerin veya gıda atıklarının enerjiye ve yararlı yan ürünlere dönüştürülmesi, nanoteknoloji ile büyük ölçüde geliştirilebilecek çevre odaklı bir araştırma alanıdır (Adeola ve ark. 2019). Örneğin, güneş pilleri, rüzgar, deniz ve jeotermal enerji nanomalzemeleri kullanarak verimli bir şekilde çok fazla enerji üretebilir. Nanoteknoloji, malzemenin insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirleticilerin çevreye girişini etkin bir şekilde azaltacak şekilde tüketilmesine neden olmuştur. Nanoteknoloji kullanan endüstrilerdeki değişikliklerin ardından, çevrede sindirilebilen ve başka bir metaya dönüştürülebilen malzemeleri üretebiliyoruz. Bazı endüstrilere yönelik planlı bir hareket, çevresel zararın azalmasına neden olacaktır. Temiz yenilenebilir enerji nanoteknoloji ile mümkündür (Babatunde ve ark. 2020).

Nanoteknoloji aynı zamanda gıda üretimi alanında devrim niteliğinde yenilikler getirmektedir. Nano ölçekte çalışarak gıda kalitesi iyileştirilir ve kirlilik azaltılır. Gıda üretiminin her aşamasında nanoteknoloji kullanılarak çeşitli üretim yolları geliştirilir. Ambalajlama, biyolojik koruma, gıda transferi gibi birçok alanda sınırlama yoktur. Nanopartiküller gıdayı daha güvenli, taze, sağlıklı ve lezzetli tutarak anti-bakteriyel ve anti-mikrobiyal özellik sağlar (Neethirajan ve Jays 2011). Hangi sektörde çalışırsanız çalışın, nanoteknoloji uygulamaları mutlaka yer alır. Bu uygulamaların bazıları bugün kullanılmaktadır. Ancak bazıları hala geliştirme aşamasında bulunmakta ve üzerinde çalışmalar devam etmektedir. İleri teknolojiler sayesinde nanoteknolojik araştırmalar tüm hızıyla devam etmektedir. Hiçbir şey, nanoteknoloji uygulama tekniklerinin kullanımının yaygınlaşacağı kadar belirgin değildir. Ortaya çıkan nano boyut, ürüne yeni ve ilginç özellikler kazandırır. Ancak güvenlik açısından tehdit edici bir faktör olabileceği düşünülmektedir. Nanoteknolojinin sağlık ve çevre açısından bir tehlike olabileceğine dair endişeler var. Bu endişelerin ana kaynağı, nano ürünlerin çok küçük boyutları nedeniyle beklenmeyen etkileşimlere neden olabilme endişesidir (Elmarzugi ve ark. 2014).

Günümüzde, moleküler görüntüleme birçok farklı molekül türü kullanılmasına rağmen, nanoteknolojinin kullanımı başta kanser olmak üzere çeşitli hastalıkların erken teşhisi, doğru teşhisi ve kişisel tedavisi için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu uygulamalar nanotıp olarak karşımıza çıkmaktadır. Sağlık alanında kullanılan implant malzemelerinin üretiminde nanoteknoloji uygulamaları görülmektedir. Nanoteknoloji uygulamaları ayrıca kişiselleştirilmiş tıbbi uygulamalarda gerçekleştirilen hastaya özgü tedavi yöntemlerinde de öne çıkmaktadır (Supuren ve ark. 2007). Nanotıp alanındaki bilim adamları, çeşitli nanosistemlerin ve viral vektörlerin gen transdüksiyon yeteneğini yüksek bulaşıcılığa nasıl bağlayacaklarını sürekli olarak araştırıyorlar. Nanomalzemelerin, yüzey oksidasyonu kolaylaştırdığı, toksik iyonları serbest bıraktığı veya fototermal bazı

reaksiyonların viral partikül bağlanmasını/penetrasyonunu inhibe ettiği viral bulaşmayı önlediği görülmüştür (Balagna ve ark. 2020). Nanopartiküller ve virüsler aynı ölçekte hareket ederek, nanoteknoloji yaklaşımını aşı geliştirmede çok güçlü hale getirmektedir. Nanopartiküller, virüslerin yapısal ve işlevsel özelliklerini yeniden üretebilen araçlardır. Bu nedenle nanotıp, yenilikçi aşı geliştirme teknolojilerine en iyi alternatif olabilir (Sağlam ve Emul 2016). Aşı teknolojisinin gelişimi açısından bakıldığında, SARS-CoV-2'nin dünya çapında büyük bir tehdit olduğu günümüzde en önemli şey, nanoteknoloji ve nanotıp, klinik etkisi olabilecek yeni terapötik teknolojiler ve yaklaşımlar olarak sunulmaktadır (Qi ve ark. 2019).

Günümüzde üretilen malzemelerde kaplama işleminin ürünlerin korunması için kullanılması yeni uygulanan bir yöntem değildir. Nanoteknoloji alanında yaşanan ilerleyişe kadar, kaplamaların kesin bir yaşam döngüsü vardı. Ürünler eskidikleri zaman, ya bakımları ya da toptan bir değişim söz konusu olmaktadır. Bu bakım süreci bazen bir kaplama olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde geliştirilen nanokaplama sayesinde birçok alanda en iyi kaplama tekniğinin uygulanmasına tanık oluyoruz. Çünkü yapılan işlem bir kaplamadan ziyade ürün yüzeyinde ayrı bir cilt görevi görmektedir. Geleneksel kaplamalarda, temel üründe engelleme söz konusu iken; nano kaplamalar ürünün rengini, yapısını, nefes alabilirliğini ya da diğer yüzey özelliklerini değiştirmezler. Ayrıca çok dayanıklı bir yapı sağlarlar. Çünkü nanokaplama malzemenin yüzeyini nanoboyutlu yapılardan oluşan bir tabaka ile kaplar. Kimyasal ve fiziksel değişiklikler, yüzey nanoboyutlu tanecikler sayesinde daha düzgün bir şekilde kaplanarak elde edilebilir. Nanokaplamaların çevre dostu olması, yüzey pürüzlülüğünün azaltılması ve daha ekonomik olması gibi birçok avantajı mevcuttur (Ateş ve ark. 2012). Nanoteknolojide malzemeler atomik ve moleküler boyutlardan başlayarak inşa edilmektedir. Bunun için geliştirilen geleneksel yöntemler kullanılır. Kullanılan yöntemlerle elde edilen malzemeler diğerlerine göre daha sağlam ve hafiftir. Bu malzemeler, daha düşük hata seviyeleri ve eşsiz dayanıklılık güçleri ile mevcut birçok endüstriyel süreç için devrimsel yenilikler getirmektedir. Eşsiz ve olağandışı özellikleri ile nanokaplamalar ve malzemelerin üretim yöntem ve tekniklerinin gelişmesine imkân tanır (Özdoğan ve ark. 2006). Nanokaplamalar, sanayi alanında nanoteknolojinin nasıl kullanacağına dair örnek oluşturmaktadır. Nanokaplama, inanılmaz derecede koruyucu bir potansiyel sağlar. Boyalı veya mineral yüzeylere, cam, seramik, metal, plastik, ahşap ve tekstil ürünlerine uygulanabilir. Nanokaplamalarının su itici özelliklere sahip olmasının yanında kendi kendilerini temizleme özellikleri de vardır. Çizilmelere, UV ışınlarına ve bozunmaya karşı mükemmel koruma sağlar. Işın özü, gelecek nanoteknolojidedir. Nanoteknoloji, dünyayı nasıl gördüğümüzü ve ona nasıl yaklaşacağımızı değiştirmekte ayrıca oluşturduğu potansiyel açısından gerçekten inanılmaz.

Nanoteknolojinin en yaygın kullanılan alanlarından biri kozmetik alanıdır. Nanorobotların yapısı, iç ve dış olmak üzere iki kısımda oluşmaktadır. Dış yapısı, vücudumuzda

bulunan birçok kimyasal sıvıyla temas edebilecek dayanıma sahiptir. İyapısı ise tamamen kapalı ve gerekmedikçe sıvı geçişine izin vermeyen bir vakum yaklaşımı sergiler. Örneğin günümüzde kullanılan kozmetik ürünlerde nanorobot uygulamalarına sıkça rastlanmaktadır. Nanorobot içeren kozmetik kremler, ciltteki tüm ölü hücreleri temizleyebilir, fazla yağları alabilir ya da cildin beslenmesi için gerekli olan maddeyi sağlayabilir. Kremlerde kullanılan nano tozlar, onların etkin oldukları alanları belirlemektedir (Şenel 2009). Güneşten koruyuculardaki koruyucu faktörler, nano ölçeğe eklenen oksit tozlarının miktarına bağlı olarak değişir. Nanomalzemeler, tasarımlarında ve formülasyonlarında yapılan kasıtlı seçimler nedeniyle daha riskli hale gelebilir. Kişisel bakım ürünlerinde, nanopartiküller genellikle cilde daha etkili bir şekilde nüfuz etmek için özel olarak tasarlanmıştır. Pek çok ürün, aktif bileşenlerin cilde girmesine yardımcı olan 'geçirgenlik artırıcılar' içerir (Katz ve ark. 2015). Ayrıca temizlik sektöründe hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Kendi kendini temizleyen nano boyalar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle tekstil sektöründeki nano uygulamalar inanılmaz boyutlara ulaşmaktadır. Buruşmayan gömlekler, ıslanmayan mayolar, askerler için kir tutmayan çamaşırlar, kokmayan çoraplar, yüksek katlı binalardaki kir tutmayan camlar en önemli ürünlerdir. Yapılan çalışmaların ileri seviyelerde olması nedeniyle yüzücüler için yunus balığı derisi ile aynı özelliğe sahip olan ve daha hızlı hareket etmeyi sağlayan mayolar, koşucuları rüzgâr etkisinden koruyarak sürtünmeyi azaltan giysiler bu uygulamalarından bazılarıdır.

Akıllı cep telefonları için dokunmatik camların üretimi nanoteknoloji için verilebilecek bir diğer uygulamadır. Üretim sırasında, camdaki sodyumun uzaklaştırılması ve yerine nano boyutlu potasyumun yerleştirilmesi camın kırılmaya karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Ekran camlarının arkasına uygulanan 10 nanometreyi aşan kaplama işlemi sayesinde dokunmatik ekran özelliğini kazandırılır. Nanoteknoloji ayrıca yalıtım alanında da kullanılmaktadır. Nanoteknoloji ile üretilmiş UV ve kızılötesi ışınları geçirmeyen camların evlerde kullanılması sayesinde yazın serin, kışın sıcak olması sağlanmaktadır. Daha da ilginç olanı, tarih boyunca pis ve kötü kokuları ortadan kaldırdığı bilinen gümüş (Ag) elementinin, nanoboyutlarda buzdolabı üretiminde kullanılması sayesinde kokmayan buzdolapları üretilmektedir. Ek olarak, nanoboyutlu gümüş tozları sağlık alanında bir yara iyileştirici krem olarak yaygın kullanımı söz konusudur (Faghihi ve ark. 2018). Doğada bulunan nilüfer çiçeğinin nanoteknoloji için bir ilham kaynağı olduğunu görülmektedir. Lotus çiçeğini taklit eden nanoteknoloji sayesinde suyu tutmayan ve ıslanmayan yüzeyler üretilmektedir. Nanoteknolojinin gözlük camlarının renklendirilmesinde nanoboyutlu metalik iyonlar kullandığını görüyoruz. Kendi kendini temizleyen nano kaplama ve boyalar sayesinde evlerin ve arabaların sadece güneş ışığı ile temizlendiği görülmektedir (Bao ve ark. 2019).

Nanoteknolojiler, sürdürülebilirlik göz önünde bulundurularak tasarlanmadıkları takdirde, bir dizi ekolojik

ve sağlık zararına neden olabilecek yeni teknolojileri birçok yönden örneklemektedir. Yine de bu tür gelişen teknolojileri yönetirken temel sorunlarla karşı karşıyayız. Yeşil nanoteknoloji şu anda nanomalzemeleri rasyonel tasarım yoluyla daha güvenli hale getirmenin bir yolu olarak geliştirilmektedir. Nanoteknologlar toplumsal kaygılara katılma yükümlülüğünü ve yalnızca çevresel sağlık ve güvenlik sorunlarını ele almak için sınırlı yükümlülükleri tek tip olarak kabul etmemektedir (Johansson ve ark. 2017). Örneğin günümüzde nanoteknoloji sayesinde damar ve doku içinde hareket eden ilaçlar (ilaç taşıyıcı nanosistemler) ancak kanserli hücrelere aktarılabilir. Nano taşıyıcıların ilaç dağıtım sistemlerine dahil edilmesi, hastalıkların tedavisinde önemli bir iyileşmeye yol açmıştır. Sağlık alanında, ilaçların toksik etkilerini azaltmak ve çoklu ilaç direncini önlemek için kanser ilaçlarının salınmasına yönelik çalışmaların sürdüğü görülmektedir (Schiener ve ark. 2010). Kanser hücreleri kontrollü ilaç salımı ve nano boyutlu tozlarla tedavi edilmektedir. Bu uygulama nanoteknolojinin tıptaki en önemli uygulamalarından biridir. Nanoteknoloji, bulaşıcı hastalıkların araştırılmasında da çok etkilidir. Bu amaçla klinik mikrobiyologlara tanıdan tedaviye kadar birçok yeni fırsat sunmaktadır. (Saleh 2016). Örneğin, eksozomlar, herhangi bir hücre-hücre iletişimi türü için salgılanan, 30 nm ila 150 nm boyutundaki küçük nano parçacıklardır. Tedavi ve teşhis araştırmalarında nihai hücre yenilenmesi olarak görünen nanomalzemelerdir (Patil ve Rhee 2019). SARS-Cov proteinini içeren eksozomların, SARS-Cov proteininin bir aşısı ile hazırlayarak ve ardından bunu bir adenovirüs vektör aşısı ile güçlendirerek hızlandırılmış bir nötralize edici antikor titresini indüklediği bildirilmiştir (Kuate ve ark. 2007). Nanoteknoloji, kanser teşhisinde olduğu kadar tedavisinde de birçok önemli uygulama sunmaktadır. Nanoteknoloji bugün kanser hastalığı için erken teşhis ve etkili tedavi sunmaktadır. Bu erken teşhis ve tedavi imkânları sayesinde kanser çoğunlukla tedavi edilebilmekte, yüksek iyileşme oranı ve düşük ölüm oranına sahip bir hastalık haline gelebilmektedir (Yula ve ark. 2010). Kanser hücrelerinin tedavisi, nanoteknolojinin tip alanındaki en önemli uygulamalarından biridir. En fazla araştırmanın yapıldığı ve gelişmelerin hastalar için olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Kanserli hücrelerin yok edilmesinde kullanılan olumlu bir gelişmedir. Günümüzde sağlık alanında önemli çalışmalar yürütülmektedir. Elde edilen veriler ise umut vericidir. Gelişmeler öncelikle antitümör tedavisi için yapılmaya başlanmıştır. Daha sonra ateroskleroz için nano temelli tedavi stratejileri tasarlanmıştır (Oylar ve ark. 2011).

## 5. Sonuç ve Öneriler

Teknolojinin her çağda kendine özgü yasaları vardır. Bu yasaların var olduğu ve insan yaşamını doğrudan etkilediği görülmektedir. Bu nedenle teknolojik yenilikler, insanların düzenli bir hayat sürmeleri için oluşturulmuş ve yasal çerçevesi tanımlanmış hukukî, politik ve sosyokültürel boyutlu düzenlemelerdir. Bu çok boyutlu düzenlemelerle, kişisel haklara ve güvenliğe duyarlı, teknolojik etik ve mahremiyete önem veren bir toplum yapısında, yaşama dair sorunların çözümünde önemli bir aşama kaydedilmesi

mümkündür. Bunun sonucu olarak, bireyler üretilen ürünlere daha olumlu yaklaşmaktadır. Her yeni teknolojiye olduğu gibi, nanoteknolojide de ön görülemeyen durumlar söz konusu olabilir. Önemli olan bu istenmeyen durumların önceden öngörülebilmesi ve tedbirlerin alınmasıdır. Bu şekilde elde edilen ürünlerin ekolojik çevre için olumsuz sonuçları olmayacaktır. Bu uygulama nanoteknolojinin gelişmesi açısından son derece önemlidir. Aksi takdirde gelecekte toplumu etkileyecek sürprizlerin çıkması kaçınılmaz olacaktır. Bu da imal edilen ürünlere bireylerin yaklaşımını olumsuz yönde etkileyecektir. Sonuç olarak ekolojik ortamda meydana gelen olumsuzluklar sağlık açısından istenmeyen durumların gelişmesine neden olacaktır. Nanoteknoloji alanı incelendiğinde, bugün birçok ürün geliştirildiği görülmektedir. Virüsle savaşan nanoteknolojilerdeki birikmiş ilerlemeler, SARS-CoV-2 tedavisi ve aşı geliştirmenin bir sonraki seviyeye taşınmasında önemli rol oynayacaktır. SARS-CoV-2 enfeksiyonunu önlemeye yönelik aşilar, pandemiye durdurmak için en umut verici yaklaşım olarak kabul ediliyor ve şiddetle takip ediliyor (Filipponi ve Sutherland, 2012). Biyo-ilaç uzmanları ilaç, aşı ve antikor kombinasyonlarını tanıma, engelleme ve etkisiz hale getirme işlevi gören yeni terapötik ajanları araştırmaktadır. Şimdi nanotıp yardımıyla virüsün adım adım üstesinden gelme yönünde çalışmalar yapılmaktadır (Wilde ve ark. 2018). Elde edilen ürünler çevre ve insan sağlığı açısından dikkatle kontrol edilmelidir. Çünkü nanoteknoloji bugün her alanda faaliyet gösteren yeni bir teknolojidir. Hayatımızın her aşamasında karşımıza çıkan uygulamaları vardır. Geliştirilmek amacıyla nanoteknolojik araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar paralelinde toksik etkilerin araştırılması önemlidir. Çevre ve insan sağlığı açısından çok önemlidir. Düzenleyici makamlar ve mevzuat, tüm ekosistemdeki toksik etkilerini tespit etmek, doğrulamak ve azaltmak için nano malzemelerin sürdürülebilir kullanımına yönelik yol haritaları ve yönergeler sağlayabilir. Sağlanan terapötiklerin, motor koordinasyon, motor fonksiyon ve toksisite açısından hasta üzerinde çok az yan etkilerinin olması veya hiç olmaması beklenir (Kaushik ve ark. 2019). Bu amaçla COVID-19'un neden olduğu karmaşık durum nedeniyle, küresel olarak çeşitli alanlardaki araştırmaların daha verimli olması için mevcut platformun değiştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu nedenle, nanoteknoloji ve nanotıp, araştırma ve geliştirme paradigmasındaki bu değişime uygulanabilir alternatifler olabilir (Silindir ve ark. 2012).

Nanoteknolojinin bugün ulaştığı nokta ve her geçen gün daha da ivme kazanması, yönetmeliklerin teknoloji karşısında yetersiz kalmasına neden oluyor. Bu da bireylerin yeni teknolojilere şüphe ve güvensizlik ekseninde yaklaşmasını neden olmaktadır. Oysa teknolojinin, kendini oluşturan ve geliştiren dinamik koşullarla birlikte hareket etmesi gerekir. Nanoteknolojinin, tam anlamıyla gelişimini tamamlamadan bir üst aşama olan üretim süreciyle karşı karşıya kaldığı görülmektedir. Bu durum, bu teknolojiler açısından bir dezavantaj olarak kabul edilmektedir. Bu teknolojinin tüm dünyada ve hatta gelişmiş ülkelerde hala emekleme döneminde olduğu düşünüldüğünde, çeşitli sosyal sancılara yol açtığı görülmektedir. Nanoteknolojide,

dünyaya yön veren dönüşümü yakalamak ve yönetebilmek için tüm ülkeler sorumluluk almalı ve titizlikle çalışmalıdır.

## Kaynaklar

- Adeola AO, Fapohunda O, Jimoh AT, Toluwalajo TI, Ige AO, and Ogunyele AC. 2019. Scientific applications and prospects of nanomaterials: A multidisciplinary review. *Afr J Biotechnol.* 18(30):946-961.
- Ahmadi MH, Ghazvini M, Alhuyi Nazari M, Ahmadi MA, Pourfayaz F, Lorenzini G, Ming T. 2019. Renewable energy harvesting with the application of nanotechnology: A review. *Int J Renew Energy Res.* 43:1387-1410.
- Annapoorani, G., 2013. Recent Developments in Medical Textiles Implantable Devices – An Overview. *Research Paper Textiles,* 2:(12) 255-258.
- Appenzeller T. 1991. The man who dared to think small. *Science.* 254:1300.
- Ateş M, Osken I, Ozturk TJ. 2012. Glassy carbon Electrode Formation and Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Journal of Electrochemical Sci.* 159(6):115-121.
- Babatunde DE, Denwigwe IH, Babatunde OM, Agboola O, Akinsipe GD. 2019. Relevance of chemically functionalized nano-llers and modi\_ed nanocomposite in energy systems, in *Polymer Nanocomposites for Advanced Engineering and Military Applications.* Hershey, PA, USA: IGI Global Press.
- Babatunde DE, Denwigwe IH, Babatunde OM, Gbadamosi SL, Babalola IP, Agboola O. 2020. Environmental and societal impact of nanotechnol. *IEEE Access.* 8:4640-4667. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2961513>
- Balagna C, Perero S, Percivalle E, Nepita EV, Ferraris M. 2020. Virucidal effect against Coronavirus SARS-CoV-2 of a silver nanocluster/silica composite sputtered coating. *Open Ceramics.* 1:100006. doi:10.1016/j.oceram.2020.100006
- Bao W, Deng Z, Zhang S, Ji Z, Zhang H. 2019. Next-generation composite coating system: nanocoating. *Frontiers in Mater.* 6:1-6. <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00072>
- Brainina Kh, Stozhko N, Bukharinova M, Vikulova E. 2018. Nanomaterials: Electrochemical Properties and Application in Sensors. *Physical Sci Rev.* 3(9). doi: <https://doi.org/10.1515/psr-2018-8050>
- Cavalcanti A, Shirinzadeh B, Zhang M. and Kretly LC. 2008. Nanorobot Hardwar Architecture for Medical Defense. *Sensors.* 8:2932-2960.
- Charinpanitkul T, Faungnawakij K. and Tanthapanichakoon W. 2008, Review of recent research on nanoparticle production in Thailand. *Adv Powder Technol.* 19:443-457.
- Chen M, Qin X, Zeng G. 2017. Biodegradation of carbon nanotubes, graphene and their derivatives. *Trends Biotech.* 35: 836-846. doi: 10.1016/j.tibtech.2016.12.001
- Deisingh AK, Wilson AG, Elie AG. 2009. Biochip Platforms for DNA Diagnostics. *Microarrays,* pp 271-297.
- Duncan TV. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *J Colloid Interface Sci.* 363:1-24.
- Elmarzugi NA, Keleb EI, Mohamed AT, Benyones HM, Bendala NM, Mehemed AI, Eid AM. 2014. Awareness of Libyan Students and Academic Staff Members of Nanotechnology. *Journal of Pharm Sci.* 4(6):110-114.
- Erdem S, Göknur TG. 2015. Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları, *Etlık Vet Mikrobiyol Derg,* 26 (2): 52-57.
- Faghihi K, Raeisi A, Honardoost E, Shabaniyan M, Mirzakhaniyan Z. 2018. Synthesis, characterization, and antibacterial activity of new poly(ether-amide)/silver nanocomposites. *Adv Polym Technol.* 37:313-322.

- Fakruddin M, Hossain Z, Afroz H. 2012. Prospects and applications of nanobiotechnology: a medical perspective. *J Nanobiotechnology*. 10:31.
- Feynman RP. 1969. What is science. *Physics Teacher*. 7(6):313-320.
- Filipponi L. ve Sutherland D. 2012. *Nanotechnologies: Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities*. European Union, Luxemburg, 2012. doi:10.2777/76945.
- Gomes CSF, Silva JBP. 2007. Minerals and clay minerals in medical geology. *Applied Clay Sci*. 36:4-21.
- Gök H. 2007. Fiziksel tıp ve rehabilitasyon uzmanlarının nanoteknolojiden beklentileri. *Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*. 53:13-22.
- Green AC, Williams GM, Logan V, Stratton GM. 2011. Reduced melanoma after regular sunscreen use: randomized trial follow-up. *J Clin Oncol* 29(3):257-263.
- Gunasekera UA, Pankhurst QA, Douek M. 2009. Imaging applications of nanotechnology in cancer. *Target Oncol* 4: 169-181.
- Gupta R, Xie H. 2018. Nanoparticles in Daily Life: Applications, Toxicity and Regulations. *J Environ Pathol Toxicol*. 37(3):209-30.
- Güzeloğlu E. 2015. Akıllı Ürünleriyle Nano Yeniliği: Gençlerin Nanoteknoloji Farkındalığı, Fayda/Risk Algıları. *Journal of Human Sci*. 12(1):274-297.
- Hassanzadeh P. 2020. Nanotheranostics against COVID-19: from multivalent to immune-targeted materials. *J Control Release*. 328:112–126. doi:10.1016/j.jconrel.2020.08.060
- He X, and Hwang HM. 2016. Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment. *J Food Drug Anal*. 24(4):671–681. doi:10.1016/j.jfda.2016.06.001
- Jain A, Ranjan S, Dasgupta N, Ramalingam C. 2018. Nanomaterials in Food and Agriculture: An Overview on Their Safety Concerns and Regulatory Issues. *Critical Rev in Food Sci and Nutr*. 58(2):297-317.
- Johansson M, Boholm Å. 2017. Scientists' Understandings of Risk of Nanomaterials: Disciplinary Culture Through the Ethnographic Lens. *Nano Ethics*. 11(3):229-42.
- Katz LM, Dewan K, Bronaugh RL. 2015. Nanotechnology in Cosmetics. *Food Chem Toxicol*. (85):127-37.
- Kaushik A, Rodriguez J, Rothen D, et al. 2019. MRI-Guided, Noninvasive Delivery of Magneto-Electric Drug Nanocarriers to the Brain in a Nonhuman Primate. *ACS Applied Bio Materials*. 2(11):4826–4836. doi:10.1021/acsabm.9b00592
- Kuate S, Cinatl J, Doerr HW. 2007. Uberla K. Exosomal vaccines containing the S protein of the SARS coronavirus induce high levels of neutralizing antibodies. *Virology*. 362(1):26-37. doi:10.1016/j.virol.2006.12.011.
- Körözlü N. 2016. Bilim ve teknolojinin geleceği nanoteknoloji. *Ayrıntı Dergisi*, 4(39):27-30.
- Lee KH, Kim DJ, and Min BG. 2007. Polymeric nanofiber web-based artificial renal microfluidic chip. *Biomed Microdevices*. 9:435–442.
- Lines MG. 2008. Nanomaterials for Practical Functional Uses. *J Alloys Compd*. 449:242-245.
- Luo M, Wang H, Wang Z, Cai H, Lu Z, Li Y, Du M, Huang G, Wang C, Chen X, Porembka MR, Lea J, Frankel AE, Fu YX, Chen ZJ, Gao J. 2017. A STING-Activating Nanovaccine for Cancer Immunotherapy. *Nat Nanotechnol*. 12:648–654 DOI:10.1038/nnano.2017.52.
- Luther W. 2004. Industrial application of nanomaterials - chances and risks: Technology analysis. In W. Luther (Ed.), *Future Technol*. 54:1-119.
- Maclurcan DC, Ford MJ, Cortie MB. and Ghosh D. 2004. Medical Nanotechnology and Developing Nations, Proceedings of the Asia Pacific Nanotechnology Forum, World Scientific Publishing Co. Singapore, pp 165-237.
- Mainardes RM, Diedrich C. 2020. The potential role of nanomedicine on COVID-19 therapeutics. *Ther Deliv*. 11(7):411–414.
- Mao X, Nguyen THD, Lin M, Mustapha A. 2016. Engineered Nanoparticles as Potential Food Contaminants and Their Toxicity to Caco-2 Cells. *J Food Sci*. 81(8):2107-2113.
- Martín-Gago JA, Casero E, Briones C, Serena PA. 2009. Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro. *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología FECYT, Madrid*.
- Mattmann C, Amft O, Harms H, Tröster G, Clemens F. 2007. In Recognizing upper body postures using textile strain sensors, *Wearable Computers, 2007 11th IEEE Int. Symposium on*, pp 29-36.
- Mohanty F. 2017. Nanotechnology Applications in Food, | Bionanocomposites for Food Packaging Applications. 363–379.
- Murali K, Neelakandan MS, Thomas S. 2018. Biomedical Applications of Gold Nanoparticles. *JSM Nanotechnol Nanomed*. 6(1):1064.
- Namlıgöz ES, Hoşaf E, Çoban S, Gülümser T, Tarakçıoğlu I. 2007. Su, Yağ ve Kir İticilik Bitim İşlemlerindeki Son Gelişmeler (Bölüm 2). *Ege Üniv Tekstil Konfeksiyon Dergisi*. 17(1):59-64.
- Neethirajan S, ve Jayas DS. 2011. Nanotechnology for the food and bioprocessing industries. *Food Bioprocess Technol*. 4:39–47.
- Oylar Ö, Tekin İ. 2011. Kanser Teşhis ve Tedavisinde Nanoteknolojinin Önemi, Uludağ Üniv Müh - Mim Fak. *Dergisi*. 16(1):147-154.
- Özdoğan E, Demir A, Seventekin N. 2006. Lotus Etkili Yüzeyler. *Ege Üniv Tekstil Konfeksiyon Dergisi*. 16(1):287-290.
- Özkaleli M, Erdem A. 2016. Nano atıklar ve çevre: Atık yönetiminde yeni bir yaklaşım. *Pamukkale Üniv Müh Bilim Dergisi*. 22(3):183-188.
- Patel V. 2012. Elastomeric Nanocomposites: Tires Promoting Nanophiles Market Growth. *Nanotech Insights*. 3(4):44-48.
- Patil AA, Rhee WJ. 2019. Exosomes: biogenesis, composition, functions, and their role in pre-metastatic niche formation. *Biotech Bioproc E*. 24(5):689–701. doi:10.1007/s12257-019-0170-y
- Rittner M. 2002. Market Analysis of Nanostructured Materials, March 2002. *Am Ceram Soc*. 81(3):33-36.
- Sağlam N, Emul E. 2016. Nanotıpta Yeni Gelişmeler, In: *TOTEK Ortopedi ve Travmatoloji Temel Bilimler ve Araştırma Kitabı*. Ed: Feza Korkusuz, Ankara. 10-17.
- Saleh TA. 2016. Nanomaterials for pharmaceuticals determination. *Bioenergetics*. 5: 226.
- Sahu KK, Lal A, Mishra AK. 2020. Latest updates on COVID-2019: a changing paradigm shift. *J Med Virol*. 92(6):533-535. doi:10.1002/jmv.25760
- Santosh Bahadur S, Praveen Kumar T. 2014. Catalysis: A Brief Review on Nano-Catalyst. *Energy and Chem Eng Journal*. 2(3):106-115.
- Schiener, M, Hossann M, Viola JR, Ortega-Gomez A, Weber C, Lauber K, Lindner LH, Soehnlein O. 2010. Nanomedicine-based strategies for treatment of atherosclerosis. *Nanomed*. 5(4):641-56.
- Scida K, Stege PW, Haby G, Messina GA, Garcia CD. 2011. Recent applications of carbon-based nanomaterials in analytical chemistry: critical review. *Anal Chim Acta*. 691(1-2):6-17. DOI: 10.1016/j.aca.2011.02.025.
- Serena PA. 2016. *La nanotecnología. Explorando un cosmos en miniatura*. RBA. Barcelona.
- Silindir M, Erdoğan S, Ozer AY et al. 2012. Liposomes and their applications in molecular imaging. *J Drug Target*. 20:401-16.

- Süfer Ö, Karakaya S. 2011. Gıda Endüstrisi ve Nanoteknoloji: Durum Tespiti ve Gelecek, Akademik Gıda. 9(6):81-88.
- Süpüren G, Kanat ZE, Çay A, Kırıcı T, Gülümser T, Tarakçiođlu I. 2007. Nano fibres (part 2) Ege Üniv Tekstil Konfeksiyon Dergisi. 17(1):15-17.
- Şenel F. 2009. Nanotıp. Bilim ve Teknik. 79-85.
- Tarhan Ö, Gökmen V, and Harsa Ş. 2010. Nanoteknolojinin gıda bilim ve teknolojisi alanındaki uygulamaları. Gıda Dergisi, 35(3):219-225.
- Terry LA, White SF, Tigwell LJ. 2005. The application of biosensors to fresh produce and the wider food industry. J. Agricult Food Chem. 53:1309-1316.
- Thévenot DR, Toth K, Durst RA, Wilson GS. 2001. Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. Biosens. Bioelectron. 16:21-31.
- Venkatesan M, Jolad B. 2010. Nanorobots in cancer treatment, Emerging Trends in Robotics and Communication Technologies.258-8.
- Tolochko NK. 2009. History of Nanotechnology. In: Kharkin, V., Bai, C., Awadelkarim, O.O, Kapitsa, S. (Eds.), Nanoscience and Nanotechnology. UNESCO, Oxford, UK, EOLSS, Encyclopedia for Life Support Systems.
- Yan J, Han L, Gao W, Xue S, Chen M. 2016. Biochar supported nanoscale zero valentiron composite used as persulfate activator for removing trichloroethylene. Bioresour Technol. 175:269-274.
- Yang J, Han S, Zheng H, Dong H, Liu J. 2015. Preparation and application of micro/nanoparticles based on natural polysaccharides, Carbohydr Polym. 123:53-66.
- Yang W, Peters JI, Williams RO. 2008. Inhaled nanoparticles—a current review. Int J Pharm. 356(1-2):239-247. doi:10.1016/j.ijpharm.2008.02.011
- Yıldız, B. ve Seçkin P. N. 2019. Mimaride Malzemelerin Algısal Farklılıklarının Değerlendirilmesi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,1(1):6-14
- Yula E, Deveci Ö. 2010. Nanotıp, Mikrodizilimler ve Klinik Mikrobiyolojide Kullanımları, Dicle Tıp Dergisi. 37(4):422-428.
- Wilde AH, Snijder EJ, Kikkert M, van Hemert MJ. 2018. Host Factors in Coronavirus Replication Curr Top Microbiol Immunol. 419:1-42.
- Qi F, Wu J, Li H, Ma GH. 2019. Recent research and development of PLGA/PLA microspheres/nanoparticles: a review in scientific and industrial aspects. Front Chem Sci Eng. 13(1):14-27. doi:10.1007/s11705-018-1729-4





**EJBCS**