



# FEN VE MATEMATİK BİLİMLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR

EDİTÖR:  
PROF. DR. TURGAY SEÇKİN

gece  
kitaplığı

**İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız**  
**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel**  
**Editör/ Editor • Prof. Dr.Turgay SEÇKİN**  
**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Karaf Ajans**

**Birinci Basım / First Edition • © MART 2020**

**ISBN • 978-625-7912-04-4**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin  
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.  
Citation can not be shown without the source, reproduced in any way  
without permission.

**Gece Kitaplığı / Gece Publishing**

**Türkiye Adres / Turkey Address:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR

**Telefon / Phone:** +90 312 384 80 40

**web:** www.gecekitapligi.com

**e-mail:** gecekitapligi@gmail.com



**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# **Fen ve Matematik Bilimleri Alanında Akademik alışmalar**

**Editör**

**Prof. Dr.Turgay SEÇKİN**

*İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi*



# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

VERİ SETİNDEKİ SINIFLARIN PARAMETRİK YAMUK  
BULANIK SAYI ARACILIĞIYLA YAKINSANMASI VE  
UYGULAMA ÖRNEĞİ

Efendi NASIBOV, Sinem PEKER ..... 1

## BÖLÜM 2

TÜRKİYE'DE ORMAN ALANLARINDA MADEN İŞLETME  
FAALİYETLERİ YAPILABİLMESİ İÇİN GEREKLİ İZİNLER  
KONUSUNDA YAŞANAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Taşkın Deniz YILDIZ, Orhan KURAL, Zehreddin ASLAN ..... 23

## BÖLÜM 3

GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ  
TÜKETİMİ, EKONOMİK BÜYÜME VE CO<sub>2</sub> EMİSYONU  
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ: PANEL  
EŞBÜTÜNLEŞME VE PANEL NEDENSELLİK ANALİZİ

Anıl LÖGÜN ..... 47

## BÖLÜM 4

GÜNCEL TASARIMDA YÜZEYLERİN ENERJİ VE ÇEVRE  
BAĞLAMINDA KULLANILMASININ AKILLI MALZEMELER  
ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Elif ALTIN ..... 61

## BÖLÜM 5

MADENCİLİĞİN VE CEVHER HAZIRLAMANIN KISA TARİHİ

Tuğba Deniz TOMBAL KARA ..... 81

## **BÖLÜM 6**

TORYUM ELEMENTİNİN ÖZELLİKLERİ, ÜRETİMİ,  
KULLANIMI VE NÜKLEER YAKIT OLARAK ÖNEMİ

Tuğba Deniz TOMBAL KARA..... 103

## **BÖLÜM 7**

TÜRKİYE'DEKİ BİTKİLERDE POLİFENOL OKSİDAZ ENZİMİ  
ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

Dudu DEMİR & Cafer EKEN ..... 129

## **BÖLÜM 8**

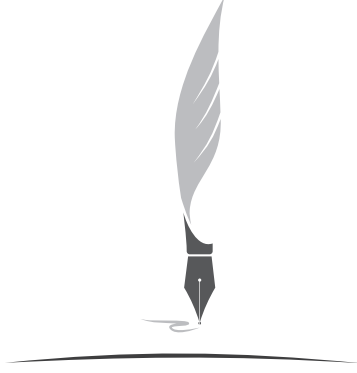
TÜRKİYE'NİN HAYVANSAL KAYNAKLI BİYOGAZ  
KAPASİTESİ

Mehmet APAYDIN, Kenan SAKA ..... 161

## **BÖLÜM 9**

BİTKİ PATOJENLERİNE KARŞI BİTKİ SAVUNMA ENZİMİ  
OLARAK POLİFENOL OKSİDAZLAR

Cafer EKEN & Dudu DEMİR..... 171



# Bölüm 1

## VERİ SETİNDEKİ SINIFLARIN PARAMETRİK YAMUK BULANIK SAYI ARACILIĞIYLA YAKINSANMASI VE UYGULAMA ÖRNEĞİ

*Efendi NASIBOV<sup>1</sup>, Sinem PEKER<sup>2</sup>*

---

1 Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Türkiye

2 Yaşar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Türkiye





## 1. Giriş

Sistemlerde, süreçlerde gerçek değerli verilerin yer aldığı durumların analizi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bununla birlikte, her zaman gerçek değerli veriler karşımıza çıkmayabilir. Kesin olmayan durumları da içinde barındıran veriler, bilgiler söz konusu olabilir (Ramos-Guajardo ve Ferraro, 2019). Bu noktada ise bulanık değerler, bulanık sayılar, değerlendirmelerde çeşitli tipteki verilerden kesin olmayanlığı içeren bilgilerin bulunmasında yardımcı olabilir (Sinova vd., 2012).

Bulanık küme teorisi, günlük yaşamamızda karşımıza çıkan belirsizliğin ele alınmasını sağlayan uygun yöntemler sunduğu için karar verme problemlerinde kullanılan yöntemlerden biridir (Liao vd., 2015). Üyelik fonksiyonu bulanıklığın tanımında anahtar bir faktör olduğu için bulanık sayı kurulumu konusu bulanıklığın yer aldığı çalışmalarda önemli bir konuma sahiptir (Jiang vd., 2019). Literatürde üyelik fonksiyonunun kurulumuna ait çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Örneğin Chen vd. (2009) en küçük taşıyıcı (support) ve üyelik fonksiyonu oluşturmak için bazı bulanık kavramlar ve genetik algoritma kullanmışlardır. Yadav ve Yadav (2015) yazılım metrikleri için bulanık k-küme ortalamalar yönteminin kullanıldığı üyelik fonksiyon kurulumu üzerine çalışmışlardır. Alcalá-Fdez vd. (2009) ilişki kural madenciliği için genetik algoritma kullanarak bulanık üyelik fonksiyon oluşturan bir yöntem sunmuşlardır. Foleres-Sindas vd. (1999) bulanık k-ortalama algoritması için kovaryans matrisi ile tanımlanan metriktan türetilen geometrik özellikler ile üyelik fonksiyon tanımlamışlardır. Hong vd. (2006) ilişki kuralları ve üyelik fonksiyonları için genetik bulanık veri madenciliği algoritması geliştirmişlerdir. Masson ve Denoeux (2006) örneklemeden elde edilen frekans dağılımını kullanarak olabilirlik dağılımı oluşturmuşlardır. Nasibov ve Peker (2011) frekans tablosu kullanarak sol ve sağ tarafı farklı şekilde olabilen bir üssel bulanık sayı kurulum yöntemi sunmuşlardır.

Bu çalışmada sıralanmış veri seti dikkate alınarak parametrik yamuk bulanık sayı oluşturulmak istenmiştir. İlk olarak veriler sıralanmış ve sıralanmış veriler arasındaki uzaklıklar hesaplanmıştır. Ardışık olarak sıralanmış uzaklıkların  $k$ - komşuluğunda yer alan uzaklıkların ortalama değeri dikkate alınarak bulanık sayının çekirdek değerleri oluşturulmuştur. Bu çekirdek değerleri ile veri setinin en küçük ve en yüksek değerleri arasındaki farklar bulunarak bulanık sayının sol ve sağ yayılma değerleri elde edilmiştir. Bulanık sayının sol ve sağ tarafının şeklini veren parametreler ise dış büyü oran kavramı kullanılarak bulunmuştur.

Kalıp sınıflamasında (pattern classification) üyelik fonksiyonlarının etkinliğini ölçebilen yöntemlerden birisi sınıflama kesinliklerinin hesaplanmasıdır (Ang ve Quek, 2012). Bu durum dikkate alınarak,

oluşturulan parametrik yamuk bulanık sayı kurulum yöntemi Bispektral İndeks Skor (BİS) değerlerinden oluşan veri setleri üzerinde çalıştırılmış ve sınıflama kesinlikleri hesaplanmıştır. Elde edilen üyelik fonksiyonlarının bazıları görsel olarak sunulmuş ve hesaplanan sınıflama kesinlikleri verilmiştir.

## 2. Ön Bilgi

$\mathbb{R}$  gerçek sayılar kümesi olmak üzere,  $A$  bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu  $\mathbb{R}$ 'den  $[0,1]$  olan bir haritalamadır (Huang vd., 2017; Sánchez, 2019).

$\mu_A(x)$  fonksiyonu,  $x$ 'in üyelik derecesini gösteren bir fonksiyon olsun. Buna göre,  $A$  bulanık sayısı  $\mu_A: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$  olmak üzere aşağıdaki özellikleri sağlayan bir bulanık kümedir (Yeh ve Chu, 2014; Font vd., 2018):

- i)  $A$  normaldir.
- ii)  $A$  bulanık dışbükeydir,
- iii)  $\mu_A(x)$  üstten yarı süreklidir.
- iv)  $c_{\mathbb{R}}^L \{x \in \mathbb{R} \mid \mu_A(x) > 0\}$  sınırlıdır.

Normallik durumu,  $x_p \in \mathbb{R}$  olmak üzere  $\mu_A(x_p) = 1$  olan  $x_p$ 'nin olduğunu gösterir. Bulanık dışbükey durumunda, tüm  $x, y \in \mathbb{R}, \forall \lambda \in [0,1]$  için  $\mu_A(\lambda x + (1-\lambda)y) \geq \min\{\mu_A(x), \mu_A(y)\}$  şeklindedir.

$A$  bulanık sayısının  $\alpha$  kesiti,  $\alpha \in (0, 1]$  olmak üzere

$$A_\alpha = \{x \in \mathbb{R}; \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2.1)$$

olarak tanımlanır (Sánchez vd., 2019).  $A$  bulanık sayısının her  $\alpha$ -kesiti kapalı bir aralıktır,  $\alpha \in [0,1]$  olmak üzere

$$A_\alpha = [L_A(\alpha), R_A(\alpha)] \quad (2.2)$$

ve  $\alpha \in (0, 1]$  için

$$L_A(\alpha) = \inf \{x \in \mathbb{R}; \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2.3)$$

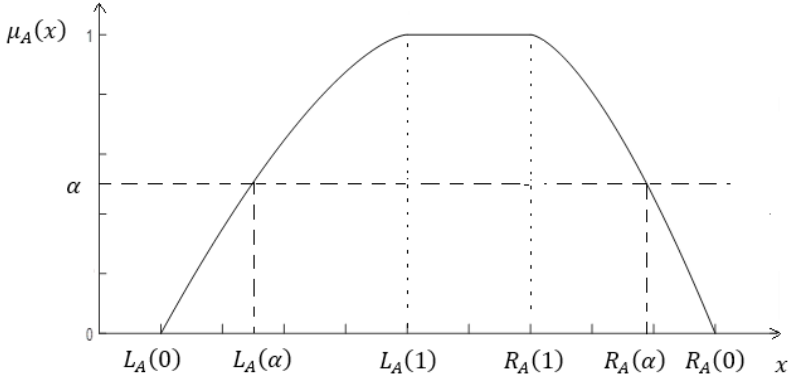
$$R_A(\alpha) = \sup \{x \in \mathbb{R}; \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (2.4)$$

şeklindedir (Ban ve Coroianu, 2012).

$A$  bulanık sayısının  $\alpha=1$  kesiti bulanık sayının çekirdeğidir (Sánchez vd., 2019). Buna göre  $A$  bulanık sayısının çekirdeği aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Ban ve Coroianu, 2011).

$$\text{Çekirdek}(A)=A_1=[L_A(1),R_A(1)] \quad (2.5)$$

Şekil 1’de bulanık sayının  $\alpha$ -kesiti ve çekirdeği görsel olarak açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 1: Bulanık sayının bir örneği

Parametrik (yarı) yamuk bulanık sayının üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq c_1 - \sigma \\ 1 - \left(\frac{c_1 - x}{\sigma}\right)^{S_L} & , \quad c_1 - \sigma \leq x \leq c_1 \\ 1 & , \quad c_1 \leq x \leq c_2 \\ 1 - \left(\frac{x - c_2}{\beta}\right)^{S_R} & , \quad c_2 \leq x \leq c_2 + \beta \\ 0 & , \quad x \geq c_2 + \beta \end{cases} \quad (2.6)$$

şeklindedir. Buna göre yamuk bulanık sayı için  $L_A(\alpha)$  ve  $R_A(\alpha)$  sırasıyla

$$L_A(\alpha) = c_1 - \sigma(1-\alpha)^{1/S_L} \quad (2.7)$$

$$R_A(\alpha) = c_2 + \beta(1-\alpha)^{1/S_R} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanabilir (Nasibov ve Peker, 2008). (2.1)'de,  $c_1 = c_2$  ise üyelik fonksiyonu parametrik üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonunu gösterir. Parametrik yamuk bulanık sayının sırasıyla sol ve sağ yayılma değerlerini veren  $\sigma$  ve  $\beta$  parametreleri,  $c_1 = L_A(1)$  ve  $c_2 = R_A(1)$  olmak üzere

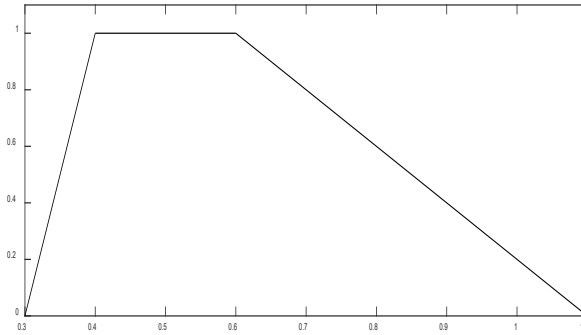
$$\sigma = L_A(1) - L_A(0) \quad (2.9)$$

$$\beta = R_A(0) - R_A(1) \quad (2.10)$$

şeklindedir.

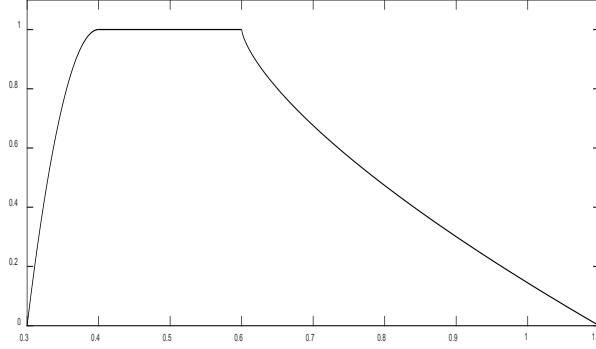
Yamuk bulanık sayı parametrik yamuk bulanık sayının özel bir halidir. (2.6)'daki üyelik fonksiyonu,  $S_L = 1$  ve  $S_R = 1$  durumunda yamuk bulanık sayının üyelik fonksiyonunu verir.

Şekil 2'de,  $L_A(1) = 0.4$ ,  $R_A(1) = 0.6$ , sol yayılma değeri  $\sigma = 0.1$ , sağ yayılma değeri  $\beta = 0.5$  olan yamuk bulanık sayı görsel olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Yamuk bulanık sayı

Şekil 3'de çekirdek değerleri 0.4 ve 0.6, sol yayılma değeri  $\sigma = 0.1$ , sağ yayılma değeri  $\beta = 0.5$ , sol taraf şekil parametresi,  $S_L = 2$  sağ taraf şekil parametresi  $S_R = 0.7$  olan parametrik yamuk bulanık sayı yer almaktadır.



Şekil 3. Parametrik Yamuk Bulanık Sayı

### 3. Dış Bükey Oran Kavramının Kullanıldığı Veri Setine Dayanan Parametrik Yamuk Bulanık Sayı Kurulumu

Bulanık sayıların kullanıldığı karar verme problemlerinde, veri dağılımını yansıtabilecek bulanık sayı kullanımı bazen bir ihtiyaç olabilir. Bu durumu dikkate alarak bu çalışmada dış bükey oran kavramı ve veriye dayanan parametrik yamuk bulanık sayı kurulumu ile ilgili adımlar verilmiştir. Dış bükey oranları olarak, üçgen bulanık sayının sol tarafına ve sağ tarafına göre bulanık sayının ne kadar genişleyip veya daraldığı dikkate alınmıştır.

Üçgen bulanık sayı için  $s_L=1$  ve  $s_R=1$  'dir.  $s_L$  değeri 1'den daha büyük bir değer veya daha küçük bir değer aldıkça yeni parametrik yamuk bulanık sayının sol tarafının  $s_L=1$  durumundaki haline göre oranı

$$\frac{\int_{c_1-\sigma}^{c_1} \left(1 - \left(\frac{c_1-x}{\sigma}\right)^{s_L}\right) dx}{\int_{c_1-\sigma}^{c_1} \left(1 - \left(\frac{c_1-x}{\sigma}\right)^1\right) dx} = \frac{\sigma - \frac{\sigma}{s_L+1}}{\sigma - \frac{\sigma}{2}} = \frac{1 - \frac{1}{s_L+1}}{\frac{1}{2}} = \frac{2s_L}{s_L+1} \quad (3.1)$$

şeklinde dir. Benzer şekilde değeri 1'den daha büyük bir değer veya daha küçük bir değer aldıkça yeni parametrik yamuk bulanık sayının sağ tarafının durumundaki haline göre oranı aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\int_{c_2}^{c_2+\beta} \left(1 - \left(\frac{x-c_2}{\beta}\right)^{s_R}\right) dx}{\int_{c_2}^{c_2+\beta} \left(1 - \left(\frac{x-c_2}{\beta}\right)^1\right) dx} = \frac{\beta - \frac{\beta}{s_R+1}}{\beta - \frac{\beta}{2}} = \frac{1 - \frac{1}{s_R+1}}{\frac{1}{2}} = \frac{2s_R}{s_R+1} \quad (3.2)$$

Bu çalışmada bu oranlar dikkate alınarak veri setine dayanan bulanık sayının sol ve sağ taraf fonksiyonlarının şeklini veren  $s_L$  ve  $s_R$  parametreleri bulunmaya çalışılmıştır. Bulanık sayının  $L_A(1)$ ,  $R_A(1)$  çekirdek değerleri bulunurken sıralanmış veriler arasındaki uzaklıklar dikkate alınmıştır.  $k$ -komşuluğa düşen uzaklıkların ortalama değeri en düşük olan aralık kullanılarak bulanık sayının çekirdeği oluşturulmuştur. Bulanık sayının sol ve sağ yayılmaları ise sırasıyla verinin en düşük değeri ile  $L_A(1)$  arasındaki uzaklık, verinin en yüksek değeri ile  $R_A(1)$  arasındaki uzaklık olarak kabul edilmiştir. Bulanık sayının sol ve sağ tarafının şeklini veren  $s_L$  ve  $s_R$  parametrelerinin belirlenmesi için dış bükey oranlarından yararlanılmıştır.

Buna göre parametrik yamuk bulanık sayının oluşturulmasında kullanılan adımlar aşağıdaki gibidir:

- i. Veri setini  $x_1, x_2, \dots, x_n$  olacak şekilde sırala.
- ii.  $d_1 = x_2 - x_1, \dots, d_{n-1} = x_n - x_{n-1}$  olmak üzere sıralanmış ardışık veriler arasındaki uzaklığı hesapla.
- iii.  $m$ . uzaklığın  $k$  komşuluğuna düşen uzaklıkların ortalama değeri olan aşağıdaki  $\bar{d}_m$ 'yi hesapla,

$$m = k+1, k+2, \dots, n-k-1$$

$$\bar{d}_m = \frac{\sum_{i=m-k}^{m+k} d_i}{2k+1} \quad (3.3)$$

- iv. En düşük ortalama uzaklık değerini ( $\bar{d}_j$ ) belirle

$$(\bar{d}_j) = \min \{\bar{d}_m\}, m = k+1, k+2, \dots, n-k-1 \quad (3.4)$$

ve en düşük ortalama uzaklığa sahip olan aralığı, yoğunluğu en yüksek aralık olarak ata.

- v.  $\bar{d}_j$  değerine karşılık gelen yoğunluğu en yüksek aralıktaki  $x_{j-k}$ ,  $x_{j+k+1}$  değerlerini, parametrik yamuk sayının sırasıyla  $c_1$  ve  $c_2$  çekirdek değerleri olarak al.

$$c_1 = x_{j-k} \quad (3.5)$$

$$c_2 = x_{j+k+1} \quad (3.6)$$

vi. Bulanık sayının sol yayılması için bulanık sayının  $c_1$  çekirdek değerine karşılık gelen  $x_{j-k}$  ile verinin en küçük değerine karşılık gelen  $x_1$  arasındaki farkı bul.

$$\sigma = x_{j-k} - x_1 \quad (3.7)$$

vii. Bulanık sayının sağ yayılması için bulanık sayının  $c_2$  çekirdek değerine karşılık gelen  $x_{j+k+1}$  ile verinin en yüksek değeri arasındaki farkı hesapla.

$$\beta = x_n - x_{j+k+1} \quad (3.8)$$

viii. Gözlemlenen  $x_i$  değerleri ile  $x_{j-k}$  arasındaki uzaklıkların toplamını  $i=1, \dots, j-k$

$$\sum_{i=1}^{j-k} |x_i - x_{j-k}| \quad (3.11)$$

gözlemlenen  $x_i$  değerleri ile  $x_{j+k+1}$  arasındaki uzaklıkların toplamını  $i=j+k+1, \dots, n$ ,

$$\sum_{i=j+k+1}^n |x_i - x_{j+k+1}| \quad (3.12)$$

$s_L = 1$  durumundaki sol tarafın beklenen  $x_i$  değerleri ile  $x_{j-k}$  arasındaki uzaklıkların toplamını

$$\sum_{i=1}^{j-k} |\sigma(1-\alpha_i)| \quad (3.13)$$

$s_R = 1$  durumundaki sağ tarafın beklenen  $x_i$  değerleri ile  $x_{j+k+1}$  arasındaki uzaklıkların toplamını bul,

$$\sum_{i=j+k+1}^n |\beta(1-\alpha_i)| \quad (3.14)$$

ix. Bulanık sayının sol ve sağ tarafının şeklini veren  $s_L$  ve  $s_R$  parametrelerinin değerlerini bulmak için, (3.15) ve (3.16) kullanılarak elde edilen (3.17) ve (3.18) yaklaşık eşitliklerini sırasıyla hesapla,

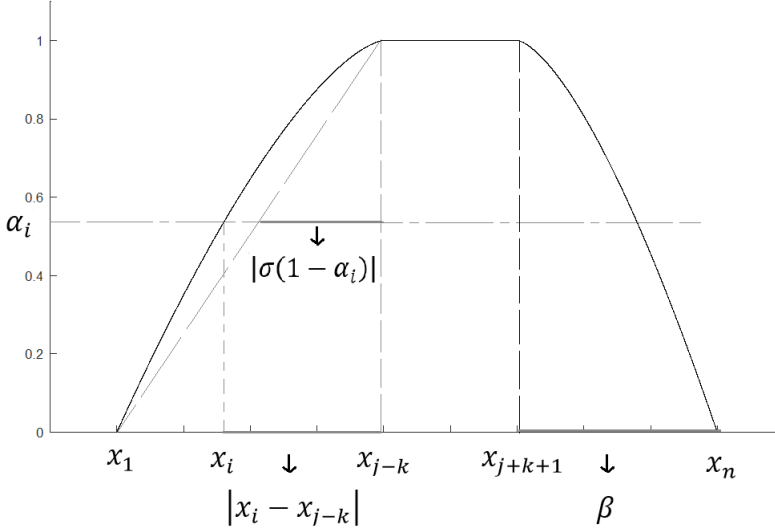
$$\frac{2s_L}{s_L+1} \approx \frac{\sum_{i=1}^{j-k} |x_i - x_{j-k}|}{\sum_{i=1}^{j-k} |(1-\alpha_i)\sigma|} \quad (3.15)$$

$$\frac{2s_R}{s_R+1} \approx \frac{\sum_{i=j+k+1}^n |x_i - x_{j+k+1}|}{\sum_{i=j+k+1}^n |(1-\alpha_i)\beta|} \quad (3.16)$$

$$S_L \approx \frac{\sum_{i=1}^{j-k} |x_i - x_{j-k}|}{2 \sum_{i=1}^{j-k} |(1-\alpha_i)\sigma| - \sum_{i=1}^{j-k} |x_i - x_{j-k}|} \quad (3.17)$$

$$S_R \approx \frac{\sum_{i=j+k+1}^n |x_i - x_{j+k+1}|}{2 \sum_{i=j+k+1}^n |(1-\alpha_i)\beta| - \sum_{i=j+k+1}^n |x_i - x_{j+k+1}|} \quad (3.18)$$

Yukarıda sunulan adımlarda (3.15) ve (3.16)'da kullanılan eşitliklerdeki ifadeler Şekil 4'te görsel olarak anlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 4: Şekil parametrelerinin oluşturulmasında bir aşama

#### 4. Bispektral İndeks Skor Sınıflamasında Bir Örnek

Beyin fonksiyon izleme sistemi olan Bispektral indeks (Bispectral index skor, BİS) hipnozun derinliği ile ilişkili olacak şekilde ölçeklendirilmiş elektroensefalografi (EEG) analizinden elde edilen bir endeks olup genel anestezi seviyesinin izlenmesinde kullanılabilir (Herrero, 2017). BİS monitörlenmesi gerek yetişkin gerekse çocuklar için sedasyon (uyku seviyesi) değerlendirme araçlarından biridir (Hawks vd., 2013).



Bu çalışmada Nasibov ve Ulutağay (2010)'da kullanılan 21 hastaya ait BİS değerleri ve uzmanların hasta sedasyon düzeyi (sedation stage) değerlendirmelerinin bulunduğu veri setleri kullanılmıştır. Her bir veri setinde bir hastaya ait 306 tane BİS değeri ve o BİS değerine karşılık gelen uzman sedasyon değerlendirmesi yer almaktadır. Önerilen yöntem ile elde edilen üyelik fonksiyonlarının bir sınıflama probleminde nasıl sonuçlar verebileceğini görebilmek için, önerilen yöntem bu veri setlerinde çalıştırılmıştır.

İlk aşamada her bir veri setinin 2/3'ü rasgele olarak seçilmiştir. Veri setinin seçilen kısmı eğitim seti, geri kalan 1/3'lük kısmı ise test seti olarak ayrılmıştır. Eğitim setlerinde var olan sedasyon düzeyleri 'sedasyon' satırında belirtilerek, bu düzeylerde yer alan BİS değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Eğitim Setlerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

	Eğitim Seti 1					
Sedasyon	1	2	3	4	5	
Ortalama	0,3898	0,4545	0,7230	0,8541	0,9263	
Ortanca	0,3755	0,4290	0,7045	0,8450	0,9285	
St.Sapma	0,0807	0,1081	0,0823	0,0249	0,0536	
Çarpıklık	1,2201	0,7864	-0,3292	0,4929	-0,0235	
Basıklık	1,3073	0,8599	-1,2915	-0,9987	-3,2332	
	Eğitim Seti 2		Eğitim Seti 3			
Sedasyon	2	3	2	3	4	
Ortalama	0,4355	0,6995	0,5376	0,7813	0,9005	
Ortanca	0,3890	0,6725	0,5300	0,8040	0,8980	
St.Sapma	0,1353	0,1080	0,1024	0,0734	0,0395	
Çarpıklık	1,0976	0,3547	0,0808	-1,9521	-0,2268	
Basıklık	0,3795	-0,9163	-0,5089	4,9092	-0,9261	
	Eğitim Seti 4			Eğitim Seti 5		
Sedasyon	1	2	3	1	2	3
Ortalama	0,3018	0,4313	0,8304	0,2607	0,5901	0,7397
Ortanca	0,3025	0,4075	0,8295	0,2585	0,6050	0,7425
St.Sapma	0,0332	0,0987	0,0505	0,0501	0,1145	0,0778
Çarpıklık	-0,2930	1,3264	-0,5683	0,2412	-0,1623	0,0120
Basıklık	-0,0646	1,9882	-0,0053	-0,6882	-0,7239	-1,3895

*Tablo 1'in devamı*

	Eğitim Seti 6		Eğitim Seti 7		
Sedasyon	2	3	2	3	
Ortalama	0,4178	0,6315	0,4677	0,7079	
Ortanca	0,4110	0,6450	0,4650	0,7170	
St.Sapma	0,0724	0,0544	0,1226	0,1012	
Çarpıklık	0,7975	-0,7056	0,2420	-1,8663	
Basıklık	0,8400	-0,4738	-0,7681	4,9299	
	Eğitim Seti 8		Eğitim Seti 9		
Sedasyon	3	4	5	3	
Ortalama	0,7149	0,8264	0,8537	0,7195	
Ortanca	0,7290	0,8280	0,8600	0,7440	
St.Sapma	0,1145	0,0460	0,0344	0,0862	
Çarpıklık	-0,3551	-0,8470	-1,0875	-0,9507	
Basıklık	-0,8621	0,5110	2,8524	0,6759	
	Eğitim Seti 10			Eğitim Seti 9	
Sedasyon	1	2	3	3	4
Ortalama	0,3152	0,5333	0,7454	0,8510	0,8996
Ortanca	0,3115	0,5405	0,7565	0,8465	0,9000
St.Sapma	0,0381	0,0707	0,0865	0,0340	0,0180
Çarpıklık	0,4490	-0,1921	-0,8519	-0,1278	-0,3971
Basıklık	-0,4031	-1,3229	-0,2196	-0,0038	0,6185
	Eğitim Seti 11				
Sedasyon	1	2	3	4	5
Ortalama	0,3649	0,4488	0,6687	0,9153	0,5570
Ortanca	0,3570	0,4320	0,6720	0,9385	0,5095
St.Sapma	0,0569	0,0717	0,1514	0,0541	0,1371
Çarpıklık	2,3335	0,4471	-0,1754	-1,4778	0,7857
Basıklık	10,4138	-0,6131	-1,2036	1,4371	-0,6329
	Eğitim Seti 12			Eğitim Seti 13	
Sedasyon	1	3	4	3	4
Ortalama	0,3157	0,6840	0,7298	0,7291	0,9140
Ortanca	0,2980	0,6830	0,7330	0,7490	0,9170
St.Sapma	0,0334	0,1386	0,1572	0,1102	0,0357
Çarpıklık	0,7839	-0,0678	-0,0495	-0,1162	-0,5576
Basıklık	-0,7042	-0,7729	-1,2365	-1,2982	0,1503

Tablo 1'in devamı

	Eğitim Seti 14		Eğitim Seti 15		
Sedasyon	3	4	5	3	5
Ortalama	0,5515	0,8828	0,8879	0,6371	0,8496
Ortanca	0,4800	0,8710	0,8950	0,5880	0,8785
St.Sapma	0,1627	0,0344	0,0535	0,1250	0,1028
Çarpıklık	1,1058	1,3404	0,2113	0,7285	-2,2615
Basıklık	0,0602	1,1492	-1,2484	-0,8429	4,3827
	Eğitim Seti 16		Eğitim Seti 17		
Sedasyon	3	4	5	2	3
Ortalama	0,6975	0,8576	0,9194	0,4221	0,6476
Ortanca	0,6820	0,8630	0,9190	0,4150	0,6370
St.Sapma	0,0862	0,0382	0,0345	0,0497	0,0936
Çarpıklık	0,2341	-1,4285	-0,5843	1,2017	-0,2872
Basıklık	-0,5097	2,7703	0,8465	1,9110	-0,3287
	Eğitim Seti 18		Eğitim Seti 19		
Sedasyon	2	3	2	3	
Ortalama	0,6430	0,7756	0,6631	0,7805	
Ortanca	0,6530	0,7770	0,6610	0,8060	
St.Sapma	0,0651	0,0543	0,0558	0,0582	
Çarpıklık	-0,1669	-0,6670	0,3477	-1,4571	
Basıklık	-0,0761	0,6196	-0,7173	1,1801	
	Eğitim Seti 20		Eğitim Seti 21		
Sedasyon	2	3	4	2	3
Ortalama	0,4070	0,7569	0,8150	0,5075	0,6014
Ortanca	0,3890	0,7690	0,8270	0,4890	0,5770
St.Sapma	0,0569	0,0673	0,0897	0,0942	0,1151
Çarpıklık	0,9410	-0,3371	-0,5256	1,6774	0,5801
Basıklık	-0,3755	-1,0062	-0,0331	2,8612	-0,3124

Daha sonraki aşamada her eğitim setindeki her uyku seviye için BİS değerlerine dayanan üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Örneğin, 3. eğitim veri setinde ikinci, üçüncü ve dördüncü sedasyon düzeylerindeki BİS değerleri yer almaktadır. 3. eğitim veri setindeki ikinci sedasyon düzeyi için BİS değerlerine dayanan parametrik yamuk bulanık sayıyı bulmak için bu düzeydeki BİS değerleri sıralanmış ve sıralanmış veriler arasındaki uzaklık bulunmuştur. Karar verici tarafından belirlenen  $k=5$  için  $k$  komşuluğa düşen ortalama uzaklıklar bulunmuştur. En düşük ortalama uzaklığın 43. uzaklığa karşılık geldiği görülmüş, sıralanmış verilerdeki 38. ve 49. veriler bulanık sayının  $c_1=0.485$ ,  $c_2=0.501$  çekirdek

değerleri olarak atanmıştır. 0.485 ile 1. sıradaki veri arasındaki uzaklık  $\sigma = 0.177$  sol yayılma değeri; 0.501 ile en son sıradaki arasındaki uzaklık,  $\beta = 0.286$  sağ yayılma değeri olarak alınmıştır. (3.17) ve (3.18) eşitlikleri kullanarak bulanık sayının sol ve sağ şeklini veren parametreler sırasıyla  $s_L=0.516573$  ve  $s_R=0.572539$  olarak bulunmuştur. Buna göre 3. eğitim veri setinde 2. sedasyon düzeyi için BİS değerlerine dayanan parametrik yamuk bulanık sayının üyelik fonksiyonu

$$\mu_{A_2}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.308 \\ 1 - \left( \frac{0.485 - x}{0.177} \right)^{0.516573} & , \quad 0.308 \leq x \leq 0.485 \\ 1 & , \quad 0.485 \leq x \leq 0.501 \\ 1 - \left( \frac{x - 0.501}{0.286} \right)^{0.572539} & , \quad 0.501 \leq x \leq 0.787 \\ 0 & , \quad x \geq 0.787 \end{cases}$$

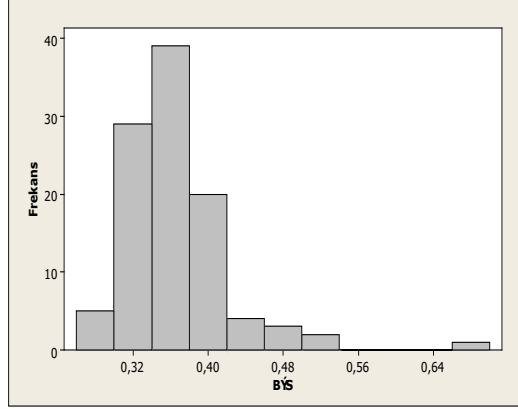
olarak bulunmuştur. Benzer işlemler üçüncü ve dördüncü sedasyon düzeyleri içinde yapılmış ve sırasıyla aşağıdaki üyelik fonksiyonlarına ulaşılmıştır.

$$\mu_{A_3}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.478 \\ 1 - \left( \frac{0.83 - x}{0.352} \right)^{0.260232} & , \quad 0.478 \leq x \leq 0.83 \\ 1 & , \quad 0.83 \leq x \leq 0.837 \\ 1 - \left( \frac{x - 0.837}{0.039} \right)^{0.572581} & , \quad 0.837 \leq x \leq 0.876 \\ 0 & , \quad x \geq 0.876 \end{cases}$$

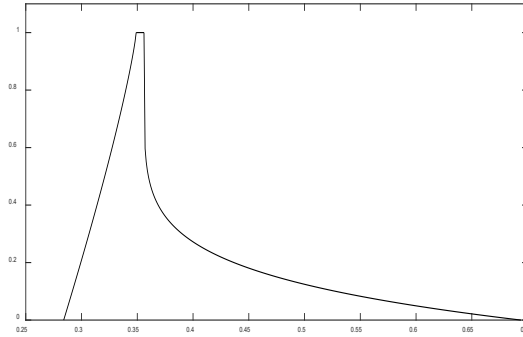
$$\mu_{A_4}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.833 \\ 1 - \left( \frac{0.871 - x}{0.038} \right)^{1.293103} & , \quad 0.833 \leq x \leq 0.871 \\ 1 & , \quad 0.871 \leq x \leq 0.961 \\ 0 & , \quad x \geq 0.961 \end{cases}$$

Test setlerinde ise BİS değerlerinin hangi sedasyon düzeyinde en yüksek üyelik derecesine sahip olduğuna bakılmış ve buna göre sedasyon düzeyi sınıflaması yapılmıştır. Örneğin, 3. test setinde yer alan 0.483 BİS değerinin ikinci, üçüncü ve dördüncü sedasyon düzeyleri için eğitim setine dayalı üyelik dereceleri sırasıyla 0.99983, 0.053492 ve 0 olarak bulunmuştur. Bu BİS değeri ikinci sedasyon seviyesinde en yüksek üyelik derecesine sahip olduğu için ikinci sedasyon düzeyi, sınıfı olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde diğer BİS değerleri için sedasyon sınıfları tespit edilmeye çalışılmıştır. Eğer sınıflamada birden fazla üyelik fonksiyonunda aynı en yüksek üyelik derecesine sahip olan BİS değeri varsa herhangi bir sınıflama yapılmamıştır.

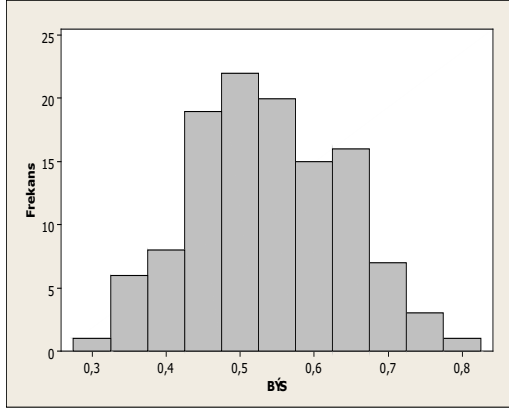
Önerilen yöntemin gerçek veriler üzerinde nasıl sonuçlar verdiğini göstermek için bazı eğitim setlerinde oluşturulan bulanık sayılar ve bu eğitim setlerindeki ilgili sedasyon düzeyine ait BİS değerlerinin histogramları Şekil 5-14'te verilmiştir.



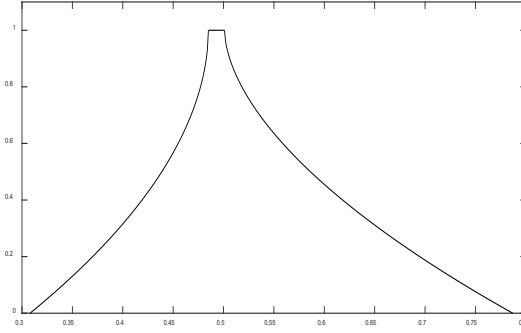
Şekil 5. 11. eğitim veri setinde 1. uyku seviyesinin BİS histogramı



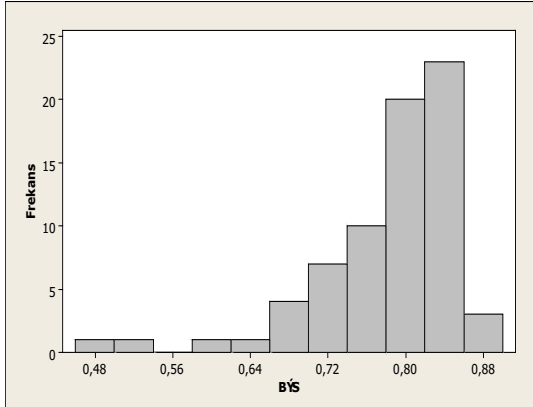
Şekil 6. 11. eğitim veri setinde 1. uyku seviyesine ait bulanık sayı



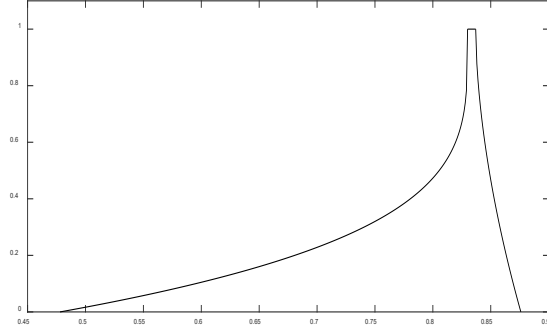
Şekil 7. 3. eğitim veri setinde 2. uyku seviyesinin BİS histogramı



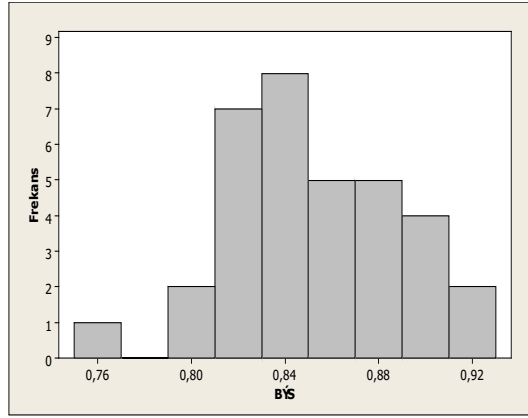
Şekil 8. 3. eğitim veri setinde 2. uyku seviyesine ait bulanık sayı



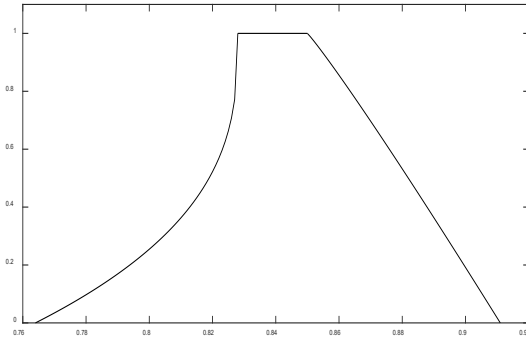
Şekil 9. 3. eğitim setinde 3. uyku seviyesinin BİS histogramı



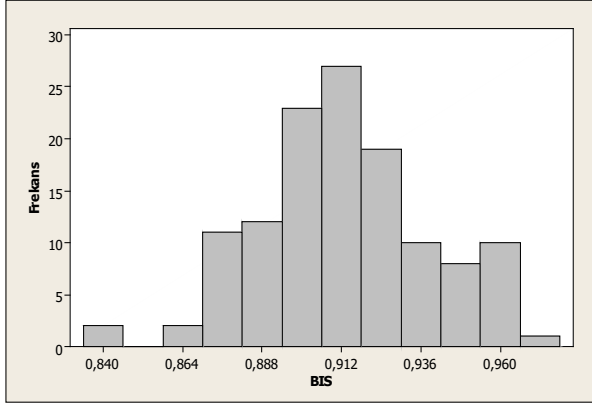
Şekil 10. 3. eğitim setinde 3. uyku seviyesine ait bulanık sayı



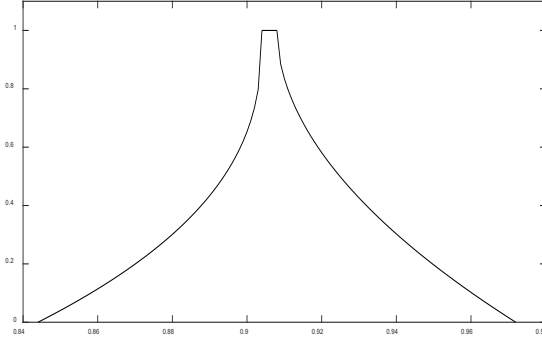
Şekil 11. 9. eğitim veri setinde 4. uyku seviyesinin BİS histogramı



Şekil 12. 9. eğitim veri setinde 4. uyku seviyesine ait bulanık sayı



Şekil 13. 13. eğitim veri setinde 5. uyku seviyesinin BİS histogramı



Şekil 14. 13. eğitim veri setinde 5. uyku seviyesine ait bulanık sayı

Her bir test seti için doğru olarak tahmin edilen sınıf sayısı hesaplanmıştır. Sınıflama kesinliği için, doğru tahmin edilen sınıf sayısının oranı kullanılmış ve elde edilen sınıflama kesinlikleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Önerilen yöntem ile bulunan sınıflama kesinlikleri

Test Seti	n	Doğru Tahmin	Sınıflama Kesinliği
1	102	73	0.715686
2	102	82	0.803922
3	102	76	0.745098
4	102	87	0.852941
5	102	60	0.588235
6	102	91	0.892157
7	102	79	0.77451
8	102	35	0.343137



9	102	85	0.833333
10	102	89	0.872549
11	102	54	0.529412
12	102	61	0.598039
13	102	54	0.529412
14	102	97	0.95098
15	102	75	0.735294
16	102	76	0.745098
17	102	95	0.931373
18	102	82	0.803922
19	102	67	0.656863
20	102	70	0.686275
21	102	57	0.558824

Test setlerine dayanan sınıflama kesinliklerinin ortalama, en küçük, en yüksek yaklaşık değerleri sırasıyla 0.7212885, 0.343137, 0.95098 olarak bulunmuş ve çoğunluğunun 0.593137'den daha yüksek bir değer aldığı görülmüştür.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

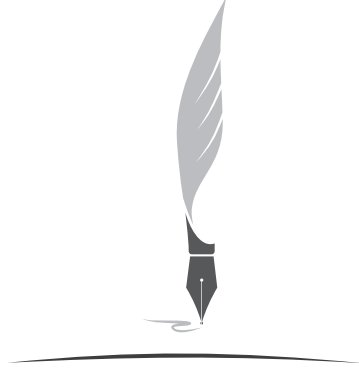
Verilere dayanan üyelik fonksiyon kurulumu verilerin yer aldığı karar verme problemlerinde dikkat edilmesi gereken bir adımdır. Verileri daha iyi yansıtan üyelik fonksiyonlarının oluşturulması ve kullanılması daha iyi sonuçlar alınmasını sağlayabilir. Bu çalışmada bu durum dikkate alınarak veri setine dayanan parametrik yamuk bulanık sayı kurulumu için bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntemde sıralanmış veriler dikkate alınarak, ardışık sıralanmış veriler arasındaki uzaklıklar hesaplanmış ve komşuluklarda yer alan uzaklıkların ortalama değerlerine bakılarak bulanık sayının çekirdeği oluşturulmuştur. Veri setindeki en küçük ve en yüksek değerlerinin bu çekirdeğe olan uzaklıkları sırasıyla bulanık sayının sol ve sağ yayılması olarak değerlendirilmiştir. Bulanık sayının sol ve sağ taraf şeklini veren parametreleri bulurken dış bükey oran kavramından yararlanılmış ve şekil parametrelerini veren yaklaşık eşitlikler oluşturulmuştur. Önerilen yöntemin bir sınıflama probleminde nasıl sonuçlar vereceği merak edilmiş ve 21 hastaya ait bispektral indeks skor veri setlerinde önerilen yöntem uygulanmıştır. Her bir veri seti eğitim ve test seti olarak ikiye ayrılmış, eğitim setleri kullanılarak üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Bulunan üyelik fonksiyonları yardımıyla, test setinde yer alan bispektral indeks skor değerleri ile sedasyon düzeyi sınıflaması yapılmıştır. Doğru tahmin edilen sedasyon düzey sayısı, doğru tahmin oranı her test seti için verilmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] Alcalá-Fdez, J., Alcalá, R., Gacto, M.J., Herrera, F. 2009. Learning the membership function contexts for mining fuzzy association rules by using genetic algorithms. *Fuzzy Sets and Systems*, 160 (2009), 905–921
- [2] Ang, K.K., Quek, C. 2012. Supervised Pseudo Self-Evolving Cerebellar algorithm for generating fuzzy membership functions. *Expert Systems with Applications*, 39 (2012), 2279–2287.
- [3] Ban, A. Coroianua, L.C. 2011. Discontinuity of the trapezoidal fuzzy number-valued operators preservingcore, *Computers and Mathematics with Applications* (2011), 3103-3110.
- [4] Ban, A.I., Coroianu, L. 2012. Nearest interval, triangular and trapezoidal approximation of a fuzzy number preserving ambiguity, *International Journal of Approximate Reasoning*, 53(2012), 805-836.
- [5] Chen, C.H., Hong, T.P., Tseng, V.S. 2009. An improved approach to find membership functions and multiple minimum supports in fuzzy data mining. *Expert Systems with Applications*, 36 (2009), 10016–10024.
- [6] Flores-Sintas, A., Cadenas, J., Martin, F. 1999. Membership functions in the fuzzy c-means algorithm. *Fuzzy Sets and Systems*, 101(1) (1999), 49–58.
- [7] Font, J.J., Sanchis, D., Sanchis, M., 2018. Completeness, metrizable and compactness in spaces of fuzzy-number-valued functions, 353 (2018), 124-136.
- [8] Herrero, S., Carrero, E., Valero, R. Rios, J., Fábregas, N. 2017. Postoperative surveillance in neurosurgical patients – usefulness of neurological assessment scores and bispectral index. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*, 67(2017), 153-165.
- [9] Hawks, S.J., Brandon, D., Uhl, T. 2013. Nurse perception of Bispectral Index monitoring as an adjunct to sedation scale assessment in the critically ill paediatric patient. *Intensive and Critical Care Nursing*, 29(2013), 28-39.
- [10] Hong, T. P., Chen, C. H., Wu, Y. L., & Lee, Y. C. (2006). A GA-based fuzzy mining approach to achieve a trade-off between number of rules and suitability of membership functions. *Soft Computing*, 10(11), 1091–1101.
- [11] Huang, H., Wu, C., Xie, J., Zhang, D. (2017) Approximation of fuzzy numbers using the convolution method, *Fuzzy Sets and Systems*, 310 (2017), 14-46.
- [12] Jiang, Z., Wu, W., Qin, H., Hu, D., Hairong Zhang, H. 2019. Optimization of fuzzy membership function of runoff forecasting error based on the optimal closeness. *Journal of Hydrology*, 570 (2019), 51–61
- [13] Liao, H., Xu, Z., Zeng, X.-J. 2015. Novel correlation coefficients between hesitant fuzzy sets and their application in decision making. *Knowledge-Based Systems*, 82 (2015), 115-127.

- [14] Massona, M.H., Denoeux, T. 2006. Inferring a possibility distribution from empirical data. *Fuzzy Sets and Systems*, 157 (2006), 319–340.
- [15] Nasibov, E.N., Peker, S. 2008. On the nearest parametric approximation of a fuzzy number, *Fuzzy Sets and Systems*, 159 (2008), 1365-1375.
- [16] Nasibov E., Peker S. 2011. Exponential Membership Function Based on Frequency, *Asian Journal of Mathematics and Statistics*, 4 (2011), 8-20.
- [17] Nasibov, E.N., Ulutagay, G. 2010. Comparative clustering analysis of bispectral index series of brain activity. *Expert Syst. Appl.*, 37(2010), 2495-2504.
- [18] Ramos-Guajardo, A.B., Ferraro, M.B. 2019. A fuzzy clustering approach for fuzzy data based on a generalized distance, *Fuzzy Sets and Systems*, Available online 26 September 2019.
- [19] Sánchez, D.E. Barros, L.C., Esmia, E. 2019. On interactive fuzzy boundary value problems. *Fuzzy Sets and Systems* (358) 2019, 84-96.
- [20] Sinova, B., Gil, M.A., Colubi, A., Aelst, S.V. 2012. The median of a random fuzzy number. The 1-norm distance approach, *Fuzzy Sets and Systems*, 200 (2012), 99-115.
- [21] Yadav, H.B., Yadav, D.K. 2015. Construction of Membership Function for Software Metrics. *Procedia Computer Science*, 46 ( 2015 ), 933 – 940
- [22] Yeh, C.T., Chu, H-M. 2014. Approximations by LR-type fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, 257 (2014), 23–40.





## Bölüm 2

### **TÜRKİYE'DE ORMAN ALANLARINDA MADEN İŞLETME FAALİYETLERİ YAPILABİLMESİ İÇİN GEREKLİ İZİNLER KONUSUNDA YAŞANAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

*Taşkın Deniz YILDIZ<sup>1</sup>, Orhan KURAL<sup>2</sup>, Zehreddin ASLAN<sup>3</sup>*

---

1 Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Arş. Gör.

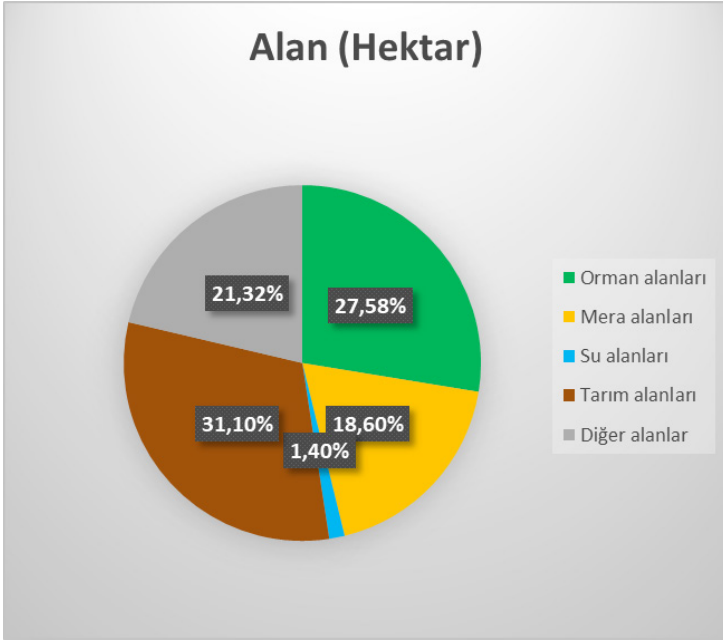
2 İstanbul Aydın Üniversitesi, Prof. Dr.

3 İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi, Prof. Dr.



## 1.Giriş

Maden işletme faaliyetleri, üretime yönelik hazırlık çalışmaları ve üretim yapılması için gerekli faaliyetleri kapsamaktadır. Madencilik her aşaması riskli olup yatırımların geri dönüş süreci uzundur. Özellikle madenlerin yer seçme şansının olmayarak bulunduğu yerde üretilmek zorunda oluşu, başka yararlar ile alan kullanım çakışmalarını da beraberinde getirmektedir. Nitekim bunlardan en çok rastlanılan orman alanlarıdır. Orman alanları, Türkiye'nin ülke toplam yüzölçümü olan 78 534 470 hektarlık alanının % 27,6'sını oluşturmaktadır<sup>4</sup> (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye'de arazi kullanım sınıflarının ülke yüzölçümüne oranı<sup>5</sup>

Ülkemizde *orman bölgeleri* içerisinde madencilik faaliyetlerinin yapılabilmesi için zorunlu ve ruhsat süresine bağlı olarak yapılan geçici tesislere; 6831 sayılı Orman Kanunu, Orman Kanunu Uygulama Yönetmeliği ve Orman İzin Yönetmeliğinin öngördüğü çerçevede izin verilmesi öngörülmüştür. 4 Ocak 2008 tarihinden itibaren rehabilitasyon projelerinin maden işletmeleri için zorunlu tutulduğu dikkate alındığında, 2009 yılından itibaren orman alanları içerisinde verilen maden izin sayılarına göz atmakta fayda var.

4 1973-2018 yılları arasında orman alanlarında %10,7, orman servetinde de % 43,58 artış sağlanmıştır. 2018 yılı itibariyle ülkemiz orman alanları 22.621.935 hektardır (OGM, 2019b).

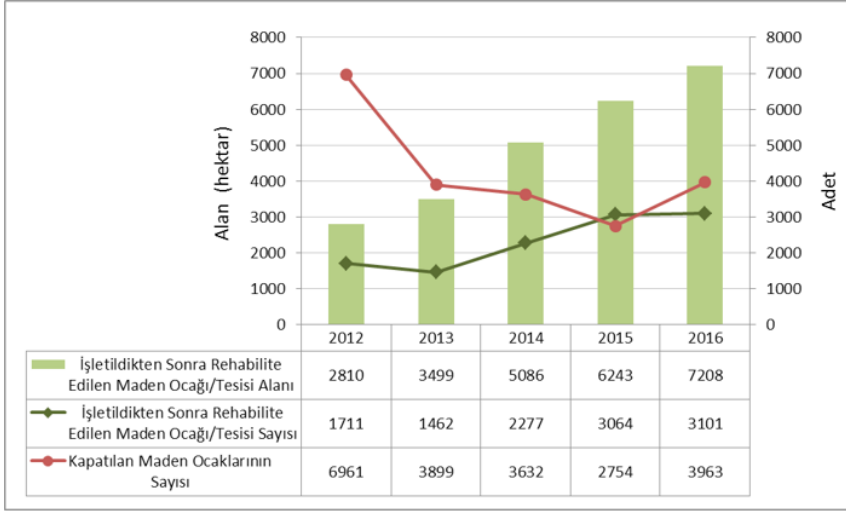
5 (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014b) verilerinden uyarlanarak şekil çizilmiştir.

2009 yılı sonu itibarıyla kullanımda olan maden izinlerinin sayısı 13767 adet olup bu *orman alanları* içerisinde verilen madencilik faaliyetleri izin alanlarının toplamı ise 34390 hektardır (TBMM, 2010). Görüldüğü üzere söz konusu yıl itibarıyla bu ormanlık alanlar içerisinde maden ocakları sadece ormanlık alanların % 0,2'sini, toplam ülke yüzölçümünün ise 0,0004'ünü kaplamaktadır (Akpınar, 2011). OGM verilerine göre 2018 yılında ise, maden işletme faaliyetlerine geçici olarak tahsis edilen orman alanı (65883 hektar ile), ülkedeki (22.621.935 hektarlık) tüm ormanlık alanların yaklaşık % 0,3'üne<sup>6</sup> ulaşmıştır (OGM, 2019b). Madencilik ayrılan bu sahaların çoğunluğunun çok bozuk baltalık ve bozuk baltalık alanlar olduğu belirtilmiştir (Madencilik Türkiye Dergisi, 2019).

Madencilik, açık ve kapalı madencilik olmak üzere iki ana usulle yapılmaktadır. Cevherin yeryüzüne yakın bir tabakada bulunması halinde açık madencilik yöntemi uygulanması gerekmekte olup, cevherin yeryüzünün derinliklerinde bulunması durumundaysa kapalı madencilik yöntemi uygulanır. Açık madencilikte çevreye olan olumsuz etki, faaliyetin yer yüzeyinde olması nedeniyle kapalı madencilikçe kıyasla daha da çoktur. Madencilik faaliyetleri sonucunda bozulan alanlarda arazi ıslahı faaliyeti gerçekleştirilerek doğal dengenin tekrar kurulabilmesi için; sahanın tekrar insanların ve diğer canlıların güven içinde faydalanabileceği duruma getirilmesini sağlayacak şekilde doğaya tekrar kazandırma faaliyetlerinin yapılması gerekmektedir. Bozulan sahaların rehabilitasyonundaki ana amaç, madencilik dayalı olarak bozulan veya etkilenen sahalarla ekolojik, ekonomik ve estetik değerlerini mümkün olduğu derecede tekrar geri kazandırmak ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini sağlamak olmalıdır. Madeni çıkarılan bazı alanların ağaçlandırılarak rehabilitasyonu her zaman mümkün değildir. Bu türden alanlar, yapılacak faaliyetlerle göletler, rekreasyon alanları ya da tabiat parklarıyla katı atık depolama alanları olarak düzenlenerek geri kazandırılmaları sağlanabilir (TÜMMER vd., 2013), (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014a). Doğaya yeniden kazandırma ile madencilik faaliyetleri sonucunda bozulan sahaların önceki ekonomik ve çevresel değerlerine yakın bir duruma getirilmesi hedeflenmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018). Böylece bu sahalarındaki madencilik faaliyetleri biten kısımlar, faaliyetin tamamıyla bitmesi beklenmeden kademe kademe rehabilitasyonu gerçekleştirilerek OGM'ye teslim edilmektedir (TMD, 2019b). OGM verilerine göre, İşletildikten sonra rehabilite edilen maden işletmesi sayıları ile kapatılan maden işletmesi sayıları aşağıda verilmiştir (Şekil 2).

6 1997-2017 yılları arasında yılda ortalama 2188 adet orman yangını çıkmış ve her yıl ortalama 8684 hektar orman yanmıştır (Türkiye Ormancılar Derneği, 2019). Son yıllarda orman yangını sayısı artsa da, zarar gören toplam orman alanında düşüş kaydedilmiştir. OGM tarafından 2014-2018 yılları arasında yılda ortalama 2413 adet orman yangınına müdahale edilmiş ve yılda ortalama 6628 hektar ormanlık alan zarar görmüştür (OGM, 2019a). Orman yangınından zarar gören söz konusu yıllık ortalama alanın bugünkü toplam orman alanına oranı % 0,03'dür. Orman yangınından zarar gören bu alanın yaklaşık olarak, maden alanlarının kullanılmakta olduğu toplam orman alanlarının onda biri olduğu görülmektedir.



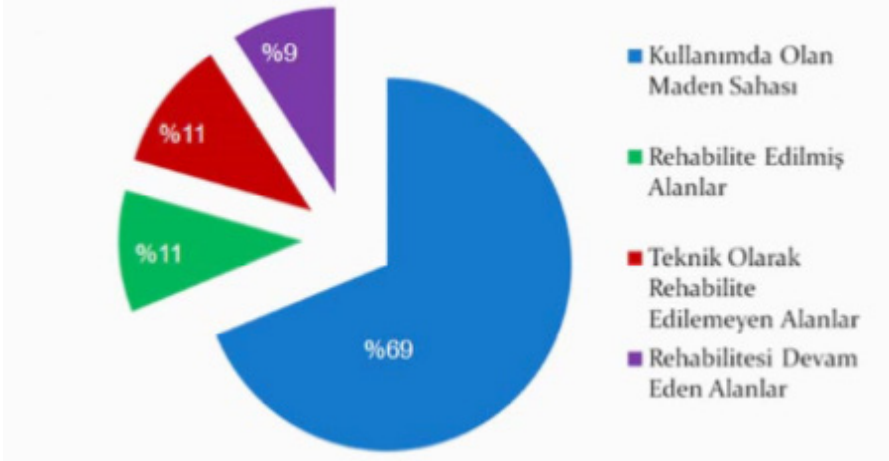


Şekil 2. İşletildikten sonra rehabilite edilen maden işletmesi sayısı ve alanı (2010-2016) (OGM, 2017); (MAPEG, 2017).

Şekilde görüldüğü üzere yıllar içerisinde maden ocakları kapatılmakta ve rehabilitasyon gerçekleştirilerek orman alanlarında sürdürülebilirlik sağlanmaktadır. Türkiye’de tabiata yeniden kazandırma ve ıslah faaliyetleri; maden planlama safhasından başlayıp, madencilik faaliyetleri süresince ve madencilik sonrasında alan kullanımları safhasına değin aralıksız sürdürülen bütüncül faaliyetlerdir. Madencilik alanlarının rehabilitasyonu “ağaçlandırma çalışmaları” olarak yürütülmekteyken, 04.01.2008 tarihinden itibaren bu faaliyetlerin daha ayrıntılı “Rehabilitasyon Projeleri”ne uygun olarak sürdürülmesi kararı alınmıştır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014a). Buna göre, doğal yapısı bozulan izin alanları; izin sahibi tarafından çevre emniyetinin sağlanması, rehabilite projesine uygun bir şekilde ıslah edilmesi, doğaya kazandırılması ve çevre ile uyumlu hale getirilmesi suretiyle rehabilitasyonu gerçekleştirilerek geri teslim edilir (Rehabilitesi gerçekleştirilecek madencilik alanı kullanılmadan evvel verimsiz ve çoraklık orman sahası olmuş olsa dahi rehabilitesi yapılması mecburidir). Buna karşın, OBM tarafından uygun görülmesi durumunda rehabilitasyon faaliyetleri idare tarafından yapılır veya yaptırılır (Sezer ve Gençay, 2017).

Böylece, gerçekleştirilen “rehabilitasyon” faaliyetleri, Türkiye’de orman mevzuatı açısından madenciye ilgilendiren önemli bir konudur. Maden işletme izinlerinin verilmesi yanı sıra sahaların geri teslimi de önemli bir yasal süreci oluşturmaktadır. 6831 sayılı Orman Kanunu’nun 16. maddesine göre, devlet ormanlarında madencilik faaliyetleri yapılması sonrasında, madencilik izin sahibi OGM’ye teslim edeceği alanın reha-

bilitesini rehabilitasyon projesine göre yapmak mecburiyetindedir (Sezer ve Gençay, 2017). Türkiye genelinde orman sayılan alanlarda madencilik faaliyeti sonucunda terk edilen rehabilite edilen ya da edilmeyen alanların dağılımı aşağıda verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Madencilik faaliyeti yapılan orman alanlarında rehabilite edilmiş alanların oranı (TBMM, 2010).

Şekilde dağılımları görüldüğü üzere; 2009 yılı sonu itibariyle Türkiye genelinde orman sayılan alanlarda madencilik faaliyeti sonucunda terk edilen toplamda 15598 hektar alanın, 5299 hektarı *rehabilite* edilmiştir. 5684 hektarı (hukuki, tel kesme yöntemiyle işletilen mermer sahaları ve arazi şartlarından kaynaklanan) çeşitli nedenlerden dolayı *rehabilite* edilemeyen, 4605 hektarıysa *rehabilite* çalışmaları devam eden sahalar"dır (TBMM, 2010). Yaklaşık olarak bu tarihten itibaren, 2010 yılında, Türkiye’de maden işletmelerinin işletme ruhsatı başvurusunda, işletme projeleri kapsamında “çevre ile uyum planı”nı yapmaları ve buna dayalı olarak ruhsat sahiplerinden çevre ile uyum teminatı alınması zorunlu tutulmuştur. Bu teminatın yanı sıra, Türkiye’de orman alanlarında madencilik faaliyetleri yapılabilmesi için maden işletmesinden; “orman arazi izin bedeli”, “ağaçlandırma bedeli”, rehabilitasyon bedelleri, ve (teminat, hizmet ve rapor gibi) “diğer bedeller” alınmaktadır<sup>7</sup>.

Böylece, orman izin sürecinde maden yatırımcısı diğer dünya devletlerine kıyasla astronomik orman bedelleri ödemektedir. Bu bedellerin

7 Maden işletmeleri sadece 2018 yılı içerisinde OGM’ye işletme faaliyetleri için orman alanlarında verilen izin bedeli olarak toplam 1,351 Milyar TL, ek devlet hakkı olarak 70 milyon TL ve ağaçlandırma bedeli olarak da 218 Milyon TL ödemiştir. Bu bedelin 295 Milyon TL’si Türkiye’nin tamamının ağaçlandırma çalışmaları için harcanmıştır. Böylece sadece 2018 yılında madencilik faaliyetlerinden toplam 1,639 Milyar TL gelir edilmiş olup, orman gelirlerinin yaklaşık %50 si madencilik faaliyetlerinden alınan bedeller ile karşılanmıştır (OGM, 2019).

toplamının maden yatırım tutarları içerisinde % 30-40'lık (Yıldız, 2018) bir paya ulaşıyor olması, madencilik sektörünün en büyük sorunlarından biridir. Bu tabloda yerli ve yabancı maden yatırımcılarının planladıkları maden yatırımlarında fizibl, ekonomik işletilebilirlik sağlamaları mümkün değildir. Bu nedenle orman izin bedelleri'nin diğer dünya ülkeleri dikkate alınarak daha ölçülü bir dereceye indirilmesi gerekmektedir.

Orman bedelleri konusundan farklı diğer sorunlar da bulunmaktadır. Bu sorunlardan biri, çalışmanın konusu kapsamında incelenen, orman izinlerinde yetkili kurumun diğer kurumlardan görüş istemesi ve bu suretle madencinin üretime ne zaman başlayacağını önceden öngörememesidir. Ayrıca, bir diğeri ise, Orman Yönetmeliğinde getirilen diğer değişiklikler sonucu prosedürlerin artması ve izinlerin bekletilmesi sonucu maden yatırımlarının kaybedilme noktasına gelmesidir.

Orman izin süreçleri madencilik sektörünün en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Aylar hatta yıllar süren izin süreçleri mevcut işletmelerin sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemekte, yeni işletmeler de açılmamaktadır (Emiroğlu, 2019). Nitekim halen izin başvuruları ETKB'ye gitmekte ve burada uzun süre kalmakta, halen alan aşımaları nedeniyle binlerce madenci ceza mahkemelerinde yargılanmakta, halen orman bedelleri çok yüksek, halen taahhütname alınmakta ve bunun noterden tasdik edilmesi istenmekte ve halen orman müdürlükleri orman bedellerini peşin almalarına rağmen maden işletmelerine yer teslimlerini aylarca bekletmektedir (Sökmen, 2017).

Bu konu kapsamında, öncelikle Yeni Orman Yönetmeliği ile getirilen mevzuat değişikliklerine değinilmiştir. Ardından orman alanlarında maden işletme faaliyeti yapılabilmesi için gerekli orman izin sürecinde yaşanan sorunlar incelenmiştir. Orman Genel Müdürlüğü yanı sıra bu kurumun görüş sorduğu diğer kurumların izin sürecine etkileri ile durum değerlendirilmiştir.

## 2. Orman Mevzuatında Öngörülenler ve Değişiklikler

Türkiye'de "Çevre" kavramı ilk kez 1982 Anayasası'nın 56. maddesinde yer almış ve buna bağlı olarak 1983 yılında 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun yürürlüğe sokulması tüm ülkede geçmişe kıyasla çevre konularına hassasiyetle bakılmasını sağlamıştır. Devamında bunlara paralel olarak madencileri bağlayacak "Çevresel Etki Değerlendirilmesi" (ÇED) yönetmelikleri çıkarılmış ve sonraki yıllarda bu yönetmeliklerde birkaç kez değişiklik yapılmıştır. Özellikle ÇED bakımından bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi yasal bir zorunluluk olup maden planlaması sürecinde bunun dikkate alınması gerekmektedir (Yıldız vd., 2016). Türki-

ye’de madencilik sektörünü ilgilendiren çevre mevzuatı aşağıda görülmektedir (Çizelge 1).

*Çizelge 1. Türkiye’de madencilik sektörünü ilgilendiren çevre mevzuatı.*

<b>Mevzuat</b>	<b>Yürürlük tarihi</b>	<b>Son değişiklik tarihi</b>
Çevre Kanunu	11.08.1983	10.12.2018
ÇED Yönetmeliği	25.11.2014	8.07.2019
Milli Parklar Kanunu / Yönetmeliği	11.08.1983 / 12.12.1986	15.07.2005 / 18.03.2014
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği	31.12.2004	30.11.2012
Madencilik Faaliyetleri Sonucu Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği	23.01.2010	-
Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik	8.06.2010	11.07.2013
Maden Kanunu / Maden Yönetmeliği	15.06.1985 / 21.09.2017	28.02.2019 / -
Kum Çakıl ve Benzeri Maddelerin Alınması, İşletilmesi ve Kontrolü Yönetmeliği	8.12.2007	-
Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği	4.10.2010	18.11.2015
Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği	3.07.2009	20.12.2014
Maden Atıkları Yönetmeliği	15.07.2015	16.07.2016
Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	14.03.1991	5.04.2005
Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	14.03.2005	5.11.2013
Atıksu Altyapı ve Evsel Katı Atık Bertaraf Tesisleri Tarifelerinin Belirlenmesinde Uyulacak Usul ve Esaslara İlişkin Yönetmelik	27.10.2010	2.02.2019
Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği	30.07.2008	5.11.2013
Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği	4.04.2014	23.10.2019
Yaban Hayatı Korunması ve Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları ile İlgili Yönetmelik	08.11.2004	-
Çevre Düzeni Planlarına Dair Yönetmelik	11.11.2008	17.02.2009

Tüm bu mevzuatın amacı madenlerin ekonomiyeye kazandırılması sürecinde işletmesi tamamlanan ya da yeni işletmeye açılacak olan alanların tabiata yeniden kazandırılmasını ve iyileştirilmesini sağlamak, madencilik öncesindeki ekolojik şartlara ve fonksiyona mümkün olduğunca yakın bir çevre oluşturmaktır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014a).

Yürürlükteki çevre mevzuatına göre maden işletmeleri, en değerli madenler olsa dahi madenin bulunduğu her yerde madencilik yapamamaktadır. Arkeolojik alanlar, doğal sit alanları, özel çevre koruma bölgeleri, muhafaza ormanları ile, içme ve kullanma suyu rezervuarının mutlak, kısa ve orta mesafeli koruma alanlarında madencilik yapılmasına izin verilmemektedir (Madencilik Türkiye Dergisi, 2019); (TMD, 2019b). Millî parklar, av ve yaban hayatı koruma alanları, ormanlar, meralar, tarım alanları, sulak alanlar ile, içme ve kullanma suyu rezervuarının uzun mesafeli koruma alanlarında ise koşullu olarak madencilik yapılabilmektedir (Oygür, 2019b).

Orman arazileri; “üzerinde buldukları arazi ile birlikte doğal olarak yetişen ya da emekle yetiştirilen ağaç ve ağaççık toplulukları ile ağaçlandırılması planlanan alanlar”dır. Bu alanlar mülkiyet ve idare açısından “devlet ormanları” veya “özel kişilere ait ormanlar” olarak ayrılmaktadır (Kavcı, 2014). Bu alanlarla çakışan madencilik faaliyetlerinin büyük kısmı *devlet ormanlarında* işletilmektedir (Sezer & Gençay, 2017). Devlet ormanlarında madencilik faaliyetleri için izin hükümleri söz konusu Orman Kanununun 16. maddesinde düzenlenmiştir. Bu maddede, devlet ormanlarında ve devlet ormanları sınırları içerisindeki “*tohum meşcereleri, gen koruma alanları, muhafazaormanları, orman içi dinlenme yerleri, endemik vekorunması gereken nadir ekosistemlerin bulunduğu alanlarda*” madencilik faaliyetlerine izin verilebilmektedir. Türkiye’de hazineye ait orman ve orman sayılan arazilerde madencilik faaliyetleri yapılabilmesi için izin alınacak arazinin bağlı bulunduğu Orman Bölge Müdürlüğü’nden izin alınması gerekmektedir.

“Orman” kabul edilen sahalarda, ruhsatlı veya ruhsatsız bir şekilde faaliyet gerçekleştirenler hakkında “6831 sayılı Orman Kanunu”nun ilgili hükümlerince suç tutanağı düzenlenerek gerekenin hızla yapılması öngörülmüştür.

Bir maden işletmesinin nasıl kapatılacağı ve işletme sırasında doğal bütünlüğü bozulmuş sahanın nasıl yeniden doğaya kazandırılacağı (rehabilitasyon) ÇED’in bir parçasıdır (Oygür, 2019a). 2010 yılında “5995 sayılı Kanun ile değişik 3213 sayılı Maden Kanunu”nun 7. maddesine; “madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde bütün izin işlemlerinin ÇED sürecinde en geç 3 ay içerisinde tamamlanması gerektiği” hükmünün getirilmesi, esas itibarıyla tüm kanun ve yönetmelikler arası çatışmaları hafifletecek bir düzenleme öngörmekteydi. Ancak, geçmişte özellikle Maden ile Orman İzin Yönetmeliği’ndeki hükümlerin birbiriyle uyumsuzluğu madencilik faaliyetleri için alınması gerekli izin başvurularını olumsuz doğrultuda etkilemiştir. Bu durum madencilik faaliyetlerinin daha başlamadan yapılamamasına sebep olmuştur.

Böylece bu dönemde uygulamalarda *orman izinlerinin* alınmasında zorluklar yaşanmaya devam etmekteydi. Bazen hiçbir bilimsel veri ve yasal temele dayanmadan keyfi hareket edilmekte ve yetkili kişilerin yetkilerini kullanma biçimine bağlı olarak işletme faaliyetleri için “buradaki ağaçları kestirtmem” denilerek izinler hiçbir suretle verilmemekteydi (Bu zorluklar halen zaman zaman, geçmişe kıyasla daha ağır bir biçimde ortaya çıkmaktadır).

Bunun dışında, izin verilmesinin uygun bulunması durumunda ise doğrudan Çevre ve Orman Bakanlığı’nın onayı aranmaktaydı. Bu uygulama, izin alınması sürecini uzunca bir süre engellemekte ve çoğu kere bir maden üretim sezonunun kaybına neden olmaktaydı (Onur, 2008).

22.03.2007 tarihli ve “26470 sayılı Orman Sayılan Alanlarda Verilecek İzinler Hakkında Yönetmelik”in amacı; “6831 sayılı Orman Kanunu’nun 16, 17, 18 ve 115. maddelerine göre verilecek izin ve irtifak haklarının uygulama usul ve esasları ile bunlardan tahsil edilecek bedellere ait faaliyet ve işlemleri düzenlemek”ti. Orman olarak kabul edilen sahalarda verilecek maden arama ve işletme izinleri, 26.05.2004 tarihli ve 5177 sayılı Kanun’un 34. maddesiyle değiştirilen “6831 sayılı Orman Kanunu”nun 16. maddesine göre, Maden Kanunu’nun 7. maddesindeki şartlara bağlanmıştı.

İlerleyen süreçte 3213 sayılı Maden Kanununun 7. maddesinin ilk fıkrasının Anayasa Mahkemesi tarafından 2009 yılında iptal edilmesi sonrasında, “Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği”nin hukuki mesneti kalmamış, Danıştay kararlarıyla “Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği”nin birçok maddesinin yürürlüğü durdurulmuştur.

Danıştay’ın bu kararları sonrasında, Çevre ve Orman Bakanlığı, “Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği” uyarınca maden alanlarına orman izni vermemiş, kendi mevzuat maddelerini dikkate alarak bu izinleri vermiştir. Oluşan sorun, “Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği”ne geçici madde konularak bertaraf edilmek istenmiştir. Nitekim 19.08.2009 gün 27324 sayılı Resmi Gazete’de (RG) yayımlanan Geçici 4. maddede; “*Orman sayılan alanlarda madencilik faaliyetlerine ilişkin yeni bir düzenleme yapılincaya kadar orman, muhafaza ormanı ve ağaçlandırma alanlarında madenlerin aranması ve işletilmesi ile ilgili faaliyetlerde alınması gereken izinlerde 22.3.2007 tarihli ve 26470 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Orman Sayılan Alanlarda Verilecek İzinler Hakkında Yönetmelik<sup>1</sup> hükmü uygulanır.*” denilmiştir (Yeşilyurt, 2010).

Bu süreçte Danıştay, Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliğinin yürürlüğünü durdurmuş, ancak esas izinlerin verildiği orman mevzuatında bir iptal ya da yürürlüğün durdurulması yöneliminde bir karar verilme-

miştir. Böylece bu Yönetmeliğin iptali *orman izni* vermemenin bahanesi olmuştur<sup>8</sup> (Yeşilyurt, 2010).

Devamındaki süreçte, 2010 tarihli “Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği”, devlet ormanları içerisinde maden aranması ve işletilmesiyle madencilik faaliyeti için zorunlu bulunan tesis, yol, enerji, su, haberleşme ve alt yapı tesislerine Çevre ve Orman Bakanlığınca izin verilmesini öngörmüştür. İzin verilirken fon bedelleri dışında mevzuat uyarınca hesaplanacak bedel alınır. Fakat, “temdit”ler dahil ruhsat süresince kazanılmış haklar korunmak üzere “devlet ormanları sınırları içerisindeki tohum meşcereleri, gen koruma alanları, muhafaza ormanları, orman içi dinlenme yerleri, endemik ve korunması gereken nadir ekosistemlerin bulunduğu alanlarda maden aranması ve işletilmesi”, Çevre ve Orman Bakanlığının iznine bağlanmıştır.

Bu doğrultuda Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından maden ve hammadde üretim izinlerini düzenlemek için 30 Eylül 2010 Tarihli ve 27715 sayılı RG’de yayımlanan “Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliği” yürürlüğe konulmuştur.

Son olarak, 18.04.2014 tarihinde 28976 sayılı RG’de yeni “Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliği” yayımlanmış ve 30. Maddesi ile; 30.09.2010 tarihli ve 27715 sayılı RG’de yayımlanan “Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliği” yürürlükten kaldırılmıştır. 2014 tarihli yeni Orman Yönetmeliğinde birçok yeni hüküm<sup>9</sup> getirilmiştir. Bunlardan biri, orman izni süre uzatma işlemleri devam eden maden ruhsatlarına ilişkin *orman izinlerinin* esnetilmesidir.

Uygulamada, maden ruhsat temdit (uzatma) süreci devam ederken *orman izinlerinin* geçerliliğini sürdürüp sürdürmeyeceği tereddütlere yol açıyordu. Yeni Orman Yönetmeliği bu süreçte orman izin sahibinin lehine, iznin devamı için bir olanak yaratmıştır. Bu amaçla Orman Yönetmeliğinin 10 (2) Madde fıkrasına “*İzin süresi ile birlikte ruhsat süresinin de sona ermesi ve izin sahibinin ilgili kanun hükümlerine göre yenilenmiş ruhsatı alamaması halinde; izin sahibinin, izin süresi MİGEM’den (yeni adıyla MAPEG’den) alınmış ruhsat hukukunun yürürlükte olduğuna veya*

8 Madencilik faaliyetlerinin ormanları geri kazanılamayacak biçimde yok edeceği doğrultusunda bir önyargının oluşmaması gerekir. İdareye verilen taahhütlerin geçersiz olduğu, çalışma sahasının çevre ile uyumlu duruma getirilemeyeceği, madencilik faaliyeti gerçekleştirilen sahanın orman alanına dönüştürülmesinin mümkün olamayacağı gibi itirazlardan ziyade, Anayasaya aykırı Kanun hükümleriyle Anayasa ve Kanuna aykırı Yönetmelik hükümleri şekilsel sebeplerle iptal davalarına konu olmaktadır. Gerek Anayasa Mahkemesi’nin iptal, gerekse Danıştay’ın yürütmeyi durdurma kararlarında gerekçelerde şekil eksikliği görülmüştür. Verilen şekilsel iptal kararları sonucu da maden ruhsat sahipleri çevreyi kirleten, tahrip eden gibi görülmüş ya da gösterilmiştir (Yeşilyurt, 2010).

9 2014 tarihli yeni Orman Yönetmeliğinde son getirilen hükümler hakkında bakınız (Topaloğlu, 2014).

*işletme ruhsatına geçişle ilgili işlemlerin devam ettiğine dair belge ile birlikte bölge müdürlüğüne müracaat etmesi, bir yıllık arazi izin bedelini ödemesi ve mevcut taahhüt senedi hükümlerini kabul ettiğine dair onaylı ek taahhüt senedi vermesi halinde bir yıl süreyle izin aynı şartlarla devam eder.” hükmü eklenmiştir. Buna göre maden ruhsatının uzatılması hakkında MAPEG tarafından bir karar verilmeye kadar maden ruhsatı geçerliliğini sürdürülecektir. Ayrıca, uzatma işlemlerinin devam ettiğine dair bir yazıyla orman idaresine başvurulması durumunda orman izni aynı şartlarla sürecektir (Topaloğlu, 2014).*

### **3.Son Mevzuat Değişiklikleri Sonrasında Orman İzin Süreci ve Uygulamadaki Zorluklar**

#### **3.1. Orman Alanlarında Maden İşletme Faaliyetleri İzin Sürecinin Değerlendirilmesi**

Türkiye’de yıllardan bu yana maden işletme ruhsat sahiplerinin izin alacağı merciler arasında uyum ve koordinasyon eksikliği bulunmaktadır. Misal; bazı maden işletmeleri orman idaresi izin vermediğinden dolayı işletmeye başlayamamakta, ancak, maden işletme sahasını işletmediği için de ilgili kurum/bakanlık ona yaptırım uygulayabilmektedir (Kayadelen, 2009).

Ayrıca, Türkiye’de son dönemde orman ve doğa koruma mevzuatı açısından; 2014/1 sayılı Ekosistem Genelgesi ile yürürlükte bulunan kanun ve yönetmelikler üzerinde kısıtlamalar getirilmiştir. Bu Genelgenin uygulanmasından kaynaklanan, Maden Kanununa ve Maden Yönetmeliğine aykırılık teşkil eden hususlar, yer altı kaynaklarının atıl kalmasına ve bürokrasiye neden olmaktadır. Bakınız (TMD vd., 2018).

Orman izinlerinde aynı maden şirketinin iki ayrı izin talebinden birisine olumlu diğerine olumsuz cevap verilmesi izah edilememektedir (Madencilik Türkiye Dergisi, 2018). Böylece, madencilik gerçekleştirilmesiyle oluşabilecek önemli derecede katma değer, gerçekçi olmayan sebeplerle engellenebilmektedir (Kayadelen, 2009).

Orman alanlarına yapılan kaçak konutlardan ya da hammadde üretim izinlerinden doğan tahrip edilmiş alan, maden işletme faaliyetleri için kullanılmakta olan orman alanının yüzlerce katıdır. Üstelik ilk belirtilen tahrip edilen alan üzerinde, madencilik faaliyetleri sonrası istenen doğaya yeniden kazandırma faaliyetleri ve reklamasyon -madencilik sektöründen istendiği gibi- diğer sektörlerden istenmemekte (Önenç, 2008) bu yüzden madencilik dışındaki diğer sektör faaliyetleri nedeniyle doğa tahrip edilmektedir.



Madencilik yatırımlarının yapılamamasının, yapılan yatırımların da kaybedilmesinin veya yatırımcıların bu sektöre ilgisinin azalmasının en büyük nedenlerinden biri, madencilik faaliyetlerinde yetkili onlarca kurumların getirdiği gereksiz kısıtlamalar, uygulamalar ve madencilik sektörünü tanımayan bürokrasidir.

Özellikle maden işletme faaliyetleri izin sürecinde sadece ETKB'nin değil, bu bakanlık dışındaki birçok bakanlık ve kamu kurumunun yetkilendirilmiş bulunması Türkiye'de izin sürecini geciktirmekte ve böylece yatırım kayıplarına sebep olmaktadır. Bu durumun oluşmasında en önemli etkenler; (“Çevre ve Şehircilik Bakanlığı”, “Tarım ve Orman Bakanlığı” gibi) diğer Bakanlıkların çıkardığı mevzuatlar ve yapılan mevzuat değişikliklerinde ETKB'nin görüşlerinin dikkate alınmaması, bu Bakanlıkların izin uygulamalarında MAPEG'in uygulama alanını kısıtlamalarıdır.

### 3.2. OGM'den Kaynaklı İzin Sorunları

Maden işletme faaliyetleri yapılabilmesi için (arazi mülkiyet izinleri, mera ve orman alanlarında izinler, iş yeri açma ve çalışma ruhsatı gibi) diğer izinler konusunda genellikle ÇED raporunda belirlenen esaslar dahilinde ilgili kamu kurum ve kuruluşları tarafından izin verilmesi öngörülmüştür. Bu çerçevede Türkiye'de “3213 sayılı Maden Kanunu”nun 7. maddesinde, “ÇED işlemleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından, diğer izinlere ilişkin işlemler de ilgili bakanlıklar ve diğer kamu kurum ve kuruluşlarınca ÇED sürecinde en geç üç ay içinde bitirilir”, kuralı bulunmaktadır.

Buradaki amaç, ÇED işlemleri ile birlikte diğer izin işlemlerinin eş zamanlı olarak bitirilmesini sağlayarak maden ruhsat sahiplerinin bir an önce üretim faaliyetine geçmelerini sağlamaktır. Ancak, uygulamada ÇED getirilmeden izin işlemlerine başlanamaması, diğer izin işlemlerinin başvuru tarihinden itibaren üç ay içinde sonuçlandırılmaması gibi sorunlar (Cankurtaran, 2008) yaşanmaya devam etmektedir.

*Orman arazi izin süreci*, maden işletme faaliyetleri gerçekleştirilebilmesi için gerekli prosedürler içerisinde en çok zaman alan aşamalardan biridir. Orman arazi izin sürecinde, öncelikle *orman izin* müracaat dosyası şeklen değerlendirilir. Devamında ilgili görülen kurumlardan görüş istenir. Bunun sonucunda esas değerlendirme yapılır ve bir izin raporu hazırlanır. OGM bu izin raporunu değerlendirmesinin ardından, son olarak ETKB'nin izin hakkındaki görüşü alınır. Böylece ETKB'nin olumlu görüşüyle saha maden ruhsat sahibine teslim edilir. Tüm bu izin süreci ortalama~ 1 yılı bulmaktadır (Şekil 4).

## ORMAN ARAZİSİ

### TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI OGM İZİN SÜRECİ

- Müracaat dosyasının tanzimi
- Müracaat ve şeklen değerlendirme
- Kurum görüşlerinin toplanması
- Esaslı değerlendirme ve izin raporu
- Orman Genel Müdürlüğü değerlendirmesi
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Değerlendirmesi
- İzin Oluru ve saha teslimi

Şekil 4. Orman arazisi izin süreci (TÜMMER, 2017).

Madencilik sektörünün beklentisi bu izin süreçlerinin kısaltılmasıdır. Bu noktada 3 ay içinde *orman izni* için “olur” verilmesi ve sonrasında en geç 1 ay içerisinde işletme izninin verilmesi önerilebilir.

Bilindiği üzere, Maden Kanununun 7. maddesinde, “*Alınan izinler, temditler dâhil ruhsat hukuku sonuna kadar devam eder.*” hükmü, Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliğinin 7. Maddesinde ise, “*Bakanlıkça uygun görülenlere ruhsat süresi dikkate alınarak izin verilir...*” hükmü bulunmasına rağmen İstanbul, İzmir, Diyarbakır gibi birçok ilde madencilik faaliyetleri için gerekli *orman izinleri* Orman İdaresi tarafından azami 1-2 yıl gibi çok sınırlı müddetler için verilmektedir. Kısa müddet sonrasında aynı izin müracaatları bir kez daha yapılmakta ve bürokratik süreç benzer biçimde devam etmektedir. Bunun sonucunda madencilik faaliyetleri durma noktasına gelmekte, ruhsat sahipleri kendilerinden kaynaklı olmayan nedenlerle taahhütlerini yerine getirememekte ve maden hukukuna uygun davrandığı halde madencilığe yatırımını yapamamakta, mevcut yatırımını ise kaybetmektedir. Madencilik sektöründe ruhsat güvencesini düşüren, öngörülebilirliği yok eden bu uygulamadan idari tasarrufta bulunularak vazgeçilmesi, orman izinlerinin ruhsat süresi göz önünde bulundurularak verilmesi gerekmektedir (TMD, 2018).

Nitekim *orman izinleri* ve yetkili idarelerden kaynaklı olarak ruhsat güvencesini etkileyen durumlar sıkça ortaya çıkmaktadır. OGM belirli illerde *orman izin sürelerini* kendisi belirlemektedir. Örneğin İstanbul’da OGM uzunca bir süredir 2 yıllık süre için *orman izni* vermekte ve izin

süresi sonunda yüzlerce maden ruhsatının *orman izinleri* sona ermektedir. Madenci her iki yılda bir aynı alanlar için tekrar rapor hazırlayıp başvuru yapmak zorunda kalmaktadır. Çoğu zaman bu başvurular sonuçlanmadan Tarım ve Orman Bakanlığı'nın verdiği bu süre bitmekte ve her tekrar yenilenmektedir. Ayrıca, durum, bir süre dahilinde olan teknik bir değerlendirmenin dışında keyfi bir duruma dönüşmüştür. Nitekim İstanbul'da onlarca maden sahasının uzatma talepleri reddedilmiş, yani aynı yere belki beş kez izin verilmişken, yasal olarak vermek zorunda oldukları izinler keyfi olarak reddedilmektedir. Maden Kanunu'nda "*orman izinleri ruhsat süreleri dikkate alınarak verilir*" hükmü yer almasına karşın, maden hukuku açısından bir eksiği olmamasına karşın, onlarca yıl boyunca yatırım yapılan, istihdam yaratılan maden işletmeleri bir anda kapanma noktasına getirilmektedir. Ancak, yatırımcı bu uygulamalar karşısında hangi koşullarda faaliyet yapacağını ve bu koşulların uzun vadede geçerli olup olmadığını bilmesi gerekmektedir. Aksi halde sağlıklı bir yatırım ortamından söz edilemez (Sökmen, 2017).

Ayrıca, Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile her ne kadar 15/2012 sayılı Başbakanlık Genelgesi yürürlükten kaldırılmış olsa da, Orman Bakanlığı'nda bekleyen dosya sayısının 1500'ü aştığı ilgililerce belirtilmektedir. Emiroğlu'nun ifade ettiği üzere, bu izin dosyaları ETKB'den onay gelmemesi nedeni ile OGM tarafından sonuçlandırılmamaktadır. Yüzlerce işletme aylar boyunca *orman iznini* alamadığından dolayı izin süreçleri tıkanma noktasına gelmiş, yaz aylarında yapmaları gerekli arama faaliyetlerini ve üretim hazırlıklarını yapamamıştır (Emiroğlu, 2018b). Söz konusu maden sahalarına ait binlerce izin dosyası tekrar düzenlenecek ve aynı izin süreci yeniden yaşanacaktır. Bu konuda dava açan tüm madenciler izinlerini ruhsat süreleri kadar almaktadır. Ancak, bu kararlar Bakanlık açısından bir içtihat olması gerekirken yeni başvuruların hepsine kısa süreli izinler verilerek maden yatırımcılarına mahkeme kapısı gösterilmektedir (Sökmen, 2017). Bu durumun önümüzdeki yılların maden üretimlerini de olumsuz etkileyeceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle Tarım ve Orman Bakanlığı'nda bekleyen dosyaların tümü hakkında en kısa zamanda karar alınması madencilik sektörünün en büyük beklentilerinden biridir. Orman izin süreçlerinde yaşanan gecikme ve belirsizlikler ile aşırı yüksek orman izin bedelleri madencilik sektörünü olumsuz etkilemeye devam etmektedir. Böylece madencilik sektörü, aylardır onay bekleyen *orman izinlerinin* sonuçlandırılmaması ve belirsizliğin devam etmesi nedeni ile ekonomik açıdan sıkıntılı günler yaşamaktadır. Sayıları binlerle ifade edilen izin dosyaları bakanlık/başbakanlıktan onay gelmemesi nedeni ile OGM tarafından sonuçlandırılmamaktadır (Emiroğlu, 2018a).

Sorunun çözümü için sistem, bakanlıklar arası koordinasyon sağlanarak gerçekleştirilmelidir. ETKB'nin verdiği ruhsatlar, ilgili bakanlıklarca kabul edilebilir olmalı ve maden yatırımcısı için tüm izinlerin önünün açılması gerekmektedir. Ayrıca *orman izinlerinin*, mahkeme kararına ihtiyaç olmaksızın, uzatma dahil, işletme ruhsat süresi kadar verilmesi önem arz etmektedir (ATO, 2018).

Son dönemde 2019 yılında Maden Kanununda değişiklik getiren 7164 sayılı Kanun ile, Maden Kanununun 7 (20) madde fıkrası; “Madencilik faaliyetleri ve/veya bu faaliyetlere bağlı geçici tesisler için verilmiş izinler, temditler dahil ruhsat hukuku devam ettiği sürece geçerli olacak. Ruhsatın temdit edilmesi halinde madencilik faaliyetleri ve/veya bu faaliyetlere bağlı geçici tesisler için verilmiş bütün izinler temdit süresi sonuna kadar hiçbir işleme gerek kalmaksızın uzatılmış sayılır” şeklinde değiştirilmiştir.

Bu Kanun değişikliğinden önce, “Temdit”in devamında alınmış izinlerin uzatılması istendiğinde ya izinler uzatılmakta ya da kısa süreli ve genellikle bir yıl, ruhsat süresi dikkate alınmaksızın orman izinleri veriliyordu. Kısa süreliğine verilmesine gerekçe olarak da idarenin takdir hakkı ileri sürülmekteydi (Yeşilyurt, 2019). Yapılan değişiklik, özellikle orman izinlerinde bu konuda yaşanan sorun dikkate alındığında olumludur.

### 3.3. ÇED Onayına Rağmen Diğer Kurumlara Görüş Sorulması

07.02.1993 tarihinden önce faaliyete başlayan madencilik faaliyetleri için, mevzuatla bu faaliyetlerin ÇED kapsamı dışındaki faaliyetler olduğu kabul edilerek, ÇED raporunun geçmişe yönelik olarak istenemeyeceği ve kazanılmış hakların korunması için ilgili Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü veya Bakanlık nezdinde tespit ve kabul edilmiştir. Ancak, OGM'nin 23.03.2015 tarihli ve 572972 sayılı kararı ile 25.11.2014 tarihli ÇED Yönetmeliği çerçevesinde kapsam dışı faaliyetler için alınmış yazıların yenilenmesi konusundaki talimatı izin süreçlerini geciktirmekte ve hatta durmasına sebep olmaktadır. Alınan bir “ÇED Kapsam Dışı” yazısının bir sonraki yönetmeliğe göre değişiklik arz etmemesi gerekmektedir. Bu nedenle ÇED kararlarının ve görüşlerinin geçerliliği konusunda TMD'ye göre;

1- OGM'nin 23.03.2015 tarihli ve 572972 sayılı yazısıyla 25.11.2014 tarihli ÇED Yönetmeliği kapsamında daha önceden alınmış olmasına rağmen maden işletmelerinden istenilen “ÇED Kapsam Dışı” yazılarının yenilenmesi uygulamasının kaldırılması,

2- Bakanlık tarafından verilen “ÇED Gerekli Değildir” veya “ÇED Olumlu Kararları”nın bazı OBM'ler tarafından sözsüz konusu ÇED

Yönetmeliği kapsamında yenilenmesi taleplerinin uygulamada birlik oluşturması için kaldırılması gerekmektedir (TMD, 2019a).

ÇED Yönetmeliği EK-1 veya EK-2 kapsamında düzenlenen rapor formatları ve işlemlerde ilgili tüm kurum ve kuruluşlardan olumlu görüş alındığı halde, örneğin, işlemler sonuçlandıktan sonra mülkiyeti ormana ait alanlardan alınacak izin sürecinde benzer kurumların birçoğundan tekrar görüş istenmektedir. Halbuki maden ruhsatları süreli olarak verilmekte olup, diğer kurumlardan alınması zorunlu izinler kapsamında yer alan *orman izinlerinin* de işletme ruhsatı alınmasından sonra 3 yıl içinde alınması zorunluluğu bulunmaktadır. Orman izni için başvuru yapılırken ÇED kararı da eklenmektedir. ÇED alınırken ise gerekli olan tüm kurumların görüşü alınarak nihai karar verilmektedir. Bu nedenle, ÇED sürecindeki kurum görüşleri esas alınarak, *orman izinlerinin* alınması esnasında tekrar tekrar aynı kurumlardan yeni görüşler talep edilmemelidir (TMD, 2018).

Ayrıca OBM tarafından, yapılan izin başvurularında 2014/1 nolu, 03.03.2014 tarihli Tarım ve Orman Bakanlığı'nın Genelgesi kapsamında talep edilen görüşler konusunda ve ÇED projesi onaylanmasına rağmen işletme faaliyetlerine başlanamaması gibi iki farklı konuda da birtakım sorunlar yaşanmaktadır.

Öncelikle ilki değerlendirilebilir. Geçmişte mevcut 6831 sayılı Orman Kanununun 16-18. maddeleri uyarınca verilmekte olan tüm izinler Bakan onayı ile verilmekteydi. Ancak, yapılacak olan işletme izinleri ya da tesis izinlerine ait işlem ve onayların Orman Bölge Müdürlüğüne verilebilmesi gerekliliğine dikkat çeken Onur, orman izinleri ile ilgili izin taleplerinin kişilerin insiyatifinden çıkarılarak, izin talep sahasına en yakın teşkilat birimlerince, ihtiyaç duyulan incelemenin yapılması sonucunda verilmesini önermişti. Böylece yazar, izin alınması sürecinin gereksiz şekilde uzamayacağı, sezonluk çalışma durumunda olan maden yatırımcılarının iş gücünün, makine ve ekipmanlarının atıl kalmasına neden olmayacağı, işletmeci ve çalışanların mağdur olmalarının da önleneceğini dile getirmişti (Onur, 2008).

Bu sorun dikkate alınarak, orman vasfındaki sahalarda yapılan başvuruların incelenmesi ve sonrasında izin verilip verilmeme yetkisi; yetki devriyle Adapazarı, Antalya, Balıkesir, Çanakkale, İzmir, İstanbul ve Muğla Bölge Müdürlükleri dışında 20 adet Bölge Müdürlüğüne devredilmiştir. Artık, madencilik başvuruları, idarenin yerel teşkilatı olan OBM'lere yapılmaktadır. OBM'ler tarafından oluşturulan komisyonlar ile başvuru değerlendirilmekte, tüm konuları kapsamına alan rapor, izne konu edilmek üzere OBM'ye gönderilmektedir. OBM yetkiliyse, raporu inceleyip sonuçlandırmakta, yetkili değil ise kendi görüşüyle beraber

sonuçlandırılmak amacıyla OGM'ye göndermektedir. Maden alanlarının yer aldığı bölgelerde maden işletilmesinin mecbur bulunduğu gerekçesi dikkate alınarak başvurular incelenmektedir. Bu alanların işletilmesi için gereken tesis<sup>10</sup> ve alt yapı tesislerine, *ormanlık sahada* gerçekleştirme mecburiyeti bulunuyorsa izin verilmekte, aksi halde izin verilmemektedir (TBMM, 2010).

Ancak, bu noktada birtakım sorunlar yaşanmaktadır. Şöyleki: 30.05.2014 tarih ve 1054088 Sayılı Tarım ve Orman Bakanlığı'nın OGM Tarafından Yayımlanan 2014/1 Genelge Kapsamına Dair Yazısı gereği aşağıda belirtilen görüşler istenmektedir:

- Doğa Koruma ve Milli Parklar Görüşü,
- DSİ Görüşü,
- Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğü Görüşü,
- Kültür ve Turizm İl Müdürlüğü Görüşü,
- Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri Doğal SİT Görüşü.

Orman Bölge Müdürlüklerince, yapılan izin başvurularında 2014/1 nolu Genelge kapsamında talep edilen bu görüşler izin süreçlerini önemli derecede uzatmaktadır. OGM'ce, yapılan izin başvurularına ortalama 6-8 ay izin olur'u verildiği göz önüne alındığında ve Kurum Görüşleri nedeniyle izin raporlarının ortalama 1-2 ay da ilgili Orman Bölge Müdürlüğü'ne gönderilme süreci varsayıldığında, görüş süreci iyimser bir tespitle 8-10 aya kadar uzamaktadır (TMD, 2017) ve (TMD, 2019a).

Söz konusu 2014/1 Nolu Genelge kapsamında olmamakla birlikte, ilgili OBM'ye göre değişiklik gösteren, Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Görüşü/Müze Görüşü ve (ilgili Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden) Doğal SİT Görüşünün de orman izin müracaat sahiplerinden istenmesinin nedeni anlaşılmamaktadır. Özellikle Müze Görüşü'nün alın-

---

10 Belirtmek gerekir ki madencilik faaliyetleri madenin ömrüyle sınırlı geçici faaliyetlerdir. Bu faaliyetler için gereken altyapı, üstyapı, geçici tesis olarak nitelendirilmiş tanımların tümü testistir. Söz konusu tesislerin ömrü, ruhsat müddeti veya ruhsat sahasındaki rezervin üretim süresiyle sınırlıdır. Sonuç olarak bu tesislerin tümü geçici testistir ve önemli olan, madencilik faaliyeti için bunların gerekli olup olmadığıdır. Misal olarak, madencilik faaliyetleri için alınmış orman izin sahalarına lüks villalar ya da yazlık yapılması etik dışıdır. Fakat, daimi nezaretçi ve çalışanlar için gereken şantiyelerin inşa edilmesinde sorun oluşmamalıdır. Orman idaresince şantiye binaları; taşınabilmesi için altında şase ve lastik teker bulunduğu "geçici tesis", yere sabitlendiğinde de "kalıcı tesis" olarak kabul edilmelidir. Kanunda bu suretle "tesis" şeklinde bir tek tanımlama yapılmalı ve bu tanımlamanın ayrıntısı da gösterilmelidir. Madenin işlenmesi için gereken tesisler, madenin ruhsat sınırları içerisinde kurulabileceği gibi, ruhsat sahası dışında da olabilmektedir. Çünkü tesisin rezervin üzerine inşa edilmesi rezervin atıl kalmasına sebep olabilecektir. Orman idaresince bu tesisler için verilecek izin alanı, işletme ruhsat sahası dışını, ruhsat sahasına yakın ya da uygun bir uzaklığı kapsayabilmelidir (Yıldız, 2018).

ması başvuru sürecini 1 ay daha uzatabilmektedir. Zira ilgili kurum üyeleri özellikle mart ayından itibaren kazı çalışmalarında görevlendirilmekte ve Kurum Görüşü müracaatının değerlendirilmesi için tetkik yapacak yeterli personel bulunmaması nedeniyle saha değerlendirme süresi uzamaktadır. Ayrıca bu Kurum Görüşleri'nin talep edilmesi konusunda OBM'ler arasında uygulamada farklılıklar da bulunmaktadır (TMD, 2017) ve (TMD, 2019a)<sup>11</sup>.

Sonuç olarak bu tabloda; madencilik faaliyetlerinde Orman Kanununun 16. maddesi gereği *orman izinlerinin* alınması sırasında, *orman izin* dosyasının hazırlanması, ilgili bölge müdürlüğü ve işletme müdürlüklerinde gerekli işlemlerin yapılması, kamu kurum ve kuruluşlarından görüş yazılarının alınması, izin için Genel Müdürlük ve ETKB Olurunun<sup>12</sup> alınması ve ardından sonuçlandırılması yaklaşık 9-12 aylık bir süreci gerektirmektedir. Sürecin bu denli uzun olması yatırımcının bir an önce yatırıma başlamasını engellemektedir. Bu durum yatırım sahibince planlanan yatırımların öngörülen terminlere göre hayata geçirilememesine neden olduğu gibi yatırım kararlarının ertelenmesine veya yatırımlardan vazgeçilmesine dahi neden olmaktadır (Kömürder, 2016) ve (TMD, 2017). Bu durum madencilikte öngörülebilirliği ortadan kaldırmaktadır.

Ayrıca, *orman izin* işlem sürecinde ilgili saha için daha önce ÇED Belgesi alınmış olmasına rağmen mevcut ÇED belgesi alınmış alanın dışarısında kalan, mevcut yol veya enerji nakil hattına bağlanan, yol ve enerji nakil hattı izinleri için görüşler ayrı ayrı tekrar sorulmak durumunda kalınmaktadır. Görüş sorulan kurumlarda oluşturulan komisyon üyeleri ayrı ayrı izin istenen sahaya götürülmekte ve bu süreç içerisinde yaklaşık 30'a yakın kamu görevlisi ile işlem yürütülmektedir<sup>13</sup> (Kömürder, 2016).

11 Sorunun çözümü için TMD'nin önerileri şöyledir:

1) Görüşü istenen Kurumlarca veri tabanlarının OGM'ye resmi olarak açılması/tebliğ edilmesi ve Kurum Görüşü istenen/istenmeyen alan sınırlarının OGM'yle paylaşılması sonrasında ilgili OGM tarafından gerçekleştirilecek değerlendirme sonrasında başvuru sahiplerine görüş getirilmesi için tebligat yapılması,

2) OGM'ler arasında uygulamada birlik oluşturularak "Kurum Görüşleri"nin her bölgede standart bir şekilde istenmesinin sağlanması (TMD, 2019a).

12 Buna ek olarak 2012/15 Sayılı Başbakanlık Genelgesinden önce alınmış olan ruhsatlar için her *orman izin* başvurusunda Başbakanlığa (Söz konusu Başbakanlık Genelgesi'nin yürürlükten kaldırılmasıyla ETKB'ye) görüş sorulmaktadır. Başbakanlık Genelgesinden önce alınan ruhsatlar için bir defaya mahsus tüm ruhsat alanı için görüş sorulması halinde bu sıkıntının önüne geçilebilir (Kömürder, 2016).

13 Sadece bu kurum görüşlerinin alınması dahi aylarca sürmektedir. Bu konudaki en önemli sıkıntı; ilgili kurumlardaki komisyon üyelerinin kendi işleri olmayan bir şey için zaman harcadıkları düşüncesiyle konuyu önemsememeleri, görüşleri geciktirmeleri ve ikinci plana almalarıdır. Örneğin müze müdürlükleri büyük alan taleplerinde talebin küçültülmesini istemekte veya günlerce sahada çalışma yapma durumunu gerekçe göstererek izni sürüncemede bırakmakta ya da vermemektedir (Kömürder, 2016).



Bu noktada sorunun çözümü adına, *orman izin* işlemlerinin hızlandırılması için gerekli tüm çalışmaların yapılması ve kurumlar arası koordinasyonun sağlanması gerekmektedir. 16. madde izinleri için ÇED Belgesinin olması yeterli kabul edilmeli, izin işlemleri sırasında yeniden kurum görüşleri alınması işlemlerine son verilmelidir. Veya ÇED işlemleri sırasında tüm faaliyet alanı (enerji nakil hattına, yol) için bu kurumlardan da görüş alınması sağlanmalıdır (Kömürder, 2016).

Orman izni için 15/2012 sayılı Başbakanlık Genelgesi uyarınca Başbakanlıktan görüş istenmekteydi. Söz konusu Genelge 12.09.2018 tarihinde 2018/8 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile yürürlükten kaldırılmıştır. Böylece Başbakanlık Genelgesi'nin ardından yeni dönemde izin süreçlerinin; “Bakanlıklar ile bağlı, ilgili ve ilişkili kamu kurum ve kuruluşlarında bakan yardımcısı, diğer kamu kurum ve kuruluşlarında üst yönetici başkanlığında teşkil ettirilen komisyonlar vasıtasıyla yürütülmesi” öngörülmüştür. Söz konusu “komisyonlarca izin başvuru ve sonuçları her yıl Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında Cumhurbaşkanlığına bildirilecektir”.

Ayrıca, madencilik sektörünü etkileyebilecek bir diğer Cumhurbaşkanlığı Genelgesi (2018/13 sayılı) ise 11.10.2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Genelge'de: “*Kamu hizmetlerinin yerine getirilmesinde sorun çözen, çözüm üreten, sonuç ve vatandaş odaklı devlet anlayışı ile bürokrasinin azaltılması Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sisteminin öncelikli hedeflerindedir.*

*Kamu hizmetlerinde hantallığa sebebiyet veren hususların ortadan kaldırılması, milletimize hizmetlerin süratli ve en iyi şekilde sunulması, devlet ve millet bütünleşmesini zedeleyen davranışlardan kaçınılması gerekmektedir.*

*Bu itibarla; kamu kurum ve kuruluşlarına yapılan tüm başvurularda, talebin sonuçlandırılması başka bir idari makamın görev alanında kalsa dahi, başvurular anında incelenerek takip edilecek, talebin ilk başvuru yerinde neticelendirilmesine özen gösterilecek, başvuru sahibine yapılan işlemler hakkında gecikmeksizin nihai ve kesin bilgi verilecek, başvuruların süratli ve doğru sonuçlandırılması amacıyla gerekli tüm tedbirler alınacaktır.”* denilmektedir.

Buna göre, kamu kurumları mevzuat kapsamında çözmesi gereken bir konuyu sürüncemede bırakamayacaklar. Bu durum, madencilik sektörü için, üst üste görüş sorulmasını engelleyerek olumlu bir katkı sağlayabilir (Topaloğlu, 2018). Bu çerçevede yukarıda belirtilen her iki Genelge uyarınca orman izin sürecinin başvuru Orman Bölge Müdürlükleri tarafından sonuçlandırılması veya en azından öngörülen Komisyonca mümkün olan en kısa sürede izin süreçlerinin karara bağlanması madencilik sektörünün beklentisidir (TMD, 2019a). Böylece orman alanlarında maden işletme faaliyet izinlerinin diğer kurumlara görüş istenmesi için gönderilen raporlarının daha kısa sürede tamamlanması beklenmektedir.



#### 4. Sonuç

Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliği'ne göre yapılan izin başvurularının OGM tarafından sonuçlandırılması (müracaattan sahanın teslimine kadar geçen sürede taşra teşkilatınca, ilgili Kurumlarca, merkez teşkilatınca ayrı ayrı değerlendirme aşamaları da dahil edilerek) en iyi şartlarda ortalama 10-12 ay sürebilmektedir.

Orman izinleri dahil tüm maden ruhsat/izin sorunlarının halen devam etmesi, genel olarak ruhsat/izin prosedürlerinin uzun olup yeterli ölçüde pratik olmaması ve bu noktada birden çok merciden izin alınma sürecinin ayları, yılları bulması durumları, Türkiye'de maden yatırımcılarını planladıkları yatırımlarından vazgeçirmeye yöneltmektedir.

Şu an mevcut durumda, madencilik faaliyetleri için alınması zorunlu izinlerle ilgili yapılan başvurularda Kanun ve yönetmeliklerde belirtilen şartları yerine getiren orman izin başvuru sahipleri, bir eksiklikleri olmadığı halde izinlerini çok uzun süre geçmesine rağmen alamamaktadır. Orman Genel Müdürlüklerinde binlerce dosyanın bekletilmesi, madencilik yatırımlarını yapılamaz ve öngörülemeyen bir noktaya getirmiştir. Oluşan bu durumda;

- “Orman Kanunu'nun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliği” madenciliği engelleyici bir yönetmelik olmamalıdır. Özellikle diğer kurumlardan görüş sorulması uygulaması izin süreçlerini geciktirmekte ve madencilik faaliyetlerini yapılamaz hale getirmektedir. Bu nedenle, ÇED sürecindeki tüm kurum ve kuruluşlardan olumlu görüş alındığı halde, işlemler sonuçlandıktan sonra mülkiyeti ormana ait alanlardan alınacak izin sürecinde tekrar tekrar benzer kurumlardan yeni görüş istenmesi uygulamasına son verilmelidir.

- Ayrıca, *orman izin sürecini* uzatan ve Kurum Görüşleri'nin talep edilmesi konusunda OBM'ler arasında uygulamada farklılıklar bulunan; Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Görüşü/Müze Görüşü ve Doğal SİT Görüşünün orman izin müracaat sahiplerinden istenmesi uygulamasına son verilmelidir.

- Tüm bu sorunların çözümünde ETKB'nin de içerisinde yer alacağı bir “Orman izin Komisyonu” kurulmalı ve 2018/13 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi dikkate alınarak Orman Genel Müdürlüğü'nün diğer kurumlara gönderdiği görüşler için zaman sınırlaması konularak kısa zamanda *orman izinleri* bekletilmeden maden yatırımcısına verilmelidir.

- Orman izinlerinin, mahkeme kararına ihtiyaç olmaksızın, uzatma dahil, işletme ruhsat süresi kadar verilmesi önerisinin uygulamaya geçirilmesi önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akpınar, A. C. (2011). Madencilik ve Çevre. *Türkiye Madenciler Derneği (TMD) Sektörden Haberler Bülteni, Sayı 39*, s.39-40.
- ATO.(2018). Orman ve Su İşleri Bakanlığı'ndan Talep ve Beklentiler. *Ankara Ticaret Odası (ATO)*, 3 s.
- Cankurtaran, Y. (2008). Maden Kanununa göre Mermer ve Doğal taş Sektöründe Alınması Zorunlu İzinler. *I. Ulusal Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi Tebliğler*, 1-2 Şubat 2008, İzmir, s.3-16.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2018). İşletildikten Sonra Kapatılan Maden Ocaklarının Sayısı ve Alanı. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/isletildikten-sonra-kapatilan-maden-ocaklarinin-sayisi-ve-alani-i-85827>
- Emiroğlu, A. (2018a). Ruhsat ve Orman İzin Süreçlerinde Yaşanan Sıkıntılar Madencilik Sektörünü Olumsuz Etkiliyor (9 Ağustos 2018), <http://www.ekoyapidergisi.org/4992-ruhsat-ve-orman-izin-sureclerinde-yasanan-sikintilar-madencilik-sektorunu-olumsuz-etkiliyor.html>
- Emiroğlu, A. (2018b). Önsöz. *TMD Sektörden Haberler Bülteni, sayı 72*, s.6.
- Emiroğlu, A. (2019). Kitap Önsözü. Orman İzinlerinde Madencilik Sektörünün Sorunları ve Çözüm Önerileri. *TMD*, s.8-9.
- Kavcı, A. (2014). Madencilikte Kadastro ve Mülkiyet Bilgi Sistemi. *Madencilik Türkiye Dergisi, Sayı 37*, s.62-64.
- Kayadelen, M. (2009). Kamu Yararı Açısından Madencilikimiz, Sorunlar – Öneriler. [http://kayadelen.gen.tr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=52:cerattepede-madencilik&catid=6:madencilik&Itemid=11](http://kayadelen.gen.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=52:cerattepede-madencilik&catid=6:madencilik&Itemid=11)
- Kömürder.(2016). *Madencilikte Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri*. Kömür Üreticileri Derneği (Kömürder), Şahin Madencilik Müh. Müşav. Nak. ve Tic.Ltd.Şti, 75 s.
- Madencilik Türkiye Dergisi. (2018). Altın Madencileri Derneği, Enerji Bakanı Fatih Dönmez ve Yardımcısı Mithat Cansız ile toplantı gerçekleştirdi. *Madencilik Türkiye Dergisi sayı 74*, s.16.
- Madencilik Türkiye Dergisi. (2019). Türkiye’de Madencilik Küçülmesi Kimin Çıkarına ve Yararına olur. *Madencilik Türkiye Dergisi, sayı 81*, s.62-66.
- MAPEG. (2017). MAPEG Oracle Discovery Veri Tabanı. (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018)’den alıntılanmıştır.
- Onur, S. (2008). Mermer ve Doğaltaş Sektörünün Gelişimine Engel Yasa, Yönetmelik ve Uygulamalar ile Çözüm Önerileri. *I. Ulusal Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi Tebliğler*, 1-2 Şubat 2008, İzmir, s.39-56.
- Öneç, D. İ. (2008). Türkiye Mermer Sektörünün Potansiyeli, Sorunları ve Çözüm Önerileri. *I. Ulusal Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi Tebliğler*, 1-2 Şubat 2008, İzmir, s.59-67.
- OGM, (2017). (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018)’den alıntılanmıştır.

- OGM. (2019a). Tarım ve Orman Bakanlığı OGM 2018 yılı Faaliyet Raporu, Ankara, 85 s.
- OGM, (2019b). Orman Genel Müdürlüğü Bilgi Notu, 3 s.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı, (2014a). Maden Sahaları Rehabilitasyonu Eylem Planı (2014-2018).
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı, (2014b). Türkiye Orman Varlığı 2014, OGM Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara, 28 s.
- Oygür, A. V. (2019a). Maden Kapatma ve Doğaya Yeniden Kazandırma: Madencilik Türkiye Dergisi, sayı 78, s.104-116.
- Oygür, A.V. (2019b). Her Yerde Madencilik Yapılmalı mıdır? TMD Sektörden Haberler Bülteni, sayı 77, s.118-126.
- Sezer, A. O. & Gençay G. (2017). Devlet Ormanlarında Verilen Maden İzin Sürecinin İncelenmesi (Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü Örneği). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19 (1), s.204-217.
- Sökmen, A. (2017). Madencilikte Ruhsat Güvencesi ve Öngörülebilirlik. *TMD Sektörden Haberler Bülteni*, sayı 68, s.5.
- TBMM.(2010). *Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırma Komisyonu Raporu*. Dönem 23, Yasama Yılı: 4, 754 s.
- TMD. (2017). *Orman İzinlerinde Madencilik Sektörünün Sorunları ve Çözüm Önerileri*. TMD, Editör: Evren Mecit Altın, 27 s.
- TMD, AGÜB, AMD, EİB, İMİB & TÜMMER. (2018). Madencilik İle İlgili Yaşanan Sorunlar ve Çözüm Önerileri Raporu. *TMD Sektörden Haberler Bülteni*, 72, 23-36.
- TMD. (2019a). Orman İzinlerinde Madencilik Sektörünün Sorunları ve Çözüm Önerileri. TMD, Editör: Evren Mecit Altın, İstanbul, 37 s.
- TMD. (2019b). Maden Sektörü STK'larından Ortak Basın Açıklaması. TMD Sektörden Haberler Bülteni, sayı 77, s.64-67.
- Topaloğlu, M. (2014). Yeni Orman Yönetmeliği Hakkında Bazı Düşünceler. *TMD Sektörden Haberler Bülteni*, Sayı 51, s.62-68.
- Topaloğlu, M.(2018). Maden Hukuku ve Düzenlemeleri, 06.11.2018 tarihli Maden Dünyası Programı, Bloomberg TV, <http://www.ymgv.org.tr/haberler-2>
- TÜMMER.(2017). Madencilik Faaliyetleri İzin Süreçleri (Sunum). *TÜMMER (Türkiye Mermer Doğaltaş ve Makinaları Üreticileri Birliği)*.
- TÜMMER, İMİB & EİP. (2013). Mermer ve Doğaltaş Stratejik Eylem Planı 2011-2023. 29 s.
- Türkiye Ormancılar Derneği. (2019). Türkiye Ormancılığı 2019, Ankara, 164 s.
- Yeşilyurt, C. (2010). Orman İzinleri. *Madencilik Türkiye Dergisi*, Sayı 5, s.40-42.

- Yıldız, N. (2018). Madencilğin Sorunları. *Madencilik Türkiye Dergisi* sayı 72, s.120-128.
- Yıldız, T.D., Samsunlu, A. ve Kural, O. (2016). Urban Development and Mining in Istanbul – Ağaçlı Coal Field and Its Rehabilitation, (*SWEMP 2016*) *International Symposium on Environmental Issues and Waste Management In Energy and Mineral Production*, 5-7 Ekim 2016, İstanbul, 29, s.1-11.
- Yıldız, T.D. (2018). Survey Monkey anket programından 97 adet maden işletmesine yapılan anket araştırması, (yayınlanmamış).



## Bölüm 3

**GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELERDE YENİLENEBİLİR  
ENERJİ TÜKETİMİ, EKONOMİK BÜYÜME VE CO<sub>2</sub>  
EMİSYONU ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ:  
PANEL EŞBÜTÜNLEŞME VE PANEL NEDENSELLİK  
ANALİZİ**

*Anıl LÖGÜN<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Arş. Gör., Atatürk Üniversitesi, anil.logun@atauni.edu.tr



## 1.Giriş

Yenilenebilir enerji, doğada sürekli olarak varolan ve devamlı enerji akışı sonucu ortaya çıkan enerji olarak tanımlanmaktadır (Twidel & Weir, 2015, s.3). Alternatif enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kavramı, biyokütle, hidroelektrik, rüzgar ve güneş gibi enerjileri kapsamaktadır (Panwar, Kaushik & Kothari, 2011, s.1513).

Fosil yakıtların çevreye olumsuz etkileri iklim değişikliklerine neden olmakta ve canlıların yaşam alanlarına tehdit oluşturabilmektedir. Fosil yakıtlar sonucu ortaya çıkan karbondioksit emisyonlarının doğadaki varlığının artması iklim değişikliklerine doğrudan etkisi etmektedir. Yenilenebilir enerji temiz, doğaya zararı olmayan ve tükenmez enerji olması nedeniyle tercih edilebilir olmasını zorunlu hale getirmektedir (Panwar, Kaushik & Kothari, 2011, s.1514). Fosil yakıtlara olan dışa bağımlılığı azaltarak ekonomide iyileşmenin sağlanması ve enerji ithalatında oluşan güvenlik problemlerinin çözüme ulaşması ve çevresel bozulmanın önüne geçilmesi gibi nedenlerle ülkelerin alternatif enerji kaynaklarına yönelmesini sağlamaktadır (Apergis & ark. , 2010).

Karbondioksit emisyonları ve diğer sera gazları küresel iklim üzerinde önemli iklim değişiklikleri yaratması, küresel ısınmaya yol açması gibi nedenlerle olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu amaçla özellikle gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek maliyeti nedeniyle, krediler, yatırım ve araştırma sübvansiyonları, gümrük vergisinde indirimler gibi yollarla yenilenebilir enerji kullanımını desteklemektedir (Chang, Chien-Ming & Ming-Chih, 2009). Ülkeler yenilenebilir enerjiyi desteklemeleri karşısında bazı sorunlarla karşılaşabilmektedir. Fosil yakıtlar gibi diğer enerji kaynaklarının sübvansiyon edilmesi, enerji kaynağının kurulumunda karşılanmak zorunda kalınan yüksek maliyet gibi finansal konular, sigorta gerekliliği, yapıdaki hukuki sınırlamalar gibi yasal düzenlemeler, teknik bilgi eksikliği ile teknolojiye yetersizlikler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında karşılaşılan kısıtlamalardır (Beck & Martinot, 2004, 365-370).

Farklı değişkenlerle kurulan modellerden dolayı enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki incelenen nedensellik ilişkisi farklılık ve hassasiyet gösterebilmektedir. Bu nedenle de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkide oluşabilecek farklılık sapmaları aza indirmek adına karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu değişkeni de kullanılmıştır.

Çalışmanın sonraki bölümünde yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler Dünya Bankası'nda elde edilmiş ve analiz için kullanılan ekonometrik yöntem tanıtılarak elde edilen bulgular dördüncü bölümde verilmiştir. Çalışmanın son kısmında sonuç bölümü yer almaktadır.

## 2.Literatür

Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi incelenen çalışmalar, veri aralığına, ülke veya ülke gruplarına ve ekonometrik yöntemlerin farklılığına göre birbirinden farklılık içermektedir. Bu iki değişken arasındaki incelenen nedensellik ilişkisi literatürde 4 farklı hipotez altında ele alınmıştır. Büyüme hipotezine göre enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olmakta ve dolayısıyla enerji tüketimi ekonomik büyüme üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir. Geri besleme(feedback) hipotezine göre ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasında çift yönlü ilişkisi vardır. Tarafsızlık(neutrality) hipotezinde ise ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasında nedensellik ilişkisi görülmemektedir. Bu durum, enerji tüketimi ile gayrisafi yurtiçi hasıla arasında herhangi bir ilişki olmadığı anlamına gelmektedir. Koruma(conservation) hipotezine göre ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik söz konusudur. Buna göre enerji tüketimindeki azalma, ekonomik büyüme üzerinde az bir etkisi olacak veya hiç etki göstermeyecektir (Öcal & Aslan, 2013). Burada enerjiyi korumaya yönelik amaç olarak enerji tüketimi azaltılmalıdır ve buna yönelik politikalar ekonomik büyümeyle ters ilişkili olacaktır (Lin & Moubarak, 2014). Literatür bölümü farklı açılardan değerlendirilecektir. Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki hipotezler kapsamında ele alınacak ve sonrasında yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonu değişkenleri birlikte incelenecektir.

Esso(2009), yedi Afrika ülkesinin enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmada eşik değerli eşbütünleşme testiyle analiz gerçekleştirmiştir. Buna göre analiz sonuçlarında geri bildirim hipotezi yaklaşımına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Apergis ve Payne(2010), Avrasya ülkelerinin yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi panel eşbütünleşme yaklaşımıyla incelemiştir. Çalışmanın sonucunda ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında kısa ve uzun dönemde de çift yönlü nedensellik bulgusuna ulaşılmıştır. Bu bulguların geri bildirim hipotezini desteklediği görülmektedir. Sebri ve Salha(2014) ise BRICS ülkelerinin ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi incelerken CO<sub>2</sub> emisyonu ve ticari açıklık değişkenlerini de dahil etmiştir. ARDL yaklaşımı sonucunda yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çalışmanın bulguları geri bildirim hipoteziyle geçerlidir.

Sadorsky(2009), kişi başına yenilenebilir enerji tüketimini, kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla (gsyih), kişi başına CO<sub>2</sub> emisyonu ve reel petrol fiyatlarıyla açıklamaya çalışmıştır. Uzun dönemde reel kişi başına



düşen gsyih'de ve kişi başına CO<sub>2</sub> emisyonundaki artış, yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tiwari(2011), Hindistan için yapılan bu çalışmada, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişkiyi yapısal vektör otoregresif modeliyle (VAR) incelemiştir. VAR modeli sonucunda, yenilenebilir enerji tüketimindeki pozitif şokta meydana gelen artış, gsyih'de artma yönünde, CO<sub>2</sub> emisyonunda ise azalma yönünde eğilim göstermiştir. Büyükyılmaz ve Mert(2015) ise Türkiye için CO<sub>2</sub> emisyonu, kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi ve kişi başına gsyih arasındaki ilişkiyi MS-VAR modeliyle incelemiştir. 1960-2010 dönemi aralığında incelenen çalışmada, değişkenler arasında çift yönlü nedensellik sonucuna ulaşılmıştır.

Menyah ve Wolde-Rufael(2010), Amerika Birleşik Devletleri(ABD) için CO<sub>2</sub> emisyonu, yenilenebilir enerji tüketimi, nükleer enerji tüketimi ve reel gsyih arasındaki nedensellik ilişkisini araştırmıştır. Granger nedensellik analizi sonucunda, nükleer enerji tüketiminden CO<sub>2</sub> emisyonuna doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi elde edilmişken; nükleer enerji tüketimi ve ekonomi büyüme arasında nedensellik ilişkisi bulgusuna ulaşılamamıştır. Al-mulali ve ark.(2013), yenilenebilir enerji tüketimi ve farklı gelir gruplarından gsyih büyüme oranlarının kullanarak, ekonomik büyüme oranları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme değişkenlerinin uzun dönemde nedensellik ilişkisi olduğu sonucu elde edilmiştir. Lin ve Moubarak(2014), Çin'in yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ARDL ve Johansen eşbütünlük yaklaşımı ile Granger nedensellik yöntemini kullanarak incelemiştir. Ekonomik büyüme, işgücü ve CO<sub>2</sub> emisyonu değişkenlerinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisi pozitif olarak bulunmuştur. Ayrıca, kısa dönemde işgücünden yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi dışında, değişkenler arasında nedensellik ilişkisi bulgusuna rastlanmamıştır.

Literatürdeki çalışmalarda yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişkinin farklı değişkenlerle desteklendiği görülmektedir. Sarı ve Soytaş(2009) OPEC ülkeleri için yaptıkları çalışmada, CO<sub>2</sub> emisyonu, gelir, enerji ve toplam istihdam arasındaki ilişkiyi 1970-2002 dönemi aralığında ele almış ve bu kapsamda Cezayir, Endonezya, Nijerya, Suudi Arabistan ve Venezuela ülkelerini incelemiştir. Suudi Arabistan haricinde diğer ülkeler için karbondioksit emisyonları, gelir, enerji tüketimi ve istihdam arasındaki ilişide uzun dönemde dengenin sağlanmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Menegaki(2011), Avrupa ülkeleri için yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmasında, reel kişi başına gsyih ve yenilenebilir enerji tüketimi oranı değişkenlerinin yanı sıra, nihai enerji tüketimi

değerleri, sera gazı emisyon miktarı ve işsizlik oranı değişkenlerini de kullanmıştır. Analiz sonuçlarına göre kişi başına gsyih, yenilenebilir enerji tüketimi, sera gazı emisyonu ve işsizlik oranı arasında uzun dönemde ilişki olduğu saptanmıştır. Yıldırım vd(2012), ABD için ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi incelemede kullandıkları modelde, reel gsyih, işsizlik, yatırım ve yenilenebilir enerji tüketimi çeşitleri değişkenlerinden yararlanmıştır. Yenilenebilir enerji çeşitlerinden biyokütle atıklarından elde edilen enerji tüketiminden reel gsyih'a doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu görülmüştür. Bhattacharya ve diğerleri(2016) çalışmalarında en çok yenilenebilir enerji tüketim miktarına sahip 38 ülkenin ekonomik büyüme ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişki incelemiştir. Bu kapsamda reel gayri safi sabit sermaye oluşumu, toplam işgücü, yenilenebilir enerji tüketimi ve yenilenemez enerji tüketimi değişkenlerinden yararlanılmıştır. Ülkeler gruplara ayrılarak değişkenlerin ekonomik büyümeye etkisi yorumlanmış ancak genel olarak yenilenebilir enerji tüketiminin başka faktörlerin etkisi nedeniyle ekonomik büyümeyi açıklamada yetersiz olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

### **3. Veri ve Metodoloji**

#### **3.1. Veri**

Bu çalışmada Dünya Bankası'ndan elde edilen veriler kullanılmıştır. Panel verinin kullanıldığı çalışmada, ülkelerin toplam enerji tüketimi içerisindeki yenilenebilir enerji tüketimi (enerji), 2010 yılı bazındaki dolar cinsinden kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla (kbgysih) ile kişi başına metrik ton cinsinden karbondioksit emisyonu değerleri ( $CO_2$ ), 1992-2014 dönemi yıllık verileri kapsamında ele alınmıştır. Tüm serilerin logaritmaları alınmış ve analiz logaritması alınmış seriler üzerinden yapılmıştır. Çalışmada Morgan Stanley gelişmekte olan ülkeler endeksi(MSCI Emerging Index) kapsamında Çin, Türkiye, Hindistan, Endonezya, Meksika, Rusya, Brezilya, Mısır, Kore, Malezya, Pakistan, Çek Cumhuriyeti, Yunanistan, Macaristan, Polonya, Şili, Kolombiya, Peru, Filipinler, Tayland, Birleşik Arap Emirlikleri ve Güney Afrika olmak üzere 22 ülke incelenmiştir.

Tablo 1'de ülkelerin yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına gsyih ve  $CO_2$  Emisyonu değişkenlerinin ortalamaları ve standart sapmaları verilmiştir. Tablo 1'deki ülkelerin ortalama ve standart sapma değerleri dolar cinsinden ifade edilmiştir. Buna göre yenilenebilir enerji tüketimi oranında en yüksek ve en düşük değerleriyle sırasıyla Pakistan %49.45 ve Birleşik Arap Emirlikleri %0.10 olduğu görülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji tüketimi oranı için Hindistan ve Endonezya'nın da

oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla değerlerinde ortalama olarak 52975.70 dolarla Birleşik Arap Emirlikleri ve en düşük ortalamaya sahip ülke ise 926.64 dolarla Pakistan'dır. CO<sub>2</sub> Emisyonu değerlerinde ise en yüksek değer 24.68 değeriyle Birleşik Arap Emirlikleri, en düşük değere ise 0.83 ile Pakistan sahiptir. Yenilenebilir enerji tüketimi oranlarında Çin'in, kişi başına gsyih ve CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde ise Birleşik Arap Emirlikleri'nin en yüksek değişkenliğe sahip olduğu Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler (1992-2014)

	Yenilenebilir Enerji Tüketimi		Kişi Başına Gayri Safi Yurtiçi Hasıla		CO <sub>2</sub> Emisyonu	
	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma
Çin	22.42	8.11	2809.47	1601.24	4.35	1.88
Türkiye	17.29	4.12	9280.14	1884.44	3.54	0.56
Hindistan	48.13	6.44	964.08	334.15	1.12	0.28
Endonezya	44.07	5.65	2574.88	522.27	1.53	0.40
Meksika	10.96	1.56	8772.09	558.33	3.99	0.22
Rusya	3.60	0.22	8431.25	2215.04	11.48	0.93
Brezilya	45.35	2.24	9603.96	1290.34	1.90	0.29
Mısır	7.27	1.33	2086.43	375.90	1.99	0.38
Kore	1.01	0.52	17158.8	4492.14	9.63	1.43
Malezya	6.20	1.97	7675.16	1437.72	6.28	1.16
Pakistan	49.45	3.20	926.64	110.06	0.83	0.11
Çek Cumhuriyeti	8.13	2.84	16651.1	2930.23	11.45	1.08
Yunanistan	9.09	2.68	24139.8	3431.76	7.93	0.80
Macaristan	7.61	4.27	11513.5	1977.85	5.44	0.53
Polonya	7.58	2.06	9637.53	2644.52	8.29	0.51
Şili	31.52	2.63	10667.6	2328.77	3.79	0.67
Kolombiya	29.08	2.84	5462.46	842.82	1.57	0.17
Peru	31.84	3.28	3944.74	972.76	1.32	0.35
Filipinler	34.14	5.34	1812.18	310.38	0.88	0.07
Tayland	22.44	2.51	4147.74	828.04	3.39	0.74
Birleşik Arap Emirlikleri	0.10	0.03	52975.70	10605.10	24.68	5.08
Güney Afrika	17.27	1.01	6407.08	788.512	8.68	0.59

Kaynak: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

### 3.2. Panel Birim Kök Testleri

Yatay kesit bağımlılığın olduğu panel verisinde bu bağımlılığı dikkate almasından dolayı ikinci kuşak olarak adlandırılan testlerin kullanılması gerekmektedir (Burret, Feld & Köhler, 2016, s.255). Pesaran(2007) yatay kesit bağımlılığı hesaba katan panel birim kök testi önermiştir. Bu test, gecikmeli seviyelerin kesit ortalamaları ve serilerin ilk farkına bağlı olarak düzenlenen standart genişletilmiş Dickey Fuller(ADF) regresyonuna

bağlıdır. Pesaran(2007) CADF(Cross Section ADF) regresyon denklemi aşağıdaki gibidir (Pesaran, 2007, s.265-283):

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + b_i y_{i,t-1} + c_i \bar{y}_{t-1} + \sum_{j=0}^p d_{ij} \Delta \bar{y}_{t-j} + \sum_{j=1}^p \delta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Bu denklemde  $\bar{y}_t$  N gözlem sayısında birimlerin t zamandaki ortalamasını ifade etmektedir.  $y_{it}$  ve  $\bar{y}_t$ 'nin ilk fark gecikmeleri değerleri, bilgi kriteri yardımıyla seçilmektedir. Im, Pesaran ve Shin buradan hareketle yatay kesit bağımlılığı dikkate alan yeni bir istatistik(CIPS) ortaya koymuştur. CIPS istatistiklerini elde etmek için, (1)'deki denklem ilk farka dönüştürülür ve her birim için ayrı ayrı ADF istatistikleri hesaplanır. CIPS istatistiğini hesaplamak için (2)'deki eşitlikte görüldüğü üzere CADF istatistiklerinin basit ortalaması alınmaktadır (Türkay, 2018, s.6).

$$CIPS = \frac{\sum_{i=1}^N CADF_i}{N} \quad (2)$$

### 3.3.Panel Eşbütünleşme Testi

Westerlund(2007) yaklaşımında dört farklı panel eşbütünleşme test istatistiği söz konusudur. Bu yaklaşım bootstrap yöntemi yardımıyla yatay kesit bağımlılığa izin veren bir analiz yöntemidir. Westerlund(2007) testi aşağıda gösterilen hata düzeltme modeline bağlıdır (Fang & Chang, 2016, s.180):

$$\Delta y_{i,t} = \delta'_i d_t + \alpha_i (y_{i,t-1} - \beta'_i x_{i,t-1}) + \sum_{i=1}^{n_1} \theta_{ik} \Delta Y_{i,t-i} + \sum_{j=1}^{n_2} \beta_{ij} X_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t}$$

Burada, X ve Y gibi iki değişken söz konusudur. Ayrıca,  $t=1, \dots, T$  ve  $i=1, \dots, N$  gözlem aralığını,  $d_t$  deterministik bileşenini,  $n_1$  ve  $n_2$  ise farklı birimlere göre gecikme uzunluklarını ifade etmektedir.

Westerlund (2007) test yaklaşımında sıfır hipotezi eşbütünleşmenin olmadığı şeklinde kurulurken, alternative hipotez ise eşbütünleşmenin olduğu yönünde kurulmaktadır. Eşbütünleşmeye sahip değişkenlerle ilgili olarak uzun dönemli ekonomik ilişkilerin tahmin edilmesi mümkün olmaktadır. Bu kapsamda farklı panel tahminçileri önerilmiştir.

Pedroni (2001) satın alma gücü gibi uzun dönem gerektiren hipotezlere eşbütünleşme testlerinin uygulanmasında, panelin farklı ülkeleri arasında benzer şekilde geçiş dinamiklerinin kısıtlanmaması gerektiğini ifade etmiştir (Pedroni, 2001, s.727). Bu bağlamda, değişkenlerin yatay kesit

ortalamalarından fark alınması yoluyla birimlerin tahmin edilmesini sağlayan tahmin yöntemi ortaya koymuştur.

### 3.4. Panel Nedensellik Analizi

Granger(1969), farklı seriler arasındaki nedensellik ilişkisini iki serinin durağan olması şartıyla analiz etmede bir yaklaşım ortaya koymuştur. Buna göre  $Y_t$  ve  $X_t$  gibi iki seri için aşağıdaki denklemler düzenlenmektedir:

$$Y_t = \delta_0 + \sum_{i=1}^{n_1} \theta_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{j=1}^{n_2} \beta_j X_{t-j} + \varepsilon_{1t} \quad (3)$$

$$X_t = \mu_0 + \sum_{i=1}^{n_1} \phi_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{j=1}^{n_2} \gamma_j X_{t-j} + \varepsilon_{2t} \quad (4)$$

Bu yaklaşım F test istatistiğine dayanmaktadır. Dumitrescu ve Hurlin(2012) panel serilerindeki nedenselliği ortaya koymada Granger yaklaşımından hareketle bir analiz ortaya koymuştur. Bu yaklaşım aşağıdaki denklem temel oluşturmaktadır (Lopez & Weber, 2017, s.2-3).

$$y_{i,t} = \delta_i + \sum_{i=1}^{n_1} \theta_{ik} \Delta Y_{i,t-i} + \sum_{j=1}^{n_2} \beta_{ij} X_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t}$$

Dumitrescu ve Hurlin(2012) panel veri analizlerindeki seriler arasındaki nedensellik ilişkisinin incelenmesinde Wald test istatistiğine bağlıdır.

### 4. Bulgular

Panel birim kök sınavasından önce serilerin birim korelasyonlarının test edilmesi gerekmektedir. Birim korelasyonun olmadığını ifade eden sıfır hipotezi tüm seriler için reddedilmiştir. Pesaran(2004) CD testi sonucuna göre tüm seriler birim korelasyona sahiptir.

Tablo 2: Birim Korelasyonun Test Edilmesi

	lkgbsyih	lenerji	ICO <sub>2</sub>
<b>Pesaran(2004) CD Testi</b>	54.46 (0.00)*	11.83 (0.00)*	14.10 (0.00)*

\* %5 önem seviyesine göre anlamlılığı ifade etmektedir.

Birim korelasyona sahip serilerin durağanlıkları incelenirken birim korelasyonu dikkate alan 2. Kuşak panel birim kök testi olan Pesaran(2007) CADF yaklaşımı kullanılmıştır. Pesaran(2007) CIPS panel birim kök testi

sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Panel birim kök testi sonucunda serilerin birim kök içerdiği şeklinde kurulan sıfır hipotezinin reddedilemediği yani serilerin birim kök içerdikleri görülmüştür. Seriler birinci fark alındıktan sonra %5 önem seviyesinde durağan hale gelmiştir.

Tablo 3: Panel Birim Kök Testi Sonuçları

	lkgbgyih	$\Delta$ lkgbgyih	lenerji	$\Delta$ lenerji	ICO <sub>2</sub>	$\Delta$ ICO <sub>2</sub>
<b>CIPS Testi</b>	-1.14 (0.13)	-1.66 (0.04)*	3.13 (0.99)	-7.24 (0.00)*	-1.09 (0.14)	-4.71 (0.00)*

\* %5 önem seviyesine göre anlamlılığı ifade etmektedir. Parantez içindeki ler prob değerleridir. Sıfır hipotezi panellerin birim kök içerdiğini, alternatif hipotezler ise panellerin durağan olduğu şeklinde ifade edilmektedir. Birim kök testlerinde gecikme uzunlukları Akaike kriterine göre belirlenmiştir.  $\Delta$ , serilerin birinci farkını ifade etmektedir.

CIPS panel birim kök testi sonucunda tüm seriler I(1) seviyesinde durağan oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Serilerin aynı derecede durağanlık seviyesine sahip olması değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisini ortaya koyan eşbütünleşme analizlerinin yapılmasına olanak sağlamıştır.

Tablo 4: Westerlund (2007) Eşbütünleşmenin Testinin Sonuçları

	Test İstatistikleri		p değerleri
<b>lenerji – lkgbgyih</b>	G <sub>t</sub>	-2.83*	0.01
	G <sub>a</sub>	-9.80	0.19
	P <sub>t</sub>	-10.82**	0.08
	P <sub>a</sub>	-5.79	0.23
<b>lenerji – ICO<sub>2</sub></b>	G <sub>t</sub>	-2.53*	0.02
	G <sub>a</sub>	-12.08*	0.00
	P <sub>t</sub>	-10.38	0.16
	P <sub>a</sub>	-7.86	0.11
<b>lkgbgyih– ICO<sub>2</sub></b>	G <sub>t</sub>	-2.27	0.20
	G <sub>a</sub>	-9.54**	0.06
	P <sub>t</sub>	-11.56	0.10
	P <sub>a</sub>	-9.41**	0.05

\*, \*\* sırasıyla %5 ve %10 önem seviyesine göre anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 4’de, Westerlund (2007) eşbütünleşme yaklaşımıyla değişkenler arasındaki eşbütünleşme ilişkileri incelenmiştir. Bu eşbütünleşme analizine göre lenerji ile lkgbgyih değişkenleri arasında olmadığı şeklinde kurulan sıfır hipotezi %5 ve %10 önem seviyesinde P<sub>t</sub> ve G<sub>t</sub> test istatistiklerine göre reddedilmiştir. Bunun sonucunda bu değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olduğu söylenebilmektedir.

Aynı şekilde Tablo 4’deki sonuçlara göre lenerji ve ICO<sub>2</sub> değişkenleri için yapılan eşbütünleşme analizi sonuçlarına göre G<sub>t</sub> ile G<sub>a</sub> test istatistiklerine göre %5 önem düzeyinde eşbütünleşmenin olduğu

görülmektedir.  $G_a$  ile  $P_a$  test istatistiklerine göre %10 önem düzeyinde, lkgbsyih ve  $ICO_2$  değişkenleri arasında eşbütünleşme ilişkisini olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 5: Panel Eşbütünleşme Modelinin Tahmini

	lkgbsyih		$ICO_2$	
	Katsayı	t istatistik değeri	Katsayı	t istatistik değeri
Çin	0.06	0.36	-1.28*	-6.34
Türkiye	4.08*	15.6	-4.02*	-22.5
Hindistan	0.98*	3.98	-2.16*	-7.47
Endonezya	-0.17*	-2.23	-0.87*	-21.3
Meksika	1.25*	9.81	0.45*	2.53
Rusya	-0.29*	-4.62	-0.51*	-2.63
Brezilya	-0.31*	-5.61	-0.62*	-6.46
Mısır	5.80*	8.46	-1.40*	-19.14
Kore	1.20	1.68	2.85*	2.73
Malezya	-1.59	-0.49	-3.78*	-5.35
Pakistan	0.92*	2.43	1.62*	2.09
Çek Cumhuriyeti	2.75*	6.94	-1.87*	-36.56
Yunanistan	-0.64**	-1.64	-1.20*	-2.99
Macaristan	-5.04*	-27.31	-2.49*	-69.32
Polonya	3.49**	1.86	1.47	1.15
Şili	-1.35*	-2.80	-0.37	-1.18
Kolombiya	5.40*	2.17	-3.16*	-2.50
Peru	0.90	1.46	-0.74*	-3.37
Filipinler	-0.70*	-2.17	-0.27*	-3.72
Tayland	1.53*	6.75	0.09	0.83
Birleşik Arap Emirlikleri	0.30*	7.60	-1.91*	-23.66
Güney Afrika	3.06*	21.13	-2.20*	-14.48

\*, \*\* sırasıyla %5 ve %10 önem seviyesine göre anlamlılığı ifade etmektedir. Parantez içindekiler t istatistiklerini göstermektedir.

Değişkenler arasında bulunan eşbütünleşme ilişkisi incelenmiş ve eşbütünleşme ilişkisinin olduğu görülmüştür. Tablo 5’de eşbütünleşme ilişkisine sahip değişkenler için her bir birime göre panel eşbütünleşme tahmininin sonuçları verilmiştir. Burada değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkinin tahmin sonuçları yer almıştır.

Tablo 5’deki sonuçlara bakıldığında Türkiye, Hindistan, Endonezya, Meksika, Rusya, Brezilya, Mısır, Pakistan, Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Kolombiya, Filipinler, Birleşik Arap Emirlikleri ve Güney Afrika için her iki uzun dönem parametresi de %5 önem seviyesinde anlamlıdır. Bu ülkeler için uzun dönemde lkgbsyih ve  $ICO_2$  değişkenleri enerji değişkenini etkilemektedir. Çin, Kore, Malezya ve Peru için sadece  $ICO_2$  katsayısının %5 önem düzeyinde anlamlı olduğu; Polonya, Şili ve Tayland için yapılan analiz sonuçlarında ise sadece lkgbsyih katsayısının

%5 ve %10 önem seviyesinde anlamlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, Yunanistan için yapılan analiz sonucunda her iki uzun dönem katsayısı da %5 ve %10 önem seviyesinde anlamlı olarak bulunmuştur.

**Tablo 6:** Dumitrescu ve Hurlin(2012) heterojen panel nedensellik analizi sonuçları

	k=1	k=2
enerji-kbgsyih	0.48 (0.62)	2.29 (0.02)*
kbgsyih – enerji	1.95 (0.04)*	1.87 (0.06)**
enerji – CO <sub>2</sub>	1.30 (0.19)	2.12 (0.03)*
CO <sub>2</sub> – enerji	0.53 (0.59)	2.06 (0.04)*
kbgsyih – CO <sub>2</sub>	0.23 (0.81)	0.42 (0.67)
CO <sub>2</sub> – kbgsyih	0.61 (0.54)	0.63 (0.53)

Parantez içindekiler prob değerleridir. \*, \*\* sırasıyla %5 ve %10 önem seviyesine göre anlamlılığı ifade etmektedir. k, gecikme sayısını belirtmektedir.

Panel birim kök testi sonucunda birinci farkta durağanlıkları sağlanan serilerin birbirleri arasında nedensellik ilişkisine sahip olup olmadıkları Dumitrescu ve Hurlin(2012) yaklaşımıyla farklı gecikmeler için incelenmiştir. Tablo 6'da görüldüğü üzere, enerjideğişkeninden kbgsyih değişkenine doğru nedensellik ilişkisi iki gecikme olması durumunda görülürken; kbgsyih değişkeninin enerjinin nedeni olduğu her iki gecikme için de sağlanmıştır. Enerji ile CO<sub>2</sub> arasındaki nedensellik ilişkisinde, CO<sub>2</sub>'nin sadece bir gecikmede enerjinin nedeni olduğu ve benzer şekilde enerjinin de CO<sub>2</sub>'nin nedeni olduğu bir gecikme de sağlanmaktadır. CO<sub>2</sub>değişkeni ve kbgsyih arasında herhangi bir nedensellik ilişkisine rastlanmamıştır.

## 5.Sonuç

Bu çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve CO<sub>2</sub> emisyon değerleri arasında ilişki 1992-2014 dönemi aralığında incelenmiştir. MSCI gelişen ülkeler endeksi kapsamında yer alan ülkeler panel veri yaklaşımlarıyla analiz edilmiştir. Panel birim kök testleriyle durağanlıkları sağlanan seriler için kısa ve uzun dönem ilişkileri incelemek amacıyla eşbütünleşme ve nedensellik yaklaşımları kullanılmıştır.

Bulgularda elde edilen çift yönlü nedensellik ilişkisi, değişkenler arasında ortak etkileşimi ve belirlemeyi göstermektedir. Yenilenebilir enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyon değerleri arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisi görülmektedir. Bu durum, yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde bir artışa neden olabileceğini ortaya çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, geri besleme hipotezini desteklemektedir.



## KAYNAKÇA

- Al-mulali, Usama, et al. (2013). Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22, 209-222.
- Apergis, N.&Payne, J. (2010). Renewable energy consumption and growth in Eurasia. *Energy Economics*, 32 (6), 1392-1397.
- Apergis, N., et al. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics* 69(11), 2255-2260.
- Beck, F. & Martinot, E. (2004). Renewable energy policies and barriers. *Encyclopedia of energy*, 5(7), 365-383.
- Bhattacharya, M. et al. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733-741.
- Burret, H. T., Feld, L. P. & Köhler, E. A. (2016). Unsustainability of Public Finances in German Laender: A Panel Time Series Approach. *Economic Modelling*, 53, 254-265.
- Büyükyılmaz, A. & Mehmet M. (2015). CO2 Emisyonu, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin MS-VAR Yaklaşımı ile Modellenmesi: Türkiye Örneği. *Zeitschrift für die Welt der Türken/ Journal of World of Turks*, 7(3), 103-117.
- Chang, T., Chien-Ming H. & Ming-Chih L. (2009). Threshold effect of the economic growth rate on the renewable energy development from a change in energy price: Evidence from OECD countries. *Energy Policy*, 37(12), 5796-5802.
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic modelling*, 29(4), 1450-1460.
- Esso, L. J. (2010). Threshold cointegration and causality relationship between energy use and growth in seven African countries. *Energy Economics*, 32(6), 1383-1391.
- Fang, Z., & Chang, Y. (2016). Energy, human capital and economic growth in Asia Pacific countries—Evidence from a panel cointegration and causality analysis. *Energy Economics*, 56, 177-184.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 424-438.
- Lin, B. & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption—Economic growth nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 111-117.
- Lopez, L., & Weber, S. (2018). Testing for Granger causality in panel data. *The Stata Journal*, 17(4), 972-984.

- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61(S1), 631-652.
- Menegaki, A. N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: a random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy Economics*, 33(2), 257-263.
- Menyah, K. & Wolde-Rufael, Y. (2010). CO 2 emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. *Energy Policy*, 38(6), 2911-2915.
- Ocal, O. & Aslan, A. (2013). Renewable energy consumption–economic growth nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 494-499.
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C. & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513-1524.
- Pedroni, P. (2001). Purchasing power parity tests in cointegrated panels. *Review of Economics and Statistics*, 83(4), 727-731.
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of applied econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. *University of Cambridge, Faculty of Economics, Cambridge Working Papers in Economics No. 0435*
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO 2 emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456-462.
- Sari, R. & Soytas, U. (2009). Are global warming and economic growth compatible? Evidence from five OPEC countries?. *Applied Energy*, 86(10), 1887-1893.
- Sebri, M. & Ben-Salha, O. (2014). On the causal dynamics between economic growth, renewable energy consumption, CO2 emissions and trade openness: fresh evidence from BRICS countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 14-23.
- Tiwari, A. K. (2011). A structural VAR analysis of renewable energy consumption, real GDP and CO2 emissions: evidence from India. *Economics Bulletin*, 31(2), 1793-1806.
- Türkay, M. (2018). Does International Liquidity Matter For G-7 Countries? A PVAR Approach. *International Econometric Review*, 10(1), 1-13.
- Twidell, J. & Weir, T., (2015). *Renewable energy resources*. 3th ed. s.l.:Oxon: Taylor & Francis.
- Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 69(6), 709-748.
- Yildirim, E., Saraç, Ş. & Aslan, A. (2012). Energy consumption and economic growth in the USA: Evidence from renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9), 6770-6774.



## Bölüm 4

**GÜNCEL TASARIMDA YÜZEYLERİN ENERJİ VE  
ÇEVRE BAĞLAMINDA KULLANILMASININ AKILLI  
MALZEMELER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ**

*Elif ALTIN<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi Maltepe Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü,  
shelif@yahoo.com



## 1. Giriş:

Yapı iç ve dış yüzey malzemeleri 19. yüzyıla kadar yapımın işlevi ve formuna bağımlı kalınarak bulunulan bölge ve yakın çevresinden elde edilen doğal taş, ahşap, vb. gibi görünüşüyle kullanılabilirliği açısından istenilen ölçütlere cevap verebilen dekorasyon ile yapılarda kullanılmak amaçlı kaba yapıyı kaplayan, ince kaplamalar olarak ele alınmıştır. Malzemenin genel özellikleri ile kullanım şekli bir genelgeye dayalı olmadan, deneyim, gözlem yoluyla değerlendirilmiş, çoğu malzemenin yapı yüzeyindeki işleyicisi de usta çırak ilişkisi ile bir kentten diğerine geçerek zaman sınırlaması olmaksızın, ölümlerine yakın deneyimlerini sonraki nesle aktararak ülkeler arası yol alan gezgin zanaatçı, duvar-taş ustası, mimar, heykeltıraş olan kimliklerin kendi bilgi ve becerileriyle önem kazanmıştır.

Endüstri devrimi sonrası, özellikle çelik malzemenin kullanılması ve camın sanayide yer bulması ile yapı kabuğu, iç mekan açıklıklarında genişleme olmuş, yapılarda malzeme kullanımı mimari ihtiyaca cevap vermenin yanında, form-fonksiyon açısından tasarımı destekler nitelikte ele alınmıştır. Teknolojik gelişmelerin her geçen gün daha fazla sağladığı olanaklar yapı iç ve dış yüzeylerinde kullanılmakta olan akıllı malzemeleri mekanın tasarım paleti haline getirmiştir. Enerji toplayıcı, dönüştürücü, yansıtıcı, görsel nitelikte algı toplayıcı özellikler gibi geçmişte sadece görsel varlığı ile betimlenen malzemeyi akıllı olarak nitelendirmek için, yapının oluşmasında etkinliği açısından farklı başlıklar altında incelemek gerekmektedir.

### 1.1 Yapı bileşenlerinin yüzey kullanımındaki yeri ve etkinliği

Canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için kontrollü mekanlardan oluşma yapay çevrelere ihtiyacı vardır. Mekan bir veya birden fazla eylemin oluşturulabileceği farklı işlevlerin yer aldığı dış çevresiyle ilişkili bileşenlerinin sağladığı sınırlayıcı-ayırıcı etkisiyle iç ve dış olarak tanımlanabilen, yerleşik sınırları olan bir alandır (Ching, Adams 2001). İç ve dış oluşumunu sağlayan mekan yüzeyinin belirlenmesinde; kullanıcı ihtiyacı, malzeme seçimi, çevresel etki, işlevsel istekler, ekonomik durum ve yaklaşım, sosyolojik algı, psikolojik algı tasarım süreciyle birlikte etkin olmaktadır. Yüzey kullanımı ve tema açısından nitelik kazandırılan malzemeyle; yapı ilişkisinde resme tuval gibi zemin oluşturan yatay ve dikey bileşenler yapısal, teknik özellikleri açısından pencere, giriş, kolon, kapı, merdiven yüzeyleri vb. olan tamamlayıcı yapı elemanlarından ayrı tutularak incelenmelidir.

### 1.1.1 Düşey yapı bileşenlerinden: duvar

Yüzey kaplamasında mekana farklı nitelik kazandıran duvar; yapıyı dış etkenlere karşı koruyan ve iç bölümlerini birbirinden ayıran taş, tuğla vb. gereçlerden yapılan veya örülen dikey düzlemdir. Başka bir tanımla, toprak parçasını sınırlayan taş, tuğla, kerpiçten yapılmış engeldir (url 1). Mekan sınırlayıcısı ve bileşeni olan, duvar; genişliği ve yüksekliği kalınlığından daha büyük, koruyucu, çevreleyici, bölücü görev üstlenmiş düşey yapı elemanıdır (Thiis, Evesen, 1989). Yapıya dışarıdan ve içeriden gelebilecek her türlü zararlı etmenin karşı koruyucu ögesi olan duvarlar; en az bir yüzü havaya ya da toprağa bakacak şekilde konumlandırılmasıyla dış ortamla içi ayıran dış duvar, bina içinde yer alan ve dışarıyla hiçbir bağlantısı olmayan iki iç ya da dış ortam arasında kalarak, iç mekanları birbirinden ayıran, iç duvar olarak tanımlanmaktadır. Her iki duvarında yapı bütünlüğü içerisinde yüzey olarak mekandaki kullanım amacına cevap verebilmesi ve kullanıcının konforu, güvenliği açısından taşıma, ayırma, yalıtım, koruma gibi niteliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nitelikler; kendi yükünü ve diğer yapı elemanlarından gelen yükleri taşıyıp aktarabilmek, hava-su-ses-ısı-nem izolasyonuna sahip olmak, görsel gizliliği sağlamak, su-ısıtma-soğutma-havalandırma-elektrik gibi tesisat uygulamalarına açık olmak, bitirme malzemeleri ile kaplanabilmek, pencere, kapı gibi tamamlayıcı yapı elemanlarının montajında problem oluşturmamak, uzun vade kullanımıyla ekonomiye katkı sağlamaktır (Harold, vd. , 1983). Farklı yapı malzemeleri ile oluşturulabilen duvarlar çeşitli etkenlere karşı değişkenlik gösterebilmekte olduğu için, malzemesinin davranış biçimini anlamak ve tasarımına çözüm bulabilmek gerekmektedir. Geleneksel yapı kabuğu Vitruvius ve Alberti' ye göre; sağlam, dayanıklı, yararlı, kullanışlı, estetik, güzel unsurları taşımalıdır. Ayrıca kabuk; maruz kaldığı atmosferik etmenlere, oluşturulduğu yapı elemanlarının tek başlarına ve birbirleri arasındaki mekanik davranışlara, malzeme özelliği ve kullanıcılarına göre tasarlanmalıdır (Toydemir, vd.2000). Bu yaklaşımla tasarımındaki amaç; gün ışığından yüksek düzeyde yararlanırken, iç ortam hava kalitesinin artmasına imkan veren, zamanla değişen çevresel etmenlere ve kullanıcı gereksinimine uyum sağlayan, enerji verimliliği sağlayan sistemlerin etkin kullanılmasıdır (Gür, Aygün, 2008).

İlk çağlardan günümüze kadar olan süreçte yapı dış ve iç duvar kaplaması olarak kullanılan malzemeler; işlem ve uygulama yöntemi geliştikçe doğadan olanı kullanma, yeniden biçimlendirerek kullanma, yapay ve yeni ürünler yaparak kullanma olarak üç grupta sınıflanmaktadır. Tablo 1 'de gösterilmekte olan sınıflandırmada dış ve iç duvar malzemelerinin hangi gruptandırmaya ait olduğu belirtilmektedir. Doğada olanın var olduğu haliyle molekül yapısını bozacak hiçbir işlem görmeden

şekil verilerek bir araya getirilmesine doğal malzeme, ayrıştırma, toplayıcı ya da sentetik maddelerle farklı işlemlere maruz kalarak yapay ve yeni ürünlerle oluşturulanlara endüstriyel malzeme denilmektedir. Tabloda bu malzemelerin bazılarının listesi yer almaktadır. Seçilen malzemelerin dış etmenlere karşı dayanıklılığı süreç ve gösterdiği tepkiye göre değişebilmektedir. Malzemenin seçimi, kullanıcının ihtiyacına göre değerlendirmek tasarımcının tercihinin bağlıdır.

**Tablo 1:** yapı iç ve dış duvar yüzey kaplamalarında kullanılan bazı malzemelerin listesi (Yağlı, 2019)

Doğal Malzemeler	Endüstriyel Malzemeler			
	metaller	plastik bazlı	cam	sıvalar
-granit	-demir	-poliüretan	-cam	-çimento
-mermer	-saç	(PU)	-cam tuğla	serpme
-kireçtaşı	-alüminyum	-trapez levha	-cam panel	-edelputz
-traverten	-bakır	-sandviç panel	-cam	-püskürtme
-basalt	-çinko	-polivinilklorür	mozaik	-mermer
-diabas	-kurşun	(PVC)		-suni taş
-diorit	-paslanmaz			-hazır akrilik
-kuvarsit	çelik			-akrilik serpme
Yapay Malzemeler	- pirinç			-hazır plastik
-beton	-titanyum			-slikonbazlı
-seramik	-kalay			
-gre mozaik				
- porselen mozaik				

İç duvar yüzey kaplamaları; iç mekanı sınırlayan duvarlarda, mekana işlevsel, biçimsel ve algısal anlam katan yüzey bitirme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Doğal ve yapay çevreye bağımlı kalarak kullanım amacı ve iç mekandaki fiziksel özellikler gözetilerek yüzeyin özelliği, üretim şekli, biçim vb. gibi niteliklere göre malzeme seçimi yapılmaktadır (Ergenç, 2007). İç mekandaki yüzey malzemesinin etkinliğinin değerlendirilebileceği belirgin faktörler bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan kullanıcı faktöründe; kullanıcının fiziksel özelliği, psikolojik ve sosyolojik yapısı gereğince iç mekân yüzey seçimi değişebilmektedir. Örneğin ruhi depresyonda olan bir hastanın gözetim altında tutulmakta olduğu odanın iç duvar yüzey kaplaması, hastaların kendine zarar veremeyeceği nitelikte döşenmelidir. Bir kütüphane ortamında da sesi yansıtıcı değil yutucu malzemeler seçimde ön planda olmaktadır. Mekanın işlevi ve kullanıcının fiziksel durumunun ele alınması gibi, ekonomik durumu, eğitim düzeyi, yaşam ve davranış biçimine göre de malzeme seçimi yapılabilmektedir. Kullanım süresi açısından iç duvar yüzeyinin kolay temizlenir olması, onarılabilmesi, dayanıklılığı ele alınmaktadır. Isı, ses, akustik, su, nem, ışık yangın, mikro organizmalar, bitkiler, hayvanlar, yük ve kuvvetler, kullanım ile yapım süreçleri de, doğada kendiliğinden var olmayan, tasarımcı tarafından oluşturulan yapay çevre ile ilgili konulardır. Çevre

ve insan sağlığına uygunluğu açısından malzemenin doğayı kirletmeyen, dönüştürülebilir, sürdürülebilir olması da diğer bir etmendir. Günümüzde iç mekan yüzey kaplaması için istenilen özel tasarımlarda beklentilerin karşılanması için, detay çözümleri yapılmaktadır (Cengiz, 2008). İç duvarlar detaylı olarak taşıyıcılık özelliğine, kesitine, malzeme ve yapım süreçlerine göre Tablo 2 deki gibi gruplandırılabilir.

**Tablo 2:** İç duvar elemanlarının sınıflandırılması (Cengiz, 2008)

İÇ DUVARLAR				
STATİT DURUMUNA GÖRE	KESİT DURUMUNA GÖRE	UYGULAMA YÖNTEMİNE GÖRE	MALZEMESİNE GÖRE	
			Taşıyıcı	Kaplama
			1. Taşıyıcı Olan	1. Tek Tabakalı
2. Blok Taş	2. Ahşap Plaka			
2. İskelet Sis.	3. Pişmiş Toprak	3. Boya ve Duvar Kağıdı		
	4. Beton Blok veya Briket	4. Cam		
2. Taşıyıcı Olmayan	2. Çok Tabakalı	3. Hazır Panel Sis.	5. Gazbeton	5. Metal
			6. Cam Tuğla	6. Plastik
			7. Ahşap	7. Seramik
		8. Metal	8. Taş	
		9. Plastik		
		10. Hazır Panel		

### 1.1.2 Yatay yapı bileşenlerinden: zemin ve tavan

İç mekanda yatay yüzeyi oluşturan, taşıyıcılık ve bölücülük işleviyle mekanı tanımlayarak yapıdaki katları birbirinden ayıran ve üzerinde yürünen kısma döşeme, onun taban yüzeyine kaplanan her tür malzemenin genel adına da döşeme kaplaması denilmektedir (Hasol, 1998). Döşemeler, bir mekanın altı üzerinde yürünebilen ve üstü üzerinde yürünemeyen kısmını oluşturabilir. Döşeme kavramı bir yerin üzerini örtmekle birlikte üzerinde gezinilebilen elemanları da kapsamaktadır, dolayısıyla zemin ve çatı döşemelerinin mekandaki ortak özelliği örtmektir (Çolakçıoğlu, 2008). Mekan tasarımında mekanı oluşturan elemanların işlevlerinin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Mekandaki görsel, fizyolojik, akustik, mekanik ve fiziksel çözümler döşemelere de yansımalıdır. Her bir işlev için kullanılacak döşeme kaplama malzemeleri, yüklediği göreve göre değişkenlik göstermektedir. Tablo 3'te sınıflandırılmakta olan bu kaplamalar; mineral bağlayıcı şap çeşitleri, dökme, yapay taş, doğal taş, cam, ahşap, polimer, kauçuk, linolyum, metal ve seramik malzeme olarak kullanılmaktadır (Toydemir, vd., 2000). Zemin döşemesi üzerinde yürünebilen yüzey olmasının yanında, mekanı oluşturan diğer bileşenleri algılatan, bir altlık rolünü de üstlenmektedir. Zemin yüzeyinde kullanılan her türlü araç gereç ve kişisel eşyadan alabileceği darbelerle, neme,



boyaya, kire, yağa karşı dayanıklı olmalıdır. Zemin düzlemi, alan ve yer tanımlaması için renk kullanımı da algı toplayıcı bir özellik taşımaktadır (Sümer, 2011).

**Tablo 3: Zemin döşeme malzemesi sınıflandırılması (Sümer, 2011)**

Sert Zemin Döşeme Malzemeleri	Elastik Zemin Döşeme Malzemeleri	Hafif (Yumuşak) Zemin Döşeme Malzemeleri
Beton ve Çimento Esaslı Zemin Kaplaması	Linolyum	Halılar Kilimler
Karo Zemin Kaplaması (Seramik Karo, Porselen Karo, Seramik Mozaik)	Mantar	
Taş Zemin Kaplaması (Mermer, Traverten, Granit)	Kauçuk	
Ahşap Zemin Kaplaması (Levha Ahşap, Parke ,Arduvaz	Vinil (PVC Kaplama)	
	Epoksi	

Tavan bir yapının mekanı içerisindeki üst bölümünü oluşturan düz ve yatay yüzey iken; üst kat için, yer döşemesinin alt yüzeyi ile çatı strüktürüdür. Bu anlamda üst kat zemin yüzeyinin bir parçası olarak görüldüğünde üzerinde kullanıcı faaliyetlerinin gerçekleştirildiği hareket imkanı sağlayan bir unsur iken, iç mekanda üst sınır olarak temas etmekten uzak, örtme, birleştirme ve aydınlatma işlevine hizmet etmektedir. Mekandaki taşıyıcılık, nem, ses, ısı, yangın yalıtımı gibi faktörleri karşılamaktadır. Geçmişte tavan yüzeyi resim, ahşap, ayna, tonozlu yapı, çerçeve tekniğinin kullanımı gibi çeşitli bezeme yöntemleriyle, mekanda verilmek istenilen algının sergileme ünitesi gibi kullanılmıştır. Günümüzde ise modern malzemelerde mekanda kot farkı, ses kontrolü ve geçmişteki örneklerinin işlevine yakın aydınlatmanın gizlenerek arkasından yansıtıldığı manzara resimlerinin konumlandığı hafif taşıyıcı ekipmanlar kullanılmaktadır. Tavan yüzey tasarımı mekandaki atmosferi farklılaştırarak kullanıcıda ferahlık, açıklık, rahatlık, resmiyet, prestij ve tam tersi etkiler yaratmak üzere kişisel algıyı etkilemektedir. Tavan yüzeylerinde kaplama malzemesi olarak ahşap, ağaç ürünü plakalar (sunta-duralit), alçı, plastik, hafif metal ve boya kullanılmaktadır (Sümer, 2011).

### 1.1.3 Enerji ve çevre bağlamında malzemelerin kullanımı

Varlığını devam ettirebilmek ve gelecek nesillere kendisinde olanı aktarabilmek için insanoğlu bulunduğu çevre ile daima etkileşim halinde olmak zorundadır. Doğaya duyarlı olmadan üretilen, ağır sanayi sistemleri, kontrolsüz yapılaşma, aşırı enerji tüketimi, çevre kirliliği, vb. etmenler bu

etkileşimin azalmasına yol açmaktadır. Küresel felaketler, yeterli kaynak bulamama, canlıların neslinin tükenmesi vb. gibi sonuçlar, beklenen olumlu geleceği de yok etmektedir.

İnsanoğlu geçmişten günümüze farklı enerji kaynaklarını keşfederek ısınma, besin bulma vb. gibi, yaşamını daha kolay hale getiren donanımlar ve diğer gereksinimleri için kullanmış bu sayede gelişip değişmiş ve çoğalmıştır (Berkes, Kışlalıoğlu, 2003). Enerjinin kullanımı, denetimi olumlu ve olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Enerjinin doğaya zarar verecek nitelikte kullanımı, ekolojik dengenin bozulmasına ve domino etkisiyle tüm canlıların yaşam döngüsünde, tehlikeli değişime yol açmaktadır. Dünyadaki ekonomik ve sosyal gelişimlere paralel olarak yapı teknolojisi tasarımında enerji ekonomisi, önemli bir kriter olarak ele alınmaktadır (Berber,2012) , küresel felaketler ve kaynak yetersizliği gibi konuların düzelmesi için yapı sektörünün çözüm odaklı yaklaşımı yeni terimlerin oluşmasını sağlamıştır. Küresel ısınmanın olumsuz etkilerinden korunmak ve engellemek için; ekolojik, sürdürülebilir, yenilenebilir enerji, çevresel tasarım, yeşil mimari, enerji verimliliği ile korunumu, iklimsel kontrol gibi terimler oluşturularak akıllı yapı, malzeme ve yüzeyler kullanılmaya başlanmıştır. Tasarlanan yapılarda yeni bina teknolojisi ve otomasyon sistemlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Yenilikçi malzemeler sayesinde yapı yüzeylerinde gelişim, fonksiyonel donatım, ekonomik ve ekolojik kısıtlamalar, işlevsel uyarlanabilme, kolay sökölüp takılma, doğrudan veya dolaylı yoldan enerji elde edinimi olarak, kendine yetebilme gibi yüksek teknoloji içerikli özellikler yaşamımıza girmiştir (Ritter, 2007). Enerji üretimi ve yeniden kullanılabilmesi ile sürdürülebilirlik kapsamında üretilen yapılardaki yenilikçi malzemeler sırasıyla; yeniden işlev kazandırılacak hammaddesi doğal olan özellikle atık fazlalığını yok etmek amaçlı kullanılan, ucuz ve düşük kaliteli ürünlerin genel adı olan geri dönüştürülebilir malzemeler (Ak, 2006), sentetik ve çağdaş malzemeler harici, toprakta yaşayan mikroorganizmalar tarafından tamamen parçalanıp ayrıştırılarak doğada su ve karbondioksit gibi kararlı ve basit bileşiklere dönüşen biyobozunur malzemeler (Sassi, 2006), yenilenebilir kaynaktan yapılmış biyomalzemeler, fiziksel ve kimyasal etkilere maruz kaldığında yapısında bozulma olmayan değişmeyen malzemeler, tekli-çoklu işleve büründürülebilir fonksiyonel maddeler, en az iki farklı bileşikle üretilmiş hibrit malzemeler, moleküler düzeyde malzeme davranışını makro işlevsel düzeye getirebilen (Bozoğlu, Arditi, 2012) ve nano ölçekte olup mukavemetli, elektrik ile ısı iletilebilir, esnek, hafif özellikteki nanomalzemeler (Vural, 2010), farklı değişebilir özelliklere sahip, ısı-ışık-nem- rüzgar-basınç vb. gibi fiziksel ve kimyasal etkilere tepki olarak şeklini veya rengini dönüştürebilen, toz, kir, virüs, buhar vb. gibi etkenleri bünyesine hapseden veya iten akıllı malzemelerdir.

Enerjinin yeni üretilen malzemelerle verimliliğini arttırmak veya dönüştürebilmek yapı teknolojisinde mümkün olmaktadır, ayrıca enerjinin mekanda kullanılan yüzeylerde aktarımı, konumlanılan çevredeki doğal enerjinin yapı içerisindeki ısı-havalandırma-nemlendirme-ışık ve ses gibi tesisat geçişleri ve kaplamalarla yapıları sarmalayan insan sağlığı ve konfor değerleri bakımından ideal düzeyde kullanımına hizmet etmesi de termal çevre konusudur.

## 2. Akıllı malzemeler ve sınıflandırılması

Teknolojinin üzerinde etkin bir öneme sahip olan malzeme grubunun, çevrelerindeki değişiklikleri algılayarak önceden belirlenmiş tepkilerle cevap verebilmesine akıllı denilmektedir (Callister, 2007). Mimari anlamda malzemenin ortam şartları ile mücadele eden değil, ortam şartlarına uyum gösteren nitelikte olması amaçlanmıştır. Bu anlamda yapıya yüklenen akıllılık kavramı yapının oluşturulmasında akıllı malzeme kullanılarak işleve uygun biçimde tasarlanan yapı elemanları veya bileşenlerini kapsamaktadır. Bu malzemeler çevresel uyarılar dikkate alınarak, fiziksel morfoza uğratılmaktadır. Bunu sensorları ve aküatörleri ile değişen koşullara odaklı özelliklerini tersine çevirip, kontrol ederek yapabilmektedirler (Brownell, 2006).

Kavramın ilk ele alınış süreci 19. yüzyılın sonlarında Curie Kardeşlerin farklı doğal malzemelerin özelliklerini keşfetmeleriyle başlamıştır. Mimari anlamda; çevresel koşullara yanıt veren mimarlık arayışı, yapının kabuk ve strüktür yüzeylerindeki algılayıcıların bilgisayara naklettiği dış uyarı, bütünleşik hareket mekanizmalarıyla uyarıyı yanıtlamak esas alınmıştır. Sonradan kullanılmaya başlanılan akıllı malzemeler, bu işlevi bilgisayar olmaksızın algılayıcı, devindirici olarak yapılarda oluşturmuştur (Negroponte, 1970).

Akıllı malzemeler dış uyarılara karşı tepki olarak; basınç, sıcaklık, nem, ışık, elektriksel alan, manyetik alan vb. nitelikte fiziksel, pH, çözelti vb. özellikte kimyasal veya biyolojik yapısını değiştirerek ve/ veya enerji dönüşümünü yaparak yanıt veren Tablo 5 'te gösterilmekte olan, yüksek mühendislik özelliklerine sahip ürünlerdir. Günümüzde yirmiden fazla grup altında sınıflanmaktadır. Sınıflandırılma; malzemenin moleküler yapısı ve kimyasal bileşimini kapsayan içsel ve dışsal özelliğine göre tanımlama yapılarak gerçekleştirilmektedir. Örneğin elmas malzemenin molekül yapısı, yoğun karbon atomlarından oluştuğu için, dış etmenlere karşı oldukça mukavemetli ve serttir. Malzeme sınıflandırmasında görsel estetikliği dışında bu özellikleriyle de ele alınmaktadır.

**Tablo 5 : Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması(Addington, Schodek, 2005).**

<b>Tip 1: Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler</b>
<b>Renk Değiştiren:</b> Fotokromikler, Termokromikler, Mekanokromikler, Kemokromikler, Elektrokromikler
<b>Faz Değiştiren :</b> İletken Polimerler ve İletkenler, Reolojik (Akışbilimsel) Özellik Değiştiren, Sıvı Kristal Teknolojiler, Asılı Parçacıklı Ekranlar, Akıllı jel ve kristaller
<b>Tip 2: Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler</b>
<b>Işık Yayan:</b> Lüminesans, floresan ve fosforesans, Fotolüminesans, Elektrolüminesans
<b>Enerji Alışverişi:</b> Temel Yarı İletkenler, Fotovoltaikler, Ledler, Transistörler, Termoelektrikler, Piezoelektrik
<b>Şekil Hafızalı Alaşımlar:</b> Şekil Belleyci Polimerler

Malzemenin içsel özelliğini; elastik modülüyle dayanıklılığını içeren mekanik nitelikleri, iletkenlik, özgül ısı ve yoğunluk gibi fiziksel yapısı, reaktiflik, belirgin değerleri, çözünürlük gibi kimyasal yapısı karşılamaktadır. Dışsal özelliklerinde ise; çevrelerindeki enerji alanlarına bağlı, malzemenin makro yapısıyla ilintili olup, optik özellikleri, yansıtma, geçirgenlik, emici olma, akustik kontrol vb. gibi nitelikler taşımaktadır. Akıllı malzemenin sınıflandırılmasında mekanik, termal, elektriksel, kimyasal ve optik olarak belirlenen, her maddenin cevap vermesi gereken, enerji uyarılarının göstergesini içeren, bir veya birden fazla özellik bulunmaktadır. Malzeme ve çevre alanındaki enerji alışverişi açısından akıllı malzemeler iki grupta ele alınmaktadır. Bunlardan Tip 1; çevresel koşullardaki değişikliğe (uyarana) tepki olarak kimyasal, mekanik, optik, elektriksel, manyetik veya termal nitelikte kullanıcısı tarafından kontrol gerektirmeden değiştiren malzemelerdir. Tip 2 ise; enerjuyu bir formdan diğerine istenilen son durumu elde etmek üzere dönüştüren malzemelerdir (Addington, Schodek, 2005).

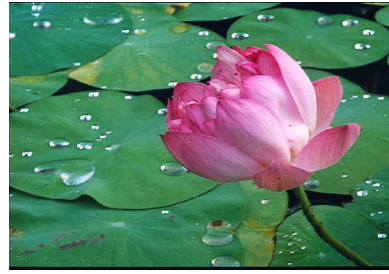
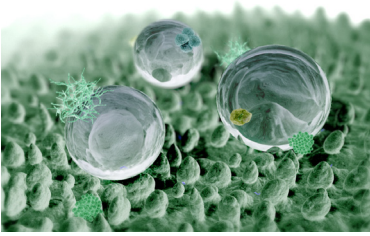
### 3. Dış ve içyapı yüzeyinde kullanılan akıllı malzemeler

Bütünde istenilen etkiyi yaratabilecek akıllı ürünlerden oluşturulmuş yüzeyler, yapı dış kabuğu ve içinde günlük hayatı kolaylaştırıcı, kullanıcının konfor düzeyini arttırıcı özellikte üretilmiştir. Doğada yaratılmış çok sayıda canlının bulunduğu ortamda ideal yaşamını sürdürebilmesi için bir diğer ortamda olan canlıdan farklı olarak, belli başlı özelliklerle donatılmıştır. Araştırmacıların, canlılardaki bu özellikleri keşfetmesi ile yapı sektöründe etkin olabilecek nitelikte akıllı ürünlere davranış olarak kopyalanmıştır. Bu malzemelerin kullanımı için, tasarımcıların mekan kurgusuna uyumlu yerleşimi gereğince yerinde karar verdikleri sürece başarılı sonuç almaları kaçınılmazdır. Ürün bazında kısıtlı mekanlarda kendini veya

havayı temizleyebilme, hijyen gerektiren alanlar ve yüzeylerde bakteri önleyiciliği, ani sıcaklık değişiminin hissedildiği yüzeylerde buğulanma karışıklığı, el izi- çizik- aşınmaya karşı dayanıklı yapısı ile kendini koruyabilme, termal yalıtımla yanmazlık, yangın koruyucu ve sıcaklık geçirgenliği ile ısıtıcı veya sıcaklık göstergesi olma, U.V. ışınlarından ve güneşten koruma, yansımaya önleyicilik ve daha birçok özelliklerle yaşam alanlarında akıllı yüzey ürünleri kendini göstermektedir.

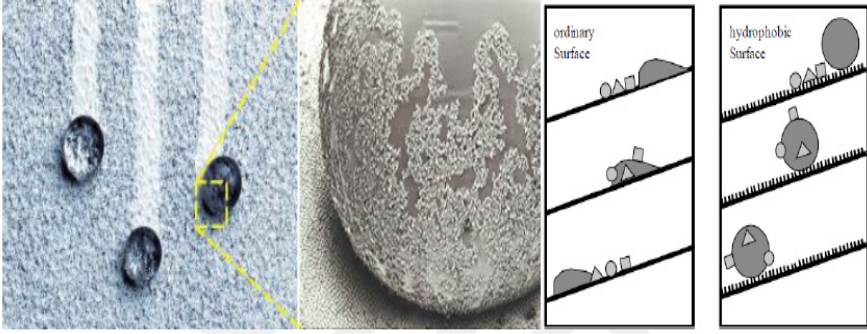
### 3.1 Ortam atmosferi ve kendini temizleyen yüzeyler

Akıllı yüzeyin bir uyarıya tepki olarak katı, sıvı ya da gaz bileşeni bir atomun veya molekülün emiş gücünü tersine çevirebilen malzeme ve ürünlere adezyon-değiştiren akıllı malzeme denilmektedir (Ritter, 2007). Resim1 de gösterilmekte olan, lotus bitkisinin yaprakları suda çözünmeyen *kütin polimeri* içeren, mumsu kütikula tabakasının oluşturduğu, nano ölçekteki çukur ve yükselti yapılar sayesinde; yüzeyi su tutmayarak kayan damlacıklar, yaprakta biriken toz, çamur, böcek ve diğer kirlilik etkenlerini bulunduğu ortama akıtmaktadır. Bu hidrofobik (su tutmaz) yüzey temizliğine, lotus etkisi denilmektedir.



Resim 1: solda Lotus bitkisinin hidrofobik (su tutmaz) yüzeyli yaprakları, sağda kendi kendini lotus etkisiyle temizleyen reçine boyanın mikroskopik görüntüsü (Savaş, 2016)

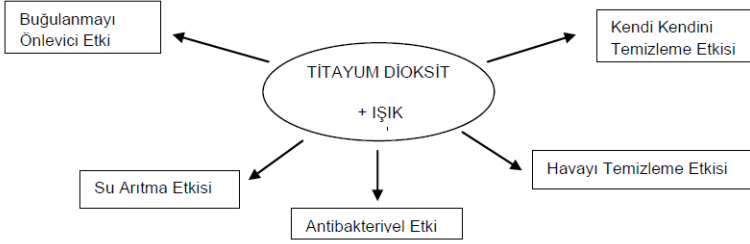
”Doğadan edinilen bu bilgiler ışığında üretilen ve şu anda da kullanımı çok yaygın olan ilk ticari boya silikon reçine boyalar olmuştur. Bu boyanın içeriğinde bulunan silikon nanopartiküller lotus yüzeyine benzer mikro yapılanmayı oluşturmaktadır. Boyalardaki kullanımının yanında; lotus etkisinden yararlanılarak kiremitlere ve camlara da kaplama yapılmaya başlanmış ve bazı nesnelere üzerine uygulandığında geçici olarak su geçirmezlik sağlayan spreyleyler üretilmiştir”. Resim 2’de görüldüğü üzere “Bir başka kaplama uygulaması olarak da nanopartiküller içeren kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmıştır”(Savaş , 2016). Mimari yapı dış ve iç yüzeylerinde bu özellik boya, seramik, kumaş, kağıt kaplamalarda kullanılmaktadır.



Resim 2: Lotus Etkisi: Hidrofobik yüzey üzerinde su damlalarıyla birlikte yuvarlanan tozlar (Benedix, Dehn, Quaas, Orgass, 2000) (Özgür, vd., 2007).

Işıklı kimyasal reaksiyonları aktive edebilen malzemelerin yüzeylerde oluşturduğu etkiler günlük hayatımızı kolaylaştırır niteliktedir. Bu malzemelerin genel adı, fotoadezyon malzemelerdir ve ışık malzemenin yüzeyine yansıdığı anda, ışığa tepki olarak adezyonunun değişimini tersine çevirebilmektedir. Fotoadezyon akıllı malzeme olarak titanyum dioksit; ( $TiO_2$ ) güneşten gelen ışınların %5 inden azını absorbe edip, depolayarak, kimyasal dönüşüm için kullanılmaktadır (Acharya, Gokhale, 2015). Işıklı temizleme, arıtma, dönüştürme gibi yapılmakta olan işlemlerin bir ayrıştırıcı (katalist) vasıtasıyla hızlandırılmasının genel adına fotokatalizasyon denilmektedir. Resim 3’de titanyum dioksiti katalist olarak kullanabilecek işlem etkileri gösterilmektedir. “Fotokatalitik  $TiO_2$ ’in hidrofilik özelliğinin yanında, saydam olan bu madde ile camların kaplanması da mümkündür. Fotokatalitik özelliğini açıklamak gerekirse;  $TiO_2$ , su ve UV varlığında organik maddelerin ayrıştırılmasını sağlayan oksijen radikalleri üretmektedir. Bu madde özellikle nano formda iken reaktiftir. Bu özelliği sayesinde yağmur yağdığı zaman bu kaplama, boya üzerindeki organik kirleri su tabakasında çözecek ve bu karışım su akışıyla yüzeyden uzaklaştırılacaktır. Ancak bu teknolojinin bazı zorlukları bulunmaktadır. Organik ve polimer yüzeylere direk  $TiO_2$  kaplama yapıldığında uygulandığı yüzeyi de ayrıştırır. Bunu engellemek için bu uygulamadan önce, yüzeyde inorganik bariyer katmanı oluşturulmaktadır. Ayrıca bu teknolojinin UV ışınlarına duyulan gereksinimden dolayı, sadece dış mekanlarda kullanılması uygun olacaktır. Taşıtların ayna ve camlarında, kiremitlerde, levhalarda, plastiklerde ve dış cephe boyalarında kaplama olarak kullanılmaktadır. Hidrofilik ve hidrofobik teknolojiyi karşılaştıracak olursak daha ucuz olduğu ve daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşen daha verimli prosesler içerdiğinden, hidrofobik teknoloji daha çok tercih edilmektedir” (Savaş, 2016).  $TiO_2$  ‘in yapılarında uygulama alanları tablo 5’te gösterilmektedir.

Resim 3 : Titanyumdioksit kullanılarak yapılabilir fotokatalizasyon işlemleri (Acharya, Gokhale, 2015).



Tablo 5:  $TiO_2$  ' in Yapılarda Fotokatalizlerin Uygulama Alanlarında Bazıları (Fujishima, Zhang, Tryk, 2006).

ÖZELLİK	KATEGORİ	UYGULAMA ALANI
Kendi kendini temizleyebilme	Bina uygulaması	Fayans, seramik,banyo, mutfak ürünleri, iç döşemeler, plastik yüzeyler, alüminyum cephe giydirme, pencere panjurları, boyalar
	İç ve dış aydınlatma sistemleri	Yarı saydam lamba örtüleri, florasen ve yol aydınlatma lambalarının kaplanması
	Yol malzemeleri	Tünel duvarları, trafik işaretleri ve reflektörler
	Diğer uygulamalar	Çadır malzemesi, arabalar için sprej kaplamalar
Hava temizleme	İç mekan hava temizleyicileri	Oda içi temizleyiciler, klimalar, fabrika içi temizleme sistemleri
	Açık hava temizleyicileri	Karayolu malzemeleri, tünel duvarları, bina duvarları
Su arıtma	İçme suyu	Akarsu, yeraltı suları, göl ve depo suları
	Diğer uygulamalar	Endüstriyel atık ve tarımsal atık suları,kaplıca suları, havuz suyu, balık havuzları
Sterilizasyon	Hastane	Ameliyathane tavan, duvar ve zeminleri için fayans ve kaplamalar, hastane giysi ve üniformaları
	Diğer uygulamalar	Dinlenme odaları , banyo ve tuvaletler



### 3.2 Yalıtım ve ısı alışverişini düzenleyici yüzeyler

Yapı malzemesi olarak yalıtıcı ürünlerin kullanımı, değişen iklimsel koşullar ve bu koşulların yaratmış olduğu bina iç mekanıyla dışarı arasında oluşan dengesiz ısı alışverişi gereğince yaygınlaşmıştır. Çoğu malzeme zaman geçtikçe bozulmalara, çevre kirliliğine, var olan doğal kaynakların azalmasına yol açmaktadır. Bunlar arasında “ *cam yünü, taş yünü gibi inorganik malzemeler ve sentetik-organik köpükler (genleştirilmiş, polistren ,köpük-eps, ekstrude polistren-xps, poliüretan) en çok üretilen malzemelerdir. Taş ve cam yünü malzemelerinin oluşum enerjilerinin düşük ve kullanım ömrünün uzun olmasına rağmen üretimde kullanılan su miktarının yüksek olması, geri dönüşüm içeriğinin olmaması olumsuz özellikleridir. Ayrıca lifli malzemelerin kanser riski taşıdığı düşünülmektedir. Fakat halen insan sağlığı için kanser riski taşıdığına dair herhangi bir listeleme yapılmamıştır*” (Smith, 2005, Yağlı, 2019). Bu ve daha birçok yıpratıcı ve ağır hastalıkları tetikleyici alerjik reaksiyonlar, yapılmış araştırmalarda klinik rapor olarak sunulmaktadır. Bir nanometre, metrenin milyarda birine denk gelen, 1-100 nanometre boyutlarda maddelerin anlaşılması, kontrol edilmesi ve atomsal seviyede değiştirilip işlevsel hale getirilmesidir. Ve bu işlemlerle üzerindeki çalışmaları kapsayan tekniklere de nanoteknoloji denilmektedir. Nanoteknoloji sayesinde akıllı nanomalzemeler diğer akıllı metal, seramik, polimerik malzeme veya kompozit malzemelerin özelliklerinin daha da gelişmesini sağlamıştır. Yapılarda yüksek yalıtım ve ısı değişkenliğini düzenleyici malzeme görevinde nanateknolojiyle üretilen arojel, vakumlu yalıtım paneli, ısı depolama özelliği ile faz değiştiren akıllı malzemeler kullanılmaktadır. “*Arojel ile yarı saydam yalıtım ürünü, mimari günışığı uygulamalarında kullanılmak üzere ışık iletimini optimize etmek için tasarlanmıştır. Dünyanın en hafif ve en iyi yalıtım malzemesi olarak tanımlanan katı malzeme arojel, mimarların ve bina sahiplerinin günışığı tasarımlarını geliştirmelerine, enerji ve yapı gereksinimlerini karşılamasına yardımcı olmaktadır. Isı kaybını durdurarak ve elektrik kullanımını azaltarak, tasarruf sağlamaktadır. Güneş ışığını yayarak, gölgeleri ve parlamayı ortadan kaldırmakta, yumuşak, eşit, derin ışık dağılımına izin vermektedir. Akustik performansı arttırmaktadır. Zaman içinde performansını koruyup, neme direnerek, küf, mantar gelişimini engellemektedir ve yangına karşı direnci yüksek olmaktadır. Tasarımcıların, yarı saydam kaplama veya çatı kaplama alanlarını kullanırken sağlam bir duvara eşdeğer yalıtım değerleri elde etmelerini sağlamaktadır. Yoğun ısı noktaları olmadan ve dış güneş kontrolü veya iç panjur, perdelerle ihtiyaç duymadan, müze kalitesinde gün ışığını dahili olarak ileten, şeffaf duvar kaplaması ile çatı kaplama sistemidir. Arojel partikülleri üstün ısı yalıtımı, ışık yayılımı,*



*yüksek yüzey alanı ve daha fazlasını sunarak, yapı malzemelerinden endüstriyel kaplamalara kadar çözüm sunmaktadır” (Yağlı, 2019).*

Vakumlu yalıtım panelleri; yüksek ısı yalıtımı gereğince kullanılmaktadır. Yalıtım özellikle hastane, terminal, okul, spor kompleksleri vb. gibi büyük ölçekli yapılarda uygulamada önemlidir. *“Geleneksel yalıtım malzemelerine (maks : 0.04 W/mK) göre 10 kata ulaşan ısı yalıtımı VIP”ler (maks : 0.004 W/mK) ile sağlanabilmektedir” (Deniz, Binark, 2008). “ Binalardaki enerji tasarrufu, binaları kaplamak için kullanılan yapı yalıtım malzemelerinin performansına bağlıdır. Geliştirilen vakum yalıtım panelleri yüksek ısı yalıtım özellikleri sunar ve enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır. Yalıtım malzemesi olarak VIP”lerin kullanıldığı örnek uygulamalar; tavan, zemin ve duvar uygulamaları, dış cephe uygulamaları, çatı ve tavan arası uygulamaları, pencere yalıtımı uygulamaları, hazır prefabrik beton panel uygulamaları şeklindedir” (Comitte of IEA/ECBCS, 2005, Yağlı, 2019).*

Gizli ısı depolama özelliğine sahip faz değiştiren malzemeler (PCM) ısı düzenlemesini sağlarken, mekanda kullanıcının konfor değerlerini yükseltir ve ekonomiktir. Mekan sıcaklık dalgasının kontrolü olarak da tanımlanabilecek işlevin başlangıcı; 1950’lili yıllardaki çalışmalara dayanmakta, *“mikro-kapsülleşmenin geliştirilmesi ile yapılarda daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Mikro-kapsülleşme PCM ‘nin 2 ile 20 numara arasında çaplarda granüllerde hapsedilmesi şeklinde gerçekleşebilmektedir. Bu kapsüller pek çok yapı elemanına üretim sırasında karıştırma ya da yapım sırasında boşlukları doldurma yöntemiyle entegre edilmekte, yapı cephesinde beton ve cam gibi çeşitli malzemelerle birlikte kullanılabilir” (Tokuç, 2013).*

### **3.3 Güneş ve uv ışınlarını kontrol eden yüzeyler**

*“Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m<sup>2</sup> değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970’lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir” (url 2). Güneş gibi ışığı ve sıcaklığı ile fiziksel, kimyasal uyarılara karşı renk değiştirerek , opak hale gelerek, vb. nitelikte tepkiler gösteren akıllı malzemelere kromik malzemeler denilmektedir. “Bunlar arasında elektrik potansiyeli uygulandığında renk değiştiren elektrokromik malzemeler, sıcaklığa*

*bağlı olarak renk değiştiren termokromik malzemeler, ışık etkisiyle renk değiştiren fotokromik malzemeler ve ortamın asitlik (pH) derecesine bağlı olarak renk değiştiren halokromik malzemeler mimari kullanıma en uygunlarıdır. Günümüzde „Akıllı cam“olarak adlandırılan, üzerine düşen ısı, ışık yoğunluğu veya uygulanan elektrik potansiyeline bağlı olarak renk nitelikleri kontrol edilebilen akıllı cephe sistemlerinde pasif kontrollü uygulamalarda fotokromik ve termokromik camlar, aktif kontrollü uygulamalarda ise elektrokromik camlar kullanılmaktadır” (Selkowitz, 2001, Yağlı,2019).*

### 3.4 Algı toplayıcı yüzeyler

Günümüzde mekansal algıda ön plana çıkan tasarımların destekleyicisi niteliğinde, iç mekanda bir noktadan diğerine geçişte yol gösterici, harekete duyarlı renk değiştirebilen, ısıyı depolayıp geçici bir süre için yansıtan, orada olduğunuzu termal iz bırakarak gösteren, sergileme alanlarında ürüne vurgu yapan, algıladığı titreşimleri duvar yüzeylerine yansıtan ve daha nice dekoratif özellikte algı toplayıcı akıllı yüzeyler kullanılmaktadır. Mekan tasarımında görülmekte olan çoğu akıllı işlev, gelecekte mimarlıkla daha ilintili olacağı ön görülen tekstil sektörüyle bağlantılıdır. Örneğin; *“kendi kendini temizleyen kumaşlar, şekil bellek alaşımlı akıllı malzeme ile üretilen tekstil ürünleri, termokromik boya ile rengini ve desenini değiştiren kumaşlar, elektrolüminesans akıllı malzeme ile ışık yayan giysi, şekil bellek polimerleri ile iklim düzenleyici ceket, elektron yayan ve led kullanılan savunma ceket, elektolüminesans film ile ışık yayan el çantası vb. ürünler üretilmiştir. Örneğin, bu ürünlerden Grado Zero Escape’in şekil bellek polimerli iklim düzenleyici ceket, vücut sıcaklığına tepki olarak, terleme ve ısı akışını geçiren ve geçirgenliği kontrol eden şekil hafızalı bir polimerden yapılmış nem ve ısı düzenleyici bir iklim membranına da sahiptir. Bu polimerlerin mimari kullanım araştırmaları halen devam etmektedir”* (Ritter, 2007, Yağlı, 2019).

## 4. Sonuç

Geçmişte mağaralara sığınan ve küçük gruplar halinde yaşamlarını sürdüren insan oğlu iklimsel koşullar el verdiği zaman nehir kenarlarına göç etme gereği duymuşlardır. Arkalarında bıraktıkları mağaralarda bulduklarının nişanesi olarak, mağara duvar resimlerini buldukları kök boylarıyla işlemişlerdir. Zaman ilerleyip, farklı uygarlıklar ortaya çıktığında ve büyük toplumları yarattığında aynı yaklaşımla, yapının kime ait olduğu ve mesleki ayrımların belirgin göstergesi olarak yapı yüzey kaplamaları, renkleri bölgelerinde yapısal bir lisan gibi okunur niteliğe gelmiştir. Günümüzde varlığımızı bizi algılayarak gösteren yapıların akıllı yüzeyleri, aynı zamanda konfor değerlerimizi

yükseltmekte, dış etmenlerden korumak amaçlı üzerinde geliştirilmiş olan teknolojiyle kendi kendini yenilemektedir. Gelecekte bugün görülen çoğu özellik bir diğerine kolay kopyalanır olabilecektir. Kendi kendini yenileyebilen akıllı yüzeyler, tasarımcıların mekandaki en önemli tasarım paleti olarak, yapıların insansız ayakta kalabileceği bir unsur niteliğinde ele alınacaktır. Kullanıcıların esnek ve değişken mekan isteklerine anlık cevap verebilecek nitelikte ele alınabilecek enerji dönüştürme üzerine tasarlanmış kaplamalar, çok amaçlı mekanlarda farklı işlevlere cevap verebilme yeteneği elde edebilir ve kendini temizleme özelliği ile kullanım izlerini her defasında mekanı oluşturan donatılardan silebilir. Tasarımcılar bu yaklaşımla sürdürülebilirlik kapsamında yüzeyleri kullanarak, mimarlığı farklı disiplinlerle birleştirebilir, gelecek nesiller için iyileştirilmiş koşullar oluşturabilirler.

## KAYNAKLAR

- Acharya, A., Gokhale, V. A. (2015). Titanium: A New Generation Material for Architectural Applications. Journal of Engineering Research and Applications. ISSN : 2248-9622, Vol. 5, Issue 2, ( Part -1). pp.22-29.
- Addington, M., Schodeck, D. (2005). Smart Materials and New Technologies For Architecture and Design Professions. Harvard University, Architectural Press, Elsevier. New York.
- Ak, N., (2006). “Geleceğin Konutu” Tasarımında Ortaya Çıkan Kavramların Belirlenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Beber, F., (2012). Ekolojik Malzemenin Tasarımdaki Yeri ve Ekolojik Malzeme ile Mimari Konut Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul.
- Berkes, F. ve Kısıslıoğlu M., (2003). Ekoloji ve Çevre Bilimleri, Remzi Kitabevi, İstanbul.
- Brownell B. (2006). Transmaterial 1. Princeton Architectural Press, New York, pp. 120. Negroponte, N. (1970). “The Architecture Machine”, M.I.T. Press. Cambridge.
- Bozoğlu Demirdöven, J., Arditi D., (2012). Yapılarda ve Yapım Yönetiminde Nano teknoloji Uygulamaları, 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- Cengiz, M., (2008). İç Duvar Elemanı Tasarım ve Yapım Süreci Analizi-Kompozit Panel, Y.L.T., İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ching, F., Adams, C., 2001. Çizimlerle Bina Yapım Rehberi, Yem Yayınevi, İstanbul.
- Callister, W.D. (2007). Material Science an Engineering, An Introduction. John Willey&Sons, Inc.
- Comitte of IEA/ECBCS. (2005). High Performance Thermal Insulation, Anex 39 Report-Subtask A.
- Çolakçioğlu, Asiye, 2008, Döşeme Kaplama Malzemeleri için Geliştirilmiş Ürün Geliştirme Sürecinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ergenç, S. (2007) İç Duvar Kaplamalarında Ürün Seçimi, YTÜ, İstanbul.
- Fujishima, A., Zhang, X. and Tryk, D.A.(2006). Heterogeneous photocatalysis: From water photolysis to applications in environmental cleanup. International Journal of Hydrogen Energy.
- Gür, V., N., Aygün, M.(2008). Mimaride Sürdürülebilirlik Kapsamında Değişken Yapı.
- Sümer, H. (2011). İç Mekan Tasarımında İşlev- Eylem ilişkisi Kapsamında Zemin Döşeme Malzemeleri ve Seçim Ölçütleri, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

- Toydemir, N., Gürdal. E. ve Tanaçan. L., (2000). Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, İTÜ, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Harold B. Olin, John L. Schmidt, Walter H. Lewis, Revised by H. Leslie Simmans, (1983) Construction: Principles, Materials, and Methods, 6th Edition.
- Hasol, D. (1998). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, YEM Yayınları, İstanbul.
- Ritter, A. (2007). Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design. Birkhauser, Publishers for Architecture, Almanya.
- Sassi, P., (2006). Biodegradable building, Design and Nature III: Comparing Design in Nature with Science and Engineering p.91, Welsh School of Architecture, Cardiff University, Wales.
- Smith, P. (2005). "Architecture in a Climate of Change" ISBN: 0 7506 6544068-71, Elsevier Ltd., Burlington, USA, 68-77,
- Tokuç, A. (2013). Faz Değişim malzemelerinin ısı enerjisi depolama amacıyla yapı elemanlarında kullanılması, DEÜ FBE, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir
- Selkowitz, S. E. (2001). "Integrating Advanced Facades into High Performance Buildings", LBNL Report No: 47948.
- Thiis-Evensen, T., (1989). Archetypes in Architecture, Norwegian University Press, Norveç.
- Özgür, H., Gemici, Z., Bayındır, M. (2007). Akıllı Nano Yüzeyler, Bilim ve Teknik Dergisi, Nisan, s. 52,53,54,56.
- Vural, N., Yılmaz, S. (2015). Mimaride Nano Kaplamaların Kullanımı, Ege Mimarlık Dergisi, Sayı 89-90, s. 12-15, İzmir.
- Yağlı, S., (2019). Teknolojik Gelişmelerin Etkisi İle Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler, HÜ. Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- url -1. 2018. <https://bit.ly/2PK98qc> (erişim tarihi: 27.09.2019)
- url -2. 2019, Boya ve Kaplama Teknolojileri » Kendi Kendini Temizleyen Boyaları Tanıyalım ,Savaş, A 2016 (erişim tarihi: 27.09.2019)
- <http://www.kimyasalgelistmeler.com/sectorler/boya-ve-kaplama-teknolojileri/kendi-kendini-temizleyen-boyalari-taniyalim.html>





## Bölüm 5

### MADENCİLİĞİN VE CEVHER HAZIRLAMANIN KISA TARİHİ

*Tuğba Deniz, TOMBAL KARA<sup>1</sup>*





## 1. Giriş

Madencilik, tarımla birlikte insanoğlunun ilk çalışmalarındandır. Bu iki endüstri bir araya gelerek medeniyetin başlangıcının temeli olarak kabul edilmektedirler. İlk çağlardan günümüze kadar, oldukça fazla alanda kullanılan madenin, insanlık tarihinde önemli bir yeri olmuştur. İnsanoğlunun güncel gelişmelere ulaşmasında etkin bir rol izleyen madenler; süs eşyalarından mutfak araç gereçlerine ve sanata kadar çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur. İnsanoğlu için madencilik faaliyetleri her daim yaşamsal bir öneme sahip olmuştur. Madencilik faaliyetlerinin ilerlemesi ve üretimin yaygınlaşması, kentleşme ve meslek çeşitliliğinin artması sonucunda sosyal sınıfların ortaya çıkması ve ticaretin önemli bir noktaya gelmesi birbirleriyle ilişkilidir (Kartalkanat, 2007; Kartalkanat, 2008; Başak, 2009; Tiryaki, 2017; Cienca Viva, 2019). Tablo 1’de madencilik gelişimi kronolojik olarak verilmiştir.

Tablo 1: Madencilik Teknolojisinin Kronolojik Gelişimi (Cienca Viva, 2019).

Tarih	Olay
450000 (M.Ö.)	Paleolitik insanlar tarafından taş işlerinde kullanılan ilk madencilik (yüzeyde).
40000 (M.Ö.)	Yeraltına doğru ilerleyen yüzey madenciliği (Svaziland-Afrika).
30000 (M.Ö.)	Çekoslovakya’da kullanılan pişmiş toprak kaplar.
18000 (M.Ö.)	Doğal formda altın ve bakırın olası kullanımı.
5000 (M.Ö.)	Mısırlılar tarafından kaya kırmak için kullanılan ateş düzeneği.
4000 (M.Ö.)	Fabrikasyon metallerin erken kullanımı; Tunç Çağı başlangıcı.
3400 (M.Ö.)	Bilinen ilk turkuaz madenciliği (Sinai-Mısır).
3000 (M.Ö.)	İlk muhtemel ergitme işlemi, Mısırlıların ilk demir aletlerini kullanması.
2000 (M.Ö.)	Peru’daki Yeni Dünya’da bilinen en eski altın eserler.
1000 (M.Ö.)	Çeliğin Yunanlarca kullanımı.
100 (M.S.)	Gelişen Roma madenciliği endüstrisi.
122 (M.S.)	Günümüz İngiltere’inde Romalılar tarafından kullanılan kömür.
1185 (M.S.)	Trent Piskoposu tarafından yapılan ferman ile madencilere haklarının verilmesi.
1524 (M.S.)	Küba’da İspanyollar tarafından kaydedilen, Yeni Dünya’da ilk madencilik.
1550 (M.S.)	Joachimstal Çekoslovakya’da asansör pompasının ilk kullanımı.
1556 (M.S.)	İlk madencilik teknik çalışması olan De Re Metallica, Almanya’da Georgius Agricola tarafından basıldı.
1585 (M.S.)	Kuzey Amerika’da Kuzey Carolina’da demir cevherinin keşfi.
1600’ler (M.S.)	Amerika Birleşik Devletleri’nin doğusunda madenciliğin başlaması (demir, kömür, kurşun, altın).
1627 (M.S.)	Patlayıcıların ilk olarak Avrupa madenlerinde, Macaristan’da kullanılmaya başlanması.
1646 (M.S.)	Massachusetts Kuzey Amerika’da kurulmuş ilk yüksek fırın.
1716 (M.S.)	Çekoslovakya’nın Joachimstal kentinde ilk maden okulunun kurulması.

1780 (M.S.)	Sanayi Devrimi'nin başlangıcı; pompalar, madenlerde kullanılan ilk modern makinelerdir.
1800'ler (M.S.)	ABD'de madenciliğin ilerlemesi, altına rağbet Batı'nın gelişmesine yardımcı olur.
1815 (M.S.)	SirHumphryDavy, İngiltere'de madencilerin güvenlik lambasını icat etti.
1855 (M.S.)	Bessemer çeliği ilk olarak İngiltere'de kullanıldı.
1867 (M.S.)	Nobel tarafından icat edilen dinamit, madencilığe uygulandı.
1903 (M.S.)	ABD madenciliğinde mekanizasyon ve seri üretim dönemi başlaması, Utah'da ilk düşük dereceli bakır porfirinin geliştirilmesi.
1940 (M.S.)	Patlayıcı olmadan ilk sürekli madencilik döneminin başlaması.

Madenciliğin Anadolu'dan başlayıp diğer bölgelere yayıldığı bilim dünyasınca genel olarak kabul edilmektedir. Anadolu, madenlerin çeşitliliği ve oldukça fazla miktarlarda bulunmasından dolayı metal işleme sanatının da en eski örneklerine ulaşılabilen bir coğrafyadır. İnsanoğlu, nesiller boyunca, doğada bulunduğu hammaddelerden yararlanarak taş, ağaç ve kemik gibi malzemelerden çeşitli araç ve gereçler yaparak avlanmışlar ve böylelikle beslenmeyi sağlamışlardır. Obsidiyen ve çakmak taşı gibi taşlara şekil vererek elde ettikleri aletleri savunma ve avcılıkta kullanmışlardır. Zamanla insanlar hematit vemalehit gibi cevherlerden boya malzemesi yapmayı öğrenmişlerdir. Son dönemdeki multidisipliner araştırmalar madenciliğin geçmişine ışık tutmakta ve Anadolu Madencilik Tarihini zaman bilimsel olarak çeşitli dönemlere ayırarak incelememize imkan sağlamaktadır. Böylelikle Anadolu Madenciliği 5 aşamada incelenmektedir:

1. Hazırlık Evresi (metalsiz evre), M.Ö. 8200 ve öncesi
2. Başlangıç Evresi (tek metalli evre), M.Ö. 8200 ve sonrası
3. Gelişme Evresi (ekstraktif metalurjinin başlaması), M.Ö. 5000 ve sonrası
4. Yapılanma /Deneyim Evresi (gelişmiş metalurji), M.Ö. 4000 ve sonrası
5. Endüstri Evresi (Tunç ve Demir Çağları), M.Ö. 2800 ve sonrası (Kartalkanat, 2007; Kartalkanat, 2008; Başak, 2009; Yalçın, 2016; Tiryaki, 2017; Cienca Viva, 2019).

Anadolu'da belirli dönemlerde yapılan araştırmalarda keşfedilen antik maden ocakları, genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Yaklaşık en fazla 10-15 m derinliğe erişilebilen ve kuyu görünümlü maden ocakları;
2. Kuyu görünümlü olup mineralizasyon zonu boyunca, DB (doğu-batı) veya KG (kuzey-güney) doğrultusunda açılmış olan ve çok dar bir galeriden oluşan maden ocakları;

3. Derinliğe doğru eğimli bir galeriden oluşan maden ocakları;
4. Eğimli bir galeridemineralizasyonzonu boyunca daha da derine erişebilmek için merdiven basamağı benzeri uygulamaların görüldüğü maden ocakları;
5. Başlangıçta kuyu görünümlü olan, ancak daha sonra merdiven basamağı şeklinde devam eden maden ocakları (Kaptan, 1980; Erdem, 2015).

Cevher hazırlama açık bir şekilde neredeyse gerçek madencilik kendisi kadar eskidir, çünkü atık veya gang minerallerini erken bir tarihte de değerli cevherden ayırmak gerekliydi. Taşların kırılması, çakmaktaşılarının bilmesi ve sınıflandırılması, insan geliştiği ve uyguladığı ilk cevher hazırlama faaliyetlerindedir. Oldukça yakın bir zamana kadar cevher hazırlama süreçlerinin biraz basit olduğu ve birçok modern teknolojinin geliştirilmesinin en fazla 50 yıl öncesine dayandığı bilimsel bir gerçektir. Metalik minerallerin atıklarından ve gang minerallerinden daha yüksek özgül ağırlığa sahip olduklarının keşfiyle, çok erken tarihlerden itibaren özgül ağırlık farklarından faydalanılarak zenginleştirme işlemleri yapılmaya başlanmış ve 19. yüzyıldan itibaren de en çok kullanılan cevher zenginleştirme yöntemlerinden bir haline gelmiştir. Son yüz yılda, cevher hazırlama ve fizikokimyasal süreçler önemli miktarda gelişme göstermiştir. Kıymetli minerallerin işlenmesi, diğer sanayi dallarının yanı sıra madencilik ve kimya ile oldukça yakın işbirliğiyle çalışan bir bilim ve teknoloji dalı haline gelmiştir (Michell, 1969; Habashi, 2006). Tablo 2’de insanların mineral kullanımları verilmiştir.

Neolitik (civalı taş) dönemden bakır, demir ve tunç devri olarak sınıflandırılan kalkolitik (maden) döneme; orta çağdan sanayi devrimine ve son olarak da modern çağa kadar madencilik gelişim süreçlerinin irdelendiği bu çalışmada, madencilik ve cevher hazırlamanın kendi çağı içinde gelişim süreçleri irdelenmiş; teknolojinin de ilerlemesiyle, taşlara şekil verilerek başlanmış olan madencilik sanatının nasıl sanat olmaktan çıkıp bilimsel bir dal ve bir meslek olma yolunda ilerlediği gözler önüne serilmiştir.

*Tablo 2: İnsanların Mineral Kullanımları (CiencaViva, 2019).*

<b>İhtiyaç/Kullanım</b>	<b>Amaç</b>	<b>Dönem</b>
Araçlar ve mutfak eşyaları	Gıda, barınma	Prehistorik
Silahlar	Avlanma, savunma, mücadele	Prehistorik
Dekorasyon, süsleme	Boya, mücevher, kozmetik	Antik Dönem
Para birimi	Para değişimi	Erken Dönem
Yapılar ve cihazlar	Barınma, taşıma	Erken Dönem
Enerji	Isı, güç	Orta Çağ

Makineler	Endüstri	Modern Dönem
Elektronik	Bilgisayar, iletişim	Modern Dönem
Nükleer fizyon	Güç, savaş	Modern Dönem

## 2. Tarih Öncesi Dönemlerde Madencilik

Taş Devri'nin çeşitli dönemlerini tanımlarken kesinliğe ulaşmak zordur, ancak yıllar boyunca, insanın çok erken bir aşamada temel beceriler geliştirdiğini öne süren ileri arkeolojik çalışmalar sonucunda birçok kanıt toplanmıştır. Bu beceriler arasında, moda araçları ve silahlar için hangi malzemelerin kullanıma müsait olduğunu tespit etme yeteneği vardı. Daha sonra savunma, saldırma ve hayvanları yemek için öldürme amacıyla silah yapmak için kabileler ve topluluklar birbirleriyle temasa geçmişlerdir. Artık antik çağlardaki insanın, oldukça basit bir tür de olsa yapılandırılmış düşünceye sahip olduğu kabul görmüş ve bu, ihtiyaç duyduğu ve topraktan çıkarılması gereken hammaddeleri tanımlamasını sağlamıştır. Bu nedenle madencilik muhtemelen insanın en eski endüstriyel faaliyetlerinden biridir. Taş devrinin, toplumların gelişmesine dayanarak, kesin olarak tarihlenmesi oldukça zordur. Bununla birlikte, insanın ilk defa maden yapmaya ve metal çalışmaya başladığı Tunç Devri, en geç M.Ö. 2500 civarında, Asya, Avrupa ve Kuzey Afrika'ya ulaşmıştır ve muhtemelen Taş Devri'ndeki ilerleme, M.Ö. 4000'den çok daha erken başlamıştır. Ancak görüldüğü üzere, madencilik kendi başına metalin sınai potansiyelinin farkınanılmadan çok önce başlamıştır. Tarih öncesi insanın kullandığı ilk aletler ve silahlar taştan yapılmıştır. Yüzyıllar boyunca arkeologlar bu antik ve ilkel cisimlerin çoğunu keşfetmişler ve farklı şekilli araçların hangi işlevi yerine getirdiğini öğrenmek için yararlı çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca bu taşların nasıl elde edildiğine dair tahminlerde bulunmuşlardır. Aletlerin birçoğunun yerdeki taşlardan şekillendirilmiş olması muhtemel gözükse de, alet ya da silah olarak kullanılmak üzere özel şekilli bir taş aranırken kaya oluşumlarının dikkat çekmesi muhtemel görünmektedir (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz&Trudinger, 2019).

Günümüzden yaklaşık olarak 12000 yıl önce yerleşik hayata geçen insanoğlu, doğada bulduğu bakır külçelerine şekil vermeye çalışmıştır. Anadolu'da madenciliğin ilk örnekleri Diyarbakır HallanÇemi ve Çayönü'de görülmüştür. HallanÇemi'de M.Ö. 9500-8200 döneminde Neolitik kalıntılar arasında malahit cevherikırıntıları, Çayönü tepesinde (M.Ö. 9000-8200) bakırdan yapılmış boncuklar, küçük iğneler aletler bulunmuştur. İlerleyen zamanlarda bakıra ısı verilerek kolayca şekil verilebilmesinin sağlanması insanlığın en önemli devrimlerinden biri olmuştur. Böylece Anadolu'da madenciliğin yaklaşık 10-11.000 yıl önce başlamış olduğunu söylemek mümkündür. Takip eden dönemlerde

Çatalhöyük'te (M.Ö. 7000-6400) ufak bakır nesnelere ve çuruf parçaları, Aşağı Pınar'da (M.Ö. 5700-500) bakır malahit parçaları Yumuktepe'de (Mersin) (M.Ö. 5000-4900) balta, keski, rulo başlı iğne gibi kalıntılar, Hacılar'da (M.Ö. 4600-4300) bakırdan yapılmış boncuklar, Can Hasan'da (M.Ö. 4600-4400) bakır nesnelere ve topuz başı ülkemizdeki keşfedilen diğer madencilik kalıntılarının bir kısmını oluşturmaktadır. Anadolu'da Neolitik Çağ'dan itibaren etkilerini göstermiş olan madencilik daha da gelişerek günümüze kadar gelmiştir. Ayrıca Anadolu'daki maden ustaları da zamanla maden sanatlarına ileri derecede yaratıcılık ve üstünlük katmışlardır. Bakırın en önemli özelliklerinden biri olan tel haline gelebilme özelliği oldukça erken dönemlerde keşfedilmiştir. Ancak alaşımların kullanılması ve elde edilen bu ürünlerden teknolojik olarak yararlanılmaya başlanması M.Ö. 4.000'in sonlarında başlamıştır. Bunların haricinde bu yerlerin çeşitli bölgelerinde keşfedilen eritme fırınları, potalar ve maden işleme atölyeleri Anadolu madencilik tarihine dair en önemli arkeolojik buluşlar arasında yer almaktadır (Kartalkanat, 2007; Kartalkanat, 2008; Başak, 2009; Subaşı, 2015; Tiryaki, 2017; Sansar, 2018; Cienca Viva, 2019).

En ünlü antik madenlerden biri Afrika Svaziland'daki Aslan Mağarası'dır. Ngwenya Dağları'ndaki alanda günümüzde demir cevheri madeni çıkarılmaktadır, ancak 1960'ların sonlarında bir antik maden işletmesi olduğuna dair ciddi kanıtlar ortaya çıkarılmıştır. Bir jeolog ekibi tarafından yapılan daha ileri çalışmalar, tepenin kenarına yaklaşık 50 metre ilerleyen bir tünel keşfetmiştir. Süs ve kozmetikte kullanılan bir demir cevheri olan spekülrite ulaşmak için bir tünel yapıldığı görülmüştür. Son araştırmalarla bu tünelin M.Ö. 40000 civarında kazılmış olabileceği ve bunun belki de keşfedilmiş en eski yeraltı madeni olabileceği ileri sürülmüştür. Bu dönemde demir sülyeni (hematit) kullanımına ilişkin yaygın kanıtlar bulunmuştur; modern dünyada önemli bir demir cevheri olan hematit antik dünyada temel olarak kozmetik ürünler ve mağara resimleri için bir pigment olarak kullanılmıştır (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz & Trudinger, 2019).

Taşocakçılığı faaliyetleri 60000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Kazı çalışmalarında Mısır'ın Nil Vadisi'nde Taş Devri ve öncesi keskin alet yapımında kullanılan ve oldukça önemli bir yapı malzemesi olan çakmaktaşı bulunmuştur. Zemin kazıma yöntemiyle çakmaktaşı işçiliği de İngiltere'de, değerli taşların mostra verdiği Devon'daki Beer'de ortaya çıkarılmıştır. Asyut ve Sawhaj arasındaki Batı Mısır'ın Yukarı Nil Vadisi'ndeki Nazlet Khater 4'teki çalışmalar özellikle ilginçtir. 1982'de yapılan çalışmalar, eski madencilerin bölgeden en az 33000 yıl önce faydalandığını göstermiştir. Çakmaktaşı arayan madenciler çakmaktaşının

silt, kum ve çakılla kaplanmış olduğunu anlayacak yeterli jeolojik bilgiye sahipti. Çakmaktaşı kaynağına ulaşmak için madenciler 30 metreye 7 metrelik hendekler 7 adet dikey kuyu açmıştır (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz&Trudinger, 2019).

Madencilik faaliyetlerinin bir kısmının Neandertal insanı veya fosil insanı tarafından yapıldığı düşünülmektedir. Bu tür insanlar genel olarak insan öncesi olduğu ve bu nedenle madenciligi geliştirmek için gerekli planlamayı başaramayacaklarından şüphelenildiği için madencilik gibi her türlü karmaşık faaliyetten yoksun olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle bazı antropologlar, eski madencilik faaliyetlerinin ortaya çıkarılmasının, dünyada ne zaman tanınabilir insanların ortaya çıktığı konusunagölge düşürdüğüne inanmaktadır (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz&Trudinger, 2019).

Taş Devri'nin enson basamağı olan Neolitik Devir, Yeni Taş Devri anlamına gelmektedir, bazen de Cilalı Taş Devri olarak adlandırılmaktadır. Fakat Neolitik Devir'de yaşanmış olan kültürel gelişmeler, taştan yapılan araç ve gereçlerden çok daha fazlasıdır. Madenlerin tanınmaya başlanması, ilk olarak bakırın soğuk dövme yoluyla işlenmesi, mimaride söndürülmüş kireç ve alçının kullanmaya başlanması, doğal camın ısıtılarak biçim vermeyi denemeye başlanması bu döneme denk gelmektedir. Doğal bakır ve bir tür bakır oksit olan malahitin ısıtılıp dövülmesi ile yapılan boncuk, bız, iğne, olta gibi eşyaların üretimi bu çağın en önemli yeniliğidir. Akik, kaya kristali, obsidiyen gibi sert taşlardan, günümüz ölçülerine göre 1 mm.'lik delikler açılarak yapılmış boncuklar ustalık ürünleridir. Bu tür malzemelerin yapımında önceki çağdan aktarılan tavllanmış bakıra kurşun da katılmıştır. Neolitik Devir'de kazanılan buluşlar ve bunlara bağlı gelişmeler Kalkolitik Devir'de de uzun süre devam etmiştir. Kalkolitik Devir'de kullanılmış olan malzemelerde de değişiklikler olmuştur. Metal giderek daha fazla taşın yerini alır. Başta bakır olmak üzere metal kullanımı yaygınlaşmış ve farklı maden filizlerinin karıştırılarak ergitilmesi ve döküm tekniğinin kullanılması gibi yenilikler ortaya çıkmıştır. Bu nedenle de devrin adı Taş-Maden olarak tanımlanmıştır. KalkolitikDevir'e adını veren maden teknolojisindeki gelişmeler hançer, mızrak ucu, balta asa/topuz gibi silahlar, kalem, keski, delici, bız, bıçak, çuvaldız, iğne, olta gibi alet ve eşyalar bakırdan üretilir. Bunlarla birlikte bulunmuş bilezik, halka, boncuk, iki sarmallı sembol gibi süs eşyaları sonraki çağda geliştirilecek madencilğin ilk adımlarıdır (Öztan, 2009-a; Öztan, 2009-b).

Neolitik Dönem'den kalmış olan bakır buluntularına Anadolu haricinde, Irak'ın kuzey kesimlerinde, Suriye ve İran'da da rastlanmaktadır. TellHalula, Ramad, TellMaghzaliyeh, TellSotto ve Yarım Tepe gibi bazı "akeramik" yerleşim merkezlerinde nabit bakırdan oluşan

ve M.Ö. 8000'lerin sonları ile 7000'lerin başlarına tarihlenen küçük nesnelere rastlanmıştır. Ancak Levant, Ürdün ve Güney Suriye'de Neolitik Döneme ait hiçbir maden buluntuya rastlanmamıştır. Fenan ve Timna gibi zengin bakır maden yatakları nabit bakır içermemektedirler. Bu bölgelerde turkuvaz ve malakit gibi yeşil renkli mineraller boya ve takı hammaddesi olarak kullanılmıştır. Bu gibi kalıntıların en iyi örneklerini Jericho (Eriha), Yiftahelya da AinGhasal'da görülmektedir. Sözü edilen bölgede madencilik M.Ö. 5000'in sonlarında, cevherden bakırın eritilmesiyle başlamaktadır. Kalkolitik Devir'le beraber Anadolu'nun genelinde kullanılan hammadde çeşitliliği oldukça önemli oranda artış göstermiştir. Anadolu'da madenciliğin bu kadar erken dönemlerde başlamasının en önemli sebeplerinden biri Anadolu'nun sahip olduğu maden yataklarıdır. Kalkolitik Devir'le beraber Anadolu'da kullanılan madenlerin çeşitliliğinde ve metal eşya sayısında önemli oranda artış olmuştur. Karaman – Can Hasan, Mersin – Yumuktepe, Elazığ – Tepecik ve Tülintepe ile Malatya Değirmentepe gibi bölgelerde yapılan arkeolojik kazılar neticesinde çok sayıda metal kalıntıyla birlikte bu yerleşim bölgelerinin birçoğunda aynı zamanda maden üretiminin de yapıldığına dair önemli kanıtlar da ortaya çıkarılmıştır (Yalçın, 2016; Tiryaki, 2017).

Neolitik Devir'in sonlarına doğru, başta bakır olmak üzere madenlere olan talebin artması, madencilik alanındaki gelişmelere ivme kazandırmıştır. Altın, gümüş ve bakır Neolitik Devir'de insan oğlunun ilgi alanına giren ilk madenler olmuştur. Parlak sarı renginden dolayı gün ışığında kolaylıkla fark edilebilen altının yerine, Anadolu'da insan oğlu tarafından yaklaşık 10.000 yıl önce işlenip çeşitli araç/gereç ve takı yapımında kullanılan bakır, metalurji biliminin ilk dalı olarak kabul görmüştür. Neolitik Dönem yerleşim yerlerinden olan Diyarbakır-Çayönü (M.Ö.8200–7500) ve Aksaray-Aşıklı Höyük (M.Ö.7800–7600) ve Urfa-NevalaÇoriHöyüğü'nde bulunan bakır kalıntıları, insanlık tarihinin şimdiye kadar bilinen en erken madeni keşiflerini oluşturmaktadır. Bu dönemin önemli yerleşim yerlerinden olan Çayönü'nde bulunan kalıntılar, M.Ö. 7000'lerde bakıra dayalı bir sanayileşmenin olduğunu göstermektedir. Bu dönemde Anadolu'da, kurşunun da işlendiği ve komşu ülkelere ihraç edildiği bilinmektedir (Başak, 2008).

Madenlerin ısıtıldığı zaman daha kolay işlenebildikleri, uzun süre ateşte bekletildikleri zaman eridikleri, soğuyunca yeniden katılaştıklarının görülmesi metalurjideki en önemli keşif olmuştur. Bu alandaki ilk önemli aşama ise tavlamanın keşfi olmuştur. Yapılmış olan arkeolojik çalışmalar neticesinde, tavlamanın ilk olarak Anadolu'da, Neolitik Devir'de gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu dönemin önemli merkezlerinden olan Aksaray-Aşıklı Höyük, Konya-Çatalhöyük, ve Suberde'de yapılan kazı çalışmalarında, akeramik bir seviyede doğal bakırdan dövülerek



yapıldıkları anlaşılın küçük araç/gereçlere ve süs eşyalarına rastlanılmıştır. İşlenerek elde edilen bu kalıntılar, şu an için bilinen en eski işlenmiş maden örnekleridir (Leventoğlu, 2006; Başak, 2008).

M.Ö. 7000'in sonu ve 6000'in ilk yarısına ait yerleşim yerlerinden olan Çatalhöyük ve Çayönü'nde yapılan kazı çalışmaları sonucu elde edilen bakır topaklarının analizleri, doğal bakırla birlikte cevherden ısı kullanılarak arıtılmış bakırın da kullanıldığını gözler önüne sermiştir. Anadolu Neolitik Dönemdemetalurji alanında oldukça ilerlemiş ve izabe yöntemiyle arıttığı bakır cevherini, büyük medeniyetlerin görüldüğü Mezopotamya ve Mısır'a ihraç etme başarısını göstermiştir (Başak, 2008; Kızılaslan, 2013).

Geç Neolitiğin devamı olan Kalkolitik Devir'le (bakır-taş) birlikte, başta bakır madeni olmak üzere madenler işlenerek kullanılmaya devam etmiştir. Geç Kalkolitik dönemin önemli yerlerinden biri olarak kabul gören Beyce Sultan'da, bir çömlek içinde bulunan bakır aletler, gümüş bir yüzük, hançer parçası ve iğneler, Karaman-Can Hasan'da bakır bir bilezik, topuz başı gibi değişik araçların bulunması, madenlerin Kalkolitik Devir'de hemen hemen her alanda kullanılmış olduğunu göstermiştir. Erken Kalkolitik dönem yerleşme yerlerinden Can Hasan'da bulunmuş olannabit bakırdan yapılmış olan sap delikli topuz başı da nabit bakırın Kalkolitik dönemde kullanıldığını gösteren önemli bulgular arasındadır (Başak, 2008).

Kalkolitik Devir'de Anadolu'da madencilik sanatı ileri bir seviyeye gelip madenlerden hemen hemen her türlü eşya üretimi yaygınlaşmaya başlayınca, insanların madene olan ilgileri de artmıştır. Özellikle bu dönemde çok ilgi çeken bakıra erişebilmek için diğer kıymetli maddeler, dokuma ve seramik gibi eşyaları değiştirme talebiticaretin de başlamasına vesile olmuştur. Anadolu madenciliğinde önemli yerleşim yerlerinden Mersin Yümüktepe'nin M.Ö. 5000–4900 yıllarına tekabül eden dönemlerde bulunan iki adet keski, bir adet yassı balta ve beş adet rulo başlı iğnenin arkeometalurjik analiz sonuçları, bunların izabe yoluyla elde edilmiş olan bakırdan üretildiklerini göstermiştir. Döküm tekniği ile biçimlendirilen bu aletler, Dünya'nın madenden yapılmış bilinen ilk aletleridir (Başak, 2008; Karabacak, 2011).

Geç Kalkolitik dönemin sonlarına doğru bakır alaşımlarının ortaya çıkması ve tunç üretimine geçilmesiyle beraber Tunç Devri olarak adlandırılan dönem başlamıştır. Tunç Devri'nin erken dönemlerinde (Eski Tunç Devri) tuncun keşfiyle birlikte madencilikte, sanatta, ticarete, kentleşmede büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Yontma taş endüstrisi halen önemini korurken madenden yapılmış silah, alet ve süs eşyalarında büyük bir gelişme görülmüştür. Geometrik ya da bitkisel bezemeli damga



mühürler bu çağda ilk kez madenden üretilmeye başlanmıştır. Madenci ustaları, bu evreden itibaren yataklardan elde ettikleri bakır cevherini yerleşimlerdeki atölyelerde ergitip, işlemeye başlamışlardır. Önceleri arsenik içeren bakır cevherini ergitip, arsenikli bakır elde eden ustalar, sonraları bilinçli olarak bu iki cevheri birlikte ergitip döküm kalitesini arttırmışlar ve bu yeni alaşımı alet ve silah yapımında kullanmışlardır. Eski Tunç Çağının hemen başında Orta ve Kuzey, Batı ve Güneydoğu Anadolu'da ilk kalay-bakır alaşımları (tunç) ortaya çıkmıştır. Çağın ilk yarısından itibaren maden ocaklarının organize bir şekilde işletildiği, ocaklara yakın alanlarda madenlerin ergitildiği ve külçe halinde kentlere ulaştırılarak oralaradaki atölyelerde işlendiği görülmüştür. Batı Anadolu ve Malatya-Elazığ bölgesindeki atölyelerde ele geçen ocak, pota, açık veya iki parçalı kalıp, kil öz, üfleç, taş alet, cüruf gibi araç- gereçler ilk evrenin üretimine ışık tutmaktadır. Orta ve Batı Anadolu'da metal işçiliğine ait bölgesel okullar tunç alet, silah, süs eşyası ve diğer objelerin üretiminde yeni alaşım metodlarını benimsemişlerdir. Bununla beraber, çoğu bölgede alaşımsız bakır kullanılmaya devam etmiştir. Çağın ilk yarısında tunç kullanarak seri üretime geçen ustalar, her türlü döküm, dövme, tavlama, kaynak, kaplama gibi yöntemleri kullanmışlardır. Balmumu modelli kalıplarda üretilen plastik madeni eserler ve demirin ergitilmesi de ilk kez bu evrede görülmektedir. M.Ö.3000'in ikinci yarısında, doğal maden zenginliklerinden faydalanan yerel prensler, atölyeleri kendi denetimlerine almışlardır. Farklı (Batı ve sahil kesimi, Orta-Kuzey, Doğu ve Güneydoğu Anadolu) atölyelerde, teknik, şekil ve üslup açısından birbirine yakın eserler üretilmiştir. Altın, gümüş, kurşun, elektrik, bakır, tunç, hatta demir gibi her türlü maden, kapsamlı atölyelerde işlenmeye başlanmıştır. Kuyumculuk kendi başına bir iş kolu haline gelmiştir. Özellikle Orta Anadolu'nun kuzeyinde, başta Alacahöyük olmak üzere Mahmatlar, Horoztepe, Eskiyyapar, İkiiztepe yerleşimlerinde ele geçen madeni eşya ve Batı'da Truva hazineleri, Anadolu insanının "maden sanatında" eriştiği seviyeyi göstermektedir (Başak, 2008; Yıldırım, 2009).

Taş Devri'nde olduğu gibi, Tunç Devri'nin de tarihler itibariyle tespit edilmesi zordur. Taş silahların ve aletlerin hala kullanılmakta olduğuna dair güçlü kanıtlar olduğu için, insan bakırın kokusunu almaya ve silah haline getirmeye başladığı için, Taş Devri'nden Tunç Devri'ne uzun geçiş süreci olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda altının Tunç Devri'nde tanındığı bilinmekle birlikte, kurşun ve çinko da dahil olmak üzere diğer metallerin kullanımı ard arda gelmiştir. Tunç Devri, silahlanma ve metal parça üretimine tunç oluşturmak için bakırın kalayla alaşımlanmasını sağlayan büyük bir teknolojik atılımın olduğu bir dönem olarak tanımlanmıştır. Tunç Devri başlangıcından çok önce bakır nesnelerin bulunduğu da söz konusudur; Irak'taki Shanidar'dan gelen bir bakır kolyenin M.Ö.

6500'lerden geldiğine inanılmaktadır. Bu tür bakır nesnelerin işlenmiş metalle yapılmış olması muhtemel değildir. Ancak yerden toplanan yerli bakır kullanılarak çalışılmış olma ihtimali vardır. Tunç Devri genellikle tartışmalı olan bölümlere ayrılmıştır. Kültürel ve teknolojik olarak Avrupa'dan çok daha gelişmiş olan Yakın Doğu'daki erken Tunç Devri, M.Ö. 3500 civarında başlamış ve son dönem olan Geç Tunç Devri, M.Ö. 1200 yıllarında Demir Çağı ortaya çıkmaya başladığında sona ermiştir. Avrupa'da Bronz Çağı, bazı yerlerde M.Ö. 700 yılına kadar devam etmiştir. Erken Tunç Devri, Mezopotamya'da yazının icadını görmüştür, bu da toplumun ve ticari yaşamın gelişimini kaydetmenin yollarını aramaya yardımcı olmuştur. M.Ö. 3100'de Memphis Kralı Menes tarafından ilan edilen Menes Yasası'nda gümüş ile birlikte altından bahsedilmektedir. Bin yıl öncesinde altın bilgisinin olması muhtemeldir çünkü alüvyonda parıldayan altın külçelerinin görülmesinden Tunç Devri'nin teknolojik ilerleyişine kadar bahsedilmeyecektir (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz&Trudinger, 2019).

Anadolu'da, M.Ö. 4000'in sonu 3000'in başlarında Eski Tunç Devri başlamıştır. Maden işçiliğinin üst seviyelere yükseldiği bu dönemde, insan ilişkileri de gelişme göstermeye başlamıştır. İnsanoğlu daha etkili silahların üretilmesine; kaliteli, sağlam, ince ve hafif kaplar ile daha zarif süs eşyalarının yapılmasına olanak sağlayan tuncu elde etmişlerdir. M.Ö. 4000'in sonunda bakıra bir miktar kalay eklenerek elde edilentunç, madencilikte yepyeni bir dönem başlamasına olanak sağlayarak başta döküm tekniği olmak üzere metalurji alanında önemli adımlar atılmaya başlanmış; döküm, tavlama, kaynak, kaplama gibi tekniklerde de büyük başarılar elde edilmiştir. Tunç Devri'nde sadece bronz kullanılmamış; başta altın, gümüş, bakır ve elektrik olmak üzere birçok madenin işlenmesiyle maden işleme sanatı ve özellikle ticareti, bu devirde önem kazanmıştır. İlk Tunç Devri'nin ikinci kısmının sonlarına doğru, biri kuzeybatıda Troia bölgesinde, diğeri de Orta Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde yer alan iki yerli madencilik okulu faaliyet göstermeye başlamıştır. Madene olan ilgiyi karşılamak için küçük işletmelerin yerini büyük işletmeler almaya başlamıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde maden ocaklarının endüstriyel olarak işletildikleri, cevherin galeriler yardımıyla yeraltından elde edildiği, izabe işlemlerinin galerilere yakın yerlerde yapılmaya başlandığı görülmüştür (Leventoğlu, 2006; Başak, 2008; Karabacak, 2011).

Metal işleme teknolojisinin potası, tunçüretimi için kalayın bakırla alaşımlanması ayni şekilde insanın metallerle çalışmasına olanak sağlayan Anadolu'dur. İlginç bir şekilde tuncun ortaya çıkması madencilik yöntemlerinde önemli bir atılım sağlamıştır. Tunç, madencilik

aletleri için çok değerli ve çok yumuşak bir metal olarak kabul edilmiş ve madencilik temel taş aletler kullanılarak yapılmaya devam edilmiştir. Tunç Devri ilerledikçe ve tüm metallere olan talep arttıkça, kazılan derinlikler yeterli olmamaya başlamış, aynı zamanda ihtiyaç duyulan tunç hacmi de arttığından, daha büyük, muhtemelen köle olan işgücüne sahip daha organize bir yapıya gereksinim baş göstermiştir. Mümkün olduğu kadar sert bir malzemenin yapılmış ve genellikle yuvarlak olan taş çekiçleri, mineralleşmenin tespit edildiği daha yumuşak kayaları kırmak için kullanılmıştır. Kemikler, gevşek kayaları kaldırarak ve daha küçük, daha kolay işlenmiş parçalara ayırmak için kullanılmıştır. Tunç Devri madencilerisert kayaları ateş ayarı denilen bir teknik kullanarak parçalamıştır. Bu teknikte ateş saatlerce sürme eğilimindedir ve kaya sıcaklaştıkça çatlamaya başlamıştır. İşlem sıcak kaya yüzeyine soğuk su dökülerek çatlamanın yoğunlaştırılması ve madencilerin kaya yüzeyinden metal içeren parçalara erişmesine olanak sağlanarak tamamlanmaktadır. Kuzeydoğu Sırbistan dağlarındaki RudnaGlava'daki bir bakır madeninde, çok sert kayalarda bulunan malakit (bakır karbonat cevheri) ateş ayarı kullanılarak elde edilmiştir. Mısır altın madenlerinde sert, altın taşıyan kaya yüzeyini kırmak için ateş ayarı kullanılmıştır. Bu tür yeraltı madenlerinde havalandırma ile ilgili çalışma olması ihtimali düşük olduğundan, çalışma koşullarının özellikle zor olduğu düşünülmektedir. Tunç Devri bakırın kullanım amaçlı nesnelere dönüştürülmesi için eritme teknikleri geliştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bakır eritmenin anahtarı, bakır cevherini erimiş metal ve erimiş cürufa dönüştürmek için yeterli ısıda ateş meydana getirmektir. Bu elde edildiğinde metal ve cüruf ayrılabilirdi. İlk eriticiler ateşe dayanıklı tuğlalardan yapılmış açık bir ocaktan oluşmaktaydı. Odun kömürüocağa yerleştirilmiş, yakılmış ve kömür üzerine bakır cevheri konmuştur. Kömür kullanımı büyük miktarda odun gerektiriyordu. 5 metre küp odundan 300 kg odun kömürü üretilebileceği, böylelikle cevherden sadece 1 kg bakır üreteceği hesaplanmıştır. Eritme teknolojisinin geliştirilmesinde bir sonraki adım, pota kullanımıydı. Kömür ve bakır cevheri, seramik malzemenin yapılmış bir potaya konmuştur. Pota tenceresi daha sonra ham bir fırına yerleştirilmiş ve sıcaklık, körük kullanımıyla arttırılmıştır. Bakır serbestleştiğinde, tunç üretmek için genellikle% 3 ila% 8 eklenmiş kalayla alaşımlaştırılabilmektedir. Tunç dökümü geliştikçe, kurşun ve çinko gibi diğer metaller katkı maddeleri olarak denenmiştir, ancak sonuçta ortaya çıkan metal gerçek tunç değildir ve ilave metal muhtevası %3'ün üzerine çıkmışsa, mukavemet ve kırılma eğilimi açısından hatalar vermekteydi. Yıllar boyunca antik tunç parçaları Orta ve Yakın Doğu'dan İngiltere ve Güney Amerika'ya kadar çok çeşitli yerlerde ortaya çıkarılmıştır. Bu cisimlerin analizi, ne tür bir cismin yapıldığına bağlı olarak tunç yapım sürecinde farklı oranlarda kalay kullanıldığını göstermektedir. Örneğin, sert ve keskin bir kenar

gerektiren bir kılıç, % 3'ten fazla kalay kullanılmamalıydı, fakat plaka gibi diğer maddeler daha fazlasını içerebilmekteydi. Tunç yapımının başlaması metallerin kullanımında ileri bir teknolojik adım oluştursa da, harmanlama açısından mükemmele ulaşmak için metalurjik hassasiyetin yüzyıllar sürdüğü hatırlamakta fayda vardır. Tunç Devri ilerledikçe diğer metaller madencilerin dikkatini çekmeye başlamıştır. Yeni metallerin en önemlilerinden biri demir olmuştur. Elbette Demir Devri'nin gelişi tunç kullanımının ortadan kalkmasına neden olmamıştır, ancak sonuçta demir, insanın geliştirebileceği ürün çeşitliliğini arttırmış ve böylece sosyal ve ekonomik ilerleme için başka bir yol açmıştır (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz&Trudinger, 2019).

Tarih öncesi son dönem olan Demir Devri'nin gelmesiyle birlikte madencilik verimlilik açısından önemli bir adım atmıştır. Önceki dönemlerde madencilikle ilgili sorunlardan biri, taş aletlerinin taş kazmaya ve kırmaya yarayan temel araçlar olduğu, sağlam olmadıkları ve bu sebeple ivedi bir şekilde kullanılamaz hale gelmeye başladıklarıydı. Tunç bu kadar ağır iş aletlerinin yapımında gerçekçi bir alternatif olamayacak kadar değerli ve yumuşaktı, ancak demirin gelmesi, alet yapımı için ideal olan, tamamen sağlam ve daha dayanıklı bir metal ortaya çıkarmıştır. Demir Devri, silah ve diğer dayanıklı aletlerin (bakır, pirinç, bronz ve demir) yapımında kullanılacak önemli metalik bileşiklerin sayısını dörde çıkarmıştır. Cevherin demir metali haline getirilmesinin ilk yöntemi, onu karbonla birleştirmek ve sonra süngerimsi bir kütle haline gelinceye kadar işlenmiş cevheri temel bir fırında eritmektir. Demir daha sonra çekiçlerle dövülmüş ve tüm karbon oksidasyon yoluyla salınana kadar bükülmüştür. Elde edilen ürün, impürite açısından oldukça az olan ferforjedir. Ferforje kömürün daha fazla ısıtılması ve ardından suyla soğutulması, ferforje çeliğe bir çelik yüzey ekleyen işlem nedeniyle daha sert bir metal üretmiştir. Demir cevheriyle yapılmış ilk nesnelerin M.Ö. 12. yüzyılda Anadolu'dan geldiği ve buradan Orta Doğu'ya ve Çin'e yayıldığı söylenmektedir. M.Ö. 5. yüzyılda Zhou Hanedanlığı döneminde, demir cevherinin eskisinden daha yüksek sıcaklıklara ısıtılmasını sağlayan ve dökme demir imalatına yol açan fırın teknolojisi geliştirilmiştir. Teknoloji, M.Ö. 2. yüzyılda Hindistan'a yayılmıştır. 21. yüzyılda olaylar çok hızlı gelişmektedir; teknolojik ilerlemeler yaygın olarak kullanılmadan önce bile yorumlanabilmektedir. Başka bir deyişle, dünyamız atalarımızın içinde yaşadıklarından tamamen farklıdır. Bu nedenle, bin yıl önce işlerin ne kadar yavaş değiştiği ve madencilik dünyasının da bu yavaş değişimden kendi payına düşeni aldığını görmek hiç de şaşırtıcı değildir. Taş Devri'nden Tunç Devri'ne ve daha sonra da Demir Devri'ne geçen birkaç maden tekniği yüzyıllarca sürmüştür. Ateşleme uygulaması bu

dönemlerde özellikle yeraltındaki mineralize kaya parçalarının kırılması için yaygın olarak tercih edilen bir yöntem olarak kalmıştır. Modern çağda bile tekniklerinden bazıları hayatta kalmıştır. Romalılar tarafından bilinen hidrolik madencilik M.S. 19. yüzyılda yeniden keşfedilmiştir ve depolanan suyun cevher yıkamak için kullanılması günümüzde bile hayatta kalan bir başka erken gelişmedir. Madencilik yöntemleri de antik dönem boyunca temelde değişmeden devam etmiştir. Temelde insanın silahlara, bir süre sonra zırh gibi koruyucu metal ürünlerine, yemek pişirme ve mutfak gereçlerine (kil/seramik eşyalar da kullanılmasına rağmen), aletlere, mücevherlere ve para yerine geçebilen altın ve gümüşe ihtiyacı vardı (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz&Trudinger, 2019).

M.Ö. 2000 ve 1000'de Anadolu'da maden teknolojisindeki en önemli aşamalardan biri de, demir cevherinin arıtılması ve demir-karbon karışımı olan çelik alaşımının keşfedilmesidir. Bu konuda araştırma yapan bilim insanları, demir cevherlerinin arıtılmasının ve dövme demirin elde edilmesinin ilk defa Eski Hitit Krallığı döneminde (M.Ö. 1800-1400) gerçekleştirildiğini, çeliğin de Hitit İmparatorluğu döneminde (M.Ö. 1400 -1200) yapıldığını belirtmişlerdir. Demir çağında hem döküm hem de dövme tekniğinde tunçtan yapılmış kazanlar, kepçeler, kemerler, omfaloslu (göbekli) kaseler ve fibulalar (çengelli iğneler), Frigler'deki çok yüksek maden teknolojisi ve endüstrisinin varlığını kanıtlamaktadır. Lydia Krallığı'nın zenginleşmesinde ticaretin olduğu kadar egemenliği altındaki kentlerden aldığı vergilerin ve sahip olduğu doğal kaynakların, özellikle altın madeninin önemi büyüktür. Ekonomik ve ticari hayatın canlanmasında 7. yüzyılın sonlarına doğru görülen sikke kullanımının önemli rolü vardır. Antik kaynaklar ilk sikkenin Lydialılar tarafından kullanıldığını bildirir. Sikkenin ilk defa Lydialılar tarafından darp edildiği hakkında kesin bir bulgu olmamakla birlikte, arkeolojik ve numismatik çalışmalar ilk sikkelerin Lydia Krallığı (Sardeis) ve hakimiyetindeki diğer Batı Anadolu yerleşimlerinde (Ephesos, Phokaia, Miletos) basılıp kullanıldığını nitelemektedir. Bu sikkelerin, Yunanların "beyaz altın" dediği elektrondan darp edildiği bilinmektedir. Tmolos Dağı'ndan (Bozdağ) doğarak Sardes'in içinden geçen Paktolos Irmağı'nın (Sart Çayı) alüvyonlarında bulunan elektron doğal halde bulunan altın-gümüş alaşımıdır. Kroisos Dönemi'nden itibaren ise elektron sikke darbu bırakılarak altın ve gümüş sikke darbına geçilmiştir. Sahip olduğu değerli maden yatakları Lydialıların özellikle maden işçiliğinde ileri gitmesini, özellikle altın takı işçiliğinde ün kazanmasını sağlamıştır. Dönemin önemli merkezlerinden olan Sardes'te 1960'lı yıllarda yapılan kazılarda tespit edilen altın işlikleri ve mücevher dükkanları Sardes'in bu alandaki gelişmişliğini göstermektedir. Doğulu figürlerin etkin olduğu fildişi,

altın ve gümüş eserler Sardeis'in önemli ihraç malları arasındadır. Pers egemenliğine girdikten sonra da Lydia'nın zenginliği devam etmiştir. Bu durum M.Ö. 6. yüzyılın ikinci yarısına ait olan zengin mezar hediyelerinden anlaşılmaktadır. Buluntular arasında oldukça kaliteli bir işçilik gösteren gümüş, altın ve elektron kaplar ve mücevherler dikkati çekmektedir (Başak, 2008; Kulakoğlu, 2009; Kadioğlu, 2009).

### **3. Orta Çağ, Sanayi Devrimi ve Sonrası Madencilik ve Cevher Hazırlama**

Orta Çağlar, daha derin madenlerin ve büyüyen üretimin yeni çalışma şekilleri gerektirdiği maden endüstrisi için özellikle yardımcı olan, yeniden başlatılan teknolojik ilerlemenin zamanıdır. 12. ve 13. yüzyıllarda İtalya'da, Almanya ve İngiltere'de madenciler Trent Antlaşması ile yasalarla korunan telif haklarına tabi olarak buldukları mineralleri kullanma haklarına sahipti. Ancak daha derin ve daha büyük madenlerin üretimine başlanması, madencilik endüstrisinin küçük ölçekli işletme sahipleri tarafından geliştirilmesinin bu aşamasının nispeten kısa ömürlü olduğu anlamına geliyordu. Madenlerin büyümesiyle aynı zamanda, köle emeğinin geçmişte olduğu kadar yaygın bir şekilde kullanılmadığı bir çağda, madenci tarafından finanse edilen bu eski operasyonlar daha karmaşık finansman biçimleri geliştirildikçe azalmıştır. Özellikle Almanya'da (Saksonya ve Bohemya) katılımcı olmayanlar tarafından sağlanan sermaye kullanılarak maden finansmanı ortaya çıkmıştır. İlk fikir, hissedarların madene yakın olması ve işlerin nasıl yürüdüğü konusunda bilgilendirilmek için sık sık görüşmeleriydi. Zaman içinde toplantılar daha seyrekleşmiş ve hissedarlar madenden uzaklaşmıştır, bugün halka açık anonim şirketlerde yaşananlar için bir model ve belki de kaçınılmaz bir gelişme olmuştur. Bu tarihi düzenleme çoğu zaman maden hakları sahibinin, aristokratın veya toprak sahibinin desteğini almıştır ve madenci çabalarının ödülleri mal sahibiyle paylaşmıştır. Bu yapı değiştikten sonra madenci, madenlere sahip olan ve yöneten şirketlerin bir çalışanı olmaktan çıkmıştır. Orta Çağ ayrıca, Avrupa'nın güç ve etki açısından tekrar haritaya konmasına yardımcı olan olaylara iki önemli örnek olan Reformasyon ve Rönesans gibi büyük siyasi ve kültürel öneme sahip olayları da içermektedir. Madencilikte, pompalama ve arıtma için su gücünün kullanılması verimliliği artırmak için rafine edilmiştir. Yüksek fırınla eritme işleminde büyük oranda verimlilik artışı sağlanmıştır. Bu dönemde madencilik ve metalurji üzerine bir literatür ve araştırma bütçesi oluşturulmuştur. Bilinen en iyi yazar, Georgius Agricola'dır. Diğer gözlemciler arasında, batılı isimleri Geber ve Avicenna olan ve sırasıyla 9. ve 11. yüzyıllarda yaşamış olan iki Arap simyacı, De Mineralibus'u yazan 13. yüzyıl filozofu Albertus Magnus ve 16. yüzyıl Venedikli

simyacı AurelioAugurelli bulunmaktadır. GeorgiusAgricola, madencilik tarihindeki en etkili figürlerden biridir. “De Re Metallica” adlı kitabı iki yüzyıldan fazla bir süre madencilik ve metalurji üzerine temel ders kitabı olmuştur. Bugün, hem tarihsel olarak önemli hem de Orta Çağ ve öncesi madenciliğin rakipsiz bir kaynağı olan kayda değer bir çalışmadır. O günlerdeki düşüncelerin çoğu simya teorisine dayanmakta ve metallerin çekirdekten yeryüzüne atıldığı iddia edilmektedir; damarlarda ve çatlaklarda sıkışık kalmış ve yüzyıllar boyunca daha yüksek metal formlara sürekli dönüşümün ardından soğuma sürecinden geçmiştir ve bu nedenle baz metaller sonunda altın ve gümüş olacaktır. Bu teoriler yavaş yavaş ama kesin bir şekilde 17. yüzyılda modern kimya çağı doğduğunda değişmeye başlamıştır (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz&Trudinger, 2019).

Yaklaşık 1840'lara dek gümüş kaplı metalik malzemeler, bakır benzeri bir temel metale ince gümüş levhaların sıcakta preslenmesi ya da kaynaklanması yoluyla hazırlanmaktaydı. Teknik uğraşları sonucunda sekstant, mikroskop ve kristal açılarının ölçümünde kullanılacak yansıtımlı gonyometre gibi çeşitli bilimsel aletler geliştiren ve sülfürik asit üretiminde ve çeşitli kimyasal araştırmalarda kullanılacak platin kap ve krozeler de üreten Wollaston, kral suyu (1 hacim  $\text{HNO}_3$  + 3 hacim HCl karışımı) içinde çözmek suretiyle platin özütlemesi (ekstraksiyon) üzerinde çalışmış, 1802 yılında platin dışında çözeltide yeni bir metalin daha yer aldığını saptayarak ona “palladium” adını vermiştir. 1804’de ise başka yeni metal olarak rodyum’u tanımlamıştır. Ham alüminyum ilk kez 1825 yılında elde edilmiştir. Tüm metaller arasında yeryüzünde en bol bulunduğu halde varlığı çok geç anlaşılan metallere biri alüminyumdur. Elektro-sanayideki gelişmeler sonucu büyük miktarlarda elektrik akımı kullanılır olduğunda, elektroliz yoluyla teknik düzeyde yeni metallere üretimi gündeme gelmiştir. Elektrolitik yöntem 1890’larda birkaç yerde benimsenmeye başlanmış ve alüminyum, azınlık bir metal olmaktan çıkarak dünyanın temel metallere biri olmuştur. Alüminyumun temel cevheri olan boksit 1821’de bulunmuştur (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz&Trudinger, 2019).

Günümüzde 86 metal bilinmektedir. 19. yüzyıldan önce bunlardan yalnızca 24’ü biliniyordu ve bunun da 12 tanesi 18. yüzyılda keşfedilmiştir. Bunlardan dört metal (arsenik, antimuan, çinko ve bizmut) 13.-14. Yüzyıllarda, platin ise 16. Yüzyılda keşfedilmiştir. Diğer yedi metal “Eskiçağ’ın yedi metali” diye bilinmektedir ve yaklaşık keşif tarihleri ile birlikte şöyledir: Altın (~ M.Ö. 6000), Bakır (~ M.Ö. 4200), Gümüş (~ M.Ö. 4000), Kurşun (~ M.Ö. 3500), Kalay (~ M.Ö. 1750), Demir (erimiş halde) (~ M.Ö. 1500). Eskiçağ’ın yedi metalinin ardından



keşfedilen ilk metal 13. Yüzyılda arsenik olmuştur. Arsenik oksit kendi ağırlığının iki katı kadar sabunla ısıtıldığında, ilk kez metalik arsenik elde edilmiştir. Arsenikten sonra yalıtılarak elde edilen metal, antimuan olmuştur. Bir antimuan sülfür cevheri olan stibnit ( $Sb_2S_3$ ) bir demir pota içinde kavrulmasıyla önce oksit şekline dönüşür, onun da karbonla indirgenmesiyle metalik antimuan ele geçmektedir. Antimuan'dan sonra 1595 yılında bizmut elementi, oksit cevherinin karbonla indirgenmesi sonucu metal halinde elde edilmişse de bizmutun bir element olarak tanınıp sınıflandırılması 1753'de olmuştur. Çinko metali ise eski dönemlerden beri Hindistan ve Çin'de üretilmekte olup 17. Yüzyılda Çin tarafından Avrupa'ya ihraç edilmiştir. 1738'de metalurjist William Champion İngiltere'de kalaminden çinko damıtma sürecinin patentini almış, böylece Avrupa üretimi metalik çinko kullanıma girmiştir. Bu sürecin, Racastan'daki Zawar çinko madeninde kullanılan yöntemden esinlendiği ve büyük benzerlikler taşıdığı anlaşılmıştır. İsveçli kimyacı Anton von Swab 1742'de, Alman kimyacı Andreas Sigismund Marggraf ise 1746'da kalamın ve odun kömüründen damıtma yolu ile çinko metali elde etmişlerdir. Belçika'da ise Jean-Jacques Daniel Dony yatay fırınlı bir tesis 1805 yılında kurmuştur. Erimiş çinko ile "kızgın-daldırma galvanizlemesi" demir ve çeliği korozyondan korumanın bilinen en eski yöntemlerinden biri olup ilk olarak 1836'da Fransa'da kullanıma girmiştir. Ancak bu süreç, demir ve çelik yüzeylerinin galvanizleme öncesi temizlenmesi için etkin süreçler geliştirildikten sonra sanayi ölçeğine taşınabilmiştir ve galvanizleme, günümüzde çinko metalinin başlıca kullanım alanını oluşturmaktadır. Platin 1500'lü yıllarda keşfedilmişse de 1800'lerden önce yaygın olarak kullanılmamıştır. Diğer kimi metaller 1700'lü yıllarda yaygın olarak elde edilmişlerdir: Kobalt, nikel, manganez, molibden, tungsten, tellüryum, berilyum, krom, uranyum, zirkonyum, itterbiyum. Laboratuvar ölçeğinde üretilen bu metallerden tungsten (volfram) dışındakiler karbonla indirgenerek, tungsten ise ilk kez olarak hidrojenle indirgenerek elde edilmişlerdir. Peter Jacob Hjelm 1781'de molibdeni saf halde yalıtılarak elde etmiştir. 1805 yılından önce metaller, karbon ya da hidrojenle indirgenerek elde edilmiştir; ancak eritilmiş metallerin büyük çoğunluğu saf değildi. Altının içinden gümüşün uzaklaştırılarak altının arıtılması çok eski zamanlardan beri bilinmekteydi. 11. Yüzyıldan itibaren erimiş kurşunun kullanıldığı amalgamlama süreci, cevherdeki kuvarsın içine dağılmış değerli metallerin ayrılmasını sağlamıştır. Daha sonra altın ve gümüşü birbirinden ayırmak için baziteknikler geliştirilmiştir. Bunlardan birinde altın-gümüş alaşımına adi tuz eklenerek gümüş, suda çözünebilir klörür bileşiği haline dönüştürülerek ortamdan uzaklaştırılmıştır (sementasyon işlemi) (Michell, 1969; Napier-Munn, 1997; Lynch, 2002; Drzymala, 2007; Coulson, 2012; Spitz & Trudinger, 2019).



Madencilik teknolojisi, orta çağların sonlarında, madenciler büyük kayaları kırmak için patlayıcı kullanmaya başladığında tekrar önemli hale gelmiştir. Kara barut, muhtemelen Çin'den gelen Batı'ya ulaşmıştır. 19. yüzyılın ortalarında kara barut dinamitle değiştirilmiştir. Aynı zamanda, matkaplar, asansörler ve buharla çalışan pompalar gibi motorlu madencilik araçlarında ilerleme kaydedilmiştir. Sanayi Devrimi, patlayıcılarda ve madencilik ekipmanlarındaki gelişmeler sağlamıştır. Pistonlar ve basınçlı hava ile çalışan mekanik matkaplar, sert kayaların üretim kapasitesini ve verimliliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Diğer madencilik süreçlerinde de iyileşmeler olmuştur. Elle çalışan yükleme ve taşıma araçları, elektrikli konveyörler, maden arabaları ve araçları ile değiştirilmiştir. Buharla çalışan pompalar su girişi sorununu çözmüştür. Mumlar ve kandil lambaları, gaz lambalarıyla ve nihayetinde pille çalışan lambalarla geliştirilmiştir. Mekanizasyon ve yeni teknoloji madencilik tekniklerinde çarpıcı gelişmelere yol açmıştır (General Kinematics, 2019).

#### 4. Sonuç

İnsanlık tarihine bakıldığında en önemli icadın hangisi olduğu hiçbir zaman yeterli bir cevaba ulaşılamayacak olan bir soru olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte tartışmasız bir biçimde, madenciliğin başlaması ve akabinde cevher hazırlama tekniklerinin geliştirilmesi, insanlığın başlangıcından itibaren geçen süreç içinde gerçekleştirilmiş olan en önemli iki buluş olarak kabul edilmektedir. Her ikisi de bir bakıma günümüzde içinde yaşadığımız dünyayı şekillendirmiş ve daha bilinir olan diğer icatların geliştirilmesine olanak sağlayan teknolojileri mümkün kılmıştır.

Kömür ve demirin önemini, sanayi devriminden itibaren insanlığın gelişimindeki ilerleme devam ederken dikkate almamak mümkün değildir. Günümüzde de madencilik çalışmaları olmadan insanlığın ilerlemesi ve yaşamını sürdürülebilmesi mümkün değildir. Araba, bilgisayar ve ev gibi yaşamımız için gerekli ve vazgeçilmez olan hemen hemen her araç/gereç/eşya madencilik faaliyetleriyle elde edilen, kalkınmanın temel unsurlarından en önemlisi olan madenler neticesinde varlık kazanabilmektedir. Enerji ve tarım sektörlerinin temellerini de oluşturan madencilik, ülkelerin kalkınması ve yaşam seviyelerinin belirlenmesi için bir etmen olarak kabul edilmektedir. Günümüz teknolojik olarak gelişmiş toplumunda, madencilik teknikleri her zaman gelişmeye devam etmektedir. Örneğin birçok maden işletmesi açık işletme madenciliği tekniklerini kullanarak işçilerin hayatlarını tehlikeye atmadan, % 85'in üzerinde mineral ve %98 oranında metal cevherini çıkarabilmektedir. Yeni geliştirilen ve kırma-öğütme işlemlerinde kullanılan makineler, minerallerin hiç olmadığı kadar az enerji ile kazanımını sağlamaktadır.

Madenciler, özellikle de toprağın derinliklerine inmek zorunda kaldıklarında, patlayıcı, kamyon, matkap ve buldozer gibi ağır makineler kullanmaktadır. Bununla birlikte, teknolojiye ilerlemeler, madencilerin çevreye daha az zarar verecek şekilde çalışmasını sağlamıştır. Enerji tüketimini azaltmak ve şafttan toplanan mineral veya metal sayısını artırmak için daha verimli makineler de kullanılabilir. Madencilik tarihi zengin ve karmaşıktır. Madencilik toplum için büyük ilerlemelere yol açmıştır, ancak madencilik tehlikeleri de birçok işçinin ölümüyle sonuçlanmıştır. Teknoloji ilerlemeye devam ettikçe, maden teknikleri daha doğru ve verimli hale gelmektedir. Gelecekte, öncü teknolojilerin madencilik tamamen insan gücünden bağımsız bir hale getireceği öngörülmektedir. 1872 Genel Maden Kanunu, mevcut uygarlık seviyemizi oluşturmayı ve sürdürmeyi amaçlamış ve başarmıştır (TMMOB, 2011; Earth Systems, 2019; General Kinematics, 2019).

Bu çalışmada madencilik ve cevher hazırlamanın, insanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar geçirmiş olduğu teknolojik ve kültürel gelişimler detaylı olarak irdelenerek açıklanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak tarih öncesi dönemlerde madencilik ve cevher hazırlama faaliyetleri incelenmiş, akabinde de orta çağdan günümüze kadar olan dönemde, teknolojik gelişmelerin de etkisiyle madencilik bir sanat dalı olmaktan çıkarak bir bilim dalı haline gelişi, keşfedilen madenler ve cevher hazırlama teknikleri de irdelenerek gösterilmiştir. Çalışmanın temeli, neredeyse insanlığın başlangıcına kadar uzanan madencilik geçirdiği gelişim evrelerinin ve geçmişte de günümüzde de madencilik mesleğinin ve biliminin insanlığın ilerleyebilmesi için olmazsa olmaz bir bilim dalı olduğunun irdelenmesidir. Sonuç olarak, eğer insanoğlu yaşamsal gereksinimlerini karşılamak için birtakım araç gereç yapımına başlamamış olmasaydı, belki de madencilik hiç başlamayacak ve medeniyet seviyemiz bulunduğumuz düzeyde olmayacaktı. Madencilik medeniyetin başlamasına yol açan en önemli etkenlerden biri olduğu mutlak bir gerçektir. İnsanoğlunu geleceğe taşıyan en önemli etmen de, yine maden kaynakları olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Başak, O. (2008) Taş Çağı'ndan Tunç Çağı'na Anadolu'da Maden Sanatının Gelişimi ve Kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi*, 21, 15-33.
- CienciaViva (2019). *Introduction to Mining*. (20.09.2019 <http://www.cienciaviva.pt/img/upload/Introduction%20to%20mining.pdf>)
- Coulson, M. (2012). *The History of Mining, The Events, Technology and People Involved in the Industry That Forged the Modern World*. Harriman House Ltd, ISBN: 978-0-85719-266-0.
- Drzymala, J. (2007). *Mineral Processing, Foundations of Theory and Practice of Minerallurgy*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, ISBN 978-83-7493-362-9.
- Earth Systems (2019). *A Brief History of Mining*. (24.09.2019 <https://www.earthsystems.com/history-mining/>).
- Erdem, M. E. (2015). Yeni Dönem Beycesultan Höyük Kazılarında Tespit Edilen Geç Tunç Çağ Dönemi Metal Buluntuları, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Protohistorya ve Önasya Arkeolojisi Anabilim Dalı, İzmir.
- General Kinematics (2019). *A Brief History of Mining: The Advancement of Mining Techniques and Technology*. (24.09.2019 <https://www.generalkinematics.com/blog/a-brief-history-of-mining-and-the-advancement-of-mining-technology/>).
- Habashi., F. (2006). A Short History of Mineral Processing, *XXIII International Mineral Processing Congress*, 1, 3-8, Istanbul.
- Kadioğlu, M. (2009). Arkeoloji Eski Anadolu Uygarlıkları Demir Çağı Lidya Krallığı. *T. C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Türkiye Kültür Portalı Projesi*, Ankara.
- Kaptan, E. (1980). Espiye-Bulancak Yöresindeki Eski Maden Ocaklarına Ait Buluntular. *MTA Enst. Bull.*, 91, 117-129, Ankara.
- Karabacak, Ö. (2011). Elazığ'da Bakır Sanatı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat Tarihi Anabilim Dalı, Erzurum.
- Kartalkanat, A. (2007). Anadolu'da Madencilik Tarihçesi ile İlgili Yeni Bir Yaş Bulgusu; 2500 Yıllık Cevher Teknesi. *MTA Dergisi*, 134, 35-39.
- Kartalkanat, A. (2008). Anadolu'da Madencilik Tarihçesi; Kütahya-Gümüşköy'de 3500 Yıldır Süren Madencilik Çalışmaları. *MTA Dergisi*, 137, 91-97.
- Kızılaslan, E. (2013). Yozgat Nizamoglu Konağı Etnoğrafya Müzesindeki madeni mutfak eşyaları, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat Tarihi Anabilim Dalı, Sanat Tarihi Bilim Dalı, Kayseri.

- Kulakoğlu, F. (2009). Arkeoloji Eski Anadolu Uygarlıkları Demir Çağı Frig Krallığı. *T. C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Türkiye Kültür Portalı Projesi*, Ankara.
- Leventoğlu, S. A. (2006). Gaziantep Hasan Süzer Etnografya Müzesi'nde Bulunan Ortaçağ ve Sonrası Döneme Ait Madeni Mutfak Kapları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat Tarihi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Lynch, M. (2002). *Mining in World History*. ReaktionBooks Ltd.,eISBN: 9781780230054.
- Michell, F.B. (1969). TheHistory of Mineral Processing in Cornwall, *Trans. Inst. ofMetals*, 4, 1.
- Napier-Munn, T.J. (1997). InventionandInnovation in Mineral Processing. *MineralsEngineering*, 10(8), 757-773.
- Öztan, A. (2009a). Arkeoloji ve Sanat Tarihi Eski Anadolu Uygarlıkları Neolitik Çağ (Yeni Taş/Cilalı Taş Çağı). *T. C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Türkiye Kültür Portalı Projesi*, Ankara.
- Öztan, A. (2009b). Arkeoloji ve Sanat Tarihi Eski Anadolu Uygarlıkları Kalkolitik Çağ (Taş-Maden Çağı). *T. C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Türkiye Kültür Portalı Projesi*, Ankara.
- Sansar, A. (2018). Denizli Müze Müdürlüğü Kurtarma Kazılarında Ele Geçen Bakır ve Bakır Alaşımı Etütlük Eserlerin Bozulma Durumlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Arkeoloji Enstitüsü, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı, Denizli.
- Spitz. K.,Trudinger, J. (2019). *Miningandthe Environment fromOreto Metal*. CRC Press, ISBN: 978-1-351-18366-6.
- Subaşı, E. (2015). Sivas Yöresine Ait Madeni Eserler, Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat Tarihi Anabilim Dalı, Van.
- Tez, Z. (2011). *Madencilik, Metalürji ve Mineralojinin Çileli Tarihi*. Doruk Yayıncılık, ISBN: 978-975-553-552-4.
- Tiryaki, S. (2017). KalolitikÇağda Doğu Anadolu Bölgesi Madencilığının Başlangıç Evreleri. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(7), 13, 177-200.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası. (2011). Madencilik Sektörü ve Politikaları Raporu.
- Yalçın, Ü. (2016). Anadolu Madencilik Tarihine Toplu Bakış. *MT Bilimsel*, 5(9), 3-13.
- Yıldırım, T. (2009). Arkeoloji ve Sanat Tarihi Eski Anadolu Uygarlıkları Tunç Çağları. *T. C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Türkiye Kültür Portalı Projesi*, Ankara.



## Bölüm 6

**TORYUM ELEMENTİNİN ÖZELLİKLERİ, ÜRETİMİ,  
KULLANIMI VE NÜKLEER YAKIT OLARAK ÖNEMİ**

*Tuğba Deniz TOMBAL KARA<sup>1</sup>*

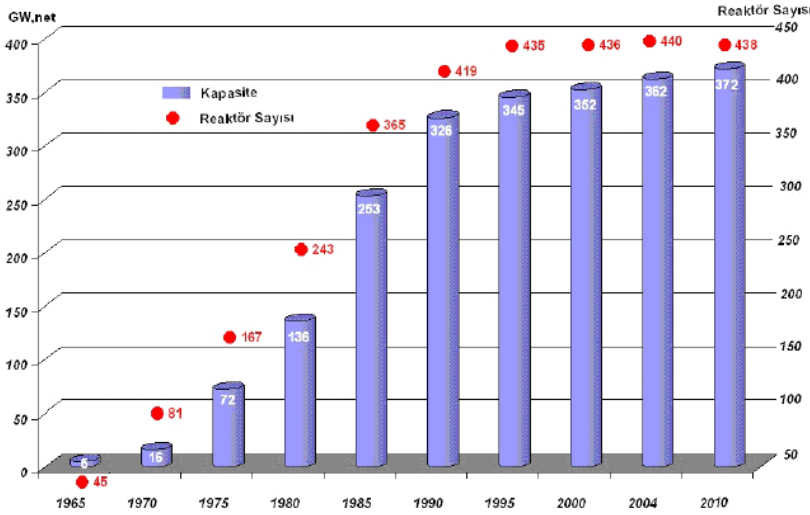


## 1. Nükleer Enerji

Teknolojik ilerlemeler, artan nüfus ve insanoğlunun dünyanın hakimi olma fikri enerjiye olan isteği de hızla artırmaktadır. Enerjiye ulaşmanın getirdiği zorunluluklar, doğaya belirli oranlarda olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte, bir fosil yakıt kaynağı olan kömürün 250 yıl, petrolün de 50 yıl sonra tükeneceği göz önüne alındığı zaman alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesinin önemli ve gerekli olduğu görülmektedir. Günümüz dünyasında enerji üretimi büyük oranda termik santrallerden, hidroelektrik santrallerden ve nükleer enerji santrallerinden karşılanmaktadır. Genel olarak enerji, özelde de elektrik enerjisi yıllardır ülkemizin aşması gereken önemli sorunlarından biridir. Hali hazırda içinde bulunulan enerji darboğazının, ilerleyen yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir. Enerji sektöründeki teknolojik gelişmeler çok boyutludur. Bu bağlamda ilkesel olarak, eski ve verimsiz enerji teknolojileri kullanılmamalı ve maliyete olumlu yönde etkisi olabilecek teknolojilere öncelik verilmelidir. Diğer bir konu da temiz ve yenilenebilir enerji teknolojilerine öncelik verilerek ve yatırım yapılarak, bu alanın oldukça büyük bir toplumsal ve ekonomik gelişme atılımına dönüştürülmesinin gerekliliğidir (Kadıoğlu & Tellioğlu, 1996; Atılğan, 2000; Akkoyunlu, 2006; Emiroğlu, 2009).

Hem 1932’de Sir James Chadwick tarafından nötronun, hem de 1939’da fisyon (atomun bölünebilmesi) ile enerji eldesinin keşfiyle; 2. Dünya Savaşı’nın da etki etmesiyle nükleer bilim gelişim göstermeye başlamıştır. Devam eden yıllarda sırasıyla kontrol edilebilen ilk zincirleme reaksiyon (1943), ilk atom silahı (1945) ve nükleer enerji kullanımlı ilk elektrik üretimi (1951) gerçekleştirilmiştir. Böylelikle 20 yıl gibi kısa bir sürede nükleer enerjide pratik uygulamalara geçilmiştir. ABD’den sonra İngiltere (1953), Rusya (1954), Fransa (1956) ve Almanya (1961) da nükleer enerjiyi elektrik üretiminde kullanmaya başlamıştır. 1970’lere gelindiğinde toplam 20 ülke elektrik üretiminde nükleer enerjiyi kullanmaya başlamıştır. 1970’lerde yüz yüze gelinen petrol krizi nükleer güç santrallerine olan talebi artırmış olsa da takip eden 10 yılda dünyada ekonominin dar boğaza girmesi ve fosil yakıtların fiyatlarındaki düşüşlerin de etkisiyle nükleer enerjiye olan talepte azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte Three Mile Island (ABD-1979), Chernobyl (Rusya-1986) ve Fukushima (Japonya-2011) kazaları ciddi endişeleri de beraberinde getirmiştir. Tüm bu etmenler 1990’lı yıllara gelindiğinde nükleer bilimin gelişmesinde bir duraklamaya neden olmuştur. Buna rağmen bazı ülkeler nükleer reaktör yapımına devam etmişlerse de nükleer enerji kullanımında önemli bir artışa sebebiyet vermemiştir (TAEK, 2010; Akkuş, 2010; Terkos, 2018). Şekil 1’de 1965-2010 yılları nükleer enerji gelişim süreci görülmektedir.

Nükleer teknoloji, mevcut ve oluşacak enerji gereksiniminin karşılanması için pek çok avantaja sahip olan iyi bir alternatiftir. Kalkınmayı hızlandıran ileri bir teknoloji olması, enerji açığını hızlı bir şekilde kapatacak bir kapasitede olması, konsantre yakıt kullanılması, kullanılan yakıtın pahalı olmaması, yakıtın stoklanabilir olması, üretim ve taşıma gibi giderlerinin yüksek olmaması, az atık ortaya çıkması ve yerli kaynakların olması nükleer enerjinin avantajlarıdır. Nükleer enerji, tahmin edildiği gibi pahalı bir enerji değildir, sera gazı ve asit yağmuru etkilerinin de olmamasından dolayı çevreyi kirletmemektedir. Elbette bunca avantaja rağmen dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan en önemlisi hiç şüphesiz canlılar ve çevre açısından devam eden kuşular ve önyargılardır. En önemli kuşulardan biri de atom bombası yapılabilme ihtimalidir. En az bu dezavantaj kadar önemli bir diğeri de atığın imha edilmesi aşamasında yaşabileceği düşünülen problemlerdir. Nükleer enerji yenilenemeyen bir enerji türü olduğu için belirli bir zaman sonunda tükenmeye mahkumdur (Kaya, 2008).



Şekil 1: 1965-2010 yılları nükleer enerji gelişim süreci (TAEK, 2010)

## 2. Uranyum

Günümüzde uranyum ve toryum nükleer enerji hammaddeleri olarak adlandırılmaktadır. Doğada serbest halde bulunmayan uranyum çeşitli elementlerle bileşikler oluşturarak uranyum minerallerini meydana getirmektedir. Birçok uranyum içerikli mineral bulunmasına rağmen, ekonomik yatak oluşturan uranyum mineralleri otinit, peşblend (uraninit), kofinit ve torbernit'dir (DPT,1996; Demirkıran, 2018). Tablo 1'de uranyumun özellikleri gösterilmiştir.



Tablo 1: Uranyumun özellikleri (Zararsız, 2005)

Atom numarası	92
Simge	U
Grup, periyod, blok	3B, 7, f
Element Serisi	Aktinitler
Görünüş	Metalik gri
Atom ağırlığı	238,0289
Maddenin hali	Katı
Kaynama noktası (°C)	3818
Ergime noktası (°C)	1132
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	19,07
Sıvı haldeki yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	17,3
Ergime ısısı (kJ-mol)	15,48
Buharlaşma ısısı (kcal/g-atom)	110
Isı kapasitesi (J/mol*K)	0,12
Kaynaşma (Füzyon) ısısı (kcal/g-atom)	2,7
Kristal yapısı	Ortorombik
Atom yarıçapı (pm)	156
Elektriksel iletkenlik (ohm <sup>-1</sup> )	0,034
Isıl iletkenlik (cal/(s/cm/°C))	0,064
Özgül ısı kapasitesi (cal/g)	0,028

Uranyum, reaktörlerde kullanılmak amacıyla nükleer yakıt haline getirilinceye kadar cevher arama ve yatağın işletilmesi, cevherin çıkarılması, sarı pasta (yellowcake) üretimi, sarı pastanın arıtılması (ADU yapımı), kalsinasyon ve UO<sub>2</sub>'ye indirgeme, UO<sub>2</sub>'nin UF<sub>4</sub>'e dönüştürülmesi ve UF<sub>4</sub>'den UF<sub>6</sub> yapımievrelerinden geçmektedir. Uluslararası piyasalarda sarı pasta halinde işlem gören uranyumda ürün standardı olarak sarı pastanın en az %60 U içermesi istenmekte ve UO<sub>2</sub>, UF<sub>6</sub> gibi arıtılmış bir uranyum bileşiğinde diğer elementlerin toplamının 1 gr uranyum için 300 ppm'den fazla olmaması gerekmektedir (DPT, 1996; Kaya, 2013).

Dünyada hali hazırda nükleer enerji konusunda araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Uzun süreli nükleer enerji kullanımı, nükleer yakıt olarak kullanılan uranyuma erişimin yeterli derecede sağlanabilmesi ile doğru orantılıdır (Zararsız, 2005). Bilinen Dünya kazılabilir uranyum kaynakları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Bilinen Dünya kazılabilir uranyum kaynakları (WNA, 2014)

Ülke	Uranyum (ton)	Dünya (%)
ABD	207.400	%3,5
Avustralya	1.706.100	%28,9
Botsvana	68.800	%1,2
Brezilya	276.100	%4,7
Çin	199.100	%3,4
Güney Afrika	338.100	%5,7

Kanada	493.900	%8,4
Kazakistan	679.300	%11,5
Moğolistan	141.500	%2,4
Namibya	382.800	%6,5
Nijerya	404.900	%6,9
Özbekistan	91.300	%1,6
Rusya	505.900	%8,6
Tanzanya	58.500	%1,0
Türkiye	9.129	%0,16
Ukrayna	117.700	%2,0
Ürdün	33.800	%0,6
<b>Dünya Toplam</b>	<b>5.905.829</b>	

Uranyum aramalarına Türkiye’de de yer verilmiş ve 1990 yılı sonu itibariyle 5 yatakta yapılan çalışmalar sonucu toplamda 9.129 ton görünür uranyum rezervi keşfedilmiştir. Köprübaşı (Manisa), Fakılı (Uşak), Küçükçavdar (Aydın), Sorgun (Yozgat) ve Demirtepe (Aydın) yörelerinde bulunan uranyum cevherleri sırasıyla %0,4-0,05  $U_3O_8$ , %0,05  $U_3O_8$ , %0,04  $U_3O_8$ , %0,1  $U_3O_8$  ve %0,08  $U_3O_8$  ortalama tenörlüdür ve toplam görünür rezervleri sırasıyla 2.852, 490, 208, 3.850 ve 1.729 tondur. (DPT, 1996).

### 3. Nükleer Santraller

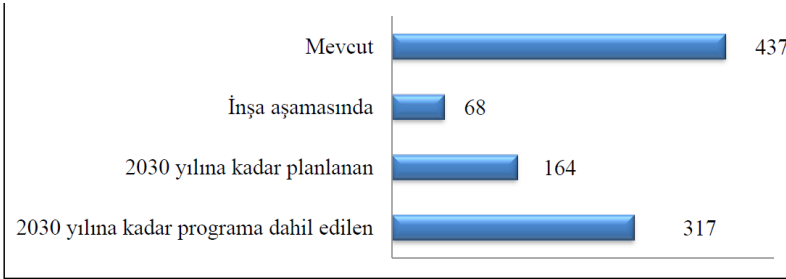
Yüksek teknolojiye sahip nükleer güç santralleri bütün aşamalarında özel uygulamalar gerektiren tesislerdir. Sadece nükleer enerji üretimine özel olarak bağımsız bir kuruluş denetiminde işletilmektedirler. Elektrik üretiminin Dünya’da birincil kaynağı kömür, ikincil kaynağı da doğalgaz iken; Türkiye’de ise ilk sırayı doğalgaz, ikinci sırayı kömür almaktadır. Dünya’da ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim oranı sırasıyla %3,7 ve %3,1 seviyelerindedir. Dünya elektrik ihtiyacının yaklaşık olarak %13’ü nükleer enerjiyle karşılanmaktadır (TMMOB Fizik Mühendisleri Odası, 2011; T.C. ETKB, 2013). Tablo 3’de Dünya’da ve Türkiye’de üretilen elektriğin enerji kaynaklarına göre dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 3: Dünya’da ve Türkiye’de üretilen elektriğin enerji kaynaklarına göre dağılımı (T.C.ETKB, 2013)

Enerji	Dünya (%)	Türkiye (%)
Doğalgaz	22,2	43,7
Hidrolik	16,0	24,2
Kömür	40,6	27,5
Nükleer	13,0	0,0
Petrol	4,6	1,5

Diğer (Yenilenebilir, vb.)	3,7	3,1
<b>Toplam</b>	<b>21.431 TWh</b>	<b>240 TWh</b>

2030 yılına kadar yapılması planlanan ve ülkelerin mevcut programlarında yer alan nükleer reaktör sayıları sırasıyla 164 ve 317 adettir. 15 ülkede elektrik üretiminin %20'sinden fazlası nükleer enerjiyle karşılanmaktadır. ABD 104 nükleer reaktör ile sayı bakımından üstünlüğünü korurken, elektrik üretiminde %78'lik nükleer enerji payıyla Fransa ilk sıradadır (T.C. ETKB, 2013). Şekil 2'de Dünya'daki nükleer güç reaktörler sayısı şematize edilmiştir.



Şekil 2: Dünya'daki nükleer güç reaktörlerinin sayısı (T.C. ETKB, 2013)

Doğalgazın %98'inin, petrolün %92'sinin ve kömürün %30'unun ithal edildiği ülkemizde, enerjide dışa bağımlılığımızın %72 olduğu görülmektedir. Petrol ve doğalgazca zengin olan ülkelerde dahi (ABD, Meksika, Kanada, Güney Afrika, Rusya) nükleer santrallerin var olması oldukça önemlidir. Bununla birlikte güneş, rüzgar ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji elde edilen santrallerin kurulması için gerekli olan arazinin kullanım durumları kültürel ve doğal sit alanları, yollar, orman ve konut gibi nedenlerden dolayı kısıtlıdır. Enerjide dışa bağımlılık ve kısıtlar devam ederken, elektrik tüketim oranları gün geçtikçe artmaktadır (T.C. ETKB, 2013).

Son yıllarda ülkemizde nükleer enerji gereksiniminin zorunlu olduğu fark edilmiş ve beraberinde nükleer santral projeleri üzerinde çalışmalar başlamıştır. Gülnar-Akkuyu(Mersin)mevkii ve İnceburun(Sinop) bölgesine yapılması planlanan iki nükleer santral projesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. 13 Aralık 2010 tarihinde Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş. isimli proje şirketi kurularak faaliyetlerine başlamış; Akkuyu Sahası 2011 yılında proje şirketine tahsis edilmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Japonya Hükümeti arasında 3 Mayıs 2013'de İnceburun NGS tesisi ve işletimi için bir anlaşma imzalanmıştır (T.C. ETKB, 2013; Sürmeli, 2016; Kaya, 2018).

Uranyum ve toryum madenciliği, nükleer yakıt hazırlanması, zenginleştirme işlemleri, cevher üretimi, yakıtın yeniden işlenmesi, yakıtın depolanması ve kapatılan reaktörlerin sökülmesi esnasında nükleer enerjinin çevreye etkileri görülmektedir. Çevreye olabildiğince en az atığı bırakmak, her sanayi kolunda olduğu gibi nükleer teknolojide de temel hedeftir. Nükleer santrallerde, diğer santrallerde görüldüğü gibi bir yanma olayı olmamakla birlikte, santrallerden ve özellikle reaktör binasından birinci veya ikinci çevrimde gerçekleşebilecek olası sızıntı veya kaçaklardan proses buharı vasıtasıyla radyoaktif elementlerin kontrolsüz bir biçimde çevreye yayılmaması için binalar sürekli alçak basınç altında tutulmaktadır (Kadıoğlu & Telliöğlu, 1996; Özyurt, Seyitoğulları & İyit, 2007).

Nükleer enerji üretimi sırasında oluşan atıkların bertarafında; reproses edilme safhasında radyoaktif emisyonların hava kirliliğine sebebiyet vermesi ve radyoaktif atıkların uzaklaştırılması safhasında da olası bir kazanın istenmeyen etkilerin oluşmasına sebebiyet verebilme ihtimali, nükleer santrallerin neden olduğu iki olumsuz etki olarak tanımlanmaktadır. Gaz, sıvı ve katı halde meydana gelen radyoaktif atıkların miktarı reaktör tipine, reaktör tasarımına, çalışma zamanına ve reaktörün inşası aşamasında kullanılan malzemeye doğru orantılıdır. Sıvı ve gaz atıklar az da olsa çevreye karışmaktadır. Nükleer bir atık on binlerce yılda yok olmasına rağmen; uzun vadede havaya, suya ve toprağa karışan radyasyonun insan ve bitkiler üzerinde etkisi devam etmekte; çevreye yayıldığı için besin veya soluma yoluyla canlılara geçmektedir. Jeologlarca belirlenen en uygun yöntem mevcut atıkların çeşitli koruma tabakaları ile kaplanarak yeraltında uzun bir süre kararlılığını devam ettirebilecek jeolojik formasyonlar içine gömülmesidir. Henüz bir gereksinim doğmadığından bu sistem hali hazırda hayata geçirilmemiştir. Söz konusu depolama sistemine ilişkin jeolojik araştırmalar, çeşitli güvenlik ve maliyet analizleri devam etmekte ve bazı ülkelerde araştırma laboratuvarları kurularak bu tahminlerin doğruluğu incelenmektedir. Uranyum ve toryum üretimi Türkiye’de henüz başlamadığı için söz konusu çevresel sorunlar hali hazırda mevcut değildir. İlerleyen yıllarda nükleer teknolojinin ülkemizde kullanılması planlandığı için, olası sorunların tespit edilmesi ve gelişebilecek her türlü vaka için acil durum planları yapılması oldukça büyük önem taşımaktadır. Risklerin en aza indirilerek maksimum güvenli bir ortamda çalışılması, hem canlı sağlığı hem de çevrenin korunması açısından gereklidir (Goncaloğlu, Ertürk & Ekdal, 2000; Demircioğlu, 2003; Ertürk, 2006; Konyalı, 2006; Kaya, 2002).

#### 4. Toryum

Toryumun keşfi, torit mineralinin analizi sırasında İsveçli kimyacı Berzelius tarafından Norveç'te gerçekleştirilmiştir. Monazitten toryum üretimi ABD'nin Karolina eyaletinde 1893 yıllarında başlamış, ancak 1895 yıllarında Brezilya ön plana geçmiştir. Uranyum ve yaklaşık 60 mineralin yapısında bulunan toryum, doğada kendi başına var olan ve varlığı diğer bir radyoaktif elementin varlığına bağımlı olmayan iki ana radyoaktif elementtir. Genellikle nadir toprak elementlerini de bünyesinde barındıran bastnazit, monazit ve torit toryum üretiminde kullanılan minerallerdir. Toryum, bastnazit, torit ve torianitin esas bileşenidir. %62 toryum içeren torit, bünyesinde ayrıca bakır, magnezyum, uranyum, alüminyum, kalay, manganez, demir, kurşun, sodyum ve potasyumlu silikatları da bulundurmaktadır. %90 toryum oksit içeren torianit en zengin toryum minerali olmakla beraber, uranyum ve nadir mineralleri de ihtiva etmektedir. Yoğunluğu  $9,7 \text{ gr/cm}^3$ 'e kadar çıkabilen torianit, bilinen en ağır minerallerdendir. Seryum ihtiva eden nadir toprak elementleri fosfatları ve toryumdan oluşan monazit, hali hazırda en önemli toryum kaynağıdır. Toryumun içeren minerallerden biri olan bastnazit minerali sarı renklidir ve HCl ve  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 'de çözünmektedir. Toryum, bastnazit ((Ce,La)FCO<sub>3</sub>) ve bünyesinde %4-12 oranında toryum barındıran monazitin saflaştırılmasıyla bir yan ürün olarak üretilmektedir. Toryum minerallerinin önemli bir kısmı aynı zamanda nadir toprak mineralleridir. Toryumun Th<sup>223</sup>'den Th<sup>235</sup>'e kadar on üç adet radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Yarılanma ömrü 1,39·1010 yıl olan Th<sup>232</sup> izotopu toryumun doğal halde bulunan tek izotopudur. Toryumun fiziksel özellikleri Tablo 4'de gösterilmiştir. (Akar & Özmerih, 1974; İpekoğlu, 1983; DPT, 1996; Kopuz & Bilge, 1997; Kaya, 2002; Ertuğrul, 2004; Ünak, 2007).

Tablo 4: Toryumun fiziksel özellikleri (Kaya, 2002)

Atom numarası	90
Periyodik grubu	Aktinit Nadir Toprak Elementi
Atom ağırlığı (gr)	232,04
Yoğunluk ( $\text{gr/cm}^3$ ) (20°C'de)	11,72
Oda sıcaklığındaki hali	Katı, radyoaktif, çekilebilir, dövülebilir
Renk (metal)	Gümüşi gri/beyaz
Sertlik	
Az karbon içerenlerde	70-80 VPN
İodite metalde	30-40 VPN
Termal Data	
Ergime noktası (°C)	1750
Kaynama noktası (°C)	4000
Fizyon ısısı (kJ/mol)	16.10
Buharlaşma ısısı (kJ/mol)	514.40

Uranyuma kıyasla korozyona daha dayanıklı olan toryumun kimyasal özellikleri hafniyum, zirkonyum ve titanyum elementlerine oldukça benzediğinden bu elementlerle beraber periyodik sistemin IVB gurubunda incelenmektedir. Suda çözünmeyen toryum, HCl ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'de çözünmektedir. Sülfat, florit, klorit ve nitrat içeren toryum bileşikleri suda çözünmemektedir. Toryum; fosfat, florür ve iyodür gibi iyonlarla asitlerde çözülmemen ya da oldukça az oranlarda çözünabilen, toryumun diğer maddelerden ayrılması ve analizinde kolaylık sağlayan bileşikler meydana getirmektedir. Oda sıcaklığında dengeli olan, toz halinde iken kolaylıkla yanarak ThO<sub>2</sub>'ye dönüşen ve 100°C'de dahi sudan etkilenmeyen toryum metalizmut, bakır, uranyum, magnezyum, berilyum, kobalt, altın, volfram, , krom, zirkonyum, molibden, sodyum, kurşun, nikel, çinko, demir, gümüş, platin ve sezyum elementleriyle önemli alaşımlar meydana getirmektedir. Farklı mineralojik bileşikler halinde yaygın olarak yer kabuğunda bulunduğu bilinen toryuma bazik kayalara kıyasla asit karakterli granitik kayalarda daha çok rastlanmaktadır (İpekoğlu, 1983; Kopuz & Bilge, 1997; ATSDR, 2015). Tablo 5'de toryum mineralleri ve bu minerallerin içerdikleri toryum yüzdeleri gösterilmiştir.

*Tablo 5: Toryum mineralleri (Akar ve Özmerih, 1974)*

<b>Mineral adı</b>	<b>Kimyasal formülü</b>	<b>Toryum (%)</b>
Allanit	(Ce, Ca, Th) <sub>2</sub> (Al, Fe, Mg, Mn) <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH)	3,2'ye kadar
Ampangabit	(Y, Er, U, Ca, Th) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Fe, Ti) <sub>7</sub> O <sub>18</sub>	1,8
Bastnazit	(Ce, La)(CO <sub>3</sub> )F	Ortalama 0,3
Brannerit	(U, Ca, Fe, Y, Th) <sub>3</sub> (Ti, Si) <sub>5</sub> O <sub>16</sub>	0,26-4,4
Çeralit	(Ca, Th)PO <sub>4</sub>	25,9-27,7
Çevkinit	(Fe, Ca)(Ce, La) <sub>2</sub> (Si, Ti) <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	18,4'e kadar
Eşinit	(Ce, Ca, Fe, Th)(Ti, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	9,9-15,4
Fergusonit	(Y, Er, Ce, U, Th)(Nb, Ta, Ti)O <sub>4</sub>	0,7-2,5
Formanit	(Y, Er, U, Th)(Ta, Nb)O <sub>4</sub>	1,1
Huttonit	Th(SiO <sub>4</sub> )	71,6
Khlopinit	(Y, U, Th) <sub>3</sub> (Nb, Ta, Ti, Fe) <sub>7</sub> O <sub>20</sub>	1,9
Ksenotim	YPO <sub>4</sub>	2,2'ye kadar
Monazit	(Ce, La)PO <sub>4</sub>	26'ya kadar
Öksenit	(Y, Ca, Ce, U, Th)(Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,3'e kadar
Pilbarit	ThO <sub>2</sub> ·UO <sub>3</sub> ·PbO·2SiO <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	27,4
Polikras	(Y, Ca, Ce, U, Th)(Ti, Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,7'ye kadar
Priorit	(Y, Er, Ca, Fe, Th)(Ti, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0,5-14,9
Samarskit	(Y, Er, Ce, U, Fe, Th)(Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	3,7'ye kadar
Torianit	(Th, U)O <sub>2</sub>	45,3-87,9
Torit	ThSiO <sub>4</sub>	25,2-62,7
Torogummit	Th(SiO <sub>4</sub> ) <sub>1-x</sub> ·(OH) <sub>4x</sub>	18,2-50,8

Monazit ve bastnazit, toryumun ekonomik olarak elde edildiği minerallerdendir. Sertliği 4,5, yoğunluğu 5,0 gr/cm<sup>3</sup> olan, kompleks

karbonat-silikat kayaçlarda dissemine halde ve daha çok damarlar halinde bulunan bastnazit, seryum ve seryum alt grubu elementleri içeren bir florokarbonat mineralidir. Dünya'nın en zengin bastnazityatağı; bünyesinde karbonat mineralleri (%60), barit (%20), nadir toprak elementleri florokarbonatlarını (%10) ve silis ve diğer mineralleri (%10) içeren Mountain Pass (ABD-Kaliforniya)'dir. Dünyanın bilinen en büyük nadir toprak elementleri oluşumu, başlıca nadir toprak mineralleri bastnazit (%73 nadir toprak oksitleri) ve monazit (%69,4 nadir toprak oksitleri) olan Baotou (Çin) kompleks demir cevheri yatağıdır. Başlıca mineralleri bastnazit ve monazit olan cevherin diğer mineralleri florit, barit, kalsit ve silikatlardır ve ortalama tenörü %5-7 nadir toprak oksitleri ve %28,32 demirdir. Bu bölgenin (Bayan Obo) üç adet cevher yatağının toplam nadir toprak oksitleri rezervi 36 milyon tonla dünya rezervinin %80'ini oluşturmaktadır. Vietnam'ın kuzeyinde bulunan DongPao yatağı %5-14 arası nadir toprak tenörlü olup barit, florit, bastnazit-kuars, demir ve mangan hidroksitlerinden oluşmasına rağmen da henüz değerlendirilmemiş bir yataktır (Akar & Özmerih, 1974; Zararsız & Tanrikut, 2003).

Toryum oksit ( $\text{ThO}_2$ ), bilimsel cihazlarda, taşınabilir gazlı lambalarda, havacılık ve uzay araştırmalarında, pota ve seramik parça imalatında kullanılmaktadır. Toryum metali televizyonlarda, tungsten lamba filamentleri kaplamasında ve elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. Özel optik camlarda çok saf toryum az miktarda kullanılmaktadır. Birçok organik reaktifin de bileşeni olan toryum ayrıca karbonmonoksiti su gazına, sülfürdioksiti sülfür trioksite ve amonyumu nitrik aside oksitlemek için katalizör olarak kullanılmaktadır (Akar & Özmerih, 1974; Kaya, 2002; Zararsız & Tanrikut, 2003; TÜBİTAK, 2015).

Toryuma ilgi, özellikle enerji kaynağı olmasından dolayı artmış ve bu da beraberinde toryum yakıtlı nükleer santrallerin araştırma ve geliştirmesine yol açmıştır. ABD, Avustralya, Kanada, Güney Afrika, Grönland, Brezilya ve Hindistan'da 2013 yılından itibaren projelerin keşif ve geliştirilmesine devam edilmektedir. Genellikle plaser yataklar biçiminde bulunan rezervler birincil olarak monazit içindedir. Sadece toryuma dayalı monazit zenginleşmesi henüz mevcut değildir (Kaya, 2002; USGS, 2014). Dünya toryum rezervleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6: Dünya toryum rezervleri (USGS, 2014)

Ülkeler	Rezerv (ton)
ABD	440.00
Avustralya	410.00
Brezilya	16.000
Diğer Ülkeler	90.000
Güney Afrika	35.000

Hindistan	290.000
Kanada	100.000
Malezya	4.500
Türkiye	380.000
Toplam	1.780.000

Brezilya, Hindistan, Malezya ve Vietnam'da monazit yıllık yaklaşık olarak 10.000 tondan daha az üretilmektedir ve ticari olarak nadir toprakların geri kazanımı olmaksızın toryum üretimi henüz ekonomik boyutlarda değildir. Mevcut verilere göre Dünya toryum üretiminin çoğunluğu Hindistan'da gerçekleşmekte, Çin'in üretim değerleri net olarak bilinmemektedir. ABD'de toryum monazitin bir yan ürünü olarak elde edilmekte; monazit de zirkonyum ve titanyum mineralleri için ağır mineral kumlarının kazanımı esnasında yan ürün olarak elde edilmektedir (Kaya, 2002; USGS, 2014; World Nuclear Association, 2014).

Toryum yatakları açısından Türkiye de önemli rezervler arasında yer almasına rağmen henüz aktif olarak toryum üretimi yapılmamaktadır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğüne yapılmış olan çalışmalar neticesinde Sivrihisar-Kızılcaören (Eskişehir) bölgesinde toryum ve nadir toprak elementleri içeren ve 380.000 ton görünür rezervli kompleks bir cevher yatağı tespit edilmiştir. Bu yatağın tamamının araştırılması sonucu bu rezerv miktarının iki katı bir değere erişeceği öngörülmekte ise de, cevher zenginleştirilmesi ile ilgili problemler henüz çözüme ulaşmamıştır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Eti Holding A.Ş. ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumunca yapılmış olan çalışmalar neticesinde, bu yatağın direkt olarak toryuma dayalı değerlendirilmesinin mümkün olmadığı görülmüştür. Aynı zamanda barit-florit ve nadir toprak elementleri içeriklerine de sahip olmasından dolayı bu yatağın kompleks bir cevher olarak değerlendirilmesi ve yapılacak olan çalışmaların desteklenmesi önemlidir (Atılğan, 2000; Yüksel&Örgün, 2000; TAEK, 2012; MTA, 2013).

İnce taneli ve hemen hemen tamamen serbestleşmiş piroklastik tüfler biçiminde yataklanmış nadir toprak elementleri içerikli bir diğer kompleks cevherleşme de Çanaklı (Isparta) bölgesinde keşfedilmiştir. Bu yatakta nadir toprak elementlerinin kaynak mineralleri çevkinit, sfen ve allanit; toryum ve uranyumun kaynak mineralleri de uranotorit, betafit ve torittir. Titanyum, uranyum, manyetit, toryum, skandiyum, zirkon ve niobyum da olası diğer yan ürünlerdir. Rezervde, ortalama 725 ppm toplam NTE, 400-6300 ppmTh, %0.48 Ti, 398 ppmZr, %0.75 manyetit, ve 100-1700 ppm U içerikli toplam 49 milyon ton cevherleşme tespit edilmiştir (AMR, 2011).



Ayrıca, Hekimhan-Kuluncak (Malatya)'daki benzer özelliklere sahip toryum yatağının da yapılacak olan çalışmalar neticesinde mevcut rezerve katkı yapacağı düşünülmektedir (DPT, 1996).

Genel olarak toryum eldesimonazit ve bastnazit minerallerinden yapılmaktadır. Mineral kumu rezervleri monazit üretiminin önemli bir kısmının yapıldığı rezervlerdir. İlmenit, zirkon, granat, manyetit, rutil, kassiterit, stavrolit gibi mineraller monazitin az bir kısmını teşkil eden ağır mineral konsantrisinde bulunmaktadır. Eleme, Reichert konileri ve spiraller gibi sınıflandırma, ve gravite yöntemlerinin uygulanmasıyla %1-20 arası monazit içeriğine sahip kaba konsantreler elde edilmektedir. Daha yüksek monazit içeriğine sahip konsantreler ise elektrostatik ayırma, elektromanyetik ayırma ve gravitemetodlarıyla, bazen de flotasyonla elde edilmektedir. Ön zenginleştirme işlemlerinden sonra monazit konsantrisi alkali veya asit liçi proseslerine tabi tutulmaktadır. Alkali proseslerde toryum ve nadir toprak elementleri, sıcak sodyum hidroksit (%70'lik) çözeltisi kullanılarak çözünmeyen hidroksitler şeklinde çöktürüp filtrasyon işlemiyle katı sıvı ayırımına tabi tutulmaktadır. Asit liçi prosesinde, katı fazın çözündürülmesinden sonra, toryum pH ayarlaması yapılarak çöktürülmekte veya solventekstraksiyon yöntemiyle ayrıştırılmaktadır (Akar & Özmerih, 1974; Castor&Hendrick, 2006; Bulatovic, 2010).

Yaklaşık olarak %0,2-0,3 Th içeren ve bir nadir toprak florakarbonatı olan bastnazit (Ce, La)FCO<sub>3</sub> yataklarından en önemlileri MountainPass-Kaliforniya (ABD), Mianning (Çin), Baotou (Çin) ve Weishan (Çin)'dir. Bastnazit mineralinin %75'ini nadir toprak oksitleri (NT<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oluşturmaktadır. Endüstriyel olarak bastnazit zenginleştirilmesi günümüzde çoğunlukla HCl liçi, oskitleyici kavurma ve solventekstraksiyon aşamalarını kapsamaktadır (Özbayoğlu & Atalay, 2000; Zhang & ark., 2010; Wang & ark., 2013).

## 5. Nükleer Yakıt Olarak Toryum

Nükleer reaktör içerisinde nötron bombardımanı vasıtasıyla bölünebilir ürün veren bir madde olan toryum, kendiliğinden bölünebilen (fisil) bir radyoaktif yakıt değildir. Toryuma dayalı yakıt çalışmaları 160'lı yıllarda başlamış olsa da, toryumun güç reaktörlerinde kullanılmaya başlaması 1976 yılında gerçekleşmiştir. Hali hazırda ABD, Rusya, Japonya, Almanya, Hindistan ve İngiltere'de araştırma geliştirme çalışmalar devam etmektedir. ABD'de Shippingport reaktöründe basınçlı su reaktörlerinde toryum tabanlı yakıt kullanımını incelenmiştir. Fisil malzeme olarak Pu ve U<sup>235</sup> kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, toryum kullanımının reaktör kalbi veya işletme stratejisi güvenlik marjlarını etkilemediği kanaatine varılmıştır. Hafif sulu üretken reaktör kavramı da 1977-1982 yılları arasında bu reaktörde başarılı bir şekilde denenmiştir. ABD'de toryumu yakıt olarak

kullanan tek ticari nükleer reaktör olan Fort StVrain reaktörü Almanya'da 1976-1989 yılları arasında AVR reaktöründen geliştirilmiştir. Yaklaşık olarak 25 ton toryum kullanılan yüksek sıcaklıklı, helyum soğutmalı ve grafit moderatörlü bu reaktör, 330 MW güçte Th/U (yüksek zenginlikli uranyum) yakıtla çalıştırılmıştır. Yarısından daha fazlası Th/U (yüksek zenginlikli uranyum) yakıt içerikli 674.000 adet küresel yakıtla 1983-1989 yılları arasında işletilen 300 MW gücündeki toryum yüksek sıcaklık reaktörü (THTR), Almanya ArbeitsgemeinschaftVersuchsreaktorGmbH (AVR) reaktöründengeliştirilmiştir.Th/Pu tabanlı yakıt test elemanı Almanya'da bulunan 60 MW gücündeLingen kaynar sulu reaktöründe kullanılmıştır(Kaya, 2008; TAEK, 2013).

Günümüzde nükleer santraller $Cm^{244}$ ,  $Am^{241}$ ,  $Np^{237}$ ,  $Am^{243}$  gibiçeşitli nükleer atıklara neden olmaktadır. Bazı güvenlik problemleri ve maliyetin yüksekliği bu atıkların saklanması için tehlikeli hale getirmektedir. Önceden yapılmış olan çalışmalardan elde edilen veriler incelendiğinde toryum yakıtından  $U^{233}$  gibi fisyonolabilen bir yakıtın elde edilebildiği görülmüştür.Bununla beraber, yine hibrid reaktörlerde bazı nükleer atıklarınhem $Am^{242}$  ( $t_{1/2} = 152$  yıl) ve  $Cm^{245}$  ( $t_{1/2} = 9300$  yıl) gibi yarılanma ömrü daha uzun olan malzemelere, hem de yüksek termal fisyon tesir kesitli malzemelere dönüşebildiği görülmüştür (Şahin & ark., 2002).

### 5.1. Toryum Yakıtlı Prototip Reaktörler

Detaylı tanımıyla nükleer yakıt üretimi, reaktörde ışınlama ve ışınladıktan sonra geçici veya kesin olarak depolama için gereken prosesleri ve operasyonları açıklayan bir terim olan nükleer yakıt çevrimi, fisil maddenin doğahalinden reaktörde kullanılacak yakıt haline gelinceye kadar ve reaktörde kullanıldıktan sonra zarar vermeyecek bir hale getirilinceye kadar geçirdiği bütün evreleri tanımlamaktadır. Tek geçişli yakıt çevrimleri (Radkowski hafif su reaktörü (LWR) ve ağır su reaktörleri (HWR)), hızlı üretken reaktör yakıt çevrimi (FBR), termal reaktör geri dönüşlü yakıt çevrimi (MOX yakıt) ve toryumlu yakıt çevrimleri olmak üzere; yakıt çeşidi, reaktör tipi ve kullanılmış yakıt yönetimi seçeneklerine bağlı olarak çeşitli nükleer yakıt çevrimleri mevcuttur (Can, 1997).

Radkowski Hafif Su Reaktörü (LWR), Ağır Su Reaktörleri (HWR), SSTAR Reaktörü, Basıncılı Su Reaktörleri (PWR), CANDU Tipi Reaktör, Hızlı Üretici Reaktör (FBR), Enerji Yükselteçli/Hızlandırıcı Reaktörler (EA), Çakıl Yataklı Modüler Reaktörler (PBMR) ve Yüksek Sıcaklıklı Gaz-Soğutmalı Reaktörler (HTGR) gibi reaktörler 1945 yılından itibaren Dünya'da kullanılmış olan toryum yakıtlı prototip reaktörlerdir (Kaya, 2008).

### 5.1.1 Radkowski Hafif Su Reaktörü (LWR)

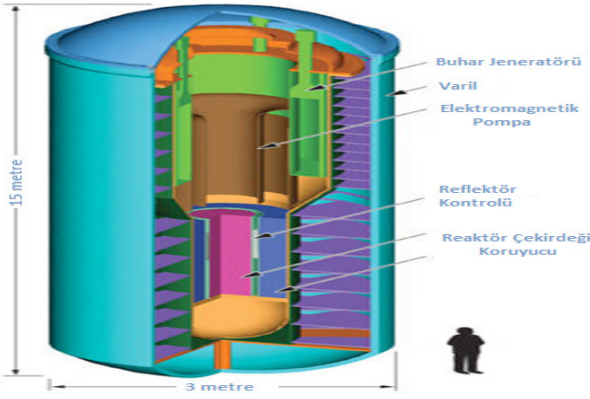
Toryum yakıt tasarımı nedeniyle, bir Radkowski hafif su reaktöründe üretilen Pu miktarı, konvansiyonel U-yakıt reaktörüyle üretilen Pu miktarının yaklaşık olarak %20'sine tekabül etmektedir. 1977'den itibaren beş yıl süresince Radkowski Shippingport Pensilvanya'da (ABD) birtakım Th-U yakıt deneyleri gerçekleştirmiştir. Karşılaştırılabilir U-yakıt reaktörüne nazaran daha az yakıt kullanan bir tasarımı olduğundan dolayı reaktör çekirdeği %20'ye kadar görece daha az pahalıdır ve ek tasarruflar meydana gelmiştir. Çalışma süresince Radkowski tasarımı karşılaştırılabilir U-yakıt reaktörüne göre daha az yakıt harcamıştır. Hafif sulu üretken reaktörün kullandığı yakıt U-Th yakıtıdır (Kaya & Bozkurt, 2003).

### 5.1.2 Ağır Su Reaktörleri (HWR)

Yakıt olarak sınırlı zenginleştirilmiş veya doğal uranyumun kullanıldığı bu reaktörlerin Radkowski hafif su reaktörlerine göre önemli avantajları vardır. Kompleks olmayan bir yakıt çevrimine sahip olması, reaktör çalışır haldeyken yakıt yüklemesinin yapılabilmesi ve yakıtın zenginleştirilmesine gereksinim duyulmaması bu reaktörün avantajlarından. Ağır su üretimi için bir tesise ihtiyaç duyulması, ağır su üretim maliyetleri ve giderlerinin pahalı olması, termodinamik verimliliğin düşük olması ve Radkowski hafif su reaktörü ile kıyaslandığında kor bölgesinin oldukça büyük olması da dezavantajlarıdır (İnci, 1978; TMMOB Fizik Mühendisleri Odası, 2011).

### 5.1.3 SSTAR Reaktörü

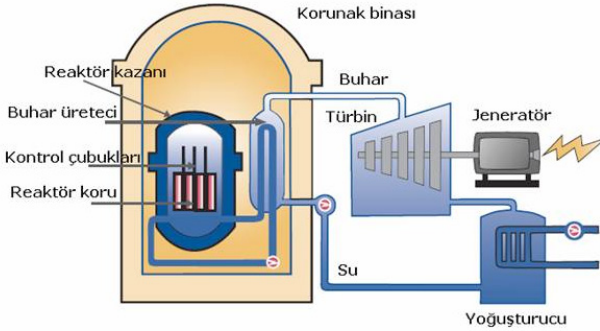
ABD'nin gelişmiş nükleer enerji sistemleri programı kapsamında geliştirilen küçük kurşun soğutmalı hızlı reaktör (SSTAR), güvenli, küçük ve taşınabilir otonom bir reaktör olarak bilinmektedir. GNEP (Küresel Nükleer Enerji Ortaklığı)'nin misyonu ve nükleer silah kullanımının yaygınlaşmasını önlemek amacıyla çeşitli özellikler içerecek şekilde, gelişmekte olan ülkelerdeki enerji güvenliğini temin etmek adına dizayn edilmiş bir sistem olan SSTAR'ın amacı, ana elektrik sistemi bağlantıları olmaksızın, gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaçlarına karşılık olabilecek bir biçimde aralıklı olarak elektrik üretimini sağlamaktır. 15 metre yükseklik ve 3 metre genişlikte olan ve ağırlığı 500 ton civarında olan SSTAR reaktörleri 100 megawattlık taşınabilir, kapalı ve küçüktürler.  $Th^{232}$ 'yi  $U^{233}$ 'e dönüştüren hızlı protonlar, kurşun hedeften nötron üretmektedirler (Sienicki & ark., 2005; Smith & ark., 2008; Kaya, 2008). Şekil 3'de SSTAR reaktörü şematize edilmiştir.



Şekil 3: SSTAR reaktörü (TAEK, 2013)

### 5.1.4 Basınçlı Su Reaktörleri (PWR)

Dünya’da yaygın olarak çalışan reaktör tiplerinin başında gelen basınçlı su reaktöründe soğutucu ve yavaşlatıcı olarak normal su kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklarda sıvı halde kalması, soğutucunun yüksek basınçta (15,5 MPa veya 2/250 psi) tutulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Kuvvetli pompaların kullanımıyla soğutucu birincil sistemde dolaştırılmakta ve ısı değişiricileri aracılığıyla da soğutucu ısısı ikincil devreye transfer edilmektedir. Son olarak da üretilen buhar, elektriği üretecek olan türbin jeneratörlerine gitmektedir (TAEK, 2013; Terzi, 2016). Şekil 4’de basınçlı su reaktörü şematize edilmiştir.

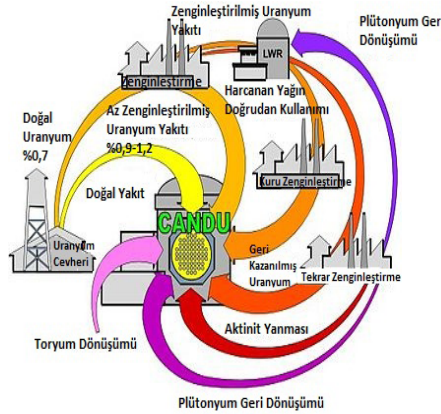


Şekil 4: Basınçlı su reaktörü (PWR) (TAEK, 2013)

### 5.1.5 CANDU Tipi Reaktörler

Soğutucu ve yavaşlatıcı olarak ağır su ( $D_2O$ , hidrojenin döteryum izotopundan oluşan su) kullanılan ve Kanada tarafından geliştirildiği için CANDU reaktörleri (Canadian Deuterium Uranium) diye tanınan bu reaktörler başta Kanada olmak üzere Pakistan, Arjantin, Güney Kore, Hindistan ve Romanya’da kullanılmaktadır. Ağır suyun yavaşlatıcı olarak kullanımı,

doğal uranyumun da yakıt olarak kullanılmasına imkan sağlamakla birlikte, uranyum zenginleştirilmesi için gerekli olan mali giderlerin ve harcanacak olan zamanın da önüne geçmektedir. Fakat birim enerji başına zenginleştirilmiş uranyum kullanan reaktörlere göre bu tip reaktörlerde yakıt kullanımını daha fazladır. Tıpkı basınçlı su reaktörlerindeki gibi soğutucu, normal suyu farklı bir devrede kaynatmak için buhar jeneratöründen geçmektedir. CANDU tasarımına göre yakıt değişimi reaktör çalışırken yapılabilmektedir. CANDU tipi reaktörlerde toryum çevrimleri repressesiz çevrim ve repressesli çevrim olmak üzere iki tiptedir. Repressesiz çevrimde  $U^{233}$  eldesi için, ışınlanan toryum dışarıda bekletilmekte ve ardından yüksek nötron akısı olan yerlere yüklenmektedir. Repressesli çevrimde  $U^{233}$  ayrılarak toryumla karıştırılıp yeni yakıt yapılmaktadır. Eğer nötron ekonomisi daha da iyileştirilerek çevirme oranı 1 dolaylarında ve kendi kendine yetebilen toryum çevrimleri elde edilebilirse, bu çevrim yılda oldukça düşük bir toryum ilâvesiyle ve dışarıdan herhangi bir fisyonluk madde teminine gerek kalmadan sonsuz bir enerji kaynağı olarak düşünülebilir (Kaya, 2008; TAEK, 2013; Terzi, 2016). Şekil 5’de CANDU tipi reaktör şematize edilmiştir.



Şekil 5: CANDU tipi reaktör (Kaya, 2008)

### 5.1.6 Hızlı Üretici Reaktör (FBR)

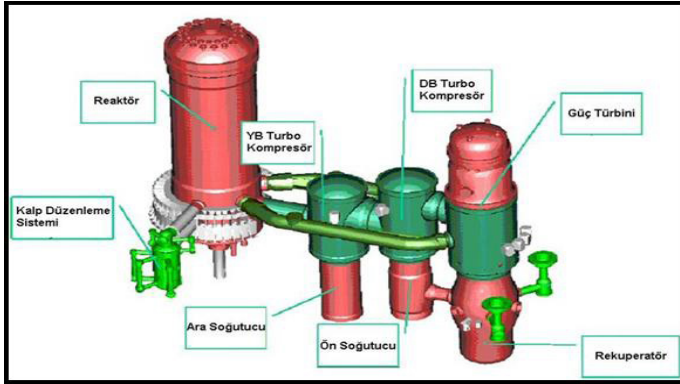
Yüksek kinetik enerjiye sahip nötronları kullanmak amacıyla tasarlanmış olan hızlı üretici reaktörler (FBR) her fisyon için termal reaktörlere göre daha fazla nötron üretmekte ve yüksek nötron enerjilerinde nötron yakalanma olasılığı düştüğü için nötronları daha verimli kullanılmaktadır. Üretilen bu nötronlar,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  gibi fertil malzemelerin nötron yakalayarak fisil malzemeye ( $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) dönüşmelerinde kullanılmaktadır. Bu yeni fisil malzeme de daha sonra reaktörde yakıt olarak kullanılmaktadır. Hızlı üretici reaktörlerde tüketilenden daha çok yakıt üreten reaktör dizaynı mümkündür (TAEK, 2013).

### 5.1.7 Enerji Yükselteçli/Hızlandırıcılı Reaktörler (Energy Amplifier)

Prof. Carlo Rubbia, Avrupa Nükleer Enerji Merkezinde (CERN) TARC deneyi ile Adyabatik Rezonans Crossing (ARC) kavramını kullanarak uzun ömürlü fizyon parçalarını verimli ve minimum maliyetle dönüştürebilen, özellikle nükleer reaktörler tarafından üretilen transuranik elementlerin bölünmeyle yok edilmesinde etkili olan bir enerji yükselteçli reaktör tasarlamıştır. Enerji, nükleer yakıt maddesinden, yakıt malzemenin verimli bir elementinden bir fisil element üretim vasıtasıyla üretilmektedir. Başlangıç kademesinden sonra, sabit uzun vadeli enerji üretiminde ortaya çıkan, fisil konsantrasyonlar ve kararlı elementler arasındaki oran önemli bir istikrara ulaşmaktadır. Kapalı bir döngü içerisinde süresiz çalışan enerji yükselteçli reaktör, doğal toryum ilavesiyle yanmış yakıtı dengeli duruma getirmek için sub-kritik birime tekrar enjekte edilmektedir (Carminati & ark., 1993; Rubbia, 1995; Kaya, 2008; Radermacher, 2015).

### 5.1.8 Çakıl Yataklı Modüler Reaktörler (PBMR)

Güney Afrika'da ESKOM ve Integrators of Systems Technology (IST) tarafından çakıl yatak teknolojisine dayalı olarak geliştirilen çakıl yataklı modüler reaktör (PBMR-PebbleBed Modular Reactor) yüksek sıcaklığa dayanıklı seramiklerden ve grafit yakıt öğelerinden oluşan yapısıyla tipik bir reaktörün kalbini tamamen eritecek kaza şartlarında dahi radyoaktif salınımına izin vermemektedir (Coşkun, 2010; TAEK, 2013). Şekil 6'da çakıl yataklı modüler reaktör şematize edilmiştir.



Şekil 6: Çakıl yataklı modüler reaktör (PBMR) (TAEK, 2013)

### 5.1.9 Yüksek Sıcaklıklı Gaz-Soğutmalı Reaktörler (HTGR)

$Th^{232}/U^{233}$  çevriminin oldukça uygun olduğu; yavaşlatıcı olarak grafitin, soğutucu olarak da helyumun kullanıldığı yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı reaktörlerde 0,8'lik bir dönüşüm oranına erişilebilmektedir (Kessler, 2003; Adalıoğlu & ark., 2003).

## 5.2 Toryum Yakıtlı Nükleer Reaktörlerin Uranyum Yakıtlı Nükleer Reaktörlere Göre Bazı Avantajları

Enerji alanında günbegün artan ve gelişen araştırmaların da neticesiyle; küçük, yeni ve taşınabilir dördüncü kuşak toryumlu reaktörlerin güncel olarak ele alınmaya başlanması ve nükleer silahlardan/bombalardan kaçış, Hindistan ve Norveç gibi toryum rezervlerince zengin olan ülkelerin toryumu alternatif bir nükleer yakıt olarak tanımlamalarının neticesinde toryum üretiminin yakın gelecekte oldukça büyük artışlar göstereceği bir gerçektir. Carlo Rubbia doğrudan radyoaktif bir element olarak kullanım alanı olmayan toryumu doğrudan radyoaktif bir element olarak kullanıp enerji elde etme üzerine çalışmalar yapmaktadır. Yakıt hammaddesi olarak kullanılan doğal toryum %100 Th<sup>232</sup> izotopundan oluştuğu için uranyumda olduğu gibi zenginleştirme proseslerine gerek duyulmayacağı söylenmektedir. Nükleer yakıt çevrim problemlerinden dolayı toryumun doğrudan yakıt olarak kullanılması henüz mümkün olmadığından bu konuyla ilgili gerekli çalışmalar ABD, Japonya, Hindistan ve Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarları'nda (CERN) yapılmaktadır. Temiz, güvenli ve ucuz nükleer enerji toryum ve uranyum karışımıyla elde edilebilmektedir. Th zinciri reaksiyon vermemekle birlikte, çevrim gereken durumlarda nötron bombardımanı kesildiği an reaktördeki yanma durmaktadır. 5 yıllık bir süreçte 1 GW enerji üretimi için 5 ton toryum veya 200 ton uranyuma gereksinim duyulmaktadır. Toryumun yakıt olarak kullanılabilmesi hususunda teknik olan çeşitli zorlukların üstesinden geldiği takdirde toryum yakıt çevrimi sayesinde doğada uranyuma kıyasla üç kat daha fazla bulunan bir yakıt malzemesine kavuşulmuş olunacaktır (Kopuz & Bilge, 1997; Kaya, 2008; Pehlivan, 2014).

Toryum oksitinin erime noktasının uranyum oksite göre 600°C daha yüksek olması, olası bir sorun halinde emniyet açısından geçici olarak güç depolaması yapmakta ve böylelikle soğutucu kaybını azaltmaktadır. Isı iletkenliğinin ve erime sıcaklığının yüksek olması işletmenin daha güvenliği olacağı anlamına gelmektedir. Uranyum yakıtlı reaktörlerden çıkartılan yakıtların tekrar işlenmesiyle nükleer bomba ve silah yapımında kullanılan plütonyum elde edilebilmektedir. Oysa aynı oranda enerji üretimi için toryum yakıtlı reaktörlerden çıkan plütonyum, uranyum reaktörlerine oranla 5-7 kat daha azdır. Toryum yakıtlı reaktörlerde yakıtın yeniden yüklenmesi esnasında geçen süre uranyum yakıtlı reaktörlerden 2-3 kat daha uzundur. Toryumun örtü olarak kullanıldığı sistemlerde 9-10 yıl civarında reaktörde kalış süresi uranyum çekirdekte daha fazladır. Bu durum hem yakıt verimini arttırmakta hem de yakıt maliyetini düşürmektedir. Chernobyl reaktörlerinde meydana gelmiş olan erime sorunu toryum yakıtlı reaktörlerde yoktur ve bu reaktörler geleneksel nükleer reaktörlerden çıkan plütonyum atıklarını yakabilmektedir.



PHWR tipi CANDU reaktörlerinde  $\text{Th}^{232}/\text{U}^{233}$  çevrimi reaktörün ana tasarımı değiştirilmeden doğrudan uygulanabilmektedir. Toryum yakıtlı reaktörleryakıt kaynaklarını arttırmakta, uranyumlu yakıt çevrimlerinde elde edilen yanma oranından çok daha yüksek bir yanma oranı sağlamakta; ve böylelikle yakıt çevrimi maliyetlerini düşürmektedir. Toryum yakıtlı reaktörler, plütonyumun herhangi bir muameleye gerek olmadan yakıt olarak kullanılmasını sağlamakta, uzun ömürlü nükleer atıkların miktarını azaltmakta ve bu sayede atıkların radyoaktivite düzeylerinin çok daha düşük sınırlarda olmasını sağlamaktadır (Adalıoğlu & ark., 2003; Kaya, 2008).

## 6. Sonuç ve Öneriler

Toplumsal olarak gelişmenin ve ekonomik olarak kalkınmanın temel kaynaklarından olan enerji, ileri ve dengeli kalkınmada insanların refah düzeyinin artması ve ülke ekonomisinin gelişmesinde belirleyici bir etmen olmaktadır. Enerjiye talebin temel hedeflerinin başında her zaman olabildiğince güvenilir, ekonomik, verimli ve çevreye dost koşullarda sağlanıyor olması gelmektedir. Türkiye'nin enerji potansiyeline baktığımız zaman da, ülkemizin kalkınması için, enerji çeşitlendirilmesine gidilmenin ve bağımsız olabilmenin yolu öz kaynaklarımız geliştirilmesi ve kullanılabilmesi için gerekli olan çalışmaların yapılmasıdır.

Uluslararası Nükleer Yakıt Çevrimi Değerlendirmesi'nin 1980 yılında yapmış olduğu tahminlerinden de görüleceği üzere Dünya enerji talebi her geçen gün artmıştır ve artmaya da devam edecektir. Bu nedenle özellikle gelişmekte olan ülkeler için nükleer enerji, ülkenin kalkınması ve enerji ihtiyacını karşılayabilmesi açısından gereklidir. Bununla birlikte, ilerleyen yıllarda sera gazının ve küresel ısınmanın da etkilerinin daha fazla oranda artmasıyla nükleer enerji ve alternatif bir radyoaktif yakıt olan toryum yakıtı önem kazanacaktır. Toryum yakıtının reaktörde kalma süresinin uranyum çekirdekten daha fazla olması ve azaltılmış yakıt tüketiminden ötürü maliyetler düşmektedir. Toryumdan  $\text{U}^{233}$  üretimi uranyum zenginleştirmesine nazaran oldukça kolay bir işlemdir. Toryum yakıtlı reaktörlerin atıklarının radyotoksitesitesi ve atık miktarı uranyum yakıtlı reaktörlerin atıklarına göre daha azdır. Ayrıca toryum yakıtı birçok reaktörde direkt olarak, bazılarında da küçük modifikasyonlardan sonra kullanılabilir özelliktedir. CANDU reaktörü, hafif sulu reaktör, yüksek sıcaklık ve enerji yükselteçli reaktörler gelecek vaat eden reaktörlerdendir. Aynı zamanda hızlı üretici reaktörler de diğer reaktörlere parçalanabilir yakıt üretebilecek özelliktedir. Bu bilgiler doğrultusunda toryumun gelecek yıllarda stratejik bir nükleer yakıt olma potansiyeline sahip olduğu söylenebilmektedir.



Bu çalışmada, son yıllarda haklı bir şekilde ilgi odağı haline gelmiş olan toryum elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, üretimi, kullanım alanları ve nükleer yakıt olarak neden bu kadar önemli olduğu, oldukça kapsamlı bir literatür araştırması yapılarak irdelenmiştir. Bu kapsamda öncelikli olarak, nükleer enerjinin tanımı yapılarak bilgi verilmiş, uranyum elementinden kısaca bahsedilmiş ve nükleer santraller hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra toryum elementi detaylı bir şekilde ele alınarak; fiziksel ve kimyasal özelliklerinden bahsedilmiş, toryum mineralleri ve Dünya ve Türkiye toryum rezervleri hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak toryumun nükleer yakıt olarak kullanımı ve toryum yakıtlı nükleer reaktörler ele alınmıştır. Çalışmanın temeli, yenilenemeyen enerji kaynaklarının yakın bir zamanda tükenecek olması bilimsel gerçeği doğrultusunda, pek çok spekülasyona rağmen ilerleyen zamanlarda nükleer enerjinin kullanılma zorunluluğunun doğacağı; ve bu nedenle de temiz bir nükleer yakıt olma potansiyeli olan toryumun değerlendirilmesinin ne derece önemli olduğunu vurgulamaktır. Dünya'nın ikinci büyük kompleks toryum rezervine sahip olan Türkiye'nin, aynı zamanda nükleer enerji reaktörleri kurma planlarının da olmasından dolayı, yerli bir nükleer yakıt olabilmek potansiyeline sahip olan toryuma gereken önemi vermelidir. Bu nedenle, hem kompleks toryum cevherinin zenginleştirilmesi hem de toryum yakıtlı reaktörlerin geliştirilmesi hususunda araştırma ve geliştirme çalışmalarının üniversite-sanayi-devlet işbirliği kapsamında yürütülmesi son derece önemlidir. Kurulması planlanan nükleer santrallerde nükleer yakıt olarak toryumun kullanılması; yerli, ucuz ve güvenilir enerji arzı açısından oldukça önem teşkil etmektedir. Türkiye için son derece önemli bir enerji kaynağı olan toryum, ülkemizin içinde bulunduğu enerji problemini tamamen giderebilecek bir potansiyele sahiptir. Ülkemizdeki hali hazırda tespit edilmiş olan toryum rezervleriyle ve toryum cevherleşmelerinin bulunduğu öngörülen bölgelerde yapılacak olan rezerv geliştirme ve bu rezervlerin ekonomik olarak zenginleştirme imkanlarının araştırılması hususunda teknik ve bilimsel çalışmalara daha fazla önem verilmelidir. Bu gibi çalışmalar neticesinde elde edilecek olan veriler aynı zamanda toryumun nükleer yakıt olarak kullanılabilirliği hususunda literatürün gelişimine de katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

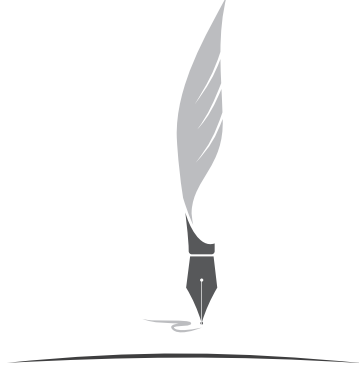
- Adalıoğlu, U., Bayülken, A., Dayday, N., Gençay Ş., Özemre, A. Y., Türkcan, E. (2003). Yakın Geleceğin Nükleer Yakıtı Olarak Toryum, *Umran*, 103, Ek Bölümü.
- Akar, A., Özmerih, L. (1974). Toryum, *Madencilik Dergisi*, 13(1), 27-34.
- Akkoyunlu, A. (2006). Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri, *Türkiye Nükleer Teknoloji Platformu Enerji Kitabı*(131-145).
- Akkuş, M. S. (2010) Türkiye’nin Enerji Kaynakları ve Alternatif bir Kaynak Olarak Rüzgar ve Güneş Enerjisinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Bölümü, İktisat Teorisi Anabilim Dalı, İktisat Teorisi Bilim Dalı, Konya.
- AMR Mineral Metal Inc. (2011). *Technical Report*. (11.01.2015 [http://www.amrmineralmetal.com/download/corporate/AMR\\_43-101\\_Technical\\_Report\\_AMEC\\_20111024\\_OPT.pdf](http://www.amrmineralmetal.com/download/corporate/AMR_43-101_Technical_Report_AMEC_20111024_OPT.pdf))
- Atılğan, İ. (2000). Türkiye’nin Enerji Potansiyeline Bakış, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(1), 31-47.
- ATSDR, AgencyForToxicSubstances&DiseaseRegistry (2015), *ChemicalandPhysicalInformations*, (31.01.2015 <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp147-c3.pdf>)
- Bulatovic, S.M. (2010). *Handbook of FlotationReagents: Chemistry, TheoryandPracticeVolume 2: Flotation of Gold, PGM andOxideMinerals*, Elseiver B.V., 230 p., ISBN: 978-0-444-53082-0.
- Can, Ş. (1997). Nükleer Yakıt Çevrimleri, *1. Ulusal Nükleer Yakıt Teknolojisi Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, 1, 1-22.
- Carminati, F.,Klapisch, R., Revol, J.P., Roche, Ch., Rubio, J.A., Rubbia, C. (1993). An EnergyAmplifierforCleanerandInexhaustibleNuclearEnergy-ProductionDrivenby a ParticleBeam Accelerator, *EuropeanOrganisation-forNuclearResearch*, CERN-AT-93-47, 1-72.
- Castor, S. B. Hendrick, J. B. (2006). Rare Earth Elements, *SocietyforMining, Metallurgyand Exploration*, Littleton, Colorado, 769-792.
- Coşkun, H. (2010). Alternatif Nükleer Yakıtlı Çakıl Yataklı Modüler Reaktörün Monte Carlo Yöntemiyle Nötronik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Demircioğlu, C. (2003). Türkiye için Sürdürülebilir Enerji Çevre Politikaları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Demirkıran, G. (2018). Ultra Eser Düzeydeki Uranyum ve Toryumun Katı Faz Ekstraksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Temel Eczacılık Anabilim Dalı, Van.

- DPT. (1996). *Nükleer Enerji Hammaddeleri Uranyum-Toryum*, Yayın No: 2429, ÖİK: 487, Ankara.
- Emiroğlu, N. (2009). Yusufeli Barajı'nın Çevresel Etki Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Ertuğrul, E. (2004). *Bor ve Toryum Madenleri Sektörü*, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Araştırma Müdürlüğü, ISBN 975-7406-34-1, Ankara.
- Ertürk, F. (2006). Nükleer Enerji ve Çevre, *Sürdürülebilir Kalkınma İçin Nükleer Enerjinin Önemi*, 143-152.
- Goncaloğlu, B. İ., Ertürk, F., Ekdal, A. (2000). Termik Santrallerle Nükleer Santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 9(340), 9-14.
- Gültekin, A. H., Örgün, Y. (2000). Kızılcıören (Sivrihisar-Eskişehir) Yöresi Tersiyer Alkali Volkanitlerle İlişkili Nadir Toprak Elementli Fluorit-Barit Yatakları, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 85-94.
- İnci, U. (1978). Türkiye'nin Enerji Sorunu ve Nükleer Enerji, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 6, 5-10.
- İpekoğlu, B. (1983). *Eskişehir-Beylikahır Toryum Cevherinin Değerlendirilmesi*, İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Kadioğlu, S., Tellioglu, Z. (1996). Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri, *TMMOB 1. Enerji Sempozyumu*, Ankara.
- Kaya, E. (2013). Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye'nin Nükleer Enerjiye İlişkin Politikalarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Karabük.
- Kaya, M. (2002). Yeni Nükleer Arayışlar-Toryum Gerçeği, *Enerji Dünyası Dergisi*, 45, 39-44.
- Kaya, M. (2008). Toryum Nükleer Yakıtının Perspektifi, ve Ülkemizde Enerji Üretimi Açısından Önemi, 14. *International Energy and Environmental Technology Systems Fair and Conferences, ICCI-2008*, 256-263.
- Kaya, M., Bozkurt, V. (2003), Thorium as a Nuclear Fuel, 18th. *International Mining Congress and Exhibition of Turkey – IMCET*, 571-578.
- Kessler, G. (2003). Nükleer Fiyon Reaktörleri, *Springer-Verlag Wien New York*(83).
- Konyalı, D. (2006). Sıvı Nükleer Atık Yönetiminde Kullanılmak Üzere Poliakrilonitril Fiber Bazlı Sorbent Sentezlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir.
- Kopuz, B., Bilge, A. N. (1997), Eskişehir Belikahır Toryum Cevherinde Klörlama Yöntemiyle Toryum ve Nadir Toprak Elementlerinin Birbirinden

- Ayrılması, 1. Ulusal Nükleer Yakıt Teknolojisi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, Sayfa 87-98.
- MTA, (2013). *Türkiye Maden Rezervleri*. (27.01.2015 [http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden\\_rezervleri](http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden_rezervleri))
- Özbayoğlu, G., Atalay, M. Ü. (2000). Beneficiation of Bastnaesite by a Multi-Gravity Separator, *Journal of Alloys and Compounds*, 303-304, 520-523.
- Özyurt, M., Seyitoğulları, Ş., İyit, L. (2007). Nükleer Enerji Santrallerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Odası, Nüksem 2007 Nükleer Enerji Sempozyumu*.
- Pehlivan, Y. (2014). Bor, Toryum, Neptunyum Gerçeği ve Türkiye'deki Enerji Sorununa Kısa Bir Bakış, *Aydınlanma 1923*, 50, Sayfa 42-47.
- Radermacher, E. (2015). *Contribution of the Energy Amplifier to New Applications*. (27.01.2015 <https://cas.web.cern.ch/cas/Pruhonice/PDF/Radermacher.pdf>, CERN)
- Rubbia, C., Rubio, J. A., Buono, S., Carminiati, F., Fietier, N., Galvez, J., Geles, C., Kadi, Y., Klapisch, R., Mandrillon, P., Revol, J. P., Roche, CH. (1995). Conceptual Design of a Fast Neutron Operated High power Energy Amplifier, *European Organisation for Nuclear Research*, CERN/AT/95-44(ET).
- Sienicki, J. J., Smith, M. A., Moisseytsev A., Bodnar, Y. D., Yang, W. S., Leibowitz, L. L. (2005). SSTAR Lead-cooled, Small Modular Fast Reactor with Nitride Fuel, *Workshop on Advanced Reactors with Innovative Fuels*, ARWIF.
- Smith, C. F., Helsey, W. G., Brown, N. W., Sienicki, J. J., Moisseytsev, A., Wade, D. C. (2008). SSTAR: The US Lead-cooled Fast Reactor (LFR), *Journal of Nuclear Materials*, 376(3), 255-259.
- Sürmeli, İ. (2016). Çevre Hakkı Ekseninde Türkiye'de Anti Nükleer Hareketler, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Kent ve Çevre Bilimleri Bilim Dalı, Ankara.
- Şahin, H. M., Yıldız, K., Altınok, T., Kılıç, Y. (2002). Bir Toryum Füzyon-fisyon Reaktöründe Nükleer Atıkların Farklı Soğutucularla Değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 5(2), 163-172.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2013). *Nükleer Güç Santralleri ve Türkiye*, Nükleer Enerji Proje Uygulama Daire Başkanlığı Yayın No:2.
- TAEK. (2010). *Günümüzde Nükleer Enerji*. (27.01.2015 <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/166-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor.html>)
- TAEK. (2012). *Toryum*. (27.01.2015 <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/172-nukleer-yakit-cevrimi/471-toryum.html>)

- TAEK. (2013). *Çakıl Yataklı Modüler Reaktör*. (27.01.2015 <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/167-ileri-nukleer-reaktor-calismalari/447-cakil-yatakli-moduler-reaktor.html>)
- Terkos, Y. (2018). İran'ın Nükleer Silahlanma Girişimleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, İstanbul.
- Terzi, R. (2016). VVER Nükleer Güç Santralinin Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- TMMOB Fizik Mühendisleri Odası. (2011). *Nükleer Enerji Raporu*, Bölüm 1, Sayfa 24.
- TÜBİTAK. (2015). *Elementlerin Kullanım Alanları*. (02.02.2015 <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/periodik/kullanim5.html>)
- USGS. (2014). *Thorium*. (30.04.2015 <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/thorium/mcs-2014-thori.pdf>)
- Ünak, T. (2007). Nükleer Teknolojinin Parlayan Yıldızı: Toryum, Türkiye'nin Toryum Potansiyeli ve Stratejik Önemi, *Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9, 157-179.
- Wang, L., Yu Y., Huang, X., Long, Z., Cui, D. (2013). Toward Greener Comprehensive Utilization of Bastnaesite: Simultaneous Recovery of Cerium, Fluorine, and Thorium from Bastnaesite Leach Liquor Using HEH(EHP), *Chemical Engineering Journal*, 215-216, 162-167.
- World Nuclear Association. (2014). *Supply of Uranium*. (27.05.2015 <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Uranium-Resources/Supply-of-Uranium>)
- Zararsız, S. (2005). *Uranyum*, Teknoloji Dairesi, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Sayfa 1-18.
- Zararsız, S., Tanrıku, A. (2003). *Türkiye'nin Nadir Toprak Elementleri ve Toryum Kompleks Cevheri Üzerine Yapılan Çalışmalar ve İleriye Yönelik Öneriler*, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Sayfa 50-51.
- Zhang, Z., Guo, F., Meng, S., Jia, Q., Li, H., Li, D. (2010). Simultaneous Recovery of Cerium and Fluorine from Bastnaesite Leach Liquor by Mixtures of Cyanex 923 and HEH(EHP), *Industrial Engineering Chemistry Research*, 49, 6184-6188.





## Bölüm 7

### TÜRKİYE'DEKİ BİTKİLERDE POLİFENOL OKSİDAZ ENZİMİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

*Dudu DEMİR<sup>1</sup> & Cafer EKEN<sup>2</sup>*

---

1 Doç. Dr. Dudu DEMİR, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Isparta. E-mail: dududemir@isparta.edu.tr

2 Prof. Dr. Cafer EKEN, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Aydın.





## Giriş

Polifenol oksidaz enzimi (PPO) oksidoredüktaz sınıfında yer alan ve bakır içeren bir metallo enzimdir (Whitaker, 1972; Friedman, 1997). Polifenol oksidazlar; katekolaz (EC 1.10.3.1), lakkaz (EC 1.10.3.2) ve tirozinaz (EC 1.14.18.1) olmak üzere başlıca üç grupta ele alınır (Sheptovitsky & Brudvig, 1996). PPO enzimi 1856 yılında Schoenbein tarafından ilk olarak yemeklik mantarlarda bulunmuştur (Whitaker, 1972). Daha sonra birçok meyve ve sebze PPO enzimi belirlenip karakterize edilmiştir (Laurila, Kervinen & Ahvenainen, 1998). PPO enzimi bitkiler âleminde, kabuklu deniz hayvanlarında, bazı hayvansal organlarda ve mikroorganizmalarda bulunmaktadır. Ayrıca, bazı toprak türlerinde de mevcut olduğu bildirilmektedir (Sarkar, Leonowicz & Bollog, 1989; Mos'ko & ark., 1992).

Sebzelerin ve meyvelerin depolanmasında, kesme, dilimleme, kabuk soyma, çarpma gibi mekanik zedelenmeler nedeniyle pembeden siyaha kadar olan farklı tonlardaki renk değişimleri enzimatik esmerleşme olarak adlandırılmaktadır (Laurila, Kervinen & Ahvenainen, 1998). Enzimatik esmerleşme reaksiyonu, tahıl, sebze ve meyvelerin doğal olarak içerdiği polifenol oksidaz enziminin sebep olduğu bir oksidasyon reaksiyonudur (Mathewson, 2000, Yang & ark., 2001). PPO bitkilerin kloroplast tilakoid membranlarında lokalize olmuştur (Sevindik, 2019). Normal şartlarda PPO enzimi hücre içerisinde oksijene temas etmemekte, meyve ve sebze kesildiği veya zedelendiğinde enzim hücre dışına çıkarak moleküler oksijen varlığında bazı fenolik bileşiklerin oksidasyon reaksiyonunu katalizlemektedir. Reaksiyon sonucu oluşan ürünler renkli bileşikleridir (Mathewson, 2000, Yang & ark., 2001). Esmerleşme rengini bitkinin fenolik içeriği tayin etmektedir (Yoruk & Marshall, 2003).

Dondurulmuş sebze, meyve ve meyve sularının endüstriyel olarak hazırlanmasında oluşan enzimatik esmerleşme reaksiyonları kaliteyi azaltmakta ve ürünün pazar değerini düşürmektedir (Pekyardımcı, 1992). Meyve ve sebzelerde gerçekleşen PPO enziminin katalizlediği enzimatik esmerleşme reaksiyonları besin değerini düşürdüğü, ürünün görünümünü, tadını bozduğu için istenmemektedir (Mathew & Parpia, 1971; Vamos-Vigyazo, 1981). Enzimatik esmerleşme reaksiyonları bitkinin tür ve çeşidine ve yetiştiği bölgeye göre farklılık göstermektedir. Ayrıca, sıcaklık, pH, dokularda bulunan oksijen miktarı ve aktif polifenol oksidaz enzim konsantrasyonu da esmerleşmeyi etkileyen önemli faktörlerdendir (Yoruk & Marshall, 2003). Bu faktörlerdeki herhangi bir değişim, esmerleşme reaksiyonlarını tamamen durdurabilir veya yavaşlatabilir. Esmerleşme reaksiyonları katalizleyen enzimlerin ayrıntılı bir şekilde karakterizasyonu ve reaksiyon mekanizmalarının ortaya konması sayesinde oluşan ürünlerin istenmeyen etkilerini gidermek mümkün olabilmektedir (Keskin, 2009).

Enzimatik esmerleşme reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için PPO enzimi, enzimin etkilediği polifenolik madde ve moleküler oksijenin hepsinin bir arada bulunması gerekmektedir ve reaksiyon bunlardan birinin ortadan kaldırılmasıyla durdurulabilir veya azaltılabilir. Enzimatik esmerleşme reaksiyonları substratların uzaklaştırılması, ortamın pH'sının düşürülmesi, ısı aktivasyonu, sodium sülfid ve askorbik asit ilavesi veya yüksek basınç uygulanmasıyla da önlenmektedir (Pekyardımcı, 1992).

Bazı besin teknolojisi dallarında ise, polifenol oksidaz enziminin sebep olduğu enzimatik esmerleşme reaksiyonları üretilen ürünlerin istenen son ürün karakteristiklerine kavuşmaları açısından önemli olduğundan dolayı istenmektedir. Siyah üzüm, kuru erik, siyah incir, kakao, siyah çay ve kahve üretimi PPO enziminin enzimatik esmerleşme reaksiyonunun istendiği durumlara örnek olarak verilebilir (Mathew & Parpia, 1971; Vamos-Vigyazo, 1981).

Bitkisel gıdalarda, enzimatik esmerleşmeyi katalizleyen PPO enzimlerin ayrıntılı bir şekilde karakterizasyonu sayesinde, oluşan ürünlerin istenmeyen etkilerini gidermek mümkün olabilmektedir. Esmerleşmenin istendiği durumlar için de PPO enzimlerin ayrıntılı bir şekilde karakterizasyonu önem arz etmektedir. Yapılan bu derlemede Türkiye'deki bitkilerde polifenol oksidaz enzimi üzerine bu güne kadar yapılan çalışmaların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

### **Materyal ve Metot**

Bugüne kadar, Türkiye'deki bitkilerde polifenol oksidaz enzimi üzerine yapılmış çalışmaların listesi yayınlanmamıştır. Bu derlemede Türkiye'de bitkilerdeki PPO enzimiyle ilgili yapılmış çalışmalardaki mevcut veriler kullanılmıştır.

### **Sonuç ve Öneriler**

Türkiye'deki bitki PPO enzimiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalardaki kullanılan bitkiler, PPO enzim substratları, pH, sıcaklık ve lokasyonları içeren bilgiler Tablo 1-33'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Türkiye’deki Muz (*Musa cavendishii*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	7.0	30	-	Ünal, 2007
Katekol	7.0	25	Alanya/Antalya	Karakus & Pekyardımcı, 2009
Kafeik asit	7.0			
Pirogalol	7.0			
4-metilkatekol	7.2			
L-tirozin	7.4			
p-kresol	7.8			
Gallik asit	8.0			
Katekol	-	-	Erzurum	Şakiroğlu & ark., 2016

**Tablo 2.** Türkiye’deki Muşmula (*Mespilus germanica*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık(°C)	Lokasyon	Kaynaklar
L-DOPA*	6.5	30	Trabzon	Aydin & Kadioglu, 2001
4-metilkatekol	6.5	35		Dincer & ark., 2002
Katekol	8.5	55	Trabzon	
DOPA	6.5	55		
Epikatekin	5.5	25		
DHPPA**	5.5	35		
4-metil katekol	7.0	30	Trabzon	Demir, 2006
	4.0, 7.0	20		
	5.0, 7.0	30		
4-metil katekol	7.0	30	Trabzon	Ayaz & ark., 2008
	4.0	20		
	5.0	30		

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

\*\*DHPPA: 3-(3,4-dihidroksifenil) propiyonik asit

**Tablo 3.** Türkiye’deki Ayva (*Cydonia oblonga*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	8.0 (serbest enzim)	40 (serbest enzim)	-	Yağar & Sağiroğlu, 2002a
	9.0 (immobilize enzim)	45 (immobilize enzim)		
Katekol	9.0	40	Edirne	Yağar & Sağiroğlu, 2002b
Katekol	8.0	Yaklaşık 40	Edirne	Yağar & Sarıoğlu, 2002c
Katekol	-	-	Erzurum	Şakiroğlu & ark., 2016

**Tablo 4.** Türkiye’deki Elma (*Malus domestica*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	7.0	15-18	Tortum/Erzurum	Oktay& ark., 1995
4-metil katekol	9.0	56		
Pirogallol	8.6	70		
L-DOPA*	6.6	50		
Katekol	6.8	30	Ankara	Yemenicioğlu, Özkan & Cemeroglu, 1997
Katekol	4.0	50	Van	Demir & ark., 2006a
4-metil katekol	5.5	-	Gaziantep	Soysal, 2008
Pirogallol	7.2			
4-metil katekol	5.5	25	Gaziantep	Soysal, 2009
Katekol	6.0	50	Iğdır	Türkan, 2009
L-tirozin	5.0	20	Yomra/Trabzon	Can & ark., 2014
HPPA**	7.0	30		
Katekol	5.0	40		
4-metilkatekol	7.0	40		
L-DOPA	7.0	40		
Katekol	5.5	30-40	Hemşin/Rize	Aydın, Gulcin & Alwasel, 2015
Katekol	-	-	Erzurum	Şakiroğlu & ark., 2016
Katekol	5.0	10	Erzurum	Karabulut, 2017
4-metil katekol	5.5	10		
4-metil katekol	6.0	30	Iğdır	Turkan & Demir, 2018
Katekol	6.8	25	Eğirdir/Isparta	Çelik, 2018
Katekol	5.0	-	Iğdır	Gülsoy, Türkhan & Kaya, 2019
Katekol,	6.5	10	Isparta	Millioğlu, 2019
4-metil katekol,	6.0	15		
Pirogallol	8.5	10		

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin \*\*HPPA: 3-(4-hidroksifenil) propanoik asit

**Tablo 5.** Türkiye’deki Yer Elması (*Helianthus tuberosus*)’nda Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	7.0	20	Balıkesir	Erzengin, 2002
4-metil katekol	5.0	20		
pirogallol	8.0	35		
	7.5	25	Ankara	Ziyan & Pekiyardımcı, 2003
Katekol	8.0	30		
Katekol	7.0	25	Menderes bölgesi	Aydemir, Kavrayan & Çınar, 2003
L-DOPA*	8.0	40		
DL-DOPA	8.0	45		
Katekol	7.0	20	Balıkesir	Erzengin, 2009

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

**Tablo 6.** Türkiye’deki Dutlarda Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Dut Türü	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Morus alba</i>	4-metik katekol	7.0	45	-	Sutay, 2003
<i>Morus alba</i>	4-metil katekol	5.0	20	Balıkesir	Arslan & ark., 2004
	Katekol	7.0	45		
	Pirogallol	7.5	20		
<i>Morus alba</i> <i>Morus nigra</i>	L-DOPA*	Asidik Nötral	40 20	-	Colak & ark., 2007a
<i>Morus nigra</i>	Katekol	5.0	-	Iğdır	Aziti, 2018

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

**Tablo 7.** Türkiye’deki Şeftali (*Prunus persica*)’de Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Kateşol	6.2	30	Bursa	Yemenicioğlu & Cemeroglu, 1998
Kateşol	6.5	25	Niğde	Coruk, 2018
4-metil katekol	6.0	20	Iğdır	Türkhan, 2018

**Tablo 8.** Türkiye’deki Kayısı (*Prunus armeniaca*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar		
Katekol	8.5	-	Malatya	Arslan, Temur & Tozlu, 1998		
Katekol	6.8	30	Malatya	Yemenicioğlu & Cemeroglu, 2003		
<i>p</i> -kresol	6.8	35				
Katekol	7.3	25	Iğdır	Cimen& ark., 2007		
Katekol	6.0	30	Iğdır	Demir, Çimen & Çelikezen, 2012		
Kateşol	4.98-4.98 4.98-4.98 5.80-5.80 4.98-5.49 5.80-5.80 5.80-5.80 5.80-5.80 5.49-4.98	30-40 40-30 30-30 30-40 40-40 40-30 40-30 30-30	Malatya	Şener, 2012		
Katekol	6.8	30			Malatya	Altındağ, Türkyılmaz & Özkan, 2018
Kateşol	6.8	30			Malatya	Altındağ, 2018

**Tablo 9.** Türkiye’deki Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	6.0	35	Balıkesir	Ülker Yerlitürk & ark., 2008
Piragallol	-	65		
4-metil katekol	7.0	30	Gazipaşa/Antalya	Baltas, 2017

**Tablo 10.** Türkiye’deki Eriklerde Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Erik Türü	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Prunus domestica</i>	Katekol	7.0	40	Posof/Ardahan	Atasever, 2015
	4-metil katekol	7.0	30		
	L-tirozin	6.0	30		
	p-kumarik asit	5.0	30		
	DHSA*	5.0	30		
	DHPPA**	5.0	40		
<i>Prunus domestica</i>	Katekol	-	-	Erzurum	Şakiroğlu & ark., 2016
<i>Prunus spinosa</i>	4-metil katekol	7.0	40	Gümüşhane	Pakyıldız, 2016
	Katekol	7.0	30		
	Hidrokafeik asit	5.0	60		
	Kateşin	5.0	60		
	Epikateşin	5.0	60		

\*DHSA: 3,4-dihidroksihidrosinamik asit

\*\*DHPPA: 3-(3,4-dihidroksifenil) propiyonik asit

**Tablo 11.** Türkiye’deki Yenidünya (*Eriobotrya japonica*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	-	-	-	Oynan, 2000
4-metil katekol Pirogallol				
Katekol	7.4 4.98	30	Adana	Şener & Ünal, 2011

**Tablo 12.** Türkiye’deki Karayemişlerde Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Karayemiş Türü	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Prunus laurocerasus</i>	L-DOPA*, katekol, kafeik asit	6.0	-	Trabzon	Yavru, 1997
<i>Laurocerasus officinalis</i> cv. Oxygemmis	L-DOPA, katekol, kafeik asit	-	25	Trabzon	Kadioglu & Yavru, 1998
<i>Laurocerasus officinalis</i>	DHPPA**	5.0	50	Trabzon	Colak & ark., 2005
		5.0	40		

\*DOPA: 3,4-dihidroksifenil alenin

\*\*DHPPA: 3-(3,4-dihidroksifenil) propiyonik asit

**Tablo 13.** Türkiye’deki Üzüm (*Vitis vinifera*)’de Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
4-metilkatekol	6.5	20	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	Yılmaz, Sakiroglu & Kufrevioglu, 2004
Katekol	4.2	25 30	Kapadokya Bölgesi	Ünal & Şener, 2006
Katekol	7.2	25	Bergama/İzmir	Önez, 2006
Katekol	3.4	30	-	Ünal, Şener & Şen, 2007
Katekol	7.0	-	Üzümlü/Erzincan	Kaya & Köse, 2017
Katekol	6.0	20	İğdır	Kaya & ark., 2018
4-metilkatekol	5.0	30	İğdır	Bağcı, 2019
4-metil katekol, katekol, DHPPA*, L-tirozin vd.	-	-	İğdır	Gür & ark., 2019

\*DHPPA: 3-(3,4-dihidroksifenil) propiyonik asit

**Tablo 14.** Türkiye’deki Zeytin (*Olea europaea*)’de Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	7.0 6.5	-	-	Gencer, Sinan & Arslan, 2004
Katekol	7.0 6.5 6.5 6.5 6.5	-	Akhisar/Manisa	Gencer, 2004
4-metil Kateşol	4.5	30	Adana	Taş & Ünal, 2012.
Katekol	6.8	25	Gemlik/Bursa	Demir, Ünal & Arabacı, 2018.

**Tablo 15.** Türkiye’deki Roka (*Eruca vesicaria subsp. sativa*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
4-metil katekol	5.0	20	Sakarya	Köse, 2010
Pirokateşol, gallik asit, kateşin	7.0	20	İstanbul	Shabnam, 2015

**Tablo 16.** Türkiye’deki Enginar (*Cynara scolymus*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	6.0	25	Ege bölgesi	Aydemir, 2004
4-metil katekol	6.0	25		
DL-DOPA*	8.0	30		
L- DOPA	8.0	30		
Pirogallol	6.5	25		
Gallik asit	6.0	25		

Tablo 16'nın Devamı

-	-	-	İzmir, Aydın	Arslan & Doğan, 2005
Katekol	7.0	40	İzmir	Doğan & ark., 2005a
4-metil katekol	5.0	<10		
Pirogallol	8.0	20		
Kateşol	7.0	5	-	Kocatürk, 2008
-	-	-	-	Leventer, 2005

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

**Tablo 17.** Türkiye'deki Patates (*Solanum tuberosum*)'te Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
-	-	-	-	Kocaçalışkan, 1986
Katekol	7.0	20	Nevşehir	Tozak, 2013
Katekol	6.8	25	Ödemiş/ İzmir	Demir, Yavuz & Kuscü, 2017
Katekol	7.0	20	Ödemiş/ İzmir	Yavuz, 2019
	7.0	25		

**Tablo 18.** Türkiye'deki Patlıcan (*Solanum melongena*)'da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	7.0	20	Balıkesir	Doğan, Arslan & Doğan, 2002
Katekol	7.0	30		
4-metil katekol	6.0	30		
Katekol	7.0	30		
4-metil katekol	6.0	30		
L-DOPA*	7.0	30	Trabzon	Torun & ark., 2015
Katekol	-	-	Erzurum	Şakiroğlu & ark., 2016

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

**Tablo 19.** Türkiye'deki Kereviz (*Apium graveolens*)'de Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	7.0	40	Edirne	Yağar, 2004
L- DOPA*	7.0	45		
Pirogallol	7.5	25		
Katekol	7.0	30	Ege bölgesi	Aydemir & Akkanlı, 2006
4-metil katekol	7.0	30		
DL-DOPA	7.0	30		
Pirogallol	7.0	30		
Gallik asit	5.0	35		

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin



**Tablo 20.** Türkiye’deki Kültür ve Yabani Mantarlarda Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Mantar Türü	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Agaricus bisporus</i>	Tirozin	6-8	40	-	Şimşek, 2004
<i>Agaricus bitorquis</i>	L-DOPA*	7.0	-	Polatlı/Ankara	Yalçın, 2005
<i>Armillaria mellea</i> , <i>Lepista nuda</i> , <i>Hypholoma fasciculare</i>	4-metil katekol	7.0	-	Maçka/Trabzon	Şahin, 2006
<i>Macrolepiota mastoidea</i>	PHPPA** 4-metil katekol	6.0 4.0	30 20	Maçka/Trabzon	Kolcuoğlu & ark., 2007
<i>Armillaria mellea</i> , <i>Lepista nuda</i> , <i>Hypholoma fasciculare</i>	4-metil katekol L-DOPA DHPPA*** L-tirozin PHPPA	7.0 5-7 6-8	30 20-40 20	Trabzon	Colak & ark., 2007b
<i>Lactarius salmonicolor</i>	Katekol 4-metil katekol Pirogallol	7.5 6.0 7.5	20	Balıkesir	De de o ğ lu & Ozensoy Guler, 2009
<i>Russula delica</i>	PHPPA 4-metil katekol	5.0	30	-	Keskin, 2009
<i>Agaricus bisporus</i>	Katekol 4-metil katekol Pirogallol	7.5 7.5 8.0	20	Balıkesir	De de o ğ lu, 2009
<i>Boletus erythropus</i>	4-metil katekol	8.0	20	Akcaabat/Trabzon	Özel & ark., 2010
<i>Macrolepiota gracilentia</i>	PHPPA DHPPA	7.0 5.0	40 30	Trabzon	Kolcuoğlu, 2012
<i>Lactarius piperatus</i>	Katekol	7.0	20	Trabzon	Öz, & ark., 2013
<i>Lactarius eucalypti</i>	4-metil katekol L-DOPA DHPPA	5.0 7.0 7.0	20 20 30	Trabzon	Kuyumcu, 2014
<i>Agaricus bisporus</i>	Katekol	-	-	Erzurum	Şakiroğlu & ark., 2016
<i>Lepiota procera</i>	L-DOPA	7.0	40	Bursa	Saki & ark., 2018
<i>Laccaria laccata</i>	4-metil katekol DHPPA L-DOPA	5.0 7.0 7.0	20 30 20	Trabzon	Kolcuoğlu, Kuyumcu & Colak, 2018

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

\*\*PHPPA: 3-(4-hidroksifenil)-propionikasit

\*\*\*DHPPA: 3-(3,4-dihidroksifenil) propiyonik asit

**Tablo 21.** Türkiye’deki Buğdaylarda Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Buğday Türleri	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Triticum aestivum</i>	Katekol, 4-metil katekol	5.0	-	-	Aykaç, 1997
<i>Triticum durum</i> cv. Altar	Katekol, DOPA*	-	-	-	Ünver, 2000
<i>Triticum aestivum</i> cv. Kıraç-66, <i>Triticum aestivum</i> cv. Sultan-95	Tirozin, katekol, DOPA, kafeik asit	6.5	30	Tavşanlı	Mecit, 2008
<i>Triticum aestivum</i>	Katekol	4.5	40	Erzurum	Erat & ark., 2010
	4-metil katekol	5.0	35		
	Kateşin	5.0	35		
	Dopamin**	4.5	35		
	L- DOPA	5.0	40		
	Pirogallol	5.0	30		
<i>Triticum durum</i>	Katekol	-	-	Adana, İzmir, Şanlıurfa	Sayaslan & ark., 2012

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

\*\*Dopamin: 3,4-dihidroksifenil etilamin

**Tablo 22.** Türkiye’deki Fasulye (*Phaseolus vulgaris*)’de Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
DOPA*	6.5	Oda sıcaklığı	-	Demir & Kocaçalışkan, 2001
Katekol	5.5	40	İspir/Erzurum	Sakiroğlu & ark., 2013
Katekin	8.0	50		
Klorojenik asit	7.0	20		

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

**Tablo 23.** Türkiye’deki Bakla (*Vicia faba*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	7.0	25	Kocaeli	Kasım & Kasım, 2016
Kateşol, 4-metil kateşol, pirogallol	5.0	10	Edirne	Yediel, 2018

**Tablo 24.** Türkiye’deki Marul (*Lactuca sativa*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
4-metil katekol	6.5	30		Doğan & Salman, 2007
Katekol	8.0	40	Balıkesir	
Pirogallol	7.5	30		
Katekol	7.0	40	Ankara	Altunkaya & Gökmen, 2008

**Tablo 25.** Türkiye’deki Dereotu (*Anethum graveolens*)’nda Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol, L-tirozin, DL-DOPA*	7.0	-	-	Arslan & Tozlu, 1998
Katekol	6.5	10	-	Şakiroğlu & ark., 2008
Dopamin**	8.5	55	-	
Klorogenik asit	5.5	10	-	
Katekol	-	-	Erzurum	Şakiroğlu & ark., 2016
4-metil katekol	7.0	25	Sakarya	Arabacı, 2016
Pirogallol	8.0	40		
Katekol	6.5	10	-	Akbulut & Şakiroğlu, 2018
Klorogenik asit	5.5	10		
DOPA	5.0	55		
Gallik asit	9.0	45		

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

\*\*Dopamin: 3,4-dihidroksifenil etilamin

**Tablo 26.** Türkiye’deki Kuşburnunda Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kuşburnu Türü	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Rosa dumalis</i>	Katekol	8.5	25	Erzurum	Şakiroğlu & ark., 1996
	4-metil katekol	8.5	20		
	L- DOPA*	8.0	45		
	Dopamin**	8.5	45		
	Gallik asit	8.8	35		
	Pirogallol	7.0	15		
	L-tirozin	7.0	65		
<i>p</i> -kresol	5.0	60			
<i>Rosa canina</i>	K a t e k o l , 4-metilkatekol, prigallol	-	-	-	Oynan, 2000
<i>Rosa canina</i>	Kateşol	-	-	-	Bozkurt, 2014

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

\*\*Dopamin: 3,4-dihidroksifenil etilamin

**Tablo 27.** Türkiye’deki Biberiye (*Rosmarinus officinalis*)’de Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Katekol	7.0	25	-	Aydemir, 2010
4-metilkatekol	7.0	20	Balıkesir	Doğan & ark., 2011
Katekol	8.0	30		
Pirogallol	8.0	30		

**Tablo 28.** Türkiye’deki Fesleğen (*Ocimum basilicum*)’de Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
-	-	-	İzmir, Aydın	Arslan & Doğan, 2005
Katekol	8.0	40	İzmir, Aydın	Doğan & ark., 2005b
4-metil katekol	6.0	20		
Pirogallol	9.0	50		
Katekol, 4-metil katekol	-	25	İzmir, Aydın	Doğan & ark., 2007
Katekol, 4-metil katekol, Pirogallol	6.5	25	Balıkesir, İzmir, Aydın	Doğan & ark., 2008

**Tablo 29.** Türkiye’deki Kekiklerde Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kekik Türü	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Thymus longicaulis</i> subsp. <i>chaubardii</i> var. <i>chaubardii</i>	Katekol	6.5	25	Balıkesir	Doğan & Doğan, 2004
	4-metil katekol	5.5	25		
	Pirogallol	6.5	35		
<i>Thymbra spicata</i>	Katekol	7.0	25	Balıkesir	Doğan, Turan & Doğan, 2006
	4-metil katekol	5.0			
	Pirogallol	8.0			
<i>Thymbra spicata</i>	Katekol, 4-metil katekol, pirogallol	6.5	25	Balıkesir, İzmir, Aydın	Doğan & ark., 2008

**Tablo 30.** Türkiye’deki Çay (*Camellia sinensis*)’da Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Piragallol	5.6	30	-	Kayıkçı, 1990
Piragallol	5.6	30	-	Kayıkçı, 1991
4-metil kateşol	6.02	30	Karadeniz Bölgesi	Yabancı, 2008
Katekol	6.0	30	Rize	Altunkaya, 2014
Katekol	9.0	10	Rize	Yılmaz, 2016
4-metil katekol	8.5	10		

**Tablo 31.** Türkiye’deki Adaçaylarında Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Enzim için Bitki Kaynağı	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Salvia virgata</i> , <i>Salvia viridis</i> , <i>Salvia tomentosa</i>	Katekol	7.0	40	Balıkesir	Gundoğmaz, Doğan & Arslan, 2003
<i>Salvia huberi</i>	Katekol	7.5	10	Erzurum	Özkaya, 2018
	4-metilkatekol	5.0	25		
	Pirogallol	7.5	35		

**Tablo 32.** Türkiye’deki Farklı Bitki Çeşitlerinde Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine 1997-2013 Yılları Arasında Yapılan Çalışmalar

Enzim için Bitki Kaynağı	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
<i>Allium</i> sp.	Katekol DL- DOPA*	7.5 7.5	-	Van	Arslan, Temur & Tozlu, 1997
Nane ( <i>Mentha piperita</i> )	Katekol D-L DOPA L- DOPA	7.0 7.5 7.5	30 50 55	Menderes Bölgesi	Kavrayan & Aydemir, 2001
Domuz Ayrığı ( <i>Dactylis glomerata</i> )	-	-	-	Oltu, Olur, Uzundere / Erzurum	Tosun & ark., 2002
Trabzon hurması ( <i>Diospyros kaki</i> )	4-metil katekol Katekol DHPPA** L-DOPA	7.5 7.5 5.5 7.5	40 20 60 10	Trabzon	Özen, & ark., 2004
Armut ( <i>Pyrus communis</i> )	Piragallol 4-metil katekol Katekol D-tirozin Kafeik asit <i>p</i> -kresol L-DOPA	8.2 7.2 7.0 5.6 5.6 5.0 4.8	30 35 20 55 25 40 45	Kızılcahamam/ Ankara	Ziyan & Pekyardımcı, 2004
Isırgan ( <i>Urtica dioica</i> )	L-tirozin	4.5	30	Erzurum	Gülçin, Küfrevioğlu & Oktay, 2005
Keklikotu ( <i>Origanum vulgare</i> )	Katekol	6.5, 7.0, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.8, 8.0	20, 30, 40	Balıkesir	Doğan, Arslan, & Özen, 2005
Çaşır bitkisi ( <i>Ferula</i> sp.)	Katekol 4-metil katekol Klorogenik asit (+) Katekin (-) Epikatekin	7.0 6.0 6.0 6.5 6.0	12 25 20 30 15	Erzurum	Erat, Sakiroglu & Kufrevioğlu, 2006
Fındık ( <i>Corylus avellana</i> )	Katekol	4.5	37	Karadeniz Bölgesi	Seyhan & ark., 2007
Badem ( <i>Prunus dulcis</i> )	4-metil katekol	6.5	35	Sakarya	Güngör, 2008
Nar ( <i>Punica granatum</i> )	-	-	-	Denizli	Demir & ark., 2009
Kiraz ( <i>Prunus avium</i> )	Kateşol	4.5 4.98	20 30	Ereğli/Konya	Ünal, Gökkaya & Şener, 2011

Tablo 32'nin Devamı

Maydanoz ( <i>Petroselinum crispum</i> )	Katekol	4.0	40		Doğru & Erat, 2012
	4-metil katekol	4.0	40		
	Piragallol	8.5	35		
	L-DOPA	4.5	45		
	Dopamin***	8.0	45		
	Katekin	4.0	35		
Limon otu ( <i>Melissa officinalis</i> subsp. <i>officinalis</i> )	Katekol	6.5	40	Balıkesir	Doğan & ark., 2013
	4-metil katekol	4.0	50		
	Pirogallol	8.5	60		
Kaldırık ( <i>Trachystemon orientalis</i> )	4-metil katekol	5.0	5	Hendek/ Sakarya	Alıcı & Arabacı, 2013

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

\*\*DHPPA: 3-(3,4-dihidroksifenil) propiyonik asit

\*\*\*Dopamin: 3,4-dihidroksifenil etilamin

**Tablo 33.** Türkiye'deki Farklı Bitki Çeşitlerinde Polifenol Oksidaz Enzimi Üzerine 2015-2019 Yılları Arasında Yapılan Çalışmalar

Enzim için Bitki Kaynağı	Substrat	pH	Sıcaklık (°C)	Lokasyon	Kaynaklar
Kuzukulağı ( <i>Rumex acetosa</i> )	Katekol	7.0	30	Sakarya	Arabacı, 2015a
	4-metil katekol	7.0	30		
	Pirogallol	8.0	35		
	Kafeik asit	5.5	25		
Kırmızı gelincik ( <i>Papaver hoeas</i> )	Katekol	7.0	35	Sakarya	Arabacı, 2015b
	4-metil katekol	7.0	35		
	Pirogallol	8.0	35		
	Kafeik asit	5.5	25		
Biber ( <i>Capsicum annuum</i> )	Katekol	7.0	30	Diyarbakır	Güler, 2015
	4-metil katekol	5.0	40		
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	Katekol	6.4	-	Isparta	Eken & ark., 2016
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	Katekol	6.4	-	Isparta	Demir & ark., 2016b
Yonca ( <i>Medicago sativa</i> )	Katekol	6.4	-	Isparta	Demir & ark., 2016c
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	Katekol	6.4	-	Isparta	Demir & ark., 2016d
Ballıbaba ( <i>Lamium purpureum</i> )	4-metil katekol	7.5	10	Sakarya	Cerrahoğlu & Arabacı, 2016
Mısır ( <i>Zea mays</i> )	Katekol	8.0	40	Diyarbakır	Gul Guven & ark., 2016
	4-metil katekol	6.0	30		
Kaldırık ( <i>Trachystemon orientalis</i> )	Katekol	7.5	10	Sakarya	Alici & Arabacı, 2016
	4-metil katekol	5.0	5		
	Kafeik asit	5.5	20		
	Piragallol	7.5	30		
Mısır ( <i>Zea mays</i> )	Katekol	8.0	40	-	Aslan, 2017
	4-metil katekol	6.0	30		

Tablo 33'ün Devamı

Semizotu ( <i>Portulaca oleracea</i> )	Katekol	7.0	50	Diyarbakır	Guven & ark., 2017
Hıyar ( <i>Cucumis sativus</i> )	Katekol DOPA*	6.8 6.8	30 30	Bursa	Yalçın, 2018
Tüylü Pavlonya ( <i>Paulownia tomentosa</i> )	4-metil katekol	7.0	25	-	Çesko, 2018
Yaban Mersini ( <i>Myrtus communis</i> )	Kateşol	6.8	30	Mersin	Çınar, 2018
Kestane ( <i>Castanea sativa</i> )	4-metil katekol	-	-	Bursa	Cetin, Akbudak & Ozer, 2018
Alıç ( <i>Crataegus monogyna</i> )	Katekol	5.0	30	-	Türkhan, Kaya & Yılmaz 2018
Çilek ( <i>Fragaria×ananassa</i> )	-	-	-	Adana	Dündar, Ağçam & Akyıldız, 2019
Havuç ( <i>Daucus carota</i> )	Katekol	8.0	40	Diyarbakır	Guven & ark., 2019

\*DOPA: 3,4 -dihidroksifenil alenin

Ülkemizde yapılan çalışmalara bakıldığında, PPO enziminin substratı olarak daha çok katekol substratının tercih edildiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda PPO enziminin substrat spesifikliğı, optimum pH, optimum sıcaklık, kinetik parametreleri ve inhibitörlerin etkisi gibi biyokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Enzim aktivitesini belirlemek için belirlenen optimum sıcaklık, optimum pH, çalışılan sıcaklık ve pH değerlerinin enzim kaynağına, kullanılan substrata ve bitkilerin alındığı lokasyonlara göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Enzimler protein yapısında biyolojik katalizörlerdir ve enzimsiz bir hayatın var olması düşünülemez. PPO enziminin kullanımının gün geçtikçe yaygınlaşması (sentez reaksiyonlarında, tıpta, atık suların temizlenmesi ve biyosensör tasarımı vb.) çok değişik kaynaklardan enzimlerin saflaştırılması ve karakterizasyonunu da beraberinde getirmektedir. Ayrıca PPO enziminin sebep olduğu esmerleşme reaksiyonları, meyve ve sebzelerin hasat, depolama ve işlenmeleri sırasında görüntü, lezzet ve besinsel değerlerin kaybına neden olarak her yıl önemli ekonomik kayıplara neden olması dolayısıyla bu enzim üzerinde yapılacak olan çalışmaların önemini artırmaktadır. Bu yüzden PPO enziminin neden olduğu esmerleşme reaksiyonlarının önlenmesi ve bu olayın gerçekleşmesini katalizleyen yapı ve mekanizmalarının aydınlatılması günümüzde büyük bir ihtiyaç olmuştur. Ayrıca PPO aktivitesini çeşitli bitkilerde kontrol etmek, böylece esmerleşme reaksiyonlarının yan etkilerini ortadan kaldırmak ve yararlı olan esmerleşme reaksiyonlarını optimize etmek için çalışmalara ağırlık verilmesi gerekir.

## KAYNAKLAR

- Sayaslan, A., Koyuncu, M., Yıldırım, A., Güleç, T.E., Sönmezoğlu, Ö.A., Kandemir, N. (2012). Some quality characteristics of selected durum wheat (*Triticum durum*) landraces. *Turk. J. Agric. For.*, 36, 749-756. doi:10.3906/tar-1201-69
- Akbulut, N., Şakiroğlu, H. (2018). Dereotundan (*Anethum graveolens*) saflaştırılan polifenol oksidaz (PFO) enziminin bazı killerle immobilizasyonu. *İğdır Üni. Fen Bilimleri Inst. Der./İğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.*, 8(3), 191-199. DOI: 10.21597/jist.418124
- Alıcı, E.H., Arabacı, G. (2013). Kaldirik (*Trachystemon orientalis*) bitkisi polifenol oksidaz enzimi üzerine metallerin etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 17(3), 399-405.
- Alici, E.H., Arabaci, G. (2016). Purification of polyphenol oxidase from borage (*Trachystemon orientalis* L.) by using three-phase partitioning and investigation of kinetic properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93, 1051-1056.
- Altındağ, M. (2018). Farklı düzeylerde kükürtlenen kuru kayısıların polifenol oksidaz aktivitesi ve polifenollerinde depolama boyunca meydana gelen değişimlerin esmerleşme üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altındağ, M., Türkyılmaz, M Özkan, M. (2018). Changes in polyphenol profile of dried apricots containing SO<sub>2</sub> at various concentrations during storage. *Sci. Food Agric.*, 98, 2530–2539.
- Altunkaya, A. (2014). Partial purification and characterization of polyphenoloxidase from Turkish tea leaf (*Camellia sinensis* L.), *International Journal of Food Properties*, 17(7), 1490-1497. DOI:10.1080/10942912.2012.752380
- Altunkaya, A., Gökmen, V. (2008). Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry*, 107, 1173–1179. doi:10.1016/j.foodchem.2007.09.046
- Arabacı, G. (2015a). Effects of metals and anti-browning agents on polyphenol oxidase activity from Sorrel (*Rumex acetosa*). *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(12), 832-837.
- Arabacı, G. (2015b). Investigations of metals and metal-antibrowning agents effects on polyphenol oxidase activity from Red Poppy leaf. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 9(1), 1-5.
- Arabacı, G. (2016). Effects of some compounds and metals on dill polyphenol oxidase activity. *International Journal of Advances in Chemical Engg., & Biological Sciences (IJACEBS)*, 3(1), 174-177. <http://dx.doi.org/10.15242/IJACEBS.EAP616206>



- Arslan, O., Doğan, S. (2005). Inhibition of polyphenol oxidase obtained from various sources by 2,3-diaminopropionic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1499–1504. DOI: 10.1002/jsfa.2144
- Arslan, O., Erzen, M., Sinan, S., Ozensoy, O. (2004). Purification of mulberry (*Morus alba* L.) polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of its kinetic and electrophoretic properties. *Food Chemistry*, 88, 479–484. doi:10.1016/j.foodchem.2004.04.005
- Arslan, O., Temur, A., Tozlu, İ. (1997). Polyphenol oxidase from *allium* sp. *J. Agric. Food Chem.*, 45(8), 2861-2863.
- Arslan, O., Temur, A., Tozlu, İ. (1998). Polyphenol oxidase from Malatya Apricot (*Prunus armeniaca* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 46, 1239-1241.
- Arslan, O., Tozlu, I. (1998). Substrate specificity - heat inactivation and inhibition of polyphenoloxidase from (*Anethum graveolens* L). [cheese - Turkey]. *Italian Journal of Food Science*, 9(3), 249-253.
- Aslan, N. (2017). Mısır püskülünden (*Stylus maydis*) polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atasever, H. (2015). Cancur eriğinden (*Prunus domestica* L.) polifenol oksidazın saflaştırılması ve eriğin antioksidan özelliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Ayaz, F.A., Demir, O., Torun, H., Kolcuoglu, Y., Colak, A. (2008). Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening. *Food Chemistry*, 106, 291–298. doi:10.1016/j.foodchem.2007.05.096
- Aydemir, T. (2004). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads. *Food Chemistry*, 87, 59–67. doi:10.1016/j.foodchem.2003.10.017
- Aydemir, T. (2010). Selected kinetic properties of polyphenol oxidase extracted from (*Rosmarinus officinalis* L.). *International Journal of Food Properties*, 13(3), 475-485. DOI: 10.1080/10942910802641993
- Aydemir, T., Akkanlı, G. (2006). Partial purification and characterisation of polyphenol oxidase from celery root (*Apium graveolens* L.) and the investigation of the effects on the enzyme activity of some inhibitors. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1090–1098. doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01191.x
- Aydemir, T., Kavrayan, D., Çınar, S. (2003). Isolation and characterisation of polyphenoloxidase from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*). *S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 21, 115-125.
- Aydin, B., Gulcin, I., Alwasel, S.H. (2015). Purification and characterization of polyphenol oxidase from Hemşin apple (*Malus communis* L.).

*International Journal of Food Properties*, 18 (12), 2735–2745. DOI: 10.1080/10942912.2015.1012725.

- Aydin, N., Kadioglu, A. (2001). Changes in the chemical composition, polyphenol oxidase and peroxidase activities during development and ripening of medlar fruits (*Mespilus germanica* L.). *Bulg. J. Plant Physiol.*, 27(3–4), 85–92.
- Aykaç, Ç. (1997). Buğday kepeği polifenol oksidazının ayrılması, kısmi saflaştırılması ve özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aziti, Z.K. (2018). Iğdır ekolojik koşullarında yetişen karadutların (*Morus nigra*) polifenol oksidaz enzim aktivitesinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır.
- Bağcı, O. (2019). Polifenol oksidaz enziminin Iğdır Kırmızı Kışmış üzümünden (*Vitis vinifera* L.) afinite kromatografisi ile saflaştırılması, karakterizasyonu ve inhibisyonu. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır.
- Baltas, N. (2017). Investigation of a wild pear species (*Pyrus elaeagnifolia* subsp. *Elaeagnifolia* Pallas) from Antalya, Turkey: polyphenol oxidase properties and anti-xanthine oxidase, anti-urease, and antioxidant activity. *International Journal of Food Properties*, 20 (3), 585–595. DOI: 10.1080/10942912.2016.1171777.
- Bozkurt, D. (2014). Soğuk plazma uygulamasının vitaminler ve polifenol oksidaz (PFO) enzimi aktivitesi üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Can, Z., Dincer, B., Sahin, H., Baltas, N., Yildiz, O., Kolayli, S. (2014). Polyphenol oxidase activity and antioxidant properties of Yomra apple (*Malus communis* L.) from Turkey. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 29 (6), 829-835. DOI: 10.3109/14756366.2013.858144.
- Cerrahoğlu, E., Gülnur Arabacı, G. (2016). Eflatun çiçekli ballıbaba (*Lamium purpureum*) polifenol oksidaz enziminin karakterizasyonu ve inhibisyonu. *SAÜ Fen Bil. Der.*, 20 (2), 245-250.
- Cetin, M., Akbudak, B., Ozer, M.H. (2018). The effects of hot and cold water treatment on quality parameters and enzymatic activity in chestnut. *Journal of Agricultural Sciences*, 24, 403-412.
- Cimen, C., Demir, H., Gür, A., Kubilay, S. (2007). Investigations of the inhibition kinetics of some drugs and chemicals on enzyme of polyphenol oxidase purified from Apricot's (Salak). *Biosciences, Biotechnology Research Asia*, 4(2), 659-664.
- Colak, A., Kolcuoğlu, Y., Faiz, Ö., Dincer, B. (2007a). Comparative characterization of diphenolases from two mulberry fruits (*Morus alba* L. and *Morus nigra* L.). *Asian Journal of Chemistry*, 19(4), 2961-2972.

- Colak, A., Sahin, E., Yildirim, M., Sesli, E. (2007b). Polyphenol oxidase potentials of three wild mushroom species harvested from Lişer High Plateau, Trabzon. *Food Chemistry*, 103, 1426–1433. doi:10.1016/j.foodchem.2006.10.059.
- Colak, A., Özen, A., Dincer, B., Güner, S., Ayaz, F.A. (2005). Diphenolases from two cultivars of cherry laurel (*Laurocerasus officinalis* Roem.) fruits at an early stage of maturation. *Food Chemistry*, 90, 801–807. doi:10.1016/j.foodchem.2004.06.004
- Coruk, K.S. (2018). Isıl işlem sonucunda şeftali suyunda bulunan polifenol oksidaz ve peroksidaz enzimlerinin yapısal değişimlerinin FTIR spektroskopisi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Çelik, E. (2018). Eğirdir (Isparta)'de yetiştirilen elmalardan polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması, karakterizasyonu ve polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması için alternatif bir yöntem geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çesko, C. (2018). *Paulownia tomentosa*'dan polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve çeşitli bitki özütleri ile inhibisyonu. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çınar, F. (2018). Murt (*Myrtus communis* L.) meyvesinden polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Dedeoğlu, N., Ozensoy Guler, O. (2009). Differential *in vitro* inhibition of polyphenoloxidase from a wild edible mushroom (*Lactarius salmonicolor*), *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 24(2), 464-470. DOI:10.1080/14756360802190244
- Dedeoğlu, N. (2009). Yenilebilir mantar türlerinden polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Demir, D., Alkan, N., Göze Özdemir, F.G., Söğüt, M.A., Eken, C., (2016b). Changes in polyphenol oxidase activity in tomato roots inoculated with root knot nematode *Meloidogyne hapla* and isolates of the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys*. ChemCYS 2016, the Chemistry Conference for Young Scientists (16-18 March 2016 Blankenberge-Belgium): 80.
- Demir, D., Eken, C., Çelik, E., Alkan, N., (2016c). Polyphenol oxidase activity in alfalfa seedling inoculated with *Rhizoctonia* spp. The Coins 2016 - International Conference of Natural and Life Sciences (29 February-03 March 2016, Vilnius- Lithuania): 44-45.
- Demir, D., Göze Özdemir, F.G., Alkan, N., Söğüt, M.A., Eken, C., (2016d). Effect of inoculating tomato roots with *Meloidogyne javanica* and isolates of the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys* on the polyphenol oxidase

- activity. 68th International Symposium on Crop Protection (17 May 2016 Gent- Belgium): 131.
- Demir, D., Ünal, H., Arabacı, M. (2018). Polyphenol oxidase enzyme activity in Gemlik olives during the different developmental periods. 7th International Molecular Biology and Biotechnology Congress (MOLBIOTECH) (25-27 April 2018 Konya/Turkey): 351.
- Demir, D., Yavuz, T., Kuscü, M. (2017). Characterization of Polyphenol Oxidase Enzyme from Odemiş Potato. International Conference on Technology, Engineering and Science (IConTES) (26-29 October 2017 Antalya/Turkey): 105.
- Demir, H., Alkan, S., Savran, A., Baycan, Y.S., Emre, Ö., Sabancılar, İ. (2009). Nar polifenol oksidaz enziminin kil ile immobilizasyonu ve karakterizasyonu. 23. Ulusal Kimya Kongresi (16-20 Haziran 2009/Sivas), BP-085.
- Demir, H., Çimen, Ç. & Çelikezen, F.Ç. (2012). Purification and characterization of polyphenol oxidase enzyme from Iğdır apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 2, 22-26.
- Demir, H., Yörük, İ. H., Savran, A., Ekici, K. (2006a). Purification and properties of polyphenol oxidase from Van Apple (Golden Delicious). *Asian Journal of Chemistry*, 18(1), 475-480.
- Demir, Ö. (2006). Muşmula (*Mespilus germanica* L.) Meyvelerinin olgunlaşması sırasındaki polifenol oksidazın karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demir, Y., Kocaçalışkan, İ. (2001). Effects of NaCl and proline on polyphenol oxidase activity in bean seedlings. *Biologia Plantarum*, 44 (4), 607-609.
- Dincer, B., Colak, A., Aydın, N., Kadioglu, A., Güner, S. (2002). Characterization of polyphenoloxidase from medlar fruits (*Mespilus germanica* L., Rosaceae). *Food Chemistry*, 77, 1-7.
- Dogan, S., Dogan, M. (2004). Determination of kinetic properties of polyphenol oxidase from Thymus (*Thymus longicaulis* subsp. *chaubardii* var. *chaubardii*). *Food Chemistry*, 88, 69-77. doi:10.1016/j.foodchem.2003.12.025
- Doğan, M., Arslan, O., Doğan, S. (2002). Substrate specificity, heat inactivation and inhibition of polyphenol oxidase from different aubergine cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 415-423.
- Doğan, S., Arslan, O., Özen, F. (2005). Polyphenol oxidase activity of oregano at different stages. *Food Chemistry*, 91, 341-345. doi:10.1016/j.foodchem.2004.06.017.
- Doğan, S., Ayyıldız, Y., Doğan, M., Alan, Ü., Diken, M.E. (2013). Characterisation of polyphenol oxidase from *Melissa officinalis* L. subsp. *officinalis* (lemon balm). *Czech J. Food Sci.*, 31, (2), 156-165.

- Doğan, S., Diken, M. E., Turhan, Y., Alan, Ü., Doğan, M., Alkan, M. (2011). Characterization and inhibition of (*Rosmarinus officinalis* L.) polyphenoloxidase. *Eur Food Res Technol*, 233, 293–301. DOI 10.1007/s00217-011-1504-y
- Doğan, S., Salman, Ü. (2007). Partial characterization of lettuce (*Lactuca sativa* L.) polyphenol oxidase. *Eur Food Res Technol*, 226, 93–103. DOI 10.1007/s00217-006-0513-8
- Doğan, S., Turan, P., Doğan, M. (2006). Some kinetic properties of polyphenol oxidase from (*Thymbra spicata* L.) var. *spicata*. *Process Biochemistry*, 41, 2379–2385. doi:10.1016/j.procbio.2006.06.013.
- Doğan, S., Turan, P., Doğan, M., Alkan, M., Arslan, O. (2007). Inhibition kinetics of polyphenol oxidase by glutamic acid. *Eur Food Res Technol.*, 225, 67–73. DOI 10.1007/s00217-006-0383-0
- Doğan, S., Turan, P., Doğan, M., Alkan, M., Arslan, O. (2008). Inhibition kinetic and mechanism of polyphenol oxidase from various sources by diethyldithiocarbamic acid. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1316–1322. doi:10.1111/j.1365-2621.2007.01610.x.
- Doğan, S., Turan, Y., Ertürk, H., Arslan, O. (2005a). Characterization and purification of polyphenol oxidase from artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(3), 776-785.
- Doğan, S., Turan, P., Doğan, M., Arslan, O., Alkan, M. (2005b). Purification and characterization of (*Ocimum basilicum* L.) polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(26), 10224-10230.
- Doğru, Y.Z., Erat, M. (2012). Investigation of some kinetic properties of polyphenol oxidase from parsley (*Petroselinum crispum*, Apiaceae). *Food Research International*, 49, 411–415.
- Dündar, B., Ağçam, E., Akyıldız, A. (2019). Optimization of thermosonication conditions for cloudy strawberry nectar with using of critical quality parameters. *Food Chemistry*, 276, 494–502.
- Eken, C., Demir, D., Alkan, N., Söğüt, M. A., Göze, F. G. (2016). Polyphenol oxidase activity in tomato roots inoculated with *Meloidogyne incognita* and *Arthrobotrys* spp. LS2 Annual Meeting 2016. 15–16 February 2016 Amphimax/Amphipôle, Lausanne-Switzerland).
- Erat, M., Sakiroglu, H., Kufrevioglu, O.I. (2006). Purification and characterization of polyphenol oxidase from *Ferula* sp. *Food Chemistry*, 95, 503–508. doi:10.1016/j.foodchem.2005.01.044
- Erat, M., Şahin, Y.N., Aksoy, G., Demirkol, A. (2010). Partial characterization of polyphenoloxidase from a hybridized wheat (*Triticum aestivum* L.). *European Food Research and Technology*, 231, 899–905. DOI 10.1007/s00217-010-1342-3

- Erzengin, M. (2002). Farklı kaynaklardan afinite kromatografisi ile polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması, kinetik ve elektroforetik özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü.
- Erzengin, M. (2009). Affinity purification and characterization of polyphenol oxidase from (*Helianthus tuberosus* L.). *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 37 (4) 313-325.
- Friedman, M. (1997). Chemistry. Biochemistry and dietary role of potato polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1523-1540.
- Gencer, N. (2004). Farklı zeytin çeşitlerindeki antioksidan madde miktarının belirlenmesi ve polifenol oksidaz enzimi ile ilişkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü.
- Gencer, N., Sinan, S., Arslan, O. (2004). Farklı zeytin türlerindeki polifenol oksidaz enziminin karakterizasyonu. XVIII. Ulusal Kimya Kongresi, 5-9 Temmuz 2004, Kafkas Üniversitesi, Kars, 523.
- Gul Guven, R., Aslan, N., Guven, K., Matpan Bekler, F., Acer, O. (2016). Purification and characterization of polyphenol oxidase from corn tassel. *Cellular and Molecular Biology*, 62 (13), 6-11. doi: 10.14715/cmb/2016.62.13.2
- Gul Guven, R., Guven, K., Matpan Bekler, F., Acer, O., Alkan, H., Dogru, M. (2017). Purification and characterization of polyphenol oxidase from purslane. *Food Science and Technology*, 37(3), 356-362. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.03216>
- Gundoğmaz, G., Doğan, S. Arslan, O. (2003). Some kinetic properties of polyphenol oxidase obtained from various salvia species (*Salvia viridis* L., *Salvia virgata* Jacq. and *Salvia tomentosa* Miller). *Food Sci. Tech. Int.*, 9(4), 309-315. DOI: 10.1177/108201303036476.
- Guyen, R.G., Guven, K., Bekler, F.M., Aslan, N. (2019). Biochemical properties of polyphenol oxidase from *Aucus carota*. *The Online Journal of Science and Technology*, 9(1), 62-67.
- Gülçin, İ., Küfrevioğlu, Ö.İ., Oktay, M. (2005). Purification and characterization of polyphenol oxidase from nettle (*Urtica dioica* L.) and inhibitory effects of some chemicals on enzyme activity. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 20(3), 297-302, DOI: 10.1080/1475636032000141890
- Güler, C. (2015). Biber tohumlarından polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve kinetik özelliklerinin tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Gülsoy, E., Türkhan, A., Kaya, E.D. (2019). Kimyasal ve elle meyve seiyeltme uygulamalarının bazı elma çeşitlerinde polifenol oksidaz aktivitesi üzerine etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Derg.*, 23(2), 211-217. DOI: 10.29050/harranziraat.474985

- Güngör, K. (2008). Çağla Badem (*Prunus dulcis*) Bitkisinden polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gür, B., Ayhan, M.E., Türkhan, A., Gür, F., Kaya, E.D. (2019). A facile immobilization of polyphenol oxidase enzyme on graphene oxide and reduced graphene oxide thin films: An insight into in-vitro activity measurements and characterization. *Colloids and Surfaces A*, 562, 179–185.
- Kadıoğlu, A., Yavru, I. (1998). Changes in the chemical content and polyphenol oxidase activity during development and ripening of cherry laurel fruits. *Phyton (Horn, Austria)*, 37(2), 241-251.
- Karabulut, Ş. (2017). Tortum elmasından (*Malus sylvestris.*) polifenol oksidaz enziminin afinite kromatografisi ile saflaştırılması, karakterizasyonu ve bazı kimyasalların enzim aktivitesi üzerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Karakus, E., Pekyardımcı, S. (2009). Purification and biochemical characterization of polyphenol oxidase from Alanya Banana (*Musa carevendishi*). *Asian Journal of Chemistry*, 21 (4), 3138-3150.
- Kasım, M.U., Kasım, R. (2016). Taze kesilmiş baklada yüksek dozda sitrik asit uygulamalarının polifenol enzim aktivitesi ve kalite üzerine etkisi. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19(3):339-347
- Kavrayan, D., Aydemir, T. (2001). Partial purification and characterization of polyphenoloxidase from peppermint (*Mentha piperita*). *Food Chemistry*, 74, 147–154.
- Kaya, E.D., Türkhan, A., Peral Eydurhan, S., Akın, M. (2018). Iğdır ilinin yerel üzümü Kırmızı Kışmışı (*Vitis vinifera* L.) çeşidinden polifenol oksidazın kısmi saflaştırılması ve karakterizasyonu. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(4), 153-161. DOI: 10.21597/jist.423449
- Kaya, Ö., Köse, C. (2017). Determination of resistance to low temperatures of winter buds on lateral shoot present in Karaerik (*Vitis vinifera* L.) grape cultivar. *Acta Physiol Plant*, 39:209. DOI 10.1007/s11738-017-2513-7
- Kayıkcı, A.C. (1990). Dormansi dönemine geçiş sürecinde Türk çaylarının polifenol oksidaz, Cu, Mg, Zn ve Fe seviyelerindeki değişimler. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Kayıkcı, N.Ş. (1991). Dormansi döneminden verimlilik dönemine geçiş sürecinde Türkiye’de yetiştirilen çaylarda (*Camellia sinensis* L.) Kuntzes polifenol oksidaz enzimi seviyesindeki değişim. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keskin, Ş. (2009). *Russula delica* (*Russulaceae*)’dan polifenol oksidaz enziminin karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.



- Kocaçalışkan, İ. (1986). Patateste yumru gelişim sürecine bağlı olarak bitki hormonlarının polifenol oksidaz enzimi ve enzimatik kararına üzerine etkileri. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kolcuoğlu, Y. (2012). Purification and comparative characterization of monophenolase and diphenolase activities from a wild edible mushroom (*Macrolepiota gracilentata*). *Process Biochemistry*, 47, 2449–2454.
- Kolcuoğlu, Y., Colak, A., Sesli, E., Yildirim, M., Saglam, N. (2007). Comparative characterization of monophenolase and diphenolase activities from a wild edible mushroom (*Macrolepiota mastoidea*). *Food Chemistry*, 101, 778–785. doi:10.1016/j.foodchem.2006.02.035
- Kolcuoğlu, Y., Kuyumcu, I., Colak, A. (2018). A catecholase from *Laccaria laccata* a wild edible mushroom and its catalytic efficiency in organic media. *Journal of Food Biochemistry*, 42:e12605. DOI: 10.1111/jfbc.12605
- Köse, H. (2010). Polifenol oksidaz enziminin farklı maddelerle immobilizasyonu ve bazı özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kuyumcu, İ. (2014). Yabani ve yenilebilir bir mantar olan *Lactarius eucalypti* O. K. Mill & R. N. Hilton'dan polifenol oksidazın saflaştırılması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Laurila, E., Kervinen, R., Ahvenainen, R. (1998). The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. *Postharvest News and Information*, 9(4), 53-66.
- Leventer, D. (2005). Enginaradan polifenoloksidaz enziminin izolasyonu, saflaştırılması ve bazı özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mathew, A. G., Parpia, H. A. B. (1971). Food Browning as a Polyphenol Reaction. *Advances in Food Research*, 19, 75-145.
- Mathewson, P. R., (2000). Enzymes, Eagen Press Handbook Series, pp. 37-38.
- Mecit, B. (2008). Bor'un buğday tohumlarının çimlenme sürecine bağlı olarak embriyo ve endosperm dokularındaki polifenol oksidaz enzim aktivitelerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Millioğlu, Ö. (2019). Arap kızı yerel elma çeşidinde polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması, karakterizasyonu, bazı killerle immobilizasyonu ve inhibisyon etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Mos'ko, A. A., Shcherbakova, T. A., Glushko, N. A., Klenitskaya, I. A. (1992). Immobilization of polyphenol oxidase by soil humus. *Eurasian Science*, 5, 60-65.



- Oktay, M., Kührevioğlu, I., Kocaçalışkan, I., Şakiroğlu, H. (1995). Polyphenoloxidase from Amasya apple. *Journal of Food Science*, 60 (3), 494- 496.
- Oynan, M. (2000). Kuşburnu (*Rosa canina* L.) ve Yeni Dünya (*Eriobotrya japonica*) polifenol oksidaz enziminin kinetik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Önez, Z. (2006). Üzümünden (*Vitis vinifera* L.) İzole edilen polifenol oksidaz enziminin özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öz, F., Colak, A., Özel, A., Sağlam Ertunga, N., Sesli, E. (2013). Purification and characterization of a mushroom polyphenol oxidase and its activity in organic solvents. *Journal of Food Biochemistry*, 37, 36–44. doi:10.1111/j.1745-4514.2011.00604.x
- Özel, A., Colak, A., Arslan, O., Yildirim, M. (2010). Purification and characterisation of a polyphenol oxidase from *Boletus erythropus* and investigation of its catalytic efficiency in selected organic solvents. *Food Chemistry*, 119, 1044–1049. doi:10.1016/j.foodchem.2009.08.011
- Özen, A., Colak, A., Dincer, B., Güner, S. (2004). A diphenolase from persimmon fruits (*Diospyros kaki* L., Ebenaceae). *Food Chemistry*, 85, 431–437. doi:10.1016/j.foodchem.2003.07.022
- Özkaya, P. (2018). Endemik *Salvia huberi* Hedge türünün polifenol oksidaz aktivitesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Pakyıldız, S. (2016). Gövem eriği (*Prunus spinosa* L.) polifenol oksidaz enziminin biyokimyasal özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Pekyardımcı, Ş. (1992). Polifenol oksidaz enzimi ve esmerleme reaksiyonlarının gıda endüstrisinde uygulamaları. *Gıda*, 17(3), 181-186.
- Sakiroglu, H., Yılmaz, E., Erat, M., Öztürk, A.E. (2013). Selected properties of polyphenol oxidase obtained from Ispir Sugar Bean. *International Journal of Food Properties*, 16(6), 1314-1321, DOI: 10.1080/10942912.2011.584258
- Saki, N., Akin, M., Alici, E.H., Arabaci, G. (2018). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from the wild edible mushroom *lepiota procera* using three-phase partitioning. *International Journal of Food Engineering*, 20170208.
- Sarkar, J. M., Leonowicz, A., Bollog. J. M. (1989). Immobilization of enzymes on clays and soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(2), 223-230.
- Sevindik, E. (2019). In silico analysis of putative polyphenol oxidases in oirve using bioinformatics tools. *Bangladesh Journal of Botany*, 48(1), 17-24.
- Seyhan, F., Ozay, G., Saklar, S., Ertaş, E., Satır, G., Alasalvar, C. (2007). Chemical changes of three native Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.)

- during fruit development. *Food Chemistry*, 105 590–596. doi:10.1016/j.foodchem.2007.04.016.
- Shabnam, N. (2015). Roka'dan (*Eruca sativa*) polifenoloksidaz enziminin karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sheptovitsky, Y.G., Brudvig, G.W. (1996). Isolation and characterization of spinach photosystem II membrane-associated catalase and polyphenol oxidase. *Biochemistry*, 35, 16255-16263.
- Soysal, Ç. (2008). Kinetics and thermal activation/inactivation of starring apple polyphenol oxidase. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32, 1034–1046.
- Soysal, Ç. (2009). Effects of green tea extract on (Golden delicious) apple polyphenoloxidase and its browning. *Journal of Food Biochemistry*, 33, 134–148.
- Sutay, D. (2003). Isolation, characterization, and immobilization of polyphenol oxidases from mulberry (*Morus alba*) leaf tissues. M.S. Thesis, The Middle East Technical Universty.
- Şahin, E. (2006). Bazı yabancı mantarlardan polifenol oksidaz enziminin izolasyonu ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şakiroğlu, H., Birdal, C., Başlar, M., Öztürk, A.E. (2016). Inactivation kinetics of polyphenol oxidase in an aqueous model system under stand-alone and combined ultrasound and ultraviolet treatments. *International Journal of Food Properties*, 19(7), 1535–1543. DOI: 10.1080/10942912.2014.973503.
- Şakiroğlu, H., Küfrevioğlu, Ö.I., Kocaçalışkan, I., Oktay, M., Onganer, Y.J. (1996). Purification and characterization of dog-rose (*Rosa dumalis* Rechst.) Polyphenol Oxidase. *Agric. Food Chem.*, 44(10), 2982-2986.
- Şakiroğlu, H., Öztürk, A.E., Pepe, A.E., Erat, M. (2008). Some kinetic properties of polyphenol oxidase obtained from dill (*Anethum graveolens*). *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 23(3), 380-385. DOI: 10.1080/14756360701587201
- Şener, A. (2012). Bazı kayısı çeşitlerinde polifenol oksidaz, pektin metilesteraz, β-glikozidaz ve karotenaz enzimlerinin biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şener, A., Ünal, M.Ü. (2011). Purification and characterization of polyphenol oxidase from Akko XIII Loquat (*Eriobotrya japonica* cv. Akko XIII). *Food Biotechnology*, 25 (1), 30-42. DOI: 10.1080/08905436.2011.547115.
- Şimşek, Ş. (2004). Ticari olarak kullanılabilir niteliklere sahip pektin metilesteraz ve polifenol oksidazın tarım endüstrisi atıklarından üretilmesi.

Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Taş, C., Ünal, M.Ü. (2012). Domat zeytini polifenol oksidaz enziminin biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27-5, 21-30.
- Torun, H., Kolcuoğlu, Y., Ayaz, F.A., Çolak, A., Glew, R.H. (2015). Characterization of polyphenol oxidase during three ripening stages of an eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit: a local type in northeast Anatolia. *Türk Biyokimya Dergisi [Turkish Journal of Biochemistry-Turk J Biochem]*, 40 (1), 44–50. doi: 10.5505/tjb.2015.27146.
- Tosun, M., Akgun, I., Taspınar, M.S., Kanli, M. (2002). Determination of variations of some enzymes in orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.). *Ecotypes, Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 52(2), 110-115. DOI:10.1080/090647102321089855
- Tozak, K.Ö. (2013). Nevşehir patatesinden (*Solanum tuberosum* L.) polifenol oksidaz enziminin afinite kromatografisi ile saflaştırılarak kinetik ve elektroforetik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Turkan, F., Demir, H. (2018). Purification and characterization of polyphenol oxidase enzyme from Iğdır apple and inhibition effects of some chemicals. *International Journal of Science and Research*, 7(10), 829-832. DOI: 10.21275/ART20191861
- Türkan, F. (2009). Iğdır elmasından polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve bazı özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Türkhan, A. (2018). Ağşeftali'sinden (*Prunus persica* L.) polifenol oksidazın saflaştırılması, immobilizasyonu ve karakterizasyonu. Doktora tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Türkhan, A., Kaya, E.D., Yılmaz, İ. (2018). Alıç (*Crataegus monogyna*) meyvesinden polifenol oksidaz enziminin kısmi saflaştırılması ve karakterizasyonu. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (3), 1048-1054. Doi10.16984/saufenbilder.334811
- Ülker Yerlütürk, F., Arslan, O., Sinan, S., Gencer, N., Özensoy Güler, Ö. (2008). Characterization of polyphenoloxidase from wild pear (*Pyrus elaeagnifolia*). *Journal of Food Biochemistry*, 32 368–383.
- Ünal, M.Ü. (2007). Properties of polyphenol oxidase from Anamur banana (*Musa cavendishii*). *Food Chemistry*, 100, 909–913. doi:10.1016/j.foodchem.2005.10.048.
- Ünal, M.Ü., Gökkaya, Ö., Şener, A. (2011). Characterization of polyphenol oxidase from white cherry fruit (*Starks Gold*). *Gıda*, 36(5), 255-262.

- Ünal, M.Ü., Şener, A. (2006). Determination of some biochemical properties of polyphenol oxidase from Emir grape (*Vitis vinifera* L. cv. Emir). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 2374–2379. DOI: 10.1002/jsfa.2627.
- Ünal, M.Ü., Şener, A., Şen, K. (2007). Characterization of Sultaniye grape (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana) polyphenol oxidase. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 1123–1127. doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01406.x.
- Ünver, M. C. (2000). Saponin'in buğday çimlenmesi üzerine olan etkilerinin polifenol oksidaz ve amilaz enzim aktiviteleri ile ilişkili araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vamos-Vigyazo, L. (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(1), 49-127.
- Whitaker, J.R. (1972). Principles of enzymology for the food sciences, Marcel Dekker. New York, Chapters. 22-24.
- Yabancı, S.N. (2008). Çay bitkisi polifenol oksidaz enziminin saflaştırılması ve bazı özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yağar, H. (2004). Some biochemical properties of polyphenol oxidase from celery. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 34(4), 387-397. DOI: 10.1081/PB-200031054
- Yağar, H., Sağıroğlu, A. (2002a). Non-covalent immobilization of quince (*Cydonia oblonga*) polyphenol oxidase. *Turk J Chem.*, 26, 751-758.
- Yağar, H., Sağıroğlu, A. (2002b). Non-covalent immobilization of quince (*Cydonia oblonga*) polyphenol oxidase on Alumina. *Acta. Chim. Slov.*, 49, 893–902.
- Yağar, H., Sarioğlu, A. (2002c). Partially purification and characterization of polyphenol oxidase of quince. *Turk. J. Chem.*, 26, 97-103.
- Yalçın, C. (2005). *Agaricus bitorquis* (Quel) Saccardo'den Tirozinaz enziminin elde edilmesi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yalçın, M. (2018). Juglon allelokimyasalının salatalıkta polifenol oksidaz enzim aktiviteleri ve gen ifadeleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yang, C. P., Fujita, S., Kohno, K., Kusubayashi, A., Ashrafuzzaman, M. D., Hayashi, N. (2001). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientum* L.) peel. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 1446-1449.
- Yavru, İ. (1997). Karayemiş (*Prunus laurocerasus* L.) meyvelerinde gelişme ve olgunlaşmaya bağlı olarak bazı organik madde miktarları ile polifenol

- oksidaz aktivitesindeki değişimlerin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yavuz, T. (2019). Ödemiş (İzmir) ilçesinde yetiştirilen Marabel ve Marfona patates çeşitlerindeki polifenol oksidaz enzimlerinin saflaştırılması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Yediel, A. (2018). Bakla kabuğundan polifenol oksidaz enziminin izolasyonu ve bazı biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Yemenicioğlu, A., Cemeroglu, B. (1998). Hale haven seftalilerinde polifenol oksidaz enzimlerinin bazı nitelikleri. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 22, 261-265.
- Yemenicioğlu, A., Cemeroglu, B. (2003). Consistency of polyphenol oxidase (PPO) thermostability in ripening apricots (*Prunus armeniaca* L.): Evidence for the presence of thermostable PPO forming and destabilizing mechanisms in apricots. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 2371-2379.
- Yemenicioğlu, A., Özkan, M., Cemeroglu, B. (1997). Heat inactivation kinetics of apple polyphenoloxidase and activation of its latent form. *Journal of Food Science*, 62(3), 508-510.
- Yılmaz, C. (2016). Çay yapraklarından (*Camellia sinensis* L.) polifenol oksidaz enziminin afinite kromatografisi ile saflaştırılması, karakterizasyonu ve bazı kimyasalların enzim aktivitesi üzerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yılmaz, H., Sakiroglu, H., Kufrevioglu, I. (2004). Polyphenol oxidase from Mazrma grape (*Vitis vinifera* L.) [Turkey]. *Agrochimica –Pisa*, 47(1), 21-27.
- Yoruk, R., Marshall, R. M. (2003). Pysicochemical properties and function of plantpolyphenol oxidase: a review. *Journal Food Biochemistry*, 27, 361-422.
- Ziyan, E., Pekyardımcı, Ş. (2003). Characterization of polyphenol oxidase from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*). *Turk J Chem.*, 27, 217-225.
- Ziyan, E., Pekyardımcı, Ş. (2004). Purification and characterization of pear (*Pyrus communis*) polyphenol oxidase. *Turk J Chem.*, 28(5), 547-557.





## Bölüm 8

### TÜRKİYE’NİN HAYVANSAL KAYNAKLI BİYOGAZ KAPASİTESİ

*Mehmet APAYDIN<sup>1</sup>, Kenan SAKA<sup>2</sup>*

---

<sup>1</sup> Öğr. Gör., Bursa Uludağ Üniversitesi Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksek Okulu,  
mehmetapaydin@uludag.edu.tr

<sup>2</sup> Öğr. Gör. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksek Okulu,  
kenansaka@uludag.edu.tr





## Giriş

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmaya devam etmesi, sanayileşmenin yeni boyutlar kazanması ve insanların yaşam kalitesini yükseltmek istemesi, enerji ihtiyacını hızlı bir şekilde arttırmaktadır. Bu sebeple, yeni enerji kaynaklarının bulunması ve enerji teknolojisinin geliştirilmesi gereksinimi ülkeleri yeni arayışlara yöneltmiştir. Bütün gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi Türkiye'nin de gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşması için yeterli kullanılabilir enerjiye sahip olması gerekmektedir. Dünyada olduğu gibi Türkiye'nin de enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Gelecek için yapılan analizlere göre 2043 yılına gelindiğinde Türkiye'nin elektrik ihtiyacı 2236 TWh olacağı öngörülmektedir (Yılmaz & Abdulvahitoğlu, 2019)

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç ve fosil yakıtların çevreye verdikleri zararlar, araştırmacıların alternatif enerji kaynakları üzerine araştırmalar yapmalarına neden olmuştur. Bunlardan biri de biyogaz enerjisidir (Topaloğlu & İmren, 2011).

Organik atıkların havasız şartlarda fermantasyonu sonucunda elde edilen biyogaz, alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. TÜİK verilerine göre Türkiye'de var olan sadece 13 milyon büyük baş hayvan sayısı dikkate alındığında çok önemli bir kapasitede alternatif enerji kaynağı kullanımı beklemektedir. Bununla birlikte ülkemizde büyükbaş hayvan kaynaklı gübre tarımsal amaçlı veya kurutulduktan sonra yakıt olarak kullanılmaktadır.

Son zamanlarda büyük ölçekli çiftlik sayısındaki artış ve oluşan atıklar çevre problemini gündeme getirmiştir. Hayvansal atıklar atılmadan doğaya salınırsa başta metan gazının oluşturduğu küresel ısınma problemi ve yer üstü sularının kirlenmesi gibi patojenik problemler önemli çevre sağlığı tehditleri oluşturmaktadır. Hayvansal atıkların bertaraf yöntemleri büyük ölçekte biyokütle-enerji dönüşüm sistemlerinden oluşmaktadır. Bu tür sistemlerin işletmeye alınması sonucu enerji üretimine yan ürün olarak besin değeri yüksek gübre elde edilmesi mümkün olmaktadır (Tolay, 2008).

Türkiye'de biyogaz üretimi ile ilgili ilk çalışmalar 1957 yılına dayanmaktadır. Bu yıllarda Devlet Üretim Çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur. Tarım Bakanlığı nezdinde 1963 yılında başlatılan çalışmalarda 7 tanesi Eskişehir, 1 tanesi de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam 8 adet biyogaz tesisi kurulmuştur (Şenol & Elibol., 2017). Yapılan ilk çalışmalardan günümüze kadar geçen sürede yönetimlerin biyogaz üretimine sıcak bakmamaları, teknik eleman bulunmaması, çiftçilerin yeterince eğitilmemesi gibi nedenlerden dolayı biyogaz üretiminde istenilen seviyeye gilememiştir.

Dünyada biyogaz üretim tesisleri son 10 yılda hızlı bir şekilde artmıştır. Özellikle Avrupa ülkeleri biyogaz tesisleri yapımında önemli aşama kaydetmişlerdir. Almanya'da toplam elektrik üretim gücü 2,8 GW olan yaklaşık 7 bin tesis bulunmaktadır. Elde edilen enerjiyle tüm özel konutların elektrik ihtiyacının %13'ünü biyogazdankarşılanmaktadır. Türkiye, sadece hayvan atıkları ile çalışabilecek 2 bin adet biyogaz tesisi kapasitesine sahiptir. Ancak ülkemizde 36'sı çalışmakta olan toplam 85 biyogaz tesisi bulunmaktadır (IGU, 2015).

Türkiye'de 2011 yılında Alman Biyokütle Araştırmaları Merkezi(DBFZ) tarafından Türk uzmanları ile birlikte hazırlanan, Türk-Alman Biyogaz Projesi ile Türkiye'nin elektrik ihtiyacının en fazla % 12'sinin biyogazdan elde edilebileceği belirlenmiştir(DBFZ, 2011).

Kaya ve arkadaşlarının (2009) yaptığı çalışmada bir biyogaz tesisi için gerekli ekonomik altyapı anlatılmıştır. Büyükbaş hayvan gübresi kullanılan bir biyogaz tesisinde yıllık 40.000 ton atık karşılığında 500 kW kapasiteli elektrik üretimi yapılabileceği bildirilmiştir. Özcan ve arkadaşları (2015) ise yaptıkları çalışmalarında 2011 verileri için Türkiye'nin farklı biyokütle kaynak tiplerine göre enerji potansiyelini hesaplamışlardır. Sonuç olarak organik atıklardan, şehir atık su arıtma tesisinden, enerji bitkilerinden ve hayvan gübresinden biyogaz potansiyeli 188,21 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Avcıoğlu ve Türker(2012), Türkiye'nin biyogaz enerji potansiyelini, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları türlerine göre illerin atık haritasını geliştirmişlerdir. 2009 yılı verilerine göre, Türkiye'nin biyogaz enerji potansiyelini yaklaşık 2,18 Gm<sup>3</sup> olarak hesaplamışlardır. Bu miktarın %68'ini büyükbaş, %5'ini küçükbaş ve %27 oranını da kümes hayvanları oluşturmaktadır. Bu çalışmaya göre Türkiye'nin biyogaz kapasitesinde en büyük pay büyükbaş hayvan kaynaklı ortaya çıkan biyokütleyle aittir.

Bu çalışmada ise Türkiye'de yetiştirilen büyükbaş hayvan gübresine bağlı olarak elde edilebilecek biyogaz kapasitesi en son üretim verilerine göre farklı türleri için ayrıntılı olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde 2018 yılı için Türkiye İstatistik Kurumu tarafından açıklanan hayvansal üretim sayıları esas alınmıştır. Öncelikle yerli sığır, kültür sığıri, melez sığır ve manda sayısına bağlı olarak dört farklı tür için yaş atık kütlesi hesaplanmıştır. Daha sonra yaş atık kütesinin sahip olduğu kuru atık kütesinden elde edilebilecek toplam biyogaz kapasitesi ortaya konmuştur.

### **Biyogaz Nedir?**

Biyogaz, temel olarak organik atıklardan kullanılabilir gaz üretilmesini ifade eder. Parlak mavi renkte yanan, kokusuz, renksiz, ısı değeri yüksek yanıcı bir gaz karışımıdır. Bu yüzden biyogaz doğal gazın alternatif

olabilir. Biyogaz bileşimi yaklaşık olarak; % 65 metan gazı ( $\text{CH}_4$ ), %35 karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), % 0,1-1 azot ( $\text{N}_2$ ), % 0,01-0,2 oksijen ( $\text{O}_2$ ) ve 10-4000 ppm hidrojen sülfür gazından ( $\text{H}_2\text{S}$ ) oluşmaktadır. Metan, biyogazın ısı değerini oluşturan ana maddedir.  $1 \text{ m}^3$  biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal'dir. Bu değer; 0,62 litre gaz yağı, 1,46 kg odun, 0,43 kg bütan gazı, 12,3 kg tezek ve 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir.  $1 \text{ m}^3$  biyogaza eşdeğer yakıt miktarları ise 0,66 litre motorin 0,75 litre benzin, 0,25  $\text{m}^3$  propan tarafından sağlanan enerjiye eşdeğerdir (Gül, 2006). LPG veya doğalgaz ile çalışabilen tüm cihazlar ufak revizyon işlemleri sonucu biyogaz ile çalışabilir (Koca, 2007). Gıda sanayii kaynaklı organik atıklar, organik mutfak atıkları, mısır veya şeker pancarı gibi enerji bitkileri ile hayvan besiciliğinde oluşan hayvansal dışkıları biyogaz tesislerinde işlenmek üzere kullanılabilirler (Şenol & Elibol., 2017).

Birçok ülkede biyogaz üretimi için biyogaz tesisleri planlanan amaca ve kapasiteye göre çeşitlilik göstermektedir. Bu tesislerden 6-12  $\text{m}^3$  kapasiteli olanlara aile tipi, 50-150  $\text{m}^3$  kapasiteli olanlara çiftlik tipi, 100-200  $\text{m}^3$  kapasiteli olanlara ise köy tipi biyogaz tesisi denilmektedir. Bununla birlikte Almanya, Danimarka, İsveç, Amerika gibi ülkelerde 1000-10000  $\text{m}^3$  kapasiteli sanayi tipi biyogaz tesisleri işletilmektedir (Okay, Oktan., 1983).

Biyogaz tesisinde tesis verimi; katı madde oranı, C/N oranı, basınç, karıştırma, pH, sıcaklık, yükleme oranı, toksik maddeler ve bekleme süresi gibi pek çok bileşene bağlıdır. Bu bileşenler tesis tipine göre çeşitlilik göstermektedir (Çağlayan & Koçer, 2014).

### **Biyogaz Kapasitesi Hesaplama Yöntemi**

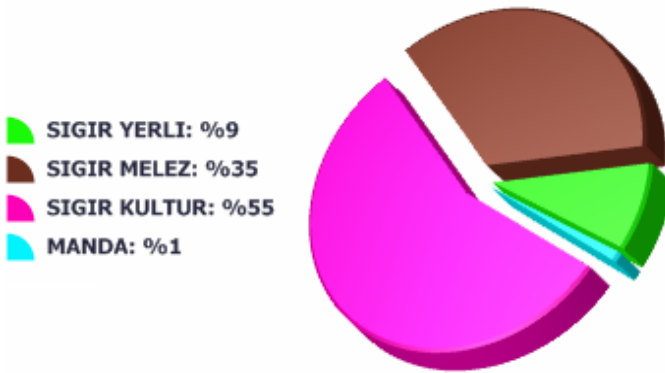
Bir biyokütleden elde edilebilecek biyogaz kapasitesi öncelikle biyolojik atık kütlelerinin bir fonksiyonudur. Biyolojik atık kütlesi ise hayvansal üretimin bir sonucudur. Türkiye şartlarında üretilen büyükbaş hayvan sayıları ise kültür sığırı, melez sığır, yerli sığır ve manda olmak üzere Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından her yıl için düzenli olarak ilgililerle paylaşılmaktadır. TÜİK verileri literatürde birçok araştırmacı tarafından veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca at, katır ve eşek gibi diğer hayvanlar ise üretim sayıları çok az olduğu için bu çalışmaya dâhil edilmemiştir.

Hayvansal üretim sonucu farklı türlerde biyolojik atık çıkmasına rağmen biyogaz kapasitesi hesaplarında dikkate alınan biyokütle çeşidi ise gübredir. Hayvansal metabolizma faaliyetleri sonucu ortaya çıkan yaş gübre ise ülke genelinde dağınık bir halde bulunduğu ve biyogaz dışında farklı amaçlar için kullanılabilirdiği için büyükbaş hayvan kaynaklı yaş gübrenin tamamının kullanılabilir olmasından bahsedilemez. Ayrıca

yaş gübrenin biyogaz kaynağını oluşturan kısmı kuru gübre kütesidir. Hayvan türlerine göre kuru gübre oranları ise araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Kuru gübre kütesi bilinen bir gübre üretiminin biyogaz kapasitesini hesaplamak mümkündür. Bu çalışmada biyogaz kapasite hesabı için takip edilen adımlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Büyükbaş hayvan sayılarının türlere göre belirlenmesi.
2. Hayvan sayılarına ve türlerine bağlı yaş gübre kütesinin hesaplanması.
3. Türkiye genelinde var olan elde edilebilir yaş gübre kütesinin hesaplanması.
4. Yaş gübre kütesine bağlı olarak kuru gübre kütesinin hesaplanması.
5. Son olarak kuru gübre kütesine bağlı olarak biyogaz hacminin hesaplanması.

Yukarıda bahsedilen birinci adımda büyükbaş hayvan sayılarının türlere göre belirlenmesi için TÜİK verilerinden yararlanıldığından bahsedilmişti. İkinci adımda ise hayvan sayılarına ve türlerine bağlı yaş gübre kütesinin hesaplanması için Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA) tarafından hayvan türleri için kullanılan katsayılar dikkate alınmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından kullanıcı dostu olarak internet üzerinden hazırlanan atlasta yer alan ve hesaplatılan bilgiler 2016 yılı ile uyumludur. Aşağıda verilen Şekil 1 üzerinde BEPA tarafından hesaplanan büyükbaş atık miktarının türlere göre dağılımı verilmiştir.



*Şekil 1. BEPA tarafından hesaplanan büyükbaş atık miktarının türlere göre dağılımı*

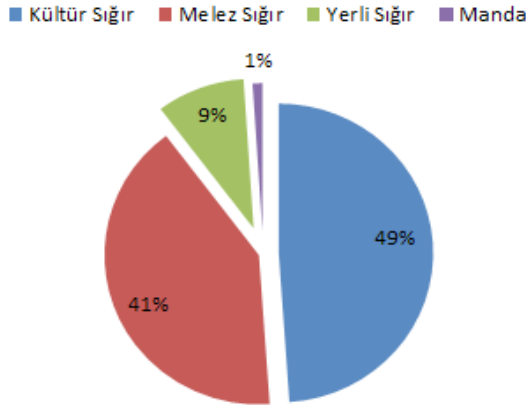
Yukarıda verilen büyükbaş hayvan türleri içinde yaş gübre potansiyeline en büyük katkıyı sağlayan tür kültür sığır türüdür. Ülke

geline oluşan büyükbaş hayvan üretimine bağlı ortaya çıkan yaş gübre potansiyelinin yarıdan fazlası sadece kültür sığır türünden gelmektedir. Yukarıda verilen şekil var olan biyokütle potansiyelinin kullanılabilir hale gelmesi için kültür sığır çiftliklerinin önceliğine dikkati çekmektedir. Hayvan türlerine bağlı olarak yaş gübre kütlelerinin hesaplanması için bir baş kültür sığır tarafından üretilen yıllık gübre kütlesi 9,125 ton olarak kabul edilmiştir. Bu miktar melez sığır için 6,57 ton, yerli sığır için 5,475 ton ve manda için ise 7,3 tondur.

Üçüncü adımda dikkate alınan Türkiye genelinde dağınık halde bulunan yaş gübre kütlelerinin elde edilebilir kısmı var olan yaş gübrenin % 50'si olarak kabul edilmiştir. Ayrıca dördüncü adımda bahsedilen yaş gübre kütlelerinin kuru gübre oranı ise her dört tür içinde % 15'dir. Son olarak 1 ton kuru gübre kütlelerinden elde edilebilecek biyogaz hacmi ise literatürden 200 m<sup>3</sup> olarak alınmıştır (Avcıoğlu & Türker, 2012).

### Sonuçlar ve Tartışma

Türkiye şartlarında yapılan büyükbaş hayvan üretimi ülke geneline dağınık bir halde bulunmaktadır. Her il ve ilçenin kendi sosyoekonomik yapısına bağlı olarak büyükbaş hayvan sayısı farklılık göstermektedir. Bu çalışmada dikkate alınan üretim verileri bütün ülkede yer alan her bir il ve ilçenin üretim miktarlarının toplamı sonucu elde edilen üretim değerleridir. Buna göre 2018 yılında Türkiye'de üretilen büyükbaş hayvan sayısı 17.220.903'tür. Aşağıda verilen Şekil 2 üzerinde Türkiye'de en çok üretimi yapılan dört tür büyükbaş hayvan sayısına ait oransal dağılım verilmiştir.

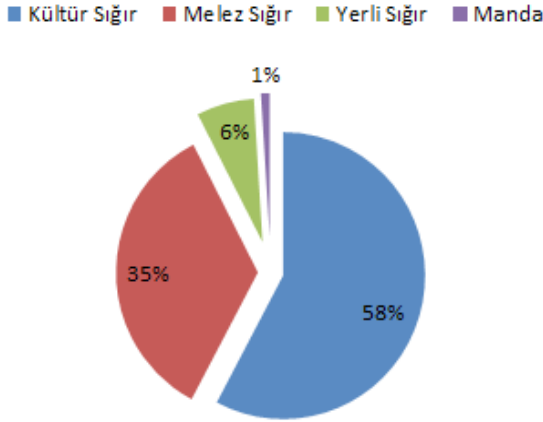


Şekil 2. Türkiye'de üretimi yapılan büyükbaş hayvan türlerinin oransal dağılımı

2018 TUIK verilerine göre Türkiye'de 8.419.204 baş hayvan kültür sığır olarak üretilmiştir. Bu rakam toplam büyükbaş üretiminin %49'luk

kısmını oluşturmaktadır. Melez sığır üretimi ise en az kültür sığır üretimi kadar önemlidir. 7.030.297 baş olarak üretilen melez sığırlar toplam büyükbaş üretiminin % 41'ni teşkil etmiştir. Yerli sığır üretimi 1.593.005 ve manda üretimi ise 178.397 ile sınırlı kalmıştır.

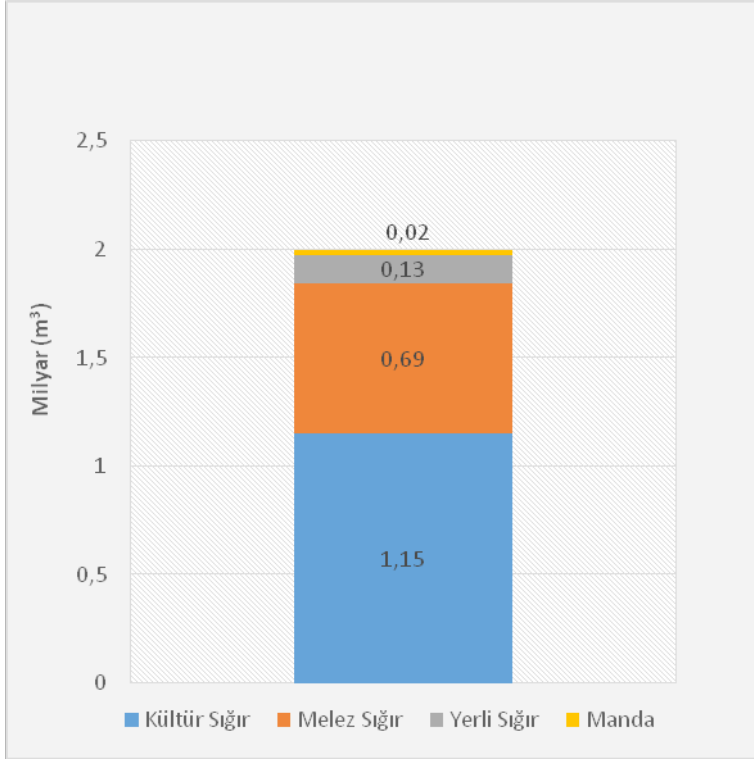
Türkiye’de üretilen 17 milyondan fazla büyükbaş hayvandan ortaya çıkan gübre ise yaklaşık olarak 133 milyon tondur. Bu kütleinin türler arasındaki dağılımı ise farklılık göstermektedir. Aşağıda verilen Şekil 3 üzerinde dört farklı türün yaş gübre üretimine olan katkısının oransal dağılımı verilmiştir.



Şekil 3. Türkiye’de üretilen büyükbaş hayvan kaynaklı yaş gübre potansiyelinin oransal dağılımı

2018 yılında üretilen büyükbaş hayvanlardan kaynaklanan yaş gübre kapasitesi dağılımında en yüksek pay kültür sığına aittir. Kültür sığır üretimi % 58’lik oran ile yıllık 76.825.237 ton yaş gübre oluşumuna neden olmuştur. Melez sığır üretimi ise % 35’lik oran ile yıllık 46.189.051 tondur. Yerli sığır üretimi ise toplam yaş gübre kapasitesinin sadece % 6’sını karşılamıştır. Bu oran yıllık 8.721.702 ton yaş gübre üretimi anlamına gelmektedir. Manda üretimi kaynaklı yaş gübre kapasitesi ise yıllık 1.302.298 ton olarak hesaplanmıştır.

Büyükbaş hayvan üretimine bağlı biyogaz kapasitesinin hesaplanması için yaş gübre kapasitesinden sonra kullanılabilir yaş gübre kapasitesi, kuru gübre kapasitesinin hesaplanması gerekir. Fakat bu adımlarda her dört tür içinde aynı katsayılar kullanıldığı için aynı oransal dağılım ortaya çıkacağı için bu çalışmada en son olarak biyogaz kapasitesi sonuçlarına yer verilmiştir. Aşağı verilen Şekil 4 üzerinde her bir tür için ve toplam büyükbaş hayvan yetiştiriciliğine bağlı Türkiye’nin 2018 yılı biyogaz kapasitesi gösterilmiştir.



Şekil 4. Türkiye'nin 2018 yılı için büyükbaş kaynaklı hayvansal biyogaz kapasitesinin türlere göre dağılımı

2018 yılında büyükbaş türüne ait biyogaz kapasitesi incelendiğinde Türkiye'nin toplamda 2 Milyar m<sup>3</sup> biyogaz kapasitesinin olduğu belirlenmiştir. En büyük pay 1,15 Milyar m<sup>3</sup> ile kültür sığırına aittir. Daha sonra sırasıyla 0,69 Milyar m<sup>3</sup> ile melez sığır, 0,13 Milyar m<sup>3</sup> ile yerli sığır ve 0,02 Milyar m<sup>3</sup> ile manda gelmektedir.

## KAYNAKÇA

- AVCIOĞLU A.O., TÜRKER U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16. 1557-1563.
- ÇAĞLAYAN G.H., KOÇER N.N. (2014). Muş ilinde hayvan potansiyelinin değerlendirilerek biyogaz üretiminin araştırılması. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 2. 2147-7930
- DBFZ- Deutsches Biomasse Forschungszentrum (2011). Türkiye’de biyogaz yatırımları için geçerli koşulların ve potansiyellerinin değerlendirilmesi. 116.
- GÜL N. 2006. Tavuk gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. 57. Isparta.
- IGU-International Gas Union. (2015). Biogas- From refuse to energy. 20.
- KAYAD., ÇAĞMAN S. 2009. Türkiye’nin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli ve ekonomisi. *Atık Teknolojileri Dergisi*. 1. 48-51.
- KOCA A. 2007. Yenilenebilir bir enerji kaynağı: Biyogaz. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırma Dergisi*. 3. 129-137.
- OKAYB., OKTAN P., Filiz M. 1983. Biyogaz tesisi kullanma rehberi. Türk Hükümeti-UNICEF Ortak Biyogaz Projesi T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Biyogaz Projesi Yayınları. Ankara.
- ŞENOL H., ELİBOL E., AÇIKEL Ü., ŞENOL M. (2017). Biyogaz üretimi için Ankara’nın başlıca organik atık kaynakları. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*. 6. 15-28.
- TOLAY M., YAMANKARADENİZ H., YARDIMCI S., REITER R. (2008). Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi. VII. Ulusal temiz enerji sempozyumu, 17-19 Aralık 2008, İstanbul.
- TOPALOĞLU B., İMREN V. (2011). Samsun ilinde biyogaz enerjisi potansiyeli ve uygulanabilirliği. *Samsun Sempozyumu*, 13 Ekim 2011, 3. Oturum Sunumu.
- YILMAZ İ., ABDULVAHİTOĞLU A. (2019). Evaluation of municipal solid waste options in Turkey: Scenarios for energy recovery, carbon mitigation and consequent financial strategies. *Resources, Conservation and Recycling*. 147. 95-110.





# Bölüm 9

## BİTKİ PATOJENLERİNE KARŞI BİTKİ SAVUNMA ENZİMİ OLARAK POLİFENOL OKSİDAZLAR

*Cafer EKEN<sup>1</sup> & Dudu DEMİR<sup>2</sup>*

---

1 Prof. Dr. Cafer EKEN, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Aydın, E-mail: cafereken@hotmail.com

2 Doç. Dr. Dudu DEMİR, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Isparta.



## Giriş

Bitki hastalıkları insanın ekonomik ve sosyal gelişmesine önemli derecede etki etmektedir. Bitki hastalıkları bitkilerin verim ve kalitesini azaltmakta, aynı zamanda ham maddesi tarım ürünlerine dayalı endüstrinin üretimine de etki etmektedir. Bu nedenle bitki hastalıkları, tarımsal üretim için büyük bir tehdittir. Biyotik ve abiyotik olmak üzere iki tür bitki hastalığı bulunmaktadır. Biyotik bitki hastalık etmenleri (patojenler); funguslar, bakteriler, fitoplazmalar, spiroplazmalar, virüsler, viroidler, nematodlar, protozoalar ve parazit bitkilerdir. Abiyotik hastalıklar ise besin maddesi, ışık, nem, sıcaklık, toprakta veya havada toksik kimyasalların bulunması gibi tüm çevresel faktörlerle ilişkilidir. Bitki hastalıklarının yarısından fazlasını funguslar oluşturmakta ve bunu da virüsler takip etmektedir. Yaklaşık 100.000 bitki hastalığının sorumlusu olarak; 10.000 fungus, 1.000 virüs, 250 bakteri, 100 mollüküt (fitoplazma, spiroplazma) ve 50 viroid etmeni tespit edilmiştir (Agrios, 2005). Hastalık, zararlı ve yabancı otların oluşturduğu tüm kayıpların gelişmiş ülkelerde % 17-34 (% 24), gelişmekte olan ülkelerde ise % 25-50 (% 37) arasında olduğu tahmin edilmektedir. Zararlı organizmalardan kaynaklanan bu kayıplara hasat sonrası kayıplar da eklenirse kayıp oranı %48'e kadar çıkabilmektedir. Bu zararın maliyeti de yaklaşık 550 milyar ABD doları olarak hesaplanmıştır (Agrios, 2005).

Bitkilerin hastalık ve zararlılardan korunarak, kaliteli ve artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyacını karşılayacak düzeyde ürün elde edilmesi amacıyla hastalık etmenleri, zararlılar ve yabancı otlara karşı çeşitli mücadele yöntemleri geliştirilmiştir. Bunların başında kimyasal mücadele gelmekte ve kimyasal mücadele uygulamalarında canlılar arasında doğal dengenin bozulması, insan ve sıcakkanlılara doğrudan veya dolaylı zehirlenmelere neden olması, doğal düşmanlara zarar vererek zararlı popülasyonunun artması, çevre kirliliğine yol açması, zararlıların zamanla direnç kazanması, üründe kalıntı bırakması, ilaç fiyatlarının pahalı olması, kültür bitkilerinde toksik etkilere ve genetik bozulmalara yol açması gibi birçok olumsuz yön bulunmaktadır (Bora & Özaktan, 1998). Kimyasalların olumsuz yönlerinden dolayı doğal kaynaklı, insan sağlığına, çevreye ve doğal düşmanlara zararı olmayan fakat hedeflenen hastalık ve zararlıya karşı etkili yeni mücadele tekniklerinin arayışına girilmiştir. Organik tarım üretiminde büyük bir potansiyelin bulunması tüketicilerin organik ürünleri tercih etmesi ve ekolojik tarım ürünlerinin üretiminin teşvik edilmesi kimyasalların olumsuz etkileri ve benzer sebeplerinden dolayı biyolojik mücadele çalışmalarını önem kazanmıştır.

Biyolojik mücadele, doğal veya genetik yapısı değiştirilmiş mikroorganizmalar (genellikle fungus ve bakteri) ya da onların

ürettikleri metabolitler kullanılarak patojen mikroorganizmaların ortadan kaldırılması veya popülasyonlarının baskılanmasını amaçlayan bir tarımsal mücadele yöntemidir. İnsan ve çevre üzerine olumsuz etkileri olmayan bir mücadele şeklidir. Biyolojik mücadele mekanizmaları; antibiyosis, rekabet, hiperparazitizm, hipovirulans, uyarılmış dayanıklılık ve çapraz koruma olarak ele alınmaktadır.

Bitkiler doğal habitatlarında birçok organizmaya maruz kalır ve çok çeşitli koruyucu mekanizmaları aktive ederek patojen saldırılarına karşılık verirler. Bitkilerin patojenlere karşı kendilerini savunma ve dayanıklılıklarını artırma amacıyla geliştirdikleri bu sistem uyarılmış dayanıklılık (induced resistance) olarak bilinmektedir. Uyarılmış dayanıklılık, bitkilerdeki bağışıklık sistemini çeşitli biyotik (mikroorganizmalar ve ürünleri) ve abiyotik (etilen, UV ışınları, bazı sentetik bileşikler, bazı herbisitler ve fungusitler, salisilik asit, jasmonoik asit ve indol asetik asit) uyarıcılarla (elisitörler) uyararak harekete geçirme prensibine dayanır. Uyarılmış dayanıklılık, lokal ve sistemik olmak üzere iki şekilde ortaya çıkabilir. Dayanıklılığın lokal olarak teşviki sınırlı olup, kimyasalların ya da yaralanmanın neden olduğu nekrozların çevresinde ortaya çıkar. Sistemik dayanıklılık durumunda ise dayanıklılık bitkinin tamamına yayılmaktadır. Bu tip dayanıklılık lokal bir dayanıklılıkla da başlayabilir (Ward & ark., 1991).

Bitkilere bazı uyarıcıların uygulanmasından sonra oluşan bazı biyokimyasal değişiklikler (bazı enzimlerin artması) uyarılmış sistemik dayanıklılığın göstergesidir (Schönbeck, Dehne & Beicht, 1981; He, Hsiang & Wolyn, 2002). Nitekim bitki patojenlerine karşı savunma reaksiyonlarında birçok bitki enzimi görev almaktadır. Polifenol oksidaz (PPO), peroksidaz, fenilalanin amonyak liyaz, kitinaz ve  $\beta$ -1,3-glukanaz gibi enzimler bitkilerde dayanıklılığı teşvik eden savunma enzimlerindedir (Passardi & ark., 2005; Prasannath, 2017). Bu bitki savunma enzimleri arasında yer alan PPO enzimleri, moleküler oksijen kullanarak fenolik bileşiklerin oksidasyonunu katalize eden bakır içeren doğada yaygın olarak bulunan enzimlerdir. PPO enzimlerinin katalizlediği substrata göre tirozinaz, kresolaz, fenolaz, monofenol oksidaz, difenol oksidaz, *o*-difenolaz, katekol oksidaz, pirokatekol oksidaz, dopa oksidaz, monofenol monooksidaz, *o*-difenol oksido redüktaz, difenol oksidaz ve klorogenik oksidaz gibi pek yaygın kullanılmayan isimleri de bulunmaktadır (White & White, 1997). Son yıllarda enzim isimlerindeki karışıklığını gidermek amacıyla uluslararası terminolojide bitki polifenol oksidazlarının isimlendirilmesinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Polifenol oksidaz enzimleri, substrat özellikleri ve etki mekanizmalarına göre katekolaz (EC 1.10.3.1), lakkaz (EC 1.10.3.2) ve tirozinaz (EC 1.14.18.1) olmak üzere başlıca üç sınıfa ayrılmıştır (Güray, 2009).

PPO'lar, meyve ve sebzelerin enzimatik esmerleşme reaksiyonlarıyla ilişkili olduğu bilinen enzimlerdir. Ayrıca, PPO; lignin ve diğer oksidatif fenollerin oluşumunu katalize etmekte, hücre yapısını güçlendirerek savunma bariyerlerin oluşumuna da katkıda bulunmaktadır (Avdiushko, Ye & Kuc, 1993). Polifenol oksidazlar tarafından üretilen aktif kinonlar patojenlere karşı doğrudan antibiyotik ve sitotoksik aktiviteye de sahip olabilir (Mayer & Harel 1979; Peter 1989). Bu ilaveten polifenol oksidazlar, patojenlere karşı savunma bariyerlerinin oluşumuna katkıda bulunan bitki hücrelerinin lignifikasyonunda da rol oynamaktadırlar (Hammerschmidt & Kúc, 1982; Hammerschmidt, Lamport & Muldoon, 1987).

Bitkilerde patojen saldırılarına karşılık olarak PPO'da hemen bir artış olmakta ve bu da patojenleri önlemek için antimikrobiallerin anında sentezlendiğini göstermektedir. Patojene bağlı PPO aktivitesi, çok çeşitli bitki (antoryum, ayçiçeği, bamya, biber, bürülce, buğday, ceviz, çeltik, domates, elma, gölevez, gül, hıyar, hurma, inci darısı, kahve, kakao, maş fasulyesi, muz, nohut, patates, patlıcan, saraypatı, siyah mercimek, soğan, sorgum, su kabağı, su sümbülü, şeker pancarı, tütün, yonca, zencefil, zeytin) türlerinde çalışılmıştır (Tablo 1, 2, 3). Bitkilerdeki fenolik substratlar vakuollerde bulunmasına karşılık bitki dokularının çoğunda PPO enzimi plastidlerde yerleşmişlerdir. Plastidlerde yerleşmiş olan bu enzim bir membran proteini olmasına karşın integral membrane proteini değildir (Vaughn, Lax & Duke, 1988; Mazzafera & Robinson, 2000). PPO bitkisel dokularda öncelikle latent (inaktif) formlar halinde sentezlenmekte ve zamanla çeşitli etkenlerle (biyotik veya abiyotik) aktif hale gelmektedir (Yemenicioğlu, Özkan & Cemeroğlu, 1997). Birçok bitkide bakteri, virüs, nematod veya fungus enfeksiyonlarından sonra PPO miktarında bir artma olduğu bildirilmiştir (Tablo 1, 2, 3). Örneğin, *Eichhornia crassipes* (Su Sümbülü)'in yapraklarının *Acremonium zonatum* fungusu ile inokule edilip, yapraklarda PPO aktivitesinin araştırıldığı çalışmada, enfekteli yapraklar ile sağlıklı yapraklar arasındaki PPO aktivitesi karşılaştırılmış ve sağlıklı yapraklara göre hastalıklı yapraklardaki PPO aktivitesinin % 300 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Martyn, Samuelson & Freeman, 1979). Nitekim dayanıklı asma çeşitlerinde mildiyö (*Plasmopara*) inokulasyonundan sonra PPO aktivitesinde hızlı artış olduğu belirtilmiştir (Kortekamp & Zyprian, 2003).

**Tablo1.** Solanaceae familyası bitkilerinde patojenlere karşı savunmada PPO enzimi çalışmaları

Bitki Türü	Patojen*	Kaynaklar
Biber ( <i>Capsicum annuum</i> )	<i>Colletotrichum capsici</i> , <i>Alternaria alternata</i>	Anand & ark., 2009
Biber ( <i>Capsicum annuum</i> )	<i>Phytophthora capsici</i>	Lee & ark., 2005
Biber ( <i>Capsicum annuum</i> )	<i>Verticillium dahlia</i> , <i>V. albo-atrum</i>	Gentile, Coghe & Matta, 1982
Biber ( <i>Capsicum annuum</i> ), Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Pythium aphanidermatum</i> + ( <i>Pseudomonas fluorescens</i> )	Ramamoorthy, Raguchander & Samiyappan, 2002b
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Alternaria solani</i>	Thipyapong & Steffens, 1997
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	Sagitov, El-Habbaa & El-Fiki, 2011; Rai & ark., 2011; Ojha & Chatterjee, 2012
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> + ( <i>Pseudomonas fluorescens</i> )	Ramamoorthy, Raguchander & Samiyappan, 2002a
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> + ( <i>Bacillus fortis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> )	Akram & Anjum, 2011
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Stout & ark., 1999; Li & Steffens, 2002; Thipyapong, Hunt & Steffens, 2004
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i>	Vecchi, L. de & A. Matta, 1989
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Goel & Paul, 2015
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	Retig, 1974
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Ralstonia solanacearum</i> + ( <i>Pseudomonas putida</i> , <i>P. fluorescens</i> )	Seleim & ark., 2014
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Ralstonia solanacearum</i> + ( <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> )	Tan & ark., 2013
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Bashan, Okon & Henis, 1987
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Vanitha, Niranjana & Umesha, 2009
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>vesicatoria</i>	Kavitha & Umesha, 2008
Hıyar ( <i>Cucumis sativus</i> )	<i>Pythium aphanidermatum</i>	Chen & ark., 2000
Hıyar ( <i>Cucumis sativus</i> )	<i>Colletotrichum lagenarium</i> , Tobacco necrosis virus (TNV), Tobacco mosaic virus (TMV)	Avdiushko, Ye & Kuc, 1993

Hıyar ( <i>Cucumis sativus</i> )/ Tütün ( <i>Nicotiana tabacum</i> )	<i>Sphaerotheca fuliginea</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>pisi</i>	Schneider & Ullrich, 1994
Patates ( <i>Solanum tuberosum</i> )	<i>Phytophthora infestans</i>	Mohammadi & ark., 2019
Patates ( <i>Solanum tuberosum</i> )	<i>Phytophthora infestans</i> , <i>Fusarium solani</i> , <i>Erwinia carotovora</i>	Lobato & ark., 2011
Patates ( <i>Solanum tuberosum</i> )	<i>Pectobacterium atrosepticum</i> , <i>P. carotovorum</i> subsp. <i>brasiliensis</i> , <i>Dickeya dadantii</i>	Ngadze & ark., 2012
Patates ( <i>Solanum tuberosum</i> )	<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i>	Thipathi & Verma, 1975
Patates ( <i>Solanum tuberosum</i> )	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>citri</i> , <i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i> , <i>Ralstonia solanacearum</i> race 1	Poiatti, Dalmas & Astarita, 2009
Patlıcan ( <i>Solanum melongena</i> )	<i>Fusarium solani</i>	Chakraborty & Chatterjee, 2007
Tütün ( <i>Nicotiana tabacum</i> )	<i>Phytophthora parasitica</i> var. <i>nicotianae</i>	Goy & ark., 1992

\*Parantez içerisinde verilen türler biyolojik kontrol ajanlarıdır.

**Tablo 2.** Solanaceae familyası dışındaki bitkilerde patojenlere karşı savunmada PPO enzimi çalışmaları

Bitki Türü	Patojen*	Kaynaklar
Antoryum ( <i>Anthurium</i> sp.)	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> + ( <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Trichoderma viride</i> )	Selvaraj & Ambalavanan, 2013
Ayçiçeği ( <i>Helianthus annuus</i> )	<i>Plasmopara halstedii</i> + ( <i>Bacillus</i> spp.)	Nandeeshkumar & ark., 2008
Börülce ( <i>Vigna unguiculata</i> )	<i>Rhizoctonia solani</i>	Chandra & ark., 2007
Buğday ( <i>Triticum aestivum</i> )	<i>Alternaria tritici</i>	Tyagi, Kayastha & Sinha, 2000
Buğday ( <i>Triticum aestivum</i> )	<i>Fusarium graminearum</i>	Mohammadi & Kazami, 2002
Buğday ( <i>Triticum aestivum</i> )	<i>Ustilago tritici</i>	Anjum, Fatima & Amjad, 2012
Ceviz ( <i>Juglans regia</i> )	<i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>juglandis</i>	Khodadadi & ark., 2016
Çeltik ( <i>Oryza sativa</i> )	<i>Rhizoctonia solani</i> + ( <i>Pestalotia palmarum</i> )	Deborah & ark., 2001
Çeltik ( <i>Oryza sativa</i> )	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	Shivalingaiah & Umesha, 2016

Elma ( <i>Malus domestica</i> )	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Penicillium expansum</i> + ( <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> )	Li & ark., 2011
Gölevez ( <i>Colocasia esculenta</i> )	<i>Phytophthora colocasiae</i>	Sahoo & ark., 2009
Gül ( <i>Rosa</i> sp.)	<i>Diplocarpon rosae</i> + ( <i>Trichoderma viride</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> )	Karthikeyan & ark., 2007
Hurma ( <i>Phoenix dactylifera</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>albedinis</i>	El Hassini, Verdeil & El Hadrami, 2005
İnci darısı ( <i>Pennisetum glaucum</i> )	<i>Sclerospora graminicola</i>	Raj, Sarosh & Shetty, 2006
Kahve ( <i>Coffea arabica</i> )	<i>Hemileia vastatrix</i>	Maxemiuc-Naccache & Dietrich, 1985; Melo, Shimizu & Mazzafera, 2006
Kakao ( <i>Theobroma cacao</i> )	<i>Phytophthora palmivora</i>	Okey & ark., 1997
Maş fasulyesi ( <i>Vigna radiata</i> )	<i>Macrophomina phaseolina</i> + ( <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Trichoderma viride</i> )	Thilagavathi & ark., 2007
Muz ( <i>Musa</i> spp.)	Banana bunchy top virus (BBTV) + ( <i>Pseudomonas fluorescens</i> )	Kavino & ve ark., 2008
Muz ( <i>Musa paradisiaca</i> )	<i>Fusarium</i> sp.	Patel, Kothari & Mohan, 2004
Muz ( <i>Musa acuminata</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>	Thakker, Patel & Dhandhukia, 2013
Muz ( <i>Musa</i> sp.)	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> + ( <i>Pseudomonas fluorescens</i> )	Saravanan, Bhaskaran & Muthusamy, 2004
Nohut ( <i>Cicer arietinum</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>ciceri</i>	Raju, Jaylakshmi & Sreeramulu, 2008
Nohut ( <i>Cicer arietinum</i> )	<i>Ascochyta rabei</i>	Khirbat & Jalali, 1998
Siyah mercimek ( <i>Vigna mungo</i> )	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Alternaria alternata</i> + ( <i>Trichoderma viride</i> )	Surekha & ark., 2014
Soğan ( <i>Allium cepa</i> )	<i>Stemphylium vesicarium</i>	Abo-Elyousr & ark., 2008
Sorgum ( <i>Sorghum bicolor</i> )	<i>Ramulispora sorghicola</i>	Luthra & ark., 1988
Su Sümbülü ( <i>Eichhornia crassipes</i> )	<i>Acremonium zonatum</i>	Martyn, Samuelson & Freeman, 1979
Yonca ( <i>Medicago sativa</i> )	<i>Rhizoctonia</i> spp.	Demir & ark., 2016a
Zencefil ( <i>Zingiber officinale</i> )	<i>Pythium aphanidermatum</i>	Ghosh, 2015
Zeytin ( <i>Olea europea</i> )	<i>Verticillium dahliae</i>	Markakis & ark., 2010

\*Parantez içerisinde verilen türler biyolojik kontrol ajanlarıdır.

Benzer şekilde domateslerde PPO'nun *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*'ya dayanıklılığı artırdığı da bildirilmektedir (Li & Steffens, 2002). Ayrıca, tohumlara *Pseudomonas fluorescens* uygulaması ile domates



ve biber bitkilerinin köklerinde PPO aktivitesinin uyarıldığı da tespit edilmiştir (Ramamoorthy, Raguchander & Samiyappan, 2002a). Edward gül çeşidi yapraklarına *Trichoderma viride* ve *Pseudomonas fluorescens* pfl'in uygulanması ile de bitki savunma enzimlerinden PPO aktivitesinde artış olduğu saptanmıştır (Karthikeyan & ark., 2007). *Meloidogyne exigua* ile inokule edilmiş ve inokule edilmemiş kahve bitkilerinin kökleri PPO aktivitesi bakımından karşılaştırıldığında, inokuleli köklerde önemli oranda PPO aktivitesi artış tespit edilmiş ve bu artış kahve bitkisi çeşitlerine göre değişmekle birlikte % 54.9 ile 56.1 olarak saptanmıştır (Silva & ark., 2010).

PPO gibi bitki savunma enzimlerinin uyarılması ile rizosfer bakterilerinin koruyucu etkileri arasında ilişki olduğu da bildirilmiştir (Chen & ark., 2000; Ramamoorthy, Raguchander & Samiyappan, 2002a). Yine biyolojik kontrol ajanlarının da patojen enfeksiyonuna karşı oluşan kimyasalları ve savunma ile ilgili çeşitli enzimlerin aktivitesini artırdığı saptanmıştır (Kamalakkannan & ark., 2004).

PPO'nun patojen girişini veya gelişimini inhibe etmedeki rolüne ilişkin doğrudan kanıt artırılmış veya baskılanmış PPO seviyelerine sahip transgenik domates bitkilerinden elde edilmektedir. Transgenik domatesin baskılanmış PPO aktivitesine sahip antisens PPO bitkileri ve PPO aktivitesini aşırı eksprese eden PPO bitkileri olmak üzere iki tipi bulunmaktadır (Thipyapong, Stout & Attajarusit, 2007). Örneğin domates bitkileri domates bakteriyel benek hastalığı etmeni *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* ile enfeksiyonunda bitkilerde PPO'nun aşırı ekspresyonu bakteriyel gelişmeyi azaltmaktadır, hâlbuki bastırılmış PPO aktivitesine sahip antisens PPO bitkileri bakteri gelişiminin artmasını sağlamaktadır (Li & Steffens, 2002; Thipyapong, Hunt & Steffens, 2004).

Ülkemizde bitki patojenlerine karşı bitki savunması ile ilgili PPO enzimi çalışmalarına bakıldığında bu konuda pek fazla bir çalışma olmadığı görülmektedir (Tablo 2, 3). Demir & ark. (2016a), *Rhizoctonia solani* (AG-4) ve iki nükleuslu *Rhizoctonia*'nın 9 izolatu ile yonca fidelerini inokule etmişler ve inokulasyondan 10 gün sonra yoncalardaki PPO enzim aktivitesine bakmışlardır. Yapılan çalışmada *Rhizoctonia* izolatlarının yonca fidelerinde PPO enzim aktivitesini önemli derecede artırdığı ve izolatlar arasında patojen grup olan *R. solani* AG-4 ile enfekteli bitkilerde en yüksek aktivite gösterdiği saptanmıştır. Kök ur nematodlarından *Meloidogyne incognita* ve nematod tuzak funguslarından *Arthrobotrys* spp.'nin domates köklerine inokulasyonun yapıp PPO enzim aktivitesinin araştırıldığı çalışmada da nematod ve fungus uygulamalarından sonra domates köklerinde PPO enzim aktivitesinde önemli artışlar tespit edilmiştir (Eken & ark., 2016). Benzer şekilde kök ur nematodlarının (*M.*

*hapla* ve *M. javanica*)'nin ve nematod tuzak funguslarından *Arthrobotrys* spp.'nin domates köklerine inokulasyonun yapılp PPO enzim aktivitesinin araştırıldığı çalışmalarda da domates köklerinde PPO enzim aktivitesinde önemli artışlar tespit edilmiştir (Demir & ark., 2016b, c).

**Tablo 3.** Bitkilerde nematodlara karşı savunmada PPO enzimi çalışmaları

Bitki Türü	Patojen*	Kaynaklar
Bamya ( <i>Abelmoschus esculentus</i> ), Patlıcan ( <i>Solanum melongena</i> ), Su kabağı ( <i>Lagenaria siceraria</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i>	Ahuja & Ahuja, 1980
Çeltik ( <i>Oryza sativa</i> )	<i>Meloidogyne graminicola</i>	Anita & Samiyappan, 2012
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i> + ( <i>Arthrobotrys</i> spp.)	Eken & ark., 2016
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Meloidogyne hapla</i> + ( <i>Arthrobotrys</i> spp.)	Demir & ark., 2016b
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Meloidogyne javanica</i> + ( <i>Arthrobotrys</i> spp.)	Demir & ark., 2016c
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Meloidogyne javanica</i> + ( <i>Arthrobotrys oligospora</i> )	Mostafanezhad, Sahebani & Zarghani, 2014
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i> + ( <i>Arthrobotrys oligospora</i> )	Singh & ark., 2013
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i>	Zacheo, Pricolo & Blev-Zacheo, 1988; Nagesh, Dasgupta & Sirohi, 1998; Shreenivasa, Krishnappa & Rekha, 2011
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i> + ( <i>Glomus fasciculatum</i> )	Nagesh & Parvatha Reddy, 2004
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i> + ( <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Serratia marcescens</i> )	Abd-Elgawad & Kabeil, 2012
Kahve ( <i>Coffea arabica</i> )	<i>Meloidogyne exigua</i>	Silva & ark., 2010
Kahve ( <i>Coffea arabica</i> , <i>C. canephora</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i>	Mazzafera, Gonçalves & Fernandes, 1989
Saraypatı ( <i>Callistephus chinensis</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i> race 1	Nagesh & ark., 1999
Şeker pancarı ( <i>Beta vulgaris</i> )	<i>Meloidogyne incognita</i>	Korayem & ark., 2012

\*Parantez içerisinde verilen türler biyolojik kontrol ajanlarıdır.

## Sonuç ve Öneriler

Bitki patojenlerine karşı bitki savunması ile ilgili enzimler olarak polifenol oksidaz enzimleri ile ilgili birçok bitkide ve patojenler (veya biyolojik kontrol ajanları) ile çalışmalar yapılmış ve bu uyarıcıların uygulanmasından sonra PPO miktarında bir artma olduğu bildirilmiştir. Bitkilerde uyarıcıların uygulanmasından sonra oluşan bazı biyokimyasal değişiklikler uyarılmış dayanıklılığın göstergesidir. Sonuçlanmış ve sürmekte olan pek çok çalışmayla ulaşılan bilgilerin ışığında, konukçu bitkide dayanıklılığı uyaran ve PPO enziminin bitki patojenlerine karşı kullanımının pratiğe aktarılmasına dönük çalışmaların yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abd-Elgawad, M.M.M., Kabeil, S.S.A. 2012. Biological control of *Meloidogyne incognita* by *Trichoderma harzianum* and *Serratia marcescens* and their related enzymatic changes in tomato roots. African Journal of Biotechnology, 11(96), 16247-16252.
- Abo-Elyousr, A.M.K., Hussein, M.A.M., Allam, A.D.A., Hassan, A.H.M. 2008. Enhanced onion resistance against stemphylium leaf blight disease, caused by *Stemphylium vesicarium*, by di-potassium phosphate and benzothiadiazole treatments. Plant Pathol. J., 24(2), 171-177.
- Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. Fifth Edition. Printed in the United States of America.
- Ahuja, S., Ahuja, S.P. 1980. Effects of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infection on the peroxidase and polyphenoloxidase activities in the roots of selected vegetable crops. Nematol. Medit., 8, 207-210.
- Akram, W., Anjum, T. 2011. Quantitative changes in defense system of tomato induced by two strains of *Bacillus* against *Fusarium* wilt. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 1(3), 7-13.
- Anand, T., Bhaskaran, R., Raguchander, T., Samiyappan, R., Prakasam, V., Gopalakrishnan, C. 2009. Defence responses of chilli fruits to *Colletotrichum capsici* and *Alternaria alternata*. Biologia Plantarum, 53, 553-559.
- Anita, B., Samiyappan, R. 2012. Induction of systemic resistance in rice by *Pseudomonas fluorescens* against rice root knot nematode *Meloidogyne graminicola*. JBiopest, 5 (Supplementary), 53-59.
- Anjum, T., Fatima, S., Amjad, S. 2012. Physiological changes in wheat during development of loose smut. Tropical Plant Pathology, 37(2), 102-107.
- Avdiushko, S.A., Ye, X.S., Kuc, J. 1993. Detection of several enzymatic activities in leaf prints cucumber plant. Physiol. Mol. Plant Pathol., 42, 441-454.
- Bashan, Y., Okon, Y., Henis, Y. 1987. Peroxidase, polyphenol oxidase and phenols in relation to resistance against *pseudomonas syringae* pv. *tomato* in tomato. Can J Bot., 65(2), 366-372.
- Bora, T., Özaktan, H. 1998. Bitki Hastalıklarıyla Biyolojik Savaş. Prizma Matbaası, İzmir.
- Chakraborty, M.R., Chatterjee, N.C. 2007. Interaction of *Trichoderma harzianum* with *Fusarium solani* during its pathogenesis and the associated resistance of the host. Asian J. Exp. Sci., 21(2), 353-357.
- Chandra, A., Saxena, R., Dubey, A., Saxena, P. 2007. Changes in phenylalanine ammonia lyase activity and isozyme patterns of polyphenol oxidase and peroxidase by salicylic acid leading to enhanced resistance in cowpea against *Rhizoctonia solani*. Acta Physiologiae Plantarum, 29, 361-367.

- Chen, C., Belanger, R.R., Benhamou, N., Paulitz, T.C. 2000. Defense enzymes induced in cucumber roots by treatment with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and *Pythium aphanidermatum*. *Physiol Mol Plant Path.*, 56, 13–23.
- Deborah, S.D., Palaniswami, A., Vidhyasekaran, P., Velazhahan, R. 2001. Time-course study of the induction of defense enzymes, phenolics and lignin in rice in response to infection by pathogen and non-pathogen. *J Plant Dis Prot.*, 108, 204-216.
- Demir, D., Alkan, N., Göze Özdemir, F.G., Söğüt, M.A., Eken, C. 2016b. Changes in polyphenol oxidase activity in tomato roots inoculated with root knot nematode *Meloidogyne hapla* and isolates of the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys*. ChemCYS 2016, the Chemistry Conference for Young Scientists (16-18 March 2016 Blankenberge-Belgium), 80.
- Demir, D., Eken, C., Çelik, E., Alkan, N. 2016a. Polyphenol oxidase activity in alfalfa seedling inoculated with *Rhizoctonia* spp. The Coins 2016 - International Conference of Natural and Life Sciences (29 February-03 March 2016, Vilnius- Lithuania), 44-45.
- Demir, D., Göze Özdemir, F.G., Alkan, N., Söğüt, M.A., Eken, C. 2016c. Effect of inoculating tomato roots with *Meloidogyne javanica* and isolates of the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys* on the polyphenol oxidase activity. 68th International Symposium on Crop Protection (17 May 2016 Gent- Belgium), 131.
- Eken, C., Demir, D., Alkan, N., Söğüt, M. A., Göze, F. G. 2016. Polyphenol oxidase activity in tomato roots inoculated with *Meloidogyne incognita* and *Arthrobotrys* spp. LS2 Annual Meeting 2016. 15 – 16 February 2016 Amphimax/Amphipôle, Lausanne-Switzerland).
- El Hassni, M., Verdeil, J.L., El Hadrami, I. 2005. An hypoaggressive *Fusarium oxysporum* isolate induces polyphenoloxidase activity in the date palm seedlings allowing their protection against the bayoud disease. *Plant Pathology Journal*, 4(2), 96-102.
- Gentile, I.A., Coghe, M., Matta, A. 1982. Phenols, polyphenol oxidase and peroxidase in pepper plants infected by virulent and avirulent strains of *Verticillium*. *Rivista di Patologia Vegetale*, 18, 5-12.
- Ghosh, R. 2015. Enzymatic responses of ginger plants to *Pythium* infection after SAR induction. *J Plant Pathol Microb.*, 6 (7), doi:10.4172/2157-7471.1000283
- Goel, N., Paul, P.K. 2015. Plant age affects elicitation of polyphenol oxidase activity by neem extract in *Solanum lycopersicum* against *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. *Israel Journal of Plant Sciences*, 62(4), 283-293.
- Goy, P.A., Felix, G., Métraux, J.P., Meins, F. 1992. Resistance to disease in the hybrid *Nicotiana glutinosa* x *Nicotiana debneyi* is associated with high constitutive levels of  $\beta$ -1,3-glucanase, chitinase, peroxidase and

- polyphenoloxidase. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 41(1), 11-21.
- Güray, M.Z. 2009. Partial Purification and Characterization of Polyphenol Oxidase From Thermophilic *Bacillus* sp. (Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü).
- Hammerschmidt, R., Kúc, J. 1982. Lignification as a mechanism for induced systemic resistance in cucumber. *Physiol. Plant Pathol.*, 20, 61-71.
- Hammerschmidt, R., Lamport, D.T.A., Muldoon, E.P. 1987. Cell wall hydroxyproline enhancement and lignin deposition as an early event in the resistance of cucumber to *Cladosporium cucumerinum*. *Physiol. Plant Pathol.*, 24, 43-47.
- He, C.Y., Hsiang, T., Wolyn, D.J. 2002. Induction of systemic disease resistance and pathogen defence responses in *Asparagus officinalis* inoculated with nonpathogenic strains of *Fusarium oxysporum*. *Plant Pathol.*, 51, 225-230.
- Kamalakaran, A., Mohan, L., Harish, S., Radjacommar, R., Amutha, G., Chitra, K., Karuppiyah, R., Mareeswari, P., Rajinimala, N., Angayarkanni, T. 2004. Biocontrol agents induce disease resistance in *Phyllanthus niruri* Linn. against damping-off disease caused by *Rhizoctonia solani*. *Phytopathol. Mediterr.* 43 (2), 187-194.
- Karthikeyan, M., Bhaskaran, R., Mathiyazhagan S., Velazhahan, R. 2007. Influence of phylloplane colonizing biocontrol agents on the black spot of rose caused by *Diplocarpon rosae*. *Journal of Plant Interactions*, 2 (4), 225-231.
- Kavino, M., Harish, S., Kumar, N., Saravanakumar, D., Samiyappan, R. 2008. Induction of systemic resistance in banana (*Musa* spp.) against banana bunchy top virus (BBTV) by combining chitin with root-colonizing *Pseudomonas fluorescens* strain CHA0. *European Journal of Plant Pathology*, 120, 353-362.
- Kavitha, R., Umeha, S. 2008. Regulation of defense-related enzymes associated with bacterial spot resistance in tomato. *Phytoparasitica*, 36, 144-159.
- Khirbat, S.K., Jalali, B.L. 1998. Polyphenol oxidase and bound phenol content in leaves of chickpea (*Cicer arietinum* L.) after inoculation with *Ascochyta rabei*. *Legume Res*, 21, 198-200.
- Khodadadi, F., Tohidfar, M., Mohayjeji, M., Dandekar, A.M., Leslie, C.A., Kluepfel, D.A., Butterfield, T., Vahdati, K. 2016. Induction of polyphenol oxidase in walnut and its relationship to the pathogenic response to bacterial blight. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 141(2), 119-124.
- Korayem, A.M., El-Bassiouny, H.M.S., El-Monem, A.A.A., Mohamed, M.M.M. 2012. Physiological and biochemical changes in different sugar beet genotypes infected with root-knot nematode. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 1847-1861.

- Kortekamp, A., Zyprian, E. 2003. Characterization of plasmopara-resistance in grapevine using in vitro plants. *Journal of Plant Physiology*, 160, 1393-1400.
- Lee, H.J., Park, K.H., Shim, J.H., Park, R.D., Kim, Y.W., Cho, J.Y., Hwangbo, H., Kim, Y.C., Cha, G.S., Krishnan, H.B., Kim, K.Y. 2005. Quantitative changes of plant defense enzymes in biocontrol of pepper (*Capsicum annuum* L.) late blight by antagonistic *Bacillus subtilis* HJ927. *J. Microbiol. Biotechnol.*, 15(5), 1073-1079.
- Li, L., Steffens, J.C. 2002. Overexpression of polyphenol oxidase in transgenic tomato plants results in enhanced bacterial disease resistance. *Planta*, 215, 239-247.
- Li, R., Zhang, H., Liu, W., Zheng, X. 2011. Biocontrol of postharvest gray and blue mold decay of apples with *Rhodotorula mucilaginosa* and possible mechanisms of action. *Int J Food Microbiol*, 146, 151-156.
- Lobato, M.C., Machinandiarena, M.F., Tambascio, C., Dosio, G.A.A., Caldiz, D.O., Daleo, G.R., & Andreu, A.B., Olivieri, F.P. 2011. Effect of foliar applications of phosphite on post-harvest potato tubers. *Eur J Plant Pathol.*, 130, 155-163.
- Luthra, Y.P., Ghandi, S.K., Joshi, U.N., Arora, S.K. 1988. Total phenols and their oxidative enzymes in sorghum leaves resistant and susceptible to *Ramulispora sorghicola* Harris. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.*, 23, 393-400.
- Markakis, E.A., Tjamos, S.E., Antoniou, P.P., Roussos, P.A., Paplomatas, E.J., Tjamos, E.C. 2010. Phenolic responses of resistant and susceptible olive cultivars induced by defoliating and non-defoliating *Verticillium dahliae* pathotypes. *Plant Disease*, 94, 1156-1162.
- Martyn, R.D., Samuelson, D.A., Freeman, T.E. 1979. Ultrastructural localisation of polyphenol oxidase activity in leaves of healthy and diseased water hyacinth. *Phytopathology*, 69, 1278-1287.
- Maxemiuc-Naccache, V., Dietrich, S.M.C., 1985. Changes in phenols and oxidative enzymes in resistant and susceptible *Coffea arabica* inoculated with *Hemileia vastatrix* (coffee rust). *Rev. Bras. Bot.*, 8(2), 185-190.
- Mayer, A.M., Harel, E. 1979. Polyphenol oxidase in plants. *Phytochemistry*, 18, 193-215.
- Mazzafera, P., Robinson, S.P. 2000. Characterization of polyphenol oxidase in coffee. *Phytochemistry*, 55, 285-296.
- Mazzafera, P., Gonçalves, W., Fernandes, J.A.R., 1989. Phenols, peroxidase and polyphenoloxidase in the resistance of coffee to *Meloidogyne incognita*. *Bragantia*, 48(2), 131-142.

- Melo, G.A., Shimizu, M.M., Mazzafera, P. 2006. Polyphenoloxidase activity in coffee leaves and its role in resistance against the coffee leaf miner and coffee leaf rust. *Phytochemistry*, 67, 277-285.
- Mohammadi, M., Kazemi, H. 2002. Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activities insusceptible and resistant wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. *Plant Science*, 162, 491-498.
- Mohammadi, M.A., Zhang, Z., Xi, Y., Han, H., Lan, F., Zhang, B., Wang-Pruski, G. 2019. Effects of potassium phosphite on biochemical contents and enzymatic activities of Chinese potatoes inoculated by *Phytophthora infestans*. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 4499-4514.
- Mostafanezhad, H., Sahebani, N., Zarghani, S.N. 2014. Control of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) with combination of *Arthrobotrys oligospora* and salicylic acid and study of some plant defense responses. *Biocontrol Science and Technology*, 24, 203-215.
- Nagesh, M., Dasgupta, D.R., Sirohi, A. 1998. Relationship between indole acetic acid oxidase, polyphenol oxides, indole acetic acid and response of tomatoes to *Meloidogyne incognita* infection. *Pest Management in Horticultural Ecosystem*, 4, 111-115.
- Nagesh, M., Parvatha Reddy, P. 2004. Biochemical changes in *Glomus fasciculatum* colonized roots of *Lycopersicon esculentum* in presence of *Meloidogyne incognita*. *Indian Journal of Experimental Biology*, 42, 721-727.
- Nagesh, M., Parvatha Reddy, P., Janakiram, T., Rao, T.M. 1999. Sequential biochemical changes in roots of *Callistiphys chinesnis* lines resistant and susceptible to *Meloidogyne incognita* race 1. *Nematologia Mediterania*, 27, 39-42.
- Nandeeshkumar, P., Ramachandrakini, K., Prakash, H.S., Niranjana, S.R., Shetty, H.S. 2008. Induction of resistance against downy mildew on sunflower by *Rhizobacteria*. *Journal of Plant Interactions*, 3(4), 255-262.
- Ngadze, E., Icishahayo, D., Coutinho, T.A., van der Waals, J.E. 2012. Role of polyphenol oxidase, peroxidase, phenylalanine ammonia lyase, chlorogenic acid, and total soluble phenols in resistance of potatoes to soft rot. *Plant Dis.*, 96, 186-192.
- Ojha, S., Chatterjee, N.C. 2012. Induction of resistance in tomato plants against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* mediated through salicylic acid and *Trichoderma harzianum*. *Journal of Plant Protection Research*, 52(2), 220-225.
- Okey, E.N., Duncan, E.J., Sirju-Charran, G., Sreenivasan, T.N. 1997. *Phytophthora* canker resistance in cacao: Role of peroxidase, polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase. *J. Phytopathol.*, 145, 295-299.



- Passardi, F., Cosio, C., Penel, C., Dunand, C. 2005. Peroxidases have more functions than a Swiss army knife. *Plant Cell Reports*, 24, 255–265.
- Patel, M., Kothari, I.L., Mohan, J.S.S. 2004. Plant defense induced in *in vitro* propagated banana (*Musa paradisiaca*) plantlets by *Fusarium* derived elicitors. *Indian Journal of Experimental Biology*, 42, 728-731.
- Peter, M.G. 1989. Chemical modifications of biopolymers by quinones and quinone methides. *Angew Chem. Int. Ed. Engl.*, 28, 555- 570.
- Poiatti, V.A.D., Dalmás, F.R., Astarita, L.V. 2009. Defense mechanisms of *Solanum tuberosum* L. in response to attack by plant-pathogenic bacteria. *Biol Res.*, 42, 205-215.
- Prasannath, K. 2017. Plant defense-related enzymes against pathogens: a review. *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences*, 11(1), 38-48.
- Rai, G.K., Kumar R., Singh, J., Rai, P.K., Rai, S.K. 2011. Peroxidase, polyphenol oxidase activity, protein profile and phenolic content in tomato cultivars tolerant and susceptible to *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. *Pak. J. Bot.*, 43(6), 2987-2990.
- Raj, S.N., Sarosh, B.R., Shetty, H.S. 2006. Induction and accumulation of polyphenol oxidase activities as implicated in development of resistance against pearl millet downy mildew disease. *Funct Plant Biol*, 33, 563-571.
- Raju, S., Jaylakshmi, S.K., Sreeramulu, K. 2008. Comparative study on the induction of defense related enzymes in two different cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L) genotypes by salicylic acid, spermine and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. *Australian Journal of Crop Science*, 2, 121-140.
- Ramamoorthy, V., Raguchander, T., Samiyappan, R. 2002a. Induction of defense-related proteins in tomato roots treated with *Pseudomonas fluorescens* Pfl and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Plant Soil*, 239, 55-68.
- Ramamoorthy, V., Raguchander, T., Samiyappan, R. 2002b. Enhancing resistance in tomato and hot pepper to Pythium diseases by seed treatment with fluorescent pseudomonads. *Eur J Plant Pathol*, 108, 429-441.
- Retig, N. 1974. Changes in peroxidase and polyphenoloxidase associated with natural and induced resistance of tomato to *Fusarium* wilt. *Physiological Plant Pathology*, 4(2), 145-150.
- Sagitov, A.O., El-Habbaa, G.M., El-Fiki, I.A. 2011. [https://izdenister.kaznau.kz/files/parts/2011\\_1/2011\\_1\\_34.pdf](https://izdenister.kaznau.kz/files/parts/2011_1/2011_1_34.pdf)
- Sahoo, M.R., Kole, P.H., Dasgupta, M., Mukherjee, A. 2009. Changes in phenolics, polyphenol oxidase and its isoenzyme pattern in relation to resistance in taro against *Phytophthora colocasiae*. *Journal of Phytopathology*, 157, 145-153.
- Saravanan, T., Bhaskaran, R., Muthusamy, M. 2004. *Pseudomonas fluorescens* induced enzymological changes in banana roots (cv. Rasthali) against *Fusarium* wilt disease. *Plant Pathology Journal*, 3(2), 72-80.

- Schneider, S., Ullrich, W.R. 1994. Differential induction of resistance and enhanced enzyme activities in cucumber and tobacco caused by treatment with various abiotic and biotic inducers. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 45, 291-304.
- Schönbeck, F., Dehne, H.W., Beicht, W. 1981. Activation of unspecific resistance mechanisms in plants. *J. Plant Dis. Protect.*, 87, 654-666.
- Seleim, M.A., Abo-Elyousr, K.A., Mohamed, A.A.A., Al-Marzoky, H.A. 2014. Peroxidase and polyphenoloxidase activities as biochemical markers for biocontrol efficacy in the control of tomato bacterial wilt. *J Plant Physiol Pathol*, 2,1.
- Selvaraj, T., Ambalavanan, S. 2013. Induction of defense-related enzymes in anthurium by application of fungal and bacterial biocontrol agents against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2(12), 661-670.
- Shivalingaiah., Umesha, S. 2016. Study of involvement of peroxidase and polyphenol oxidase in imparting resistance to bacterial blight disease in *Oryza sativa* varieties. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 4(7), 05-10.
- Shreenivasa, K.R., Krishnappa, K., Rekha, D. 2011. Interaction effect of arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum* and root knot nematode *Meloidogyne incognita* on biochemical parameters in tomato. *International Journal of Science and Nature*, 2(3), 534-537.
- Silva, R.V., Oliveira, R.D.L., Nascimento, K.J.T., Rodrigues, F.A. 2010. Biochemical responses of coffee resistance against *Meloidogyne exigua* mediated by silicon. *Plant Pathology*, 59, 586-593.
- Singh, U.B., Sahu, A., Sahu, N., Singh, B.P., Singh, R.K., Renu., Singh, D.P., Jaiswal, R.K., Sarma, B.K., Singh, H.B., Manna, M.C., Subba Rao, A., RajendraPrasad, S. 2013. Can endophytic *Arthrobotrys oligospora* modulate accumulation of defence related biomolecules and induced systemic resistance in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) against root knot disease caused by *Meloidogyne incognita*. *Applied Soil Ecology*, 63, 45-56.
- Soler-Rivas, C., Moller, A.C., Arpin, N., Olivier, J.M., Wichers, H.J. 2000. Induction of tyrosinase mRNA in *Agaricus bisporus* upon treatment with a tolaasin preparation from *Pseudomonas tolaasii*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 58, 95-99.
- Sriram, S., Manasa, S.B., Savitha, M.J. 2009. Potential use of elicitors from *Trichoderma* in induced systemic resistance for the management of *Phytophthora capsici* in red pepper. *J. Biological Control*, 23(4), 449-456.
- Stout, M.J., Fidantsef, A.L., Duffey, S.S., Bostock, R.M. 1999. Signal interactions in pathogen and insect attack: systemic plant-mediated interactions

- between pathogens and herbivores of the tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 54, 115-130.
- Surekha, C.H., Neelapu, N.R.R., Prasad, B.S., Ganesh, P.S. 2014. Induction of defense enzymes and phenolic content by *Trichoderma viride* in *Vigna mungo* infested with *Fusarium oxysporum* and *Alternaria alternata*. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 4(4), 31-40.
- Tan, S., Dong, Y., Liao, H., Huang, J., Song, S., Xu, Y. Shen, Q. 2013. Antagonistic bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* induces resistance and controls the bacterial wilt of tomato. *Pest Manag Sci*, 69, 1245-1252.
- Thakker, J.N., Patel, S., Dhandhukia, P.C. 2013. Induction of defense-related enzymes in banana plants: Effect of live and dead pathogenic strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *ISRN Biotechnology*, 6, doi:10.5402/2013/601303.
- Thilagavathi, R., Saravanakumar, D., Ragupathi, N., Samiyappan, R. 2007. A combination of biocontrol agents improves the management of dry root rot (*Macrophomina phaseolina*) in greengram. *Phytopathology Mediterranean*, 46, 157-167.
- Thipathi, R.K., Verma, M.N. 1975. Phenolic compounds and polyphenol oxidase activity in relation to resistance in potatoes against bacterial soft rot. *Indian J. Exp. Biol.*, 13, 414-416.
- Thipyapong, P., Steffens, J.C. 1997. Tomato polyphenol oxidase. Differential response of the polyphenol oxidase F promoter to injuries and wound signals. *Plant Physiol.*, 115, 409-418.
- Thipyapong, P., Hunt, M.D., Steffens, J.C. 2004. Antisense downregulation of polyphenol oxidase results in enhanced disease susceptibility. *Planta*, 220, 105-117.
- Thipyapong, P., Stout, M.J., Attajarusit, J. 2007. Functional analysis of polyphenol oxidases by antisense/sense technology. *Molecules*, 12(8), 1569-1595.
- Tyagi, M., Kayastha, M.A., Sinha, B. 2000. The role of peroxidase and polyphenol oxidase isozymes in wheat resistance to *Alternaria triticina*. *Biologia Plantarum*, 43, 559-562.
- Vanitha, S.C., Niranjana, S.R., Umesha, S. 2009. Role of phenylalanine ammonia lyase and polyphenol oxidase in host resistance to bacterial wilt of tomato. *J. Phytopathol.*, 157, 552-557.
- Vaughn, K.C., Lax, A.R., Duke, S.O. 1988. Polyphenol oxidase: The chloroplast enzyme with no established function. *Physiologia Plantarum*, 72, 659-665.
- Vecchi, L. de., Matta, A. 1989. An ultrastructural and cytochemical study of peroxidases, polyphenol oxidases and phenols in xylem of tomato plants infected with *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* or *F. oxysporum* f.sp. *melonis*. *Caryologia*, 42, 103-114.

- Ward, E.R., Uknes, S.J., Williams, S.C., Dincher, S.S., Wiederhold, D.L., Alexander, A., Ahl-Goy, P., Métraux, J.P., Ryals, J.A. 1991. Coordinate gene activity in response to agents that induce systemic acquired resistance. *Plant Cell*, 3, 1085-1094.
- White, J.S., White, D.C. 1997. *Source Book of Enzymes*. CRC Press LLC, Florida.
- Yemenicioğlu, A., Özkan, M., Cemeroğlu, B. 1997. Inactivation kinetics of apple polyphenol oxidase and activation of its latent form. *Journal of Food Science*, 62(3), 508-510.
- Zacheo, G., Pricolo, G., Bleve-Zacheo, T., 1988. Effect of temperature on resistance and biochemical changes in tomato inoculated with *Meloidogyne incognita*. *Nematol. Medit.*, 16, 107-112.

# FEN VE MATEMATİK BİLİMLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR

gece  
kitaplığı

[www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com)



/gecekitapligi



/gecekitapligi



/gecekitap



9 786257 912044