



**ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ  
SOLUCANLAR (*Eisenia fetida*) İLE  
KOMPOSTLANARAK BÜNYELERİNDEKİ AĞIR  
METALİN GİDERİLMESİ**

**EREN MESTAN ŞENKAYA**

**2020  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ**

**ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ SOLUCANLAR (*Eisenia fetida*) İLE  
KOMPOSTLANARAK BÜNYELERİNDEKİ AĞIR METALİN  
GİDERİLMESİ**

**Eren Mestan ŞENKAYA**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ**

**KARABÜK  
Mart  
2020**

Eren Mestan ŞENKAYA tarafından hazırlanan “ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ SOLUCANLAR (*Eisenia fetida*) İLE KOMPOSTLANARAK BÜNYELERİNDEKİ AĞIR METALİN GİDERİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ  
Tez Danışmanı, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10./03/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Metin KONUŞ (VYYÜ)



Üye : Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Songül KASKUN (KBÜ)



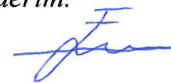
...../...../2020

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Eren Mestan ŞENKAYA

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ SOLUCANLAR (*Eisenia fetida*) İLE KOMPOSTLANARAK BÜNYELERİNDEKİ AĞIR METALİN GİDERİLMESİ

Eren Mestan ŞENKAYA

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ

Mart 2020, 168 sayfa

Endüstriyel atıksu çamuru, atık su bünyesinden ayrıştırılan tüm bileşiklerin ve mevcut arıtma sistemine eklenen arıtma maddelerinin oluşturduğu katı veya yarı katı özelliğe sahip malzemedir. Atık su arıtma çamurunun bileşimi, endüstri türüne göre değişmektedir. Bu nedenle farklı endüstrilerin atıksu arıtma çamuru farklı arıtma ve bertaraf yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Endüstriyel atık su arıtma çamurlarının yüksek miktar ve hacimlerde üretilmesine ek olarak, bu çamurların işlenmesi ve bertarafı oldukça karmaşık ve zor bir problemdir. Bu problemin çözümünde toprak makrofauna grubuna ait olan solucanların, organik madde geri dönüşümü hususunda önemli katkıları bulunmaktadır. Ayrıca toprak arıtma veya iyileştirme metotlarından birisi de solucanlarının ağır metal kökenli kirleticilerle kirlenmiş toprağın vermikompostlama yöntemi ile arıtılmasıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda arıtma çamurlarının vermikompost olarak tarımda kullanılabilecek organik

bir gübre olabilecek potansiyelinin bulunabileceği belirtilmektedir. Bu çalışmada, farklı kombinasyonlar oluşturularak hazırlanan demir-elik atık su arıtma çamuru ve ahır gübresi materyallerinin *Eisenia fetida* türü solucanlar ile vermikompostlanarak; solucanların bünyelerine aldıkları ağır metal miktarları, alınan zamana bağlı değişimleri ve demir-elik atık su arıtma çamurunun solucanlara etkisi incelenmiştir. Denemeler 3 tekkerrrl olarak kurulmuş ve 30, 90 ve 120 günlük vermikompostlaştırma işleminden sonra solucanların canlı ağırlıkları tartılarak metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, solucanların bünyelerine bazı ağır metallerin (Cu, Pb, Ni, Zn ve Cr) alımında zamana ve atıksu arıtma çamuru miktarına bağlı olarak artış olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** *Eisenia fetida*, demir-elik, atıksu arıtma çamuru, vermikompost, ağır metal

**Bilim Kodu :** 90314

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **REMOVAL OF THE HEAVY METAL OF WASTEWATER TREATMENT MUDS BY COMPOSING WITH WORMS (*Eisenia fetida*)**

**Eren Mestan ŞENKAYA**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Environmental Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ**

**March 2020, 168 pages**

Industrial wastewater sludge is a solid or semi-solid material formed by all the compounds separated from the wastewater body and the treatment materials added to the existing treatment system. The composition of the wastewater treatment sludge varies depending on the type of industry. Therefore, the wastewater treatment sludge of different industries requires the use of different treatment and disposal methods. In addition to producing industrial wastewater sludges in high volumes and volumes, processing and disposal of these sludges is a rather complex and difficult problem. In solving this problem, worms belonging to soil macrofauna group have important contributions in organic matter recycling. In addition, one of the methods of soil treatment or improvement is the treatment of the soil contaminated with heavy metal based pollutants by vermicomposting. As a result of this study, it is stated that the sludge can have the potential to be an organic fertilizer that can be used in agriculture

by vermicomposting. In this study, iron-steel wastewater treatment mud and barn manure materials prepared by creating different combinations were vermicomposted with *Eisenia fetida* type worms; The amount of heavy metal received by the worms into their bodies, the time-dependent changes of the heavy metals taken and the effect of the iron-steel wastewater treatment sludge on the worms were investigated. Trials were established with 3 replications and after 30, 90 and 120 days of vermicomposting, the live weights of worms were weighed and metal analyzes were performed. As a result of the analysis, it was determined that there was an increase in the heavy metal (Cu, Pb, Ni, Zn ve Cr) intake of worms depending on the time and amount of sewage treatment sludge.

**Key Word** : *Eisenia fetida*, iron-steel, wastewater treatment sludge, vermicompost, heavy metal

**Science Code** : 90314



## TEŞEKKÜR

Bu alıŐmayı KBÜBAP-18-YL-098 numaralı proje ile finansal olarak destek sağlayan Karabük Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine, tez çalıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi yardımını esirgemediğ yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	7
ATIK SU VE ATIK SU ARITMA ÇAMURLARI .....	7
2.1. ATIK SU ARITMA ÇAMURU OLUŞUM KAYNAKLARI .....	7
2.1.1. Birincil Arıtma.....	8
2.1.2. İkincil Arıtım .....	9
2.1.3. Üçüncül Arıtım (İleri Arıtım) .....	10
2.2. ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ.....	11
2.2.1. Evsel Atık Su Arıtma Çamurunun Özellikleri.....	11
2.2.2. Endüstriyel Atık Su Arıtma Çamurunun Özellikleri .....	12
2.3. TÜRKİYE’DE ATIK SU ARITMA ÇAMURU ÜRETİMİ VE MİKTARI..	14
2.4. TÜRKİYE’DE ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ YÖNETİMİ .....	26
BÖLÜM 3 .....	28
AĞIR METALLER VE ETKİLERİ .....	28
3.1. METAL TOKSİSİTESİ VE ETKİLERİ .....	34
3.1.1. Enzim İnhibisyonu.....	35
3.1.2. Esansiyel Elementlerin Yerini Alması.....	35

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1.3. Bazı Toksik Metallerin Proteinlerle Birleşmesi .....	35
3.1.4. Metallerin Oksidasyon Basamağı ve Metallerin Oluşturduğu Bileşik Yapısı .....	36
3.1.5. Dış Faktörler .....	36
3.2. TOKSİK ETKİ GÖSTEREN AĞIR METALLER .....	36
3.2.1. Cıva (Hg) .....	36
3.2.2. Krom (Cr) .....	38
3.2.3. Kurşun (Pb).....	39
3.2.4. Kadmiyum (Cd).....	40
3.2.5. Nikel (Ni).....	42
3.2.6. Bakır (Cu) .....	43
3.2.7. Çinko (Zn) .....	45
<b>BÖLÜM 4</b> .....	<b>49</b>
<b>TOPRAK SOLUCANLARI</b> .....	<b>49</b>
4.1. TOPRAK SOLUCANLARININ GENEL VÜCUT YAPILARI .....	50
4.2. TOPRAK SOLUCANLARINDA HAREKET OLAYI.....	53
4.3. TOPRAK SOLUCANLARININ EKOLOJİLERİ .....	53
4.4. TOPRAK SOLUCANLARININ SİNDİRİM SİSTEMİ .....	55
4.4.1. Sindirim Kanalı Ve Sindirim Bezleri .....	56
4.4.2. Ağız Boşluğu .....	56
4.4.3. Yutak.....	56
4.4.4. Yemek Borusu .....	57
4.4.5. Kursak.....	57
4.4.6. Taşlık .....	57
4.4.7. Bağırsak .....	58
4.4.7.1. Tiflosolis Öncesi Bölge.....	58
4.4.7.2. Tiflosolis Bölgesi .....	58
4.4.7.3. Tiflosolis Sonrası Bölge.....	58
4.4.8. Anüs.....	59
4.5. SİNİR SİSTEMİ .....	59
4.6. BOŞALTIM SİSTEMİ .....	59

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.7. DOLAŞIM SİSTEMİ .....	60
4.8. SOLUNUM SİSTEMİ.....	60
4.9. SAVUNMA SİSTEMİ .....	61
4.10. ÜREME SİSTEMİ, ÇİFTLEŞME VE GELİŞİM .....	62
4.11. <i>Eisenia fetida</i> TÜRÜ TOPRAK SOLUCANI, EKOLOJİK YERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	64
4.12. TOPRAK SOLUCANLARINDA AĞIR METALİN BİYOAKÜMÜLASYONU.....	68
 BÖLÜM 5 .....	 72
KOMPOST VE VERMİKOMPOST .....	72
5.1. KOMPOST VE TARİHİ .....	72
5.2. KOMPOSTLAMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	75
5.2.1. Kompost Malzemesi ve Nutrientlerin Dengesi (C:N Oranı) .....	75
5.2.2. Malzemenin Parçacık Boyutu.....	76
5.2.3. pH .....	77
5.2.4. Nem İçeriği .....	77
5.2.5. Havalandırma.....	78
5.2.6. Sıcaklık .....	79
5.3. KOMPOSTLAMA TÜRLERİ .....	80
5.4. VERMİKÜLTÜR, VERMİKOMPOST VE TARİHİ .....	81
5.5. VERMİKOMPOST ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....	83
5.5.1. Yatak Malzemesi .....	83
5.5.1.1. Yüksek Oranda Emicilik.....	83
5.5.1.2. Yüksek Hacim Kazanma Potansiyeli.....	83
5.5.1.3. Düşük Protein Ve/Veya Azot İçeriği (Yüksek Karbon: Azot Oranı) .....	84
5.5.2. Nem İçeriği .....	84
5.5.3. Havalandırma.....	85
5.5.4. Sıcaklık .....	85
5.5.5. pH.....	86
5.5.6. Amonyak ve Tuz İçeriği .....	86
5.5.7. Besin İçeriği .....	87

	<u>Sayfa</u>
5.6. VERMİKOMPOSTLAMA SİSTEMLERİ .....	89
5.6.1. Küçük Yataklarda Üstten Besleme İle Vermikompost Üretimi .....	89
5.6.2. Zemin Yataklı ve Sıralı Yığınlar Halinde Vermikompost Üretimi .....	90
5.6.3. Beton veya Plastik Yataklı Havuzlarda Vermikompost Üretimi.....	92
5.6.4. Sürekli Akış Reaktörleri İle Yerden Yüksek Yataklarda Vermikompost Üretimi .....	92
5.7. TOPRAK SOLUCANLARININ HASAT EDİLME YÖNTEMLERİ .....	93
5.7.1. Elle Hasat.....	93
5.7.2. Pasif Göç.....	94
5.7.3. Mekanik Hasat .....	94
5.8. TOPRAK SOLUCANLARININ KULLANIM ALANLARI.....	94
5.9. VERMİKOMPOSTTUN ÖZELLİKLERİ.....	97
5.10. VERMİKOMPOSTTUN GELENEKSEL KOMPOSTTAN FARKLI TARAFLARI .....	98
5.11. VERMİKOMPOSTLAMA VE VERMİKOMPOST UYGULAMALARI HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	102
BÖLÜM 6 .....	107
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	107
6.1. MATERYAL.....	107
6.1.1. Vermikompost Uygulamasında Kullanılan <i>Eisenia fetida</i> Türü Toprak Solucanı .....	107
6.1.2. Vermikompost Uygulamasında Kullanılan Atıksu Arıtma Çamuru ....	107
6.1.3. Vermikompost Uygulamasının Gerçekleştirildiği Ortam.....	108
6.1.4. Vermikompost Uygulamasında Kullanılan Ahır Gübresi, Odun Talaşı ve Atık Çay Posası.....	108
6.2. METOT .....	108
6.2.1. Deney Düzeneginin Kurulması.....	110
6.2.2. Solucanların Hasat Edilmesi, Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Belirlenmesi .....	113
6.2.3. Solucan Bünyelerindeki Ağır Metalin Analizi .....	115
6.2.3.1. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi .....	116

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7 .....	119
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	119
7.1. <i>E. fetida</i> TÜRÜ TOPRAK SOLUCANLARININ ATIK SU ARITMA ÇAMURUNDAKİ METAL MİKTARINDAKİ ÜZERİNE ETKİSİ .....	119
7.2. VERMİKOMPOSTLAMADAN 30 GÜN SONRA TOPRAKTAKİ AĞIR METAL MİKTARLARI.....	132
7.3. VERMİKOMPOST UYGULAMALARININ <i>E. fetida</i> TÜRÜ TOPRAK SOLUCANLARININ GELİŞİMİ VE CANLI AĞIRLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ .....	135
7.4. VERMİKOMPOST UYGULAMALARININ <i>E. fetida</i> TÜRÜ TOPRAK SOLUCANLARININ YAVRU VE KOKON OLUŞUMUNA ETKİSİ.....	139
7.5. VERMİKOMPOSTLAMA SÜRECİNİN ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER ÜZERİNE ETKİSİ .....	142
7.6. TOPRAK SOLUCANLARININ KURU AĞIRLIKLARININ BELİRLENMESİ.....	143
BÖLÜM 8 .....	145
SONUÇLAR .....	145
KAYNAKLAR .....	148
ÖZGEÇMİŞ .....	168

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. MB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı.....	16
Şekil 2.2. KB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı .....	18
Şekil 2.3. EB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı.....	19
Şekil 2.4. AKB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı .....	20
Şekil 2.5. İAB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı .....	21
Şekil 2.6. GAB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı .....	22
Şekil 2.7. DAB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı .....	23
Şekil 2.8. Planlanmakta olan tesislerdeki 2025 ve 2040 yıllarında oluşturulacak atık su arıtma çamurunun miktarları .....	24
Şekil 2.9. Türkiye’de kişi başı oluşturulan ortalama çamur miktarının ülkelere göre kıyaslanması.....	26
Şekil 4.1. Toprak solucanına ait anatomik yapıyı betimleyen çizim.....	51
Şekil 4.2. Toprak solucanlarının ekolojik sınıflandırılması .....	54
Şekil 4.3. Toprak solucanlarının çiftleşmesi sırasında bir görünüm .....	63
Şekil 4.4. Yavru toprak solucanları ve kokonlara ait bir görünüm .....	63
Şekil 4.5. <i>Eisenia fetida</i> türü toprak solucanının görünümü .....	65
Şekil 4.6. İnek gübresi ile yetiştirilen <i>E. fetida</i> solucanının yaşam döngüsü (% 75 nem içeriği ve 25 ° C sıcaklıkta).....	67
Şekil 5.1. Vermikompost kutusu görünümü.....	90
Şekil 6.1. DAÇ’ye ait bir görüntü (Orijinal) .....	109
Şekil 6.2. AG’nin parça boyutunun ufaltılması sırasında elde edilen görüntü (Orjinal).....	109
Şekil 6.3. Toplanan ÇP’ye ait bir görüntü (Orjinal).....	110
Şekil 6.4. Islatılmış deney kutularına ait bir görüntü (Orijinal) .....	111
Şekil 6.5. Hazırlanan deney kutularına ait bir görüntü-1 (Orijinal).....	112

## Sayfa

Şekil 6.6. Hazırlanan deney kutularına ait bir görüntü-2 (Orijinal) .....	112
Şekil 6.7. Deney kutularının boşaltılmasına ait bir görüntü (Orijinal).....	113
Şekil 6.8. Solucanların el ile hasat edilmesine ait bir görüntü (Orijinal) .....	114
Şekil 6.9. Temizlenen solucanlara ait bir görüntü (Orijinal).....	114
Şekil 6.10. Kurutma işlemine tabi tutulmuş solucanlara ait bir görüntü (Orijinal)..	115
Şekil 6.11. Kurutma işlemine tabi tutulmuş solucanların tartımına ait bir görüntü.	115
Şekil 6.12. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi Bileşenleri .....	117
Şekil 7.1. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki bakır miktarları (mg/kg). .....	125
Şekil 7.2. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki kurşun miktarları (mg/kg).....	126
Şekil 7.3. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki nikel miktarları (mg/kg). .....	127
Şekil 7.4. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki çinko miktarları (mg/kg).....	128
Şekil 7.5. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki cıva miktarları (mg/kg).	128
Şekil 7.6. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki krom miktarları (mg/kg). .....	129
Şekil 7.7. 30, 90 ve 120 gün sonunda deney kutularındaki toprak solucanların yaş ağırlıkları .....	136
Şekil 7.8. Kontrol uygulamasından alınmış <i>E. fetida</i> türü toprak solucanı (a) ve D4 dozundan alınmış <i>E. fetida</i> türü toprak solucanı (b) (Orijinal) .....	140
Şekil 7.9. Deney kutularında bulunmuş solucan kokonları (Orijinal).....	141
Şekil 7.10. Deney kutularında bulunmuş <i>E. fetida</i> türü yeni yavru toprak solucanları (Orijinal).....	142
Şekil 7.11. Vermikompost uygulamasının başlangıcından (a) ve 30 günlük vermikompost uygulamasından (b) görüntüleri (Orijinal) .....	143
Şekil 7.12. 90 günlük vermikompost uygulamasından bir görüntü (Orijinal) .....	143
Şekil 7.13. Hasat edilen yaş solucanlara (a) ve kurutma işlemine tabi tutulmuş solucanlara (b) ait bir görüntüleri (Orijinal).....	144



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Planlanmakta olan tesislerdeki 2025 ve 2040 yıllarında oluşturulacak atık su arıtma çamurunun miktarlarının bölgesel olarak değerlendirilmesi .....	25
Çizelge 3.1. İnorganik kirliliğin temizlenmesinde kullanılan teknolojiler.....	48
Çizelge 7.1. Demir-Çelik Tesisleri arıtma çamuru ve gübrenin 1:1 oranında (D4) karıştırılmasıyla yapılan denemeden elde edilen ağır metal miktarları (mg/kg).....	119
Çizelge 7.2. Demir-Çelik Tesisleri arıtma çamuru ve gübrenin 3:1 oranında (D6) karıştırılmasıyla yapılan denemede solucan analizlerinde elde edilen ağır metal miktarları (mg/kg). ....	122
Çizelge 7.3. 30 günlük vermikompostlama süreci sonucunda analiz edilen toprakta ağır metal miktarları .....	133

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

As	: arsenik
Zn	: çinko
Fe	: demir
Al	: alüminyum
Co	: kobalt
Ca	: kalsiyum
Cu	: bakır
Hg	: cıva
Pb	: kurşun
Cr	: krom
Ni	: nikel
C	: karbon
P	: fosfor
K	: potasyum
N	: azot
Cd	: kadmiyum
~	: yaklaşık
°C	: santigradderece
Mn	: mangan
ml	: mililitre
cm <sup>3</sup>	: santimetreküp
m	: metre
mm	: milimetre
ppm	: milyonda bir
µg	: mikrogram
g	: gram

kg : kilogram

CO<sub>2</sub> : Karbondioksit

FeCl<sub>3</sub>: Demir (III) Klorür



## KISALTMALAR

- UV : Ultraviyole
- BOİ : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
- PCB : Poliklorlu Bifeniller
- PAH : Poliaromatik Hidrokarbon
- TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
- İSKİ : İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
- KM : Katı Madde
- CFC : Kloroflorokarbon
- DNA : Deoksiribo Nükleik Asit
- RNA : Ribo Nükleik Asit
- MSS : Merkezi Sinir Sistemi
- EEG : Beyin Çizgesi Yöntemi
- EDTA : Etilendiamin Tetraasetik Asit
- TEK : Tetra Etil Kurşun
- M.Ö. : Milattan Önce
- LD<sub>50</sub> : Lethal Doz <sub>50</sub>: Uygulandığı populasyonun %50'sini öldüren doz
- NIH : National Institutes of Health (Ulusal Sağlık Enstitüsü)
- GEF : Global Environment Facility (Küresel Çevre Fonu)
- UNDP : United Nations Development Programme (Birleşmiş Milletler Kalkınma Progamı)
- OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
- FAO : Food And Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
- MIC : Minimal Inhibitor Concentration (Minimal İnhibitör Konsantrasyon)
- EPA : Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
- TOK : Toplam Organik Karbon
- TN : Toplam Azot
- NPK : Azot-Fosfor-Potasyum
- EC : Electrical Conductivity (Elektiriksel İletkenlik)
- BCF : Bioconcentration Factor (Biyoakümülyasyon Faktörü)
- AAS : Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar süregelen teknolojik ve sosyolojik gelişmeler sonucunda sanayileşmenin hızlanması nedeniyle endüstriyel üretim de hızlanmıştır. Dolayısıyla hammadde ve üretim prosesleri için gerekli olan enerji talebi, giderek artan nüfus ile doğrusal olarak artmıştır. Bu durum yenilenemeyen ve sınırlı doğal kaynaklara olan gereksinimi artmıştır. Bu duruma ek olarak yöneticilerin salt kâr amacı güden ve sürdürülebilir ya da temiz üretim ilkesini benimsememiş üretim yöntemi uygulamaları nedeniyle ortaya çıkarılan çevresel kirlilik, ekolojik tahribata neden olarak birçok bitki ve hayvan türünün olumsuz etkilenmesine ya da neslinin tükenmesine yol açmıştır.

Dünya’da hızlı nüfus artışına paralel olarak; hızlı ve düzensiz şehirleşme ve artan nüfusun ihtiyacını karşılamak için endüstriyel faaliyetlerde de artış olmaktadır. Bu endüstriyel faaliyetlerde ortaya çıkan atıklar ve bunların bertarafı gönderilme oranlarının fazla olması nedeniyle yenilenemeyen doğal kaynaklar üzerindeki baskı ve tahribat tetiklemektedir. Kentsel ve endüstriyel kaynaklı üretilen emisyonlar, katı ve sıvı atıklar ön işlemlere uğramadan direk doğaya verilerek çevresel kirliliğe yol açmaktadır.

Çeşitli kirlilik unsurları ekolojik madde döngülerine girerek ya uzun ya da kısa vadede ekolojik tahribata dolayısıyla olumsuz değişimlere neden olmaktadır. Ekolojik değişime örnek olarak endüstriyel melanizim gösterilebilir. Bilinen endüstriyel melanizim örneği ise İngiltere’deki Peppered güveleri verilebilir. Endüstriyel devrim nedeniyle doğaya salınan çok miktarda duman sebebiyle ağaç yaprak ve gövdeleri is yüzünden koyulaşmıştır. Koyulaşan ağaçlarda yaşanan açık renkli güveler, avcılarının karşı açık hedef haline gelmiş ve koyu renkli olanlar

kamufle olmuştur. Böylece doğal seleksiyon mekanizması ile koyu renkli güveler hayatta kalmış ve onların genleri diğer kuşağa aktarılmıştır.

Dünya üzerinde ortaya çıkan diğer ekolojik ve küresel değişimler; yeraltı ve yüzey sularına usulsüz atık su deşarjlarının sebep olduğu kirlenme nedeniyle meydana gelen biyolojik, fiziksel, kimyasal ve jeolojik değişimlere neden olmaktadır. Yanlış tarımsal uygulama yöntemlerinin (aşırı yapay ve doğal gübre kullanımı, bilinçsiz sulama, genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO) kullanımı, anız yakımı ve toprağın bilinçsiz işlenmesi) kullanılması toprağın verimsizleşmesine ve buna bağlı olarak bitki habitatlarının strese girip yok olmasına neden olmaktadır. Uzun jeolojik süreçlerle oluşan yeryüzü ve yeraltı tabakalarında bulunan doğal kaynakların çıkarılması için tahrip edilmesi ve saha ıslahının yapılmaması nedeniyle maden alanlarından çevreye zehirli kirleticiler salınmakta olup, tahrip edilen kayaç yapısının oluşması için uzun bir süreç gerekmektedir. Fabrikalardan, motorlu taşıtlardan, evlerden, vahşi atık depolama alanlarından ve insanların oluşturduğu karbon ayak izinden kaynaklanan sera gazları atmosferi sararak yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarını tutmaktadır. Bu durum ise mevsimlerin değişmesine, yağış sıklığının azalıp şiddetinin artmasına, buzulların eriyerek deniz seviyelerinin yükselmesine ve kıtaların sular altında kalmasına neden olmaktadır. Ozon tabakası yeryüzünden 50 ile 85 km arası yükseklikte bulunan ozon gazından oluşan bir tabakadır. Güneş'ten gelen zararlı ultraviyole (UV) ışınları soğurarak, yeryüzüne ulaşmasını önlemektedir. Ticari olarak üretilmiş olan kloroflorokarbon (CFC) gazı elektronik cihazlarda, soğutma sistemlerinde ve yangın söndürme ekipmanlarının üretilmesinde kullanılmaktadır. Atmosfere salındığında ise ozon ile tepkimeye girerek tabakanın incelmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla yeryüzüne yayılan radyasyon fauna ve florayı tahrip etmektedir.

Yaşadığımız dünya üzerinde azalan doğal kaynaklarımıza ek olarak artan enerji talebi ve çevresel kirlilik, giderek dünyamızın yaşana bilirlğini azaltmaktadır. Dolayısıyla uluslararası kurum ve kuruluşlar dünyamızın yaşanabilirliğini ve kaynak rezervini korumak için "sürdürülebilirlik" terimi temel alınarak kalkınma planları oluşturulup, çevre kanunları yayınlanmıştır. Yürürlüğe girmiş olan bu kanuni uygulamalar aslında, düşük miktarda atık üreten üretim yöntemlerinin kullanılması

ve bu idealin üretim sürecinden tüketimin son basamağına kadar olan süreçte oluşturulan atıkların hammadde veya enerji elde etmek için kullanılmasını, geri kalan atıkların doğaya zarar verilmeden çevreci bertarafını sağlamayı hedeflemektedir.

Artan üretim faaliyetlerinin sonucu olarak gereken hammadde ve enerji ihtiyacını azalmak için geliştirilmiş olan geri dönüşüm ve geri kazanım metotları sayesinde atık, artık istenmeyen bir materyal olmaktan çıkarak değer kazanmıştır. Örneğin, demir-çelik endüstrisinde yüksek fırınlar ve çelikhanede üretilen cüruf, içeriğindeki metal bileşenleri geri kazanılarak çimento fabrikalarında ham madde olarak değerlendirilebilmektedir. Son yıllarda ülkemizde atıkların neden olduğu israfın önüne geçilmesi, doğal kaynakların korunması ve atıkların ülke ekonomisine kazandırılması için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2017 yılı Ekim ayında “Sıfır Atık Projesi” kapsamında ilk adım atılarak, 12 Temmuz 2019 tarih ve 30829 sayılı resmi gazetede “Sıfır Atık Yönetmeliği” yayınlanmıştır. Bu yönetmelik ile birçok kurum ve kuruluşun bünyesinde oluşturduğu farklı atıklara yönelik sıfır atık yönetiminin oluşturulma, yaygınlaştırma, geliştirme, izleme, finansmanına ve kayıt edilip belgelendirilmesi hakkındaki ilke ve esaslar belirtilmiştir. Sıfır Atık Yönetimi Eylem Planı 2018 yılında uygulamaya geçmiş olup 2023 yılına kadar uygulanacak eylem ve stratejileri barındırmaktadır.

Günümüzde pek çok ayrı sınıfta atık (kâğıt-karton, plastik, cam, metal, alüminyum, atık beton, piller, organik atıklar vb.) üretim sürecine doğrudan veya dolaylı olarak geri kazandırılmaktadır. Geri kazandırılabilen atık türlerinden birini de atık su arıtma çamurları oluşturmaktadır. İlgili çevre mevzuatlarında ve yönetmeliklerde belirtilen şartlar içerisinde; (Ayvaz, 2000)

- Tarımsal ve orman alanlarında değerlendirilmesi,
- Tarımda kompost ürünü olarak kullanılması,
- Park, bahçe ya da rekreasyon alanlarında değerlendirilmesi,
- Ömrünü tamamlayan kömür yatakları, maden taş ocaklarının rehabilitasyonunda,
- Çimento üretimi ve kömürlü santrallerde ek yakıt olarak değerlendirilmesi,

- Alternatif metotların (yaş oksidasyon, hidroliz, hidrotermal oksidasyon, mikrodalga-yüksek basınç işlemi) uygulanması,
- Arıtma çamurlarından enerji (biyogaz, metanol, ısı ve elektrik) üretimi

Ancak endüstriyel atık su arıtma çamurları başta olmak üzere; üretim faaliyetlerine göre kompozisyonu değişen arıtma çamurları miktar ve hacim olarak önemli bir sorun teşkil etmektedir. Atık suyun özelliklerine göre; toksik, patolojik, ekotoksik ve kanserojen özellikteki zararlı maddeleri barındıran atık su çamuru oluşmaktadır. Bu durum atık su arıtma çamurlarının yeniden değerlendirilmesini kısıtlamakta ve çevreci bir yönetim ile ele alınmadığı takdirde çeşitli etmenler ile doğal madde döngülerine katılarak insan ve çevre sağlığına olumsuz etkileri bulunmaktadır. Kirlenen alanların rehabilitasyonu ise uzun ve maddi açıdan yüksek harcamalar gerektirmektedir. Bu nedenle atık su çamurlarının kirletici etkilerininin alıcı ortamlara nakil edilmeden önce ele alınıp atığın yönetimi sağlanmalıdır. Cam, maden, çimento, metal kaplama, metal üretimi, petrol işleyen, petrokimya ve hidrokarbon üretim sektörleri ile taşıt üreten ve bazı geri dönüşüm (biyodizel) uygulamaları yapan tesislerin prosesleri sonucu atık sularının arıtımı sonucunda ağır metal içeriğince zengin arıtma çamuru oluşmaktadır.

Demir - Çelik sektörü, geçmişten günümüze kadar sanayi temelli toplumların kalkınmasına öncülük ederek medeniyetlerin ilerlemesine katkıda bulunmuştur. Demir - Çelik sektörü, cevherin demir madenlerinden çıkartılarak cevherin proses için sinterlenmesi işlemiyle başlatılarak dökülmesi, dövülmesi, haddelenmesi, çekme ve benzeri teknik yöntemler kullanılarak üretiminin yapıldığı bir sektör olarak tanımlanmaktadır (Türkiye Demir Ve Demir Dışı Metaller Meclisi, 2010). Demir çelik sektörü başta inşaat malzemeleri olmak üzere otomotiv, gemi, uçak, demiryolu ve vagon gibi tüm taşıt araçları ve akla gelebilecek tüm makine, cihaz ve eşya üretimine katkısı vardır (Maden, Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı, 2018). Türkiye’de ilk demir - çelik sanayisinin kurulma adımları 1932 yılında Kırıkkale’de ülkenin savunma sanayisinin ihtiyaç duyduğu çelik talebini karşılamak amacıyla, Askeri Fabrikalar Müdürlüğü’ne bağlı olarak fabrikanın faaliyete geçmesiyle atılmıştır. Kurulan fabrika bünyesinde her türlü takım çelikleri, makine yapı çelikleri



ve az miktarda da olsa inşaat demiri üretiminin gerçekleştirilmesi ile, ülkemiz adına demir – çelik sanayisinin temelleri atılmıştır (Ersöz vd, 2015).

Canlılık için olmazsa olmaz etmenlerden biri olan metaller, endüstri ve uygarlığın temelini oluşturmaktadırlar. Taş devrinden itibaren insanlık çeşitli metalleri işlemeyi öğrenmiştir. Bu durum bir taraftan insanların metallere maruz kalmasına, diğer taraftan ise çevrenin kirlenmesinin temelleri atılmasına sebep olmuştur. Ağır metaller kirlenme, potansiyel toksisite ya da ekotoksisite ile bağdaştırılan metaller veya yarı metaller olarak tanımlanabilir (Özbolet ve Tuli, 2016). Diğer bir tanımlamada ise fiziksel özelliği bakımından yoğunluğu  $5 \text{ g/cm}^3$ 'ten daha yüksek değere sahip olan metaller için kullanılmaktadır.

Ağır metaller ile kirlenmiş arazilerde yetişmiş olan bitkilerin dokuları, etkileşim halinde oldukları toprak veya sudaki ağır metalleri biriktirmektedir. Bu nedenle besin döngüsü içerisinde birincil ve ikincil tüketici hayvanlar besin yoluyla olumsuz etkilenmektedir. Biyolojik olarak parçalanamayan ağır metaller besin döngüsündeki her bir katmanda daha çok etkilerini göstermektedir. Ağır metaller ile etkileşime girmiş bitki ve hayvanlardan elde edilen gıda ve doğal malzemeleri tercih eden insanlar ise besin döngüsünün en üst katmanında düşünülebilir.

Vermikompost organik malzemenin stabilize edilmesi için toprak solucanı ve bir takım mikroorganizmalar organik materyali stabilize etmek için vermikompost süreci boyunca birlikte çalışmakta olup, termofilik aşamayı içermemektedir (Dominguez ve Edwards, 1997; Suthar, 2009). Ağır metal barındıran ortamlarda beslenen toprak solucanları dışkılama yolu ile ağır metallerin bir kısmını toprağa geri transfer edilirken bir kısmının da solucan dokularında biriktirelebilmektedir (Tessier vd, 1994).

Yapılan bazı araştırmalar sonucunda ise, toprak solucanları etkileşim halinde olduğu topraktaki ağır metali vücut dokularında biriktirerek toplam metal konsantrasyonun azaltılmasını sağlamışlardır (Wang vd, 1998; Hepsen ve Kizilkaya, 2007; Sizmur ve Hodson, 2009; Li vd, 2010;). Dolayısıyla solucanlar beslenme olayı sırasında ağır

metal biriktirme yeteneklerinin etkisiyle metallerin besin zincirine katılma oranını azaltabilirler (Wang vd, 1998; Hepsen ve Kizilkaya, 2007).

Ağır metal kökenli toprak kirliliğine sahip bölgelerin rehabilitasyonu için birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik teknikler uygulanmaktadır (Pereira ve Arruda, 2003). Toprak arıtma veya iyileştirme metotlarından birisi olarak, solucanlarının ağır metal kökenli gibi kirleticilerle kirlenmiş toprağın vermikompostlama yöntemi ile arıtılmasıdır (Bianchina, 2009; Chhotu ve Fulekar, 2009).

Zhu vd, (2014)'ne göre vermikompostlardaki metal içeriği; ham atığın fiziko-kimyasal özellikleri, ham atıklardaki metallerin konsantrasyonu, vermikompostlama amacıyla kullanılan solucan türleri, evre koşulları vb. gibi faktörlerden etkilenebilir. Vermikompostlama işlemi sırasında iki farklı işlemden etkilenmektedir. İlk süreç, organik maddelerin ayrışması ve mineralizasyonu nedeniyle ham atıkların kütlesinde ve hacminde azalma ve ikinci süreç ise vermikompost işlemi sırasında solucanların vücudunda ağır metallerin birikmesidir.

Bu alışma, Entegre Demir-elik Fabrikalarının atıksu arıtma çamurlarından ağır metallerin giderilmesi amacıyla ele alınmıştır.

## BÖLÜM 2

### ATIK SU VE ATIK SU ARITMA ÇAMURLARI

Çeşitli kullanımlar sonucu oluşan atık suyun fiziksel ve kimyasal arıtımıyla çöktürülen veya bazı tür mikroorganizmalar sayesinde atık sudaki çözünmüş organik moleküllerin bünyelerine alınarak hücre büyümesi ve üremesi sonucu oluşan bakteri kütlelerinin çökertilmesiyle ve yapısında % 95–99,5'lik su barındıran materyale atık su çamuru denilmektedir (MEGEP, 2011). Atık suyun içerdiği madde konsantrasyonuna ve istenilen çıkış suyu kalitesine bağlı olarak arıtma çamurları farklılık göstermektedir. Bunlar;

- Yer çekimi etkisiyle çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtmada koagülasyon ve flokülasyon işlemi sonucu oluşan kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma işlemleri sonucu bakteri flok kümelerinin çöktürülmesiyle oluşan biyolojik çamur,
- İçme suyu arıtma işlemleri sonucu oluşan inorganik çamurlar, olarak sıralanabilir.

#### 2.1. ATIK SU ARITMA ÇAMURU OLUŞUM KAYNAKLARI

Genel olarak evsel ve endüstriyel atık su arıtma tesislerinde çamur üretilen birimde; yer çekimi etkisiyle çökebilen katı partikül ve parçacıklar kum tutucu ve ön çökeltim havuzlarında tutulmaktadır. Kum tutucuda tutulan çökebilir özellikli kaba parçacıklar evsel katı atık özelliği taşırlarsa, kentsel atıkla birlikte uzaklaştırılabilmektedir. Ön çökeltim havuzlarında çöktürülen materyal atık suyun içeriğindeki organik madde konsantrasyonuna bağlı olarak organik madde bulundurur ve su içeriği yüksektir.

Atık su bünyesinde çok küçük kendi elektriksel alanları nedeniyle çökelmeyen ve askıda kalan partiküller genellikle alüminyum ve demir tuzları kullanılarak yumaklaşmaya karşı direnci kırılmaktadır. Daha sonra ise oluşan flokların boyutunu arttırmak için yavaş karıştırma havuzlarında flokülasyon işlemi yapılmaktadır. Oluşan floklar kimyasal çamuru oluşturmaktadır.

Atık su içerisindeki organik karbon, azot ve fosforun özel tür mikroorganizmalar kullanılarak giderilirken, bu mikroorganizmaların çoğalarak oluşturduğu bakteri kütlelerinin yer çekimi etkisiyle çökeltilmesiyle biyolojik çamur oluşturulmaktadır.

### **2.1.1. Birincil Arıtma**

Birincil arıtma veya ön arıtma fiziksel arıtım yöntemleri kapsamaktadır. Temel prensibi ise atık su bünyesinde bulunmakta olan çökebilir katı maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Birincil arıtma sistemlerinde oksijen gereksinimi olan kirletici maddelerin giderilmesi ana hedeflerden biri değildir. Ancak bu tip arıtma sistemlerinde biyokimyasal oksijen ihtiyacının (BOİ) bir kısmı çökebilir katı maddeler ile birlikte giderilebilmektedir. Tesise gelen ham atıksu öncelikle kaba ızgaradan (25-30 mm aralıklı) ve sonra ince ızgaradan (3-6 mm aralıklı) geçirilerek kum, çakıl, cüruf ve diğer ağır büyük boyutlu katı maddelerin giderimi sağlanmaktadır. Bu safhada ayrılan katı atıklar kentsel atık ile birlikte bertaraf edilebilmektedir. Ön çöktürme havuzlarının işlevi kendiliğinden çökebilir katı maddelerin havuz tabanında, yüzebilir katı maddelerin ise havuz yüzeyinde toplanmasını sağlamaktadır. Çöktürme havuzunun tabanında toplanan maddeler ise “ham ön çöktürme çamuru” olarak adlandırılmaktadır (MEGEP, 2011).

Ham çamurun bünyesinde su miktarı oldukça yüksek olup, % 3 ila 5 katı madde bulunmaktadır materyal atık suyun karakterizasyonuna göre belli organik içeriğe sahiptir. Genellikle evsel atık suların bünyesinden uzaklaştırılan maddeler % 30 inorganik ve % 70 organik oranında maddelerden oluşmaktadır.(Mudrack ve Kunst, 1991).

### 2.1.2. İkincil Arıtım

İkincil arıtma sistemlerinin ana amacı, atık sudaki çözünebilen özellikteki biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) giderimi hedeflemektedir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), atık su bünyesindeki ayrışabilir organik maddelerin özel tür mikroorganizmalar tarafından aerobik şartlar altında parçalanıp giderilmesi için mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu oksijen miktarını ifade etmektedir (MEGEP, 2011).

Günümüzde biyokimyasal yollar ile giderilebilen maddeler, fiziksel ve kimyasal arıtma işlemleri kullanılarak da yapılabilmektedir. Atık su arıtımında en yaygın kullanılmakta olan ikincil arıtım sistemleri ise aktif çamur ve damlatmalı filtreler olarak ifade edilebilir.

Aktif çamur sistemi, daha çok kentsel atık su arıtımında kullanılmaktadır. Atık su içerisinde oksijen tüketen maddeleri gideren mikroorganizma biyokütlesi, atık su içerisinde askıda tutulmaktadır, mikroorganizma biyokütle bazı tür bakterilerden ve çamur içerisindeki protozoalardan meydana gelmektedir. Havalandırma tankında organik karbon, azot ve fosfor gibi organik moleküller giderilirken, mikroorganizma biyokütlesinde artış meydana gelmektedir. Oluşan biyokütle tanktan sonra bir son çöktürme havuzuna yönlendirilerek çökeltilir ve çökeltile materyalin bir kısmı atık su tankında azalan mikroorganizma yoğunluğunu yeniden dengelemek için sistem başlangıcına devredilmektedir. Aktif çamur sisteminde üretilen biyokütlenin miktarı geri devir için gereken miktardan fazla olduğu durumlarda oluşan materyalin sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla elde edilen atık biyolojik madde literatürde “atık aktif çamur” olarak geçmektedir ve arıtma tesisi için miktar ve hacim konusunda yönetimi zor olan bir işletme problemidir. (MEGEP, 2011).

Damlatmalı filtre sisteminin temel olarak çalışma prensibi belirli kriterlere göre tasarlanmış tankın içerisine yerleştirilen bir dolgu malzemesinin (plastik, taş, seramik vb.) üst yüzeyine bakteri kümeleri oluşturulması sağlanarak, bu dolgu malzemesiyle ön arıtmadan geçirilen atık suyun filtrelenmesidir. Bu sistemde atık su bünyesindeki

kirliliğe neden olan organik maddelerin dolgu malzemesi üzerinde üreyen bakteriler tarafından bünyelerine alınarak atık sudan uzaklaştırılır.

Dolgu malzemesi üzerinde büyüyen bakteriyel kütle (biyofilm) zamanla kalınlaşarak atık su sirkülasyonunun etkisiyle parçalanmaktadır. Kopan parçalar filtre çıkış suyu ile birlikte tankı bünyesinden atılmaktadır. (Halistürk vd, 2017) Daha sonra kopan biyofilm parçaları son çöktürme havuzunda çöktürülerek su fazından ayrılmaktadır. Çöktürülen materyal “filtre humusu” olarak adlandırılmaktadır ve genellikle az miktarı üretilmektedir. (MEGEP, 2011).

### **2.1.3. Üçüncül Arıtım (İleri Arıtım)**

İkincil arıtım çıkış suyundaki parametreler istenilen seviyelerin altında değil ise daha iyi su kalitesi elde etmek amacıyla uygulanan ileri arıtım sistemlerini kapsamaktadır. İleri arıtım kademesinde bulunan sistemlerde atık su bünyesinde bulunan oksijen tüketen maddelerin giderilmesi yönünden azot ve fosfor giderim prosesleri büyük önem taşımaktadır (MEGEP, 2011). Bunun nedeni ise, atık su içerisindeki azot ve fosfor suda oksijen sarfiyatına neden olarak alıcı ortamlarda ötrifikasyona neden olmaktadır.

Atık sulardaki azot ve fosfor kaynakları evsel ve endüstriyel kaynaklıdır. Tükettiğimiz protein içerikli yiyeceklerin sindirimi sonucu vücuttan atılan üre, hidroliz olarak amonyuma dönüşmektedir. Özellikle evsel atık sularda deterjan kullanımı ve proteinlerin sindirimi temel fosfor kaynaklarıdır. Fosfor suda hidrolize olarak fosfat formlarında bulunmaktadır. Atık suda bulunan amonyum formundaki azotun giderimi iki kademe gerçekleşmektedir. Birinci kademe, atık sudaki amonyum ve organik azotun nitrifikasyon bakterileriyle okside edilerek nitrat formuna dönüştürülmesiyle gerçekleştirilir. İkinci kademe ise, elde edilen nitrat formundaki azotun denitrifikasyon bakterileri yardımıyla azot gazı formuna dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Biyolojik arıtım safhasında hücresel sentez ve hücresel büyüme yoluyla azot veya çözünmüş fosfat bakteri bünyesine alınarak giderilmektedir. Bu tip biyolojik arıtım sistemlerinin çıkış suyu son çöktürme

tankına alınarak üreyen bakteri kütlesi çöktürülür. Çökeltilen materyal ikincil arıtma sonucu elde edilen çamura benzer niteliktedir (Akalin, 2017).

Atık sudaki fosfor, kimyasal madde kullanılarak da giderilebilmektedir. Ön çökeltme havuzuna kalsiyum, demir ve alüminyum tuzları eklenilmesiyle ikincil arıtma sistemlerinde üretilen biyolojik çamurlara benzer özelliklere sahip arıtma çamurları üretilmektedir. İçme ve kullanma suyu arıtma tesislerinde çamur üretilmektedir. Tesiste koagülasyon ve flokülasyon işlemi için kullanılmakta olan alüminyum sülfat (alüm) “atık alüm çamuru” olarak nitelendirilen arıtma çamuru oluşturulmaktadır (MEGEP, 2011).

## **2.2. ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ**

Atık su arıtma sırasında ortaya çıkan arıtma çamurunun özelliği, genel olarak işletme koşullarına ve arıtma prosesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

### **2.2.1. Evsel Atık Su Arıtma Çamurunun Özellikleri**

Ham evsel atık su arıtma çamurları bünyesinde birçok patojenik mikroorganizma, yüksek oranda suyu, yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacına sahip (BOİ) ve koku oluşturabilecek organik maddeyi barındırmaktadır. Evsel atık su arıtma çamurların bir diğer özelliği ise, bitkiler (örneğin azot ve fosfor) için gerekli besinleri içeren maddeleri içerdiklerinden gübre olarak değerlendirilebilmektedir. Çamur bünyesinde bulunan organik karbon bir kez stabilize edildiğinde,

- Toprak köklerinin tutunması için toprak yapısını iyileştirdiği,
- Biyo-sindirimi veya yakma yoluyla enerjiye dönüştürülebildiği,
- İçerisindeki besin ve organik maddeler bulundurduğundan toprak düzenleyici olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

### 2.2.2. Endüstriyel Atık Su Arıtma Çamurunun Özellikleri

Endüstriyel atık su çamuru endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan zararlı kirleticiler (örneğin ağır metaller, eczacılık ürünleri) içermektedir (Mateo-Sagasta vd. 2015). Endüstriyel atıksu çamuru, atık su bünyesinden ayrıştırılan tüm bileşiklerin ve mevcut arıtma sistemine eklenen arıtma maddelerinin oluşturduğu katı veya yarı katı özelliğe sahip malzemedir. Atık su çamurunun bileşimi, endüstri türüne göre değişmektedir. Bu nedenle farklı endüstrilerin çamuru farklı arıtma ve bertaraf yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Lee vd, 2018). Örneğin entegre bir demir-çelik tesisindeki üretimde; sinter bandı bünyesinde oluşan atık gazın ıslak tip sistemler vasıtasıyla toplanması sonucu yüksek oranlarda ağır metal, AKM, PAH gibi kirleticilere sahip atık su çamuru oluşturulmaktadır. Yüksek fırın gazının temizlenmesi sonucu yüksek oranlarda AKM ve ağır metal içeriğine sahip atık su oluşturulabilir. Ayrıca yüksek fırın gazının temizlenmesi sırasında oluşan çamur ve tozlar karbon ve demir içermektedir. Kütük ya da slabın doğrudan doğutulmaya tabi tutulması nedeniyle oluşturulan atıksular bünyesinde metal oksit (tufal) ve yağ bulundurmaktadır. Bazik oksijen fırını gazı sulu tipte temizlenmesiyle oluşturulan çamur bünyesinde yüksek oranlarda çinko ve kurşun bulundurabilmektedir (Cebeci ve Sonverdi, 2012).

Dolayısıyla endüstriyel atık su arıtma çamurlarının yüksek miktar ve hacimlerde üretilmesine ek olarak, bu çamurların işlenmesi ve bertarafı oldukça karmaşık ve zor bir problem oluşturmaktadır.

Endüstriyel atıksu çamuru bünyesinde bir çok kirletici unsuru bünyesinde barındırmaktadır. Bunlar:

- inorganik kirleticiler (metaller ve iz elementler);
- organik kirletici maddeler (poliklorlu bifeniller (PCB'ler)), polyaromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), poliklorlu dibenzodiyoksinler / furanlar ((PCDD / F'ler) ve yüzey aktif maddeler);
- mikrobiyal kirleticiler (patojenik bakteri, virüs, protozoa ve parazit helmintleri).



Endüstriyel atık su çamurlarının bertarafı için düzenli depolama, yakma ve tarımsal arazi uygulaması gibi yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın bertaraf yöntemi düzenli depolama yöntemi kullanılmaktadır. Bahsedilen bertaraf yöntemlerine kıyasla düzenli depolama basit, hâlihazırda bilgi birikimi olan, en ucuz ve uygun bertaraf maliyetine sahiptir. Ancak endüstriyel çamurunun kararsız fiziksel özelliğinden ötürü çamur dengelenmeli ve susuzlaştırılmalıdır (Singh vd, 2011). Ayrıca atık depolama alanlarının sınırlı olması ve daha sıkılaştırılmış çevresel standartlar yöntemi sınırlandırmaktadır. Diğer taraftan, yakma yöntemi popüler olmamasına karşın çamur yönetiminde mevcut arazi kullanımını sınırlı olan bölgelerde kullanımı tercih edilmektedir (Werther ve Ogada, 1999).

Yakma yöntemi kullanılarak atık su çamurunun hacmi büyük oranda azaltılabilmektedir. Yakma ile organik kirleticiler, patojenler ve toksikler termal olarak ortadan kaldırılabilir. Verimli bir yakma için çamurun susuzlaştırılması gerekmektedir. Çamur bünyesindeki su içeriği proses verimini etkilemektedir. İşlem sonucu oluşan dioksinler, furanlar, ağır metaller ve uçucu kül gibi kirleticileri içeren baca gazlarının alıcı ortamlara verilmesi riski bulunmaktadır. Bu durumları önlemek için kurulacak filtre ekipmanlarının maliyeti, yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Atık su arıtma çamurları, üretildiği atık suyun kimyasal ve biyolojik içeriğine göre farklılık göstermesine bağlı olarak bünyesinde, insan sağlığını ve ekosistemleri olumsuz olarak etkileyebilecek tehlikeli kimyasal kirletici ve mikrobiyal patojenleri içerebilmektedir (Winkler vd, 2013). Bu özelliği nedeniyle çamurlar çevreci bir atık yönetimi kapsamında değerlendirilmediği takdirde toprak ve yeraltı suyu kirliliğine neden olması, arazi kullanımını sınırlandırması ve nakil edildiği ekosistemdeki bitki ve hayvan popülasyonlarını azaltması gibi önemli çevresel riskler meydana gelmektedir. (Werther ve Ogada, 1999).

Atık su arıtma çamurları, atık su arıtımı sonucunda oluşan yan ürünler arasında en büyük miktar ve hacim kaplayan materyallerdir. Dolayısıyla atık su çamurlarının işleme ve bertarafı, mühendislerin veya işletmecilerin karşılaştığı en karmaşık çevresel sorunlardan biri olmaktadır. Bu durumun nedeni ise, atık su arıtma işlemi sırasında oluşturulan çamurun genel olarak, arıtma prosesine ve tesis işletme koşullarına bağlı olarak % 0,25 ila % 12 katı madde içeren çok seyreltik bir

süspansiyon halinde olmasından kaynaklanmaktadır (Tchobanoglous vd, 1987). Ham çamurda su içeriği % 98'e kadar yüksektir, bu durum çamurun işlenmesini ve taşımalarını zorlaştırarak maliyeti arttırmaktadır. (UNEP, 2001).

### **2.3. TÜRKİYE'DE ATIK SU ARITMA ÇAMURU ÜRETİMİ VE MİKTARI**

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2012 yılında tüm belediyelere anket çalışması yapılarak oluşturulmuş Belediye Atık su İstatistikleri Anketinin sonuçları doğrultusunda, kanalizasyon sisteminden deşarjı yapılmış olan 4,1 milyar m<sup>3</sup> atık suyun 3,3 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmı atık su arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra deşarj edilmiştir. Arıtılan atık suyun % 38,3'üne ileri arıtma, % 32,9'una biyolojik, % 29,5'ine fiziksel, % 0,3'üne doğal arıtım yöntemleri uygulanmıştır.

Anketin diğeri bir sonucu ise toplam atık su deşarjının % 52,7'si denizlere, % 39,2'si akarsulara, % 1,9'si barajlara, % 1,1'i göl ve göletlere, % 0,3'ü arazilere ve % 4,8'i diğeri alıcı ortamlara yapılmıştır. Türkiye'de 2010 yılına kıyasla işletmeye alınan atık su arıtma tesislerinin sayısında artış olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum sonucunda, oluşturulan atık su çamurunun miktarında da artışa neden olmuştur (<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=1075>, 2019).

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (İSKİ) 2012 yılında hazırlanan faaliyet raporuna ait veriler doğrultusunda bünyesindeki arıtma tesislerinde toplamda yaklaşık 41 000 ton kuru arıtma çamuru oluşturulmuştur (<https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/faaliyet-raporlari1>, 2019). İstanbul'da oluşturulan kuru arıtma çamuru 2020 yılında 160 000 ton miktarında olacağı ön görülmektedir. Türkiye genelinde diğeri önemli atık su arıtma tesislerimiz mevcuttur. Kocaeli, Bursa, Eskişehir, Gaziantep, Antalya, Kayseri ve Ankara gibi illerimizde günlük oluşturulan yaş çamur miktarı 100 tonun üzerinde seyretmektedir. Arıtma tesislerimizde oluşturulan toplam çamur miktarı ve oluşturulan çamurların içeriği (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) hakkında yapılmış kapsamlı bir envanter çalışması mevcut değildir. Türkiye'de en sık kullanılan çamur bertaraf yöntemi düzenli depolamadır. Ancak araziye serilmesi, çimento fabrikalarında yakılması ve tarım alanlarında kullanılması gibi yöntemler de kullanılmaktadır (Uzun ve Bilgili, 2011).

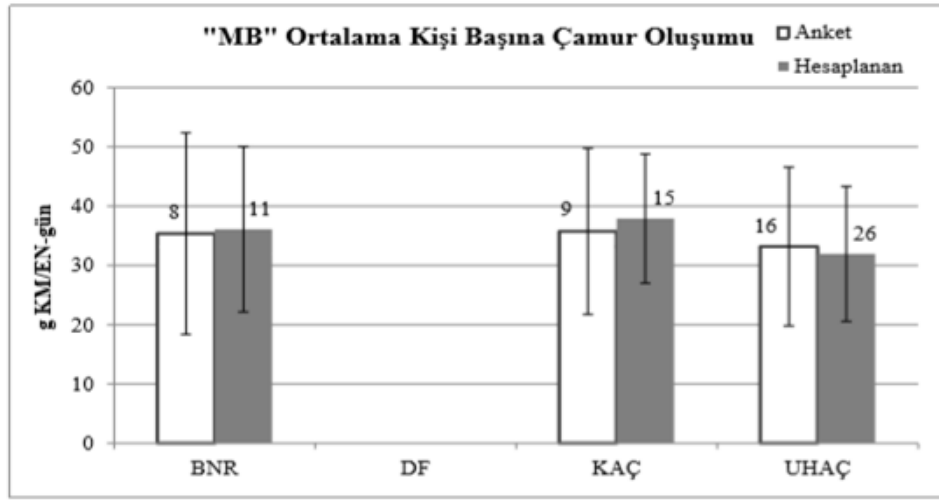
TÜİK tarafından oluşturulmuş belediye atığı istatistiği doğrultusunda 2010 yılına ait yakma tesislerine yollanan toplam tehlikeli atıklardan 39 640 ton atığın 779 tonluk kısmını endüstriyel atık su arıtma çamuru oluşturmaktadır. Diğer 741 tonluk kısmı ise atık işleme ve bertarafı nedeniyle oluşturulan çamur ve sızıntı suyundan kaynaklanmaktadır.

TÜİK'e göre düzenli depolama yöntemiyle bertaraf edilen tehlikeli 56 241 ton atığın 586 tonluk kısmı atık işleme ve bertaraf yöntemleri sonucu oluşturulan çamur veya sızıntı suyu oluşturmaktadır. Diğer 181 tonluk kısmı ise endüstriyel atık su arıtımından kaynaklanmaktadır. Düzenli depolama tesislerine getirilen tehlikesiz 14 320 433 ton atığın 52 922 tonluk kısmını endüstriyel atık su arıtma çamurları oluşturmaktadır. Diğer 724 tonluk kısmı ise atık işleme ve bertaraf yöntemlerinin uygulanması sonucu meydana gelen çamurlar ve sızıntı suları oluşturmaktadır. Atık su çamurlarının 182 069 tonluk kısmını evsel atık suyun arıtımı sonucu oluşan çamur, 1 848 tonunu ise içme ve kullanma suyu arıtımı sırasında arıtma çamuru oluşturmaktadır (<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16169>, 2020).

T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 3 Mart 2015 tarihinde 'Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi' raporu yayınlanmıştır. Proje kapsamında proje gupları sorumlu olduğu çalışma bölgesindeki 10 000 m<sup>3</sup> /gün'den büyük giriş atıksu debisine sahip olan atık su arıtma tesislerine ziyaretler gerçekleştirilmiştir (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

2010 yılı anket çalışması sonuçlarından elde edilen bilgiler ve hesaplamalar, bölgesel bazlı ve Türkiye geneline göre değerlendirilmiş ve raporlanmıştır. Atık su arıtımı sonucu oluşturulan çamur miktarları birim olarak kuru madde (KM) içeriği esas alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler anketlerden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu yöneme başvurulmasının sebebi raporda atıksu arıtma tesislerinde uygulanmakta olan çamur susuzlaştırma teknolojilerinin farklı olması veya susuzlaştırma teknolojileri aynı olması durumunda bile işletme koşullarının her bir tesis için farklı olmasından kaynaklanmaktadır (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

Marmara Bölgesi'nde (MB) kullanılmakta olan farklı tipteki arıtma teknolojileri göz önüne alındığında kişi başına oluşturulan ortalama çamur miktarları göstermekte olan anket ve hesap verileri Şekil 2.1'de verilmektedir. Grafiklerde bulunan bar diyagramların üzerindeki rakamlar tesis sayılarını temsil etmektedir. Tesislerden elde edilen anket veriler doğrultusunda Biyolojik Nutrient Giderimi (BNR), Damlatmalı Filtre (DF), Klasik Aktif Çamur (KAÇ), ve Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur (UHAÇ) sistemlerinde meydana gelen kişi başına ortalama çamur miktarlarına ait veriler, hesaplanan çamur miktarlarına ilişkin veriler ile karşılaştırılmaktadır. (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).



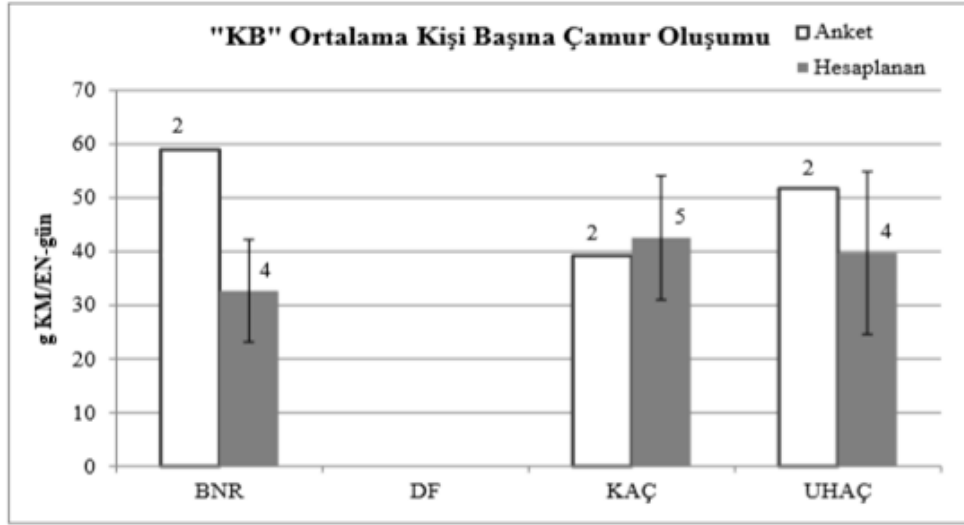
Şekil 2.1. MB'de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

Şekil 2.1. incelendiğinde anket verisi olarak KAÇ sisteminde oluşan kişi başına çamur miktarı  $36 \pm 14$  gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. Hesaplama yöntemiyle KAÇ sisteminde oluşturulan çamur miktarları ise  $38 \pm 11$  gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. UHAÇ sistemi için ise anketlerden elde edilen miktar  $33 \pm 13$  gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $32 \pm 11$  gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. Biyolojik nutrient gideren (BNR) sistemlere bakıldığında anket verileri  $35 \pm 17$  gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $36 \pm 14$  gKM/EN.gün olarak raporlanmıştır. Marmara Bölgesi'nde 1 adet Biyodisk arıtma

sistemi mevcuttur. Ancak tesiste çamur miktarını beyan edecek anket verisi mevcut değildir. Hesaplama yöntemiyle oluşan çamur miktarı 41 gKM/EN.gün olarak saptanmıştır (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

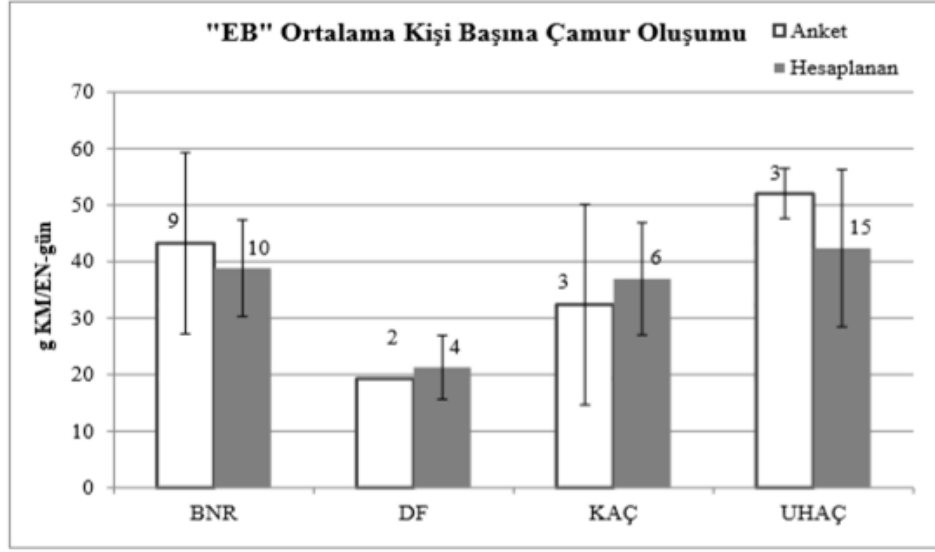
Karadeniz Bölgesi (KB)'nde bulunmakta olan arıtma tesis verileri doğrultusunda KAÇ sisteminde oluşturulan kişi başına ortalama çamur miktarları 39±5 gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. (Bkz. Şekil 2.2) Hesaplama yöntemiyle KAÇ sisteminde oluşturulan çamur miktarları ise 43±12 gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. UHAÇ sistemi için ise anketlerden elde edilen miktar 52 gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise 40±15 gKM/EN.gün olarak raporlanmıştır. Literatüre bakıldığında KAÇ arıtma sisteminden çok daha az miktarda çamur oluşturması beklenen UHAÇ arıtma sisteminin elde edilen anket verileri doğrultusunda daha çok çamur oluştuğu gözlemlenmiştir. Hazırlanan raporda, UHAÇ prosesinin bölgede bulunan tesislerdeki işletme bağlı olarak düzgün çalıştırılmamasından dolayı bu durumun gözlenebileceğinden bahsedilmiştir. BNR sistemine bakıldığında anket verileri 59 gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise 33±10 gKM/EN.gün olarak raporlanmıştır (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

Raporda Karadeniz Bölgesi ve Marmara Bölgesi'nin BNR sistemine ait veriler karşılaştırıldığında ortalama 33 gKM/EN.gün çamur oluşturması beklenen Karadeniz Bölgesi'nde anket verilerinde bu değer 1,8 katı olarak raporlanmıştır. Küçük ölçekli planlanmış arıtma tesisleri işletmecilerinin vermiş olduğu anket değerlerin doğru değerler olmayabileceği belirtilmiştir (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).



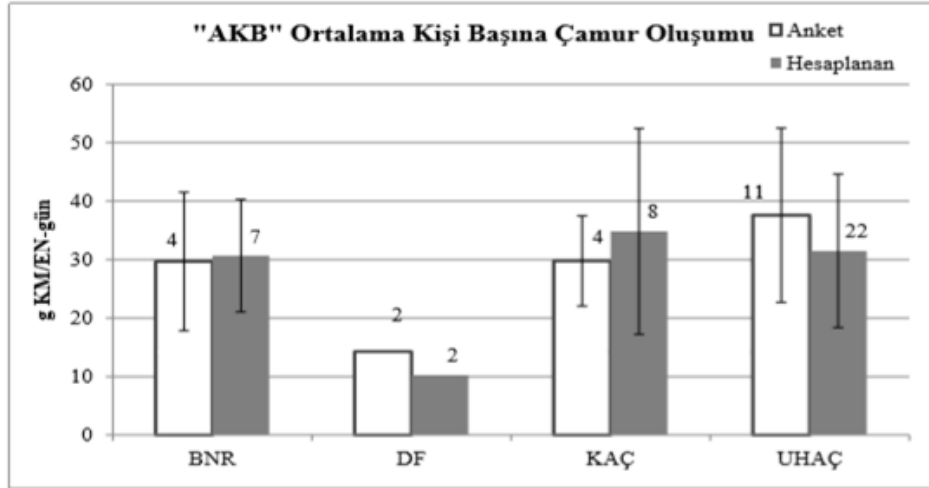
Şekil 2.2. KB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

Ege Bölgesi (EB)’nde anket verisi olarak KAÇ sisteminde oluşturulan kişi başına ortalama çamur miktarları  $32 \pm 18$  gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. (Bkz. Şekil 2.3) Hesaplama yöntemiyle KAÇ sisteminde oluşturulan çamur miktarları ise  $37 \pm 10$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. UHAÇ sistemi için ise anketlerden elde edilen miktar  $52 \pm 4$  gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $42 \pm 14$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. BNR sistemine bakıldığında anket verileri  $43 \pm 16$  gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $39 \pm 9$  gKM/EN.gün değerinde raporlanmıştır. DF sistemine bakıldığında anket verileri  $19$  gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $21 \pm 6$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. Ayrıca Ege Bölgesi’de 1 adet Biyodisk arıtma sistemi mevcuttur. Ancak tesiste çamur miktarını beyan edecek anket verisi mevcut değildir. Hesaplama yöntemiyle oluşan çamur miktarı  $26$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).



Şekil 2.3. EB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

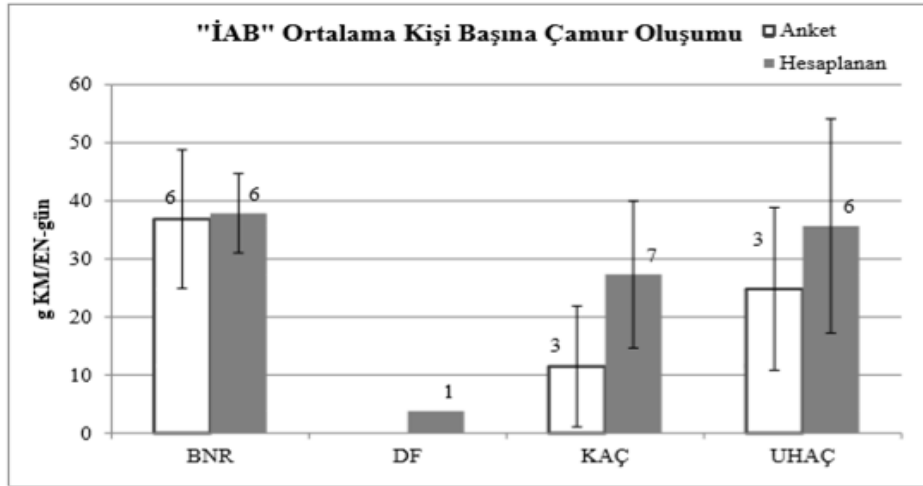
Akdeniz Bölgesi (AKB) anket verisi olarak KAÇ sistemine ait kişi başına çamur oluşumu  $30 \pm 8$  gKM/EN.gün olarak elde edilmiştir. (Bkz. Şekil 2.4) Hesapla elde edilen çamur miktarları  $35 \pm 18$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. UHAÇ sistemi için ise anketlerden elde edilen miktar  $38 \pm 15$  gKM/EN.gün, hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $31 \pm 13$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. BNR sistemine bakıldığında anket verileri  $30 \pm 12$  gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $31 \pm 10$  gKM/EN.gün değerinde raporlanmıştır. DF sistemine bakıldığında anket verileri  $14$  gKM/EN.gün ve hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $10$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).



Şekil 2.4. AKB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

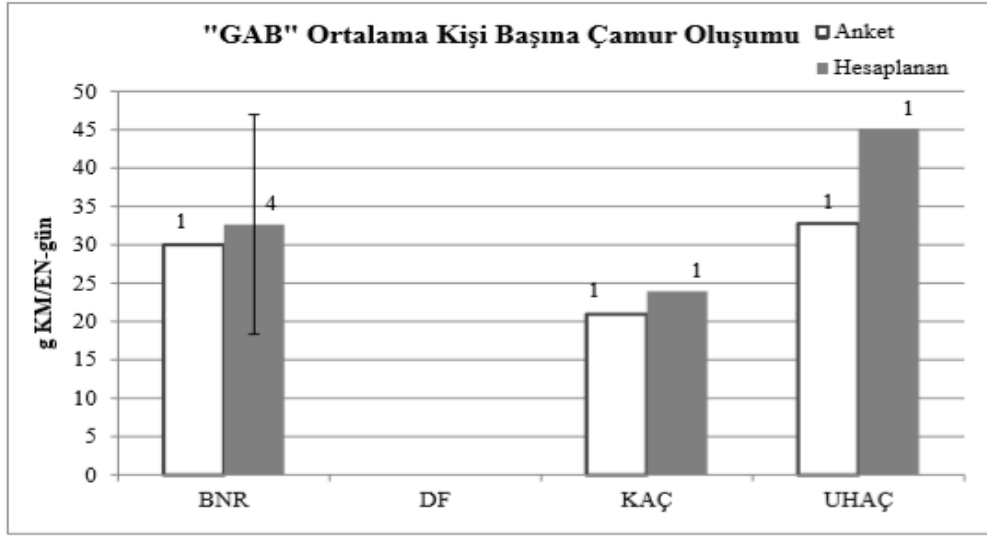
İç Anadolu Bölgesi (İAB)’nde anket verisi olarak KAÇ sistemine ait kişi başına çamur oluşumu  $11 \pm 10$  gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. (Bkz. Şekil 2.5) Hesapla elde edilen çamur miktarları  $27 \pm 13$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. UHAÇ sistemi için ise anketlerden elde edilen miktar  $25 \pm 14$  gKM/EN.gün, hesaplanarak elde edilmiş çamur miktarları ise  $36 \pm 18$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. BNR sisteminde anket verilerine göre kişi başına çamur oluşumu  $37 \pm 12$  gKM/EN.gün, hesapla elde edilen çamur miktarları  $38 \pm 7$  gKM/EN.gün değerinde raporlanmıştır. Raporda tesis işletmecisinin DF sisteminde oluşan çamur miktarı hakkında bilgi vermediği belirtilmiştir (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).





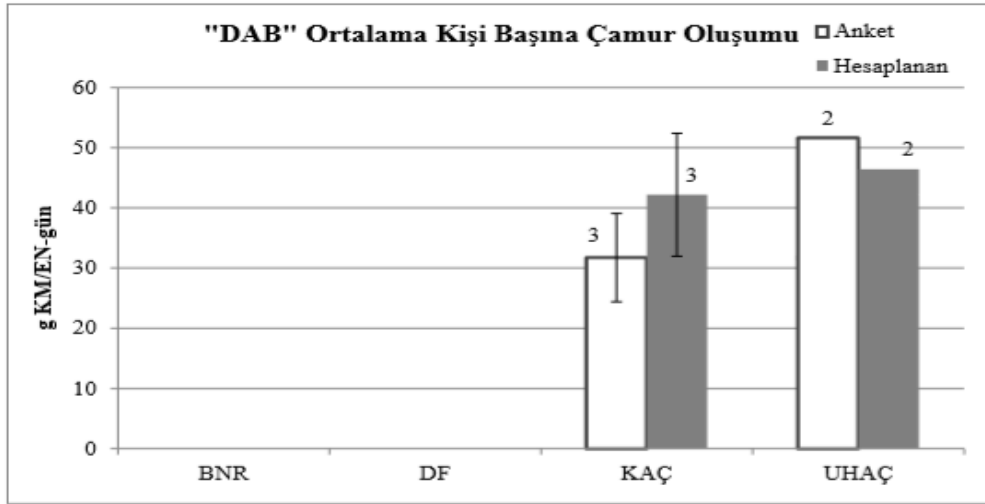
Şekil 2.5. İAB'de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

Güney Doğu Anadolu Bölgesi (GAB)'nde anket verisi olarak KAÇ sistemine ait kişi başına çamur oluşumu 21 gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. (Bkz. Şekil 2.6) Hesapla elde edilen çamur miktarları 24 gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. UHAÇ sistemi için ise anketlerden elde edilen miktar 33 gKM/EN.gün ve hesapla elde edilen çamur miktarları 45 gKM/EN.gün değerinde raporlanmıştır. BNR sisteminde anket verilerine göre kişi başına çamur oluşumu 30 gKM/EN.gün ve hesapla elde edilen çamur miktarları 33±14 gKM/EN.gün değerinde raporlanmıştır (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).



Şekil 2.6. GAB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

Doğu Anadolu Bölgesi (DAB)’ nde anket verisi olarak KAÇ sistemine ait kişi başına ortalama çamur oluşumu  $32 \pm 7$  gKM/EN.gün olarak saptanmıştır. (Bkz. Şekil 2.7) Hesapla elde edilen çamur miktarları  $42 \pm 10$  gKM/EN.gün değerinde saptanmıştır. UHAÇ sistemi için ise anketlerden elde edilen miktar 52 gKM/EN.gün ve hesapla elde edilen çamur miktarları 46 gKM/EN.gün değerinde raporlanmıştır (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).



Şekil 2.7. DAB’de ortalama olarak kişi başı oluşturulan çamur miktarı (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

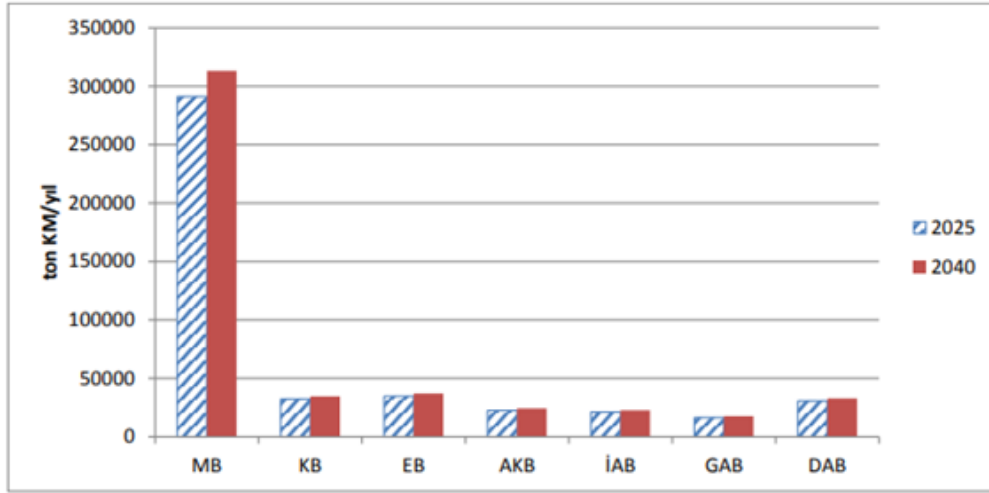
Türkiye genelinde arıtma çamuru oluşturulması konusunda, bölgeler baz alınarak yapılmış olan bir çalışmada kişi başına üretilmiş ortalama çamur miktarlarını belirten anket verileri ve hesaplama yöntemiyle elde edilmiş sonuçların karşılaştırılması Şekil 2.8’de ifade edilmektedir. Anketlerden elde edilmiş bilgilere göre, Türkiye geneli ele alındığında kişi başı kuru madde olarak günlük üretilen çamur miktarı ortalama olarak  $35 \pm 16$  gKM/EN.gün iken, ilgili atıksu arıtma tesislerine ait olan verilerle hesaplanarak elde edilen çamur miktarı ise  $35 \pm 13$  gKM/EN.gün olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ülkemizde yapılan anket çalışmaları ve tesis verileriyle elde edilen çamur miktarlarına ait olan genel ortalamalar ve standart sapmalar Şekil 2.8’deki bar diyagramı üzerinde görülmektedir (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

Ülkemizde yapımı ve işletmeye alınması planlanmakta olan atık su arıtma tesislerine yönelik yapılmış anket çalışmalarının verileri ve tesis parametrelerinin kullanılması ile hesap yapılmıştır. Böylece yapımı planlanan atık su arıtma tesislerinin prosesleri sonucu oluşturulacak çamur miktarları Çizelge 2.1’de gösterilmektedir. Planlanan 23 tesislerde 2025 ve 2040 yılları arasında oluşturulması tahmin edilen çamur miktarları Marmara Bölgesi’ndeki 60 arıtma tesisi için 291 164 ve 313 068 ton KM/yıl, Karadeniz Bölgesi’ndeki 141 tesis için 32 106 ve 34 522 ton KM/yıl, Ege

Bölgesi'ndeki 87 tesis için 34 464 ve 37 056 ton KM/yıl, Akdeniz Bölgesi'ndeki 39 tesis için 22 472 ve 24 163 ton KM/yıl, İç Anadolu Bölgesi'ndeki 109 tesis için 20 972 ve 22 550 ton KM/yıl, Güney Anadolu Bölgesi'ndeki 53 tesis için 16 329 ve 17 557 ton KM/yıl, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki 39 tesis için 30 492 ve 32 786 ton KM/yıl miktarlarında tahmin edilmiştir ve Şekil 2.9'de gösterilmiştir. Yapılan tahminlere göre bölgeler arasında, yapımı planlanan arıtma tesislerinde çamur miktarı en fazla MB'de olmaktadır. MB'sini EB, KB ve DAB bölgeleri takip etmektedir. Ülkemiz genelinde kurulması planlanan toplam 528 atık su arıtma tesisinde oluşturulacak toplam çamur miktarının 2025 ve 2040 yılları için sırasıyla 448 000 ton KM/yıl ve 481 702 ton KM/yıl miktarlarında olması ön görülmektedir (Bkz. Çizelge 2.1) (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

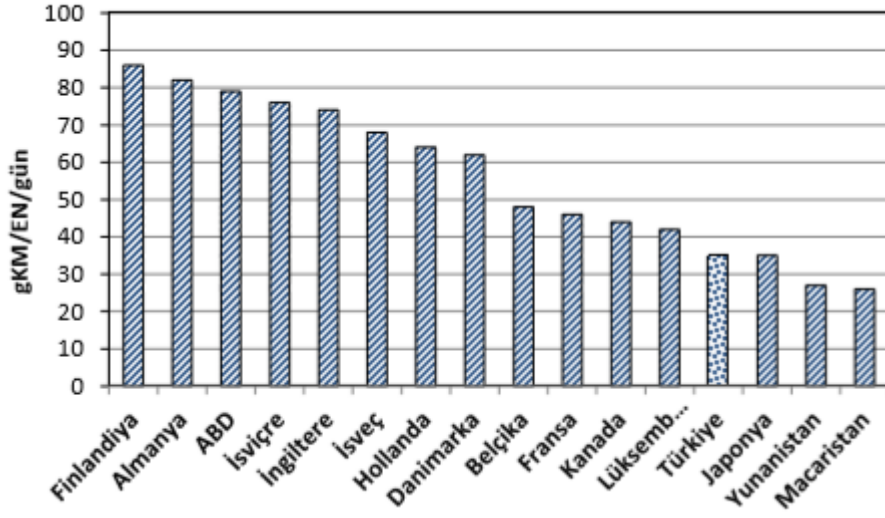
Çizelge 2.1. Planlanmakta olan tesislerdeki 2025 ve 2040 yıllarında oluşturulacak atık su arıtma çamurunun miktarları (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

	Tesis Sayısı	Çamur Miktarı (ton KM/yıl)	
		2025	2040
MB	60	291.164	313.068
KB	141	32.106	34.522
EB	87	34.464	37.056
AKB	39	22.472	24.163
İAB	109	20.972	22.550
GAB	53	16.329	17.557
DAB	39	30492	32.786
<b>Toplam</b>	<b>528</b>	<b>448.000</b>	<b>481.702</b>



Şekil 2.8. Planlanmakta olan tesislerdeki 2025 ve 2040 yıllarında oluşturulacak atık su arıtma çamurunun miktarlarının bölgesel olarak değerlendirilmesi (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

Şekil 2.9’da farklı ülkelerde faaliyet gösteren atıksu arıtma tesislerinde oluşturulan çamur miktarının, günlük olarak kişi başına oluşturulan katı madde miktarına çevrilmesiyle elde edilen ve ülkemize ait elde edilen veriler ile karşılaştırılarak oluşturulmuştur. Ele alınan ülkelerin çamur üretimi, 2686 gKM/EN.gün gibi geniş bir skalada değişiklik göstermektedir. Türkiye’de anket çalışmaları sonucu elde edilen verilere göre, kişi başı oluşturulan ortalama çamur miktarı 35 gKM/EN-gün olarak saptanmıştır. Kişi başı oluşturulan ortalama çamur miktarı ele alınan ülkelerle kıyaslanacak olursa Türkiye, Macaristan, Yunanistan ve Japonya’dan sonra yer almaktadır. Ele alınan ülkeler içinde en çok üretilen çamur miktarı ise Finlandiya’ya aittir (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).



Şekil 2.9. Türkiye’de kişi başı oluşturulan ortalama çamur miktarının ülkelere göre kıyaslanması (<https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959>, 2019).

#### 2.4. TÜRKİYE’DE ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ YÖNETİMİ

Ülkemizde arıtma çamurlarının yönetimi hakkında belirlenmiş hükümler mevcut çevre mevzuatı kapsamında oluşturulmuş çeşitli yönetmeliklerde yer almaktadır. Bu amaçla, tüm yönetmelikler incelenerek çamur yönetimi ile ilgili hükümleri içeren yönetmelikler belirlenmiştir. Aşağıda isimleri belirtilen ilgili yönetmeliklerin ayrıntıları ayrı başlıklar altında bu bölüm kapsamında verilmiştir.

- Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete)
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete) ve
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği İdari Usuller Tebliği (10.10.2009 tarih ve 27372 sayılı Resmi Gazete)
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete)
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete)

- Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (08.06.2010 tarih ve 27605 sayılı Resmi Gazete)
- Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazete)
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete)
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmi Gazete)
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete)
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete)
- Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (12.05.2010 tarih ve 27579 sayılı Resmi Gazete)

## BÖLÜM 3

### AĞIR METALLER VE ETKİLERİ

Canlılık için olmazsa olmaz etmenlerden biri olan metaller, endüstri ve uygarlığın temelini oluşturmaktadırlar. Taş devrinden itibaren insanlar çeşitli metalleri işlemeyi öğrenmiştir. Bu durum bir taraftan insanların metallere maruz kalmasına, diğer taraftan da çevrenin kirletilmesinin temelleri atılmasına sebep olmuştur. Günümüzde endüstriyel alanda 50 çeşit metal ve alaşımı kullanılmaktadır. Metallerin kullanım alanlarına ilişkin örneklerden bazıları; iletkenliğin sağlanması için bakır; doğal reaktifler ve transistörler için germanyum kristalleri; kobalt ve manganez cam üretiminde; radyoaktif metaller savaş endüstrisinde; mutfak malzemelerinin yapımında alüminyum ve bakır; günlük kullandığımız eşya ya da ziynet eşyalarının üretiminde metal veya çeşitli metal alaşımları kullanılmaktadır. Metal ve tuzlarından tıp alanında yararlanılmaktadır. Son yıllarda enfeksiyöz hastalıkların tedavisinde kullanılan metal kökenli maddeler her ne kadar yerini organik maddelere bıraksa da; cıvalı diüretiklerin kullanımı halen mevcuttur. Manik depresif tedavisi için lityum karbonat etkin bir preparat olarak kullanılmaktadır. Diğer bir örnek ise gastrointestinal düzensizliklerin tedavisi için bizmut tuzları yüksek miktarda üretilmektedir.

Ağır metaller kirlenme, potansiyel toksisite ya da ekotoksisite ile bağdaştırılan metaller veya yarı metaller olarak tanımlanabilir (Özbolet ve Tuli, 2016). Diğer bir tanımlamada ise fiziksel özelliği bakımından yoğunluğu  $5 \text{ g/cm}^3$ 'ten daha yüksek değere sahip olan metaller için kullanılmaktadır. Ağır metal grubu başta kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko olmak üzere 60 tan fazla elementten oluşmaktadır. Ekosistem bünyesinde bulunan bazı metaller canlılığın devamı için vazgeçilmez olmakla birlikte, bu metaller belli bir doz değerinden sonra toksisiteye sebebiyet verdiği bilinmektedir (Bakar ve Baba 2009).



İz elementler (Zn, Fe, Cu, Ca, Co gibi) insan ve hayvanların canlılığını sürdürmelerinde (Arslan vd, 2011) bitkilerin gelişmesi hayati öneme sahiptir. Uyanık (2000) tarafından canlının fonksiyonlarına ek olarak immün sisteminin maksimum verime ulaştırılması için iz elementlerin önemli bir unsur olduğu ve düzenli olarak bu minerallerin sağlanması gerektiği belirtilmiştir. İz elementler atı toprak bileşenlerinde yer almakta olup, birçok fiziko-kimyasal formda doğal madde döngülerinde yer alırlar.

İz elementlerden bazıları ağır metal sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle toprak içerisindeki konsantrasyonlarına göre insan sağlığı ve çevre için tehlikeli etkiler gösterebilirler (Topal ve Topal, 2013).

Canlılarda bakır ince bağırsaklarda proksimal kısımda emilimi gerçekleşmektedir (Üstdal vd, 1991). Canlının yaşı, sindirim sisteminin pH düzeyi, bakırın kimyasal formu ve besin içerisindeki diğer maddeler ve ırk gibi faktörler bakır emilimi etkilemektedir (Kischgessner, 1985). Emilimi gerçekleştikten sonra bakır zayıf olarak serum albüminine ve amino asitlerle bağlanarak vücuda bağlanmaktadır. Karaciğere ulaştırılan bakır-albumin ve bakır-histidin kompleks formları, parankim hücrelerinde meydana gelen serülopazmin proteininin sentezinde kullanılmaktadır (Kischgessner, 1985; Mc Dowell, 1992). Bakır canlı bünyesinden dışkı ve safra ile, bilhassa daha az olarak da idrar ve terle uzaklaştırılmaktadır.

Bakır eksikliği sonucu vücudun demir emilimi azaldığından, demir metabolizması için bakırın önemi büyüktür. İçeriğinde bakır barındıran serüloplazmin enzimi ferrokسيدaz aktivitesine sahip olmakla birlikte transferrine bağlanma olayından önce iki değerliğe sahip demirin üç değerlikli forma oksitlenmesini sağlar. Bu durum demirin hemoglobinin yapısına katılması için gereklidir.

Bakır eksikliği canlılarda farklı etkiler göstermektedir. Köpek ve tavuklarda kemik bozukluklarına neden olmaktadır. Sığırlarda uzun süreli ishaller veya myokard infarktüsüne bağlı olarak ani ölümler görülürken, koyunların yapağının karakteristik kıl şeklini ve rengini yitirmesi gözlemlenmiştir. Kuzularda enzootik ataksi görülmektedir. Viral ve bakteriyel etkilere maruziyet sonucu geçici olarak vücutta

serum serüloplazmin ve plazma bakır düzeyi yükselmektedir. Bu durum infeksiyöz hastalıklara karşı bakır koruyucu bir etkisinin olduğu yorumunu ortaya çıkartmıştır (Grace ve Clark, 1991; Mc Dowell, 1992).

Bakır düzeyi yetersiz olan kuzulardaki *T. axei* ve *T. culubriiformis* inokülasyonundan iki haftalık süreç sonrasında, yüksek oranda parazitlerin hayvanların dışkılarında mevcut olduğu saptanmıştır. Ayrıca söz konusu kuzulardaki hipoalumineminin, bakır takviyesi yapılmış kuzulara kıyasla daha şiddetli olduğu belirtilmiştir. Bakır yetersizliğine sahip kuzuların, parazit barındıran meralarda beslenmesi sonucu parazitler canlıdaki serum bakır düzeyini azaltmakta olup, yemle yeterli düzeyde bakır takviyesi yapılan hayvanların vücudundaki serum bakır düzeyinde düşüşün olmadığı ve bakırın belirtilen tipteki infeksiyonların önlenmesinde etkisinin olabileceği belirtilmiştir (Berger, 1996).

Demir tüm canlılarda bulunmakla birlikte hayvan dokularındaki düzeyindeki değişimini büyüme etkilemektedir. Demir organizmada genellikle, ya porfirin veya hem bileşikleri, özellikle de hemoglobinin gibi hem yapısında olmayan proteinlerle kompleks halde bulunmaktadır (Mc Dowell, 1992). Canlının midesinde kompleks formdaki demir HCl (hidrojen klorür) ile hidrolizi gerçekleşmediğinden kullanılmamaktadır. İyonlaşabilen formdaki demir ise ince bağırsaktaki başlangıç kısmından FeCl<sub>3</sub>'e çevrilmiş halde emilmektedir (Onat ve Emerk, 1997). Demir ferroz forma bağırsaklarda meydana gelen glutasyon, sülfidril bileşikleri ve askorbik asit gibi faktörler tarafından indirgenmektedir.

Ferroz demir ise duodenumda apoferritin adı verilen proteinle bağlanması sonucu emilimi gerçekleşmektedir (Mc Dowell, 1992; Kalaycıoğlu vd, 2000). Canlının yaşı, bünyesindeki demir konsantrasyonu, mevcut sağlık ve sindirim sisteminin durumu, beslenme yoluyla elde edilecek demirin miktarı ve kimyasal formu, yem içerisindeki diğer organik ve inorganik bileşiklerin miktarı ve oranları gibi pek çok faktör demir emiliminde etkili olmaktadır (Mc Dowell, 1992).

Demirin vücuda dağılması için kana nüfuz eden ferroz demirin ferrik forma dönüşüp spesifik bir globülinle birleşmesiyle gerçekleşmektedir. Pozitif demir dengesi oluştuğunda, apoferritin sentezi yükselmektedir.

Apoferritin ferrite dönüşmesi için ferrik hidroksit ve ferrik fosfata bağlanması gerekmektedir. Ferritin suda çözünme özelliği gösteren protein olup, karaciğer, bağırsak mukozası, dalak ve kemik iliğinde bulunmaktadır. Gerekli koşullarda plazmaya demir vermek için iyonize olmaktadır (Kalaycıoğlu vd, 2000).

Demir yetersizliği nedeniyle hemoglobin konsantrasyonu azalmaktadır. Dolayısıyla dokuların oksijene doygunluğunun azalmasıyla pek çok sistem etkilenmektedir. Hemoglobinin oluşması için gereken demir mevcut değil ise anemi meydana gelmektedir. Ayrıca demir yetersizliği nedeniyle iştahsızlık, vücut ağırlığında gerileme, solunumun güçleşmesi ve enfeksiyonlara karşı direncin azalması meydana gelmektedir. Demir, gereken miktardan yüksek değerde alındığında ise antijen üretimi için gerekli olan kilit proteinlerin sentezinin baskılanması söz konusudur (Berger, 1996).

Salmonella bakterisiyle enfekte olan civcivlerdeki aneminin şiddeti yemlerine yapılan demir ilavesi sonrası azaldığı ve antikor titretisinde yükselme belirtilmektedir. Enfeksiyon oluştuktan sonra gerçekleştirilen demir takviyesinin, dalak ve karaciğer makrofaj aktivitesini yükselterek hedef mikroorganizmanın zayıflatılmasıyla immün sisteminin uyarıldığı belirtilmiştir (Berger, 1996; Ergün ve Şehu, 1999).

Çinko, biyolojik reaksiyonlara maruz kaldığında okside ve redükte olmayıp kompleks iyonlar meydana gelmektedir (Riordan, 1976). Monogastrik hayvanlarda çinkonun emilimi ince bağırsaklarından bilhassa duodenumdan gerçekleşirken, tavuklarda proventrikulusundan ve farelerde de mideden sınırlı oranlarda emilim gerçekleşmektedir. Mukozal hücrelerdeki çinkonun transferi metal bağlayıcı protein olan metallohionin ile düzenlenir ve metallohionin proteini karaciğer tarafından üretilmektedir (Keen ve Graham, 1989; Crea vd, 1990). Emilim olayından sonra plazma bünyesindeki çinkonun büyük bir kısmı albümine bağlanmasıyla canlılığın

dokulara kolayca transfer olabilmektedir (Mc Dowell, 1992). Erkek cinsel organları, timüs, böbrek, saç, yün, tükürük bezleri, kemik, kas, dalak, karaciğer ve pankreas gibi biyolojik yapılar çinko içeriği bakımından zengindir. Çinko en fazla dışkılama ile atılmakta olup, daha az miktarda idrarla vücuttan uzaklaştırılmaktadır (Mengi, 1998).

Proteinlerin parçasını oluşturan çinko, enzimlerin aktivarörü ve enzimlerin dördüncül yapısını kararlı hale getirme olaylarında da görev yapmaktadır. Çinko protein sentezi, nükleik asit ve karbonhidrat metabolizmasıyla ilişkili enzim türlerinde yer almaktadır (Mills, 1982; Keen ve Graham, 1989; Kalaycıoğlu vd, 2000). Karbonik anhidraz enziminin yapısı çinko içeriğine sahiptir ki bu enzim respiratorik karbondioksitin transfer edilmesinde etkili olmaktadır ve kerarinizasyon, yaralarda hızlı iyileşme ve kalsifikasyon olaylarında görev almaktadır (Grace ve Clark, 1991). Ayrıca ribozomların, DNA ve RNA'nın yapısının kararlı getirilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla çinko yetersizliği protein sentezinin aksamasına neden olmaktadır (Underwood, 1977; Mills, 1982; Keen ve Gaham, 1989; Grace ve Clark, 1991). Çinko birçok hormon için önemli etkindir. Hormonların reseptör bölgeleri ve hormonun hedef organ üzerindeki etkinliğine ek olarak Hormonların üretimi, depolanması ve salınması olaylarında görev almaktadır (Keen ve Graham, 1989; Georgievski, 1982).

Çinko yetersizliği sonucu erkek bireylerde spermatogenezis ve ikincil üreme organlarının gelişmesinde ve dişi bireylerde ise tüm üreme aşamalarında olumsuzluklar gözlemlenmektedir (Jimenez, 1979). Çinko yönünden yetersiz beslenme sonucu önemli derecede pankreas insülin miktarı düşmektedir (Georgievski, 1982; Keen ve Gaham 1989; Kuran vd, 1997). Gebe canlıların çinko yönünden fakir besinlerle beslenmesi sonucu iskelet sistemindeki gelişme bozukluğuna bağlı olarak embriyonik anormallikler gözlenebilmektedir (Üstdal vd, 1991). Deoksitimidinkinaz enzimi çinko eksikliğine karşı önemli ölçüde duyarlılık göstermektedir ki düşük orandaki yetersizliği bile enzimin gen ekspresyonundaki azalması ve aktivitesi hususunda olumsuzluğa neden olabilmektedir (Prasad, 1995). Çinko yetersizliğine sahip farelerde ise, timüs bölgesindeki atrofi oluşmasına bağlı

olarak T hücrelerindeki fonksiyonu etkilediği ve antikor üretimini baskılandığı gözlemlenmektedir (Mc Dowell, 1992; Prasad, 1995).

Uyanık vd, (2000) tarafından yapılan çalışmada çinko içeriği 20, 40, 80 ppm olan yemlerle beslenmiş olan broylerlerin (etlik tavuk) Newcastle Disease aşısı virüsüne karşı vermiş oldukları immün yanıtı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 20 ppm çinko ilavesi yapılan yemle beslenen broylerin vücudunda antikor titretisinin yükseldiği saptanmıştır.

Bazı metallerin az miktarı bile canlılık için ileri derecede toksik özelliğe sahiptir. Örneğin insan vücudunda bakır saç, deri, kemik gibi bazı yapıların temel bileşimi arasında yer aldığı gibi hayvanlar ve insanların kırmızı kan hücrelerinin bileşeni için ve birçok metabolizmal oksidasyon ve redüksiyon sürecinin sağlanması açısından vazgeçilmezdir. Dolayısıyla vücutta bakırın eksikliği ise önemli sağlık problemlerine neden olabilmektedir.

Örnek olarak kurşunun düşük miktarlarda alınması halinde insanlar için toksik etki yaratma potansiyeline sahiptir. Böyle bir toksik etki yapabilen ağır metallere birisi kükürtlü enzimlere bağlanan cıva örnek gösterilebilir. (Dökmeci ve Dökmeci, 2005) Ağır metallerin yaşamsal açıdan zararı, ele alınan organizmaya da bağlı olmaktadır. Ağır metal grubuna mensup olan nikel bitkiler için toksik etki özelliği gösterir. Hayvanlar için ise iz elementi olarak bulunması gerekir. Bazı sistemlerin çalışma mekanizmasını ağır metallerin konsantrasyonu değiştirmektedir (Kahvecioğlu vd, 2009).

Organizmaların vücudunda bulunmakta olan ağır metal konsantrasyonları belli eşik değerlerini aştığında, organ veya dokulara zararlı etkilerini göstermeye başlarlar. Metal iyonlarının konsantrasyonları, yapısı, iyonik yapısı, redoks ve kompleks oluşturma yeteneği, vücuda alınış şekline, çevrede bulunma sıklığı ve lokal pH değerine bağlı etkileri değişebilmektedir. Ağır metaller solunum yoluyla, ağız yoluyla ve deri yoluyla vücut bünyesine alınabilirler. Bünyeye alınma yolu aynı zamanda yarattıkları etkileri de yönlendirmektedir. Ağır metal içerikli kirleticiler

etkileşim halinde oldukları ekosistemde madde döngüleriyle kirliliğe sebep olmaktadır.

Ağır metal kirleticilerin doğadaki mevcudiyeti, fiziksel ve kimyasal özelliklerine ek olarak, kirleticinin etkileşim halinde olduğu çevresel ortam ve toprağın yapısına bağlı olmaktadır. Toprağın bünyesinde bulunan metallerin tutulma kapasitesi aşıldığında, ciddi miktarda metal, düşük pH ve uygun toprak koşulları olduğunda yağmur sularıyla yıkanması sonucu meydana gelen sızmalar vasıtasıyla yeraltı suyuna taşınabilmektedir. Toprak yüzeyindeki metallere ise rüzgar ve erozyon gibi taşınım faktörleri sayesinde yer değiştirebilir (İmamoğlu ve Erdoğan, 2017).

Ağır metaller ile kirletilmiş arazilerde yetişmiş olan bitkilerin dokuları, etkileşim halinde oldukları toprak veya sudaki ağır metalleri biriktirmektedir. Bu nedenle besin döngüsü içerisinde birincil ve ikincil tüketici hayvanları besin yoluyla olumsuz etkilemektedir. Biyolojik olarak parçalanamayan ağır metaller besin döngüsündeki her bir katmanda daha çok etkilerini göstermektedir. Ağır metaller ile etkileşime girmiş bitki ve hayvanlardan elde edilen gıda ve doğal malzemeleri tercih eden insanlar ise besin döngüsünün en üst katmanında düşünülebilir.

Ağır metalle kirletilmiş toprakların arındırılması için günümüzde mevcut olan teknolojiler, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve termal yöntemler olmak üzere dört grupta incelenebilir (Dermont vd, 2008). Ağır metal içeriğine sahip arıtma çamurlarının da bu teknolojiler kullanılarak zararlılığını azaltmak mümkündür.

### **3.1. METAL TOKSİSİTESİ VE ETKİLERİ**

Metalin türüne göre toksik etkilerinde de değişiklikler gözlemlenmekle birlikte; metal maruziyeti sonucu birden fazla organ sistemi etkilenmektedir. Bu duruma örnek; ağır metallere cıva ve arseniğin, sülfidril grubu barındıran enzimleri inhibe etmeleri gösterilebilir. Dolayısıyla metal kökenli zehirlenmelerde hedef organ; zehirlenmeye neden olan metale en fazla duyarlılık gösteren yer için kullanılmaktadır. Metallerin toksik etkileri aşağıda verilmiştir (Vural, 2005):

### **3.1.1. Enzim İnhibisyonu**

Ağır metaller vücuttaki birçok organı etkilemektedir. Enzimlerin yer aldığı hücre membranları ve organeller metal toksisitesinden etkilenirler. Toksik etkisi yüksek olan metaller, esansiyel aminoasitlerin sülfidril, histidil veya karboksil gruplarına yüksek affinite göstermektedir. Proteinlerle etkileşime girerek enzimlerin yapısal fonksiyonlarında değişime neden olurlar.

### **3.1.2. Esansiyel Elementlerin Yerini Alması**

Canlı metabolizmasında yer alan elementlere benzerlik gösteren bazı metallerin toksik etki göstermeleri için benzerlik gösterdikleri elementin yerine geçmektedirler. Örneğin kurşunun MSS'ni etkilemesi, kalsiyuma benzer metabolizması ile; hem metabolizmasını etkilemesi de demir ve çinko yerine alması ile açıklanır.

### **3.1.3. Bazı Toksik Metallerin Proteinlerle Birleşmesi**

Bazı toksik metaller ise proteinlerle birleşmesi intrasellüler birikimlerine rağmen hücre hasarına neden olmazlar. Metallerin bu şekilde proteinlerle kompleks oluşturması detoksikasyon veya koruyucu bir mekanizma olarak ortaya çıkar. Metallothioneinler (sülfidril gubu içeren proteinler) kadmiyum, cıva, bakır ve diğer bazı metallerle; kurşun, bizmut, cıva, selenat ve demir hemosiderin ile kompleks oluştururlar. Bu komplekslerin biyolojik aktiviteleri yoktur. Bu nedenle metallerin toksik ve biyolojik etki göstermelerinde, organizmadaki biyokimyasal ve kimyasal şekilleri çok önemlidir. Metal speciation "o metalin kimyasal bileşik ve iyonik şeklinin belirlenmesi", son yıllarda çevre toksikolojisinde önem kazanmıştır.

### 3.1.4. Metallerin Oksidasyon Basamağı ve Metallerin Oluşturduğu Bileşik Yapısı

Bu durum metallerin canlı üzerindeki toksisitelerini önemli şekilde etkilemektedir. Metal grubundan biri olan krom-6- ( $Cr^{+6}$ ) bileşikleri  $Cr^{+3}$  bileşiklerinden; organik kökenli metal bileşiklerinin (alkil kurşun ve alkil cıva bileşikleri gibi), anorganik kökenli metal bileşiklerine (kurşun asetat, cıva-2- klorür gibi) kıyasla daha toksik özellik göstermektedir.

### 3.1.5. Dış Faktörler

Metallerin toksik etkisini; diyet, ortamda başka spesifik maddenin mevcudiyeti veya diğer metallere maruziyet değiştirebilir. Yetişkin insanlara göre çocuklar ve yaşlı kesim, toksisiteye daha hassas olmaktadır. Vitamin C, kurşun ve kadmiyumun metal toksisitesini ve vücudun bu metalleri absorpsiyonunu azaltmaktadır. Besin, çevre ve endüstriyel faaliyet sonucunda metal toksisitesine maruziyet sonucu canlıların biyolojisinde bulunan esansiyel düzeyini değiştirebilir. Örneğin kurşun zehirlenmesi sonucunda canlı vücudunun doku düzeylerinde esansiyel element sınıfından olan demir, çinko, bakır ve kalsiyumun miktarlarında değişim meydana gelmektedir.

## 3.2. TOKSİK ETKİ GÖSTEREN AĞIR METALLER

### 3.2.1. Cıva (Hg)

Periyodik cetvel üzerinde 2B grubunda yer alan cıva, element sembolü “Hg”, atom numarası 80 ve atom ağırlığı 200,59 g/mol değerindedir (Clarkson vd, 2003). Cıva yerkürede doğal olarak bulunmakta olan temel elementler arasında yer almaktadır. Doğal madde döngüleri çerçevesinde sürekli serbest formlarda bulunduğundan insanda dâhil olmak üzere tüm canlılarda iz halinde bulunmaktadır. Ancak cıva, insan açısından esansiyel elementler sınıfında değildir. Cıva oda sıcaklığında sıvı özelliğine sahip tek metaldir. Cıva, bileşik yapılarında  $Hg^{+1}$  (I) ya da  $Hg^{+2}$  (Ü) formunda bulunmaktadır.  $Hg^{+2}$  yapısında olan cıva organometalik özellikteki



bileşikler de oluşturabilir.  $Hg^{+2}$  (merkürü) bileşikleri  $Hg^{+1}$  (merküroz) tuzlarına kıyasla daha çok gözlenmektedir (Vural, 2005).

Cıva metalinin kullanım alanlarından bazıları; elektronik cihazların ve bazı aydınlatma ekipmanlarının üretiminde, pil üretiminde, boya üretiminde, termometre gibi ölçü aletlerinin üretiminde; tarım ilaçlarında; diş hekimliğinde amalgam yapımında, kâğıt üretim endüstrisinde, silah üretim sanayisinde, madencilik faaliyetlerinde ve tıp alanında cıvalı bazı ilaçların üretiminde kullanılmaktadır (Dökmeci ve Dökmeci, 2005).

Cıva ve bileşiklerinin asıl olarak tesir ettikleri organlar merkezi sinir sistemi ve böbreklerdir (İlhan, 2004). Cıva buharının absorplanması sonucu daha çok merkezi sinir sistemine etkilenmektedir. Cıva buharı öncelikle alveoller tarafından difüzlenerak lipitte çözünmektedir. Eritrositlere ve merkezi sinir sistemine affinitesi vardır. Metalik cıvanın ( $Hg^0$ ) lipitte çözünerek bir kısmının hızlıca beyine ulaşması, cıvanın merkezi sinir sistemine üzerine etkisini açıklamaktadır. Cıva, insandaki beyin, dalak, böbrek, karaciğer organlarının yanı sıra kan hücreleri ve kemikte de toplanmakla birlikte; kümülatif özellikteki zehirdir. Dolayısıyla vücut bünyesinden daha yavaş atılmaktadır. Cıvanın bileşik şekli vücuttan atılımı etkilemektedir (Vural, 2005).

Akut veya kronik maruziyet ile cıvanın formuna (elemental, organik yada inorganik cıva) göre cıva zehirlenme vakaları meydana gelmektedir. Akut maruziyet sonucu ishal, ağızdaki metalik tat hissi, bulantı ve kusma, kırgınlık (Sienko 1983; Dökmeci ve Dökmeci, 2005), solunum yolu tahrişi, ağız mukozası enfeksiyonları (İlhan, 2004) oluşabilmektedir. Kronik maruziyet sonucunda ise merkezi sinir sistemi etkilenmektedir. Ayrıca unutkanlık, kekemelik, çeşitli fobilerin oluşması, titreme, ağızda fazla miktarda salgı oluşması (İlhan, 2004), taşikardi, guatr, idrar içeriğinde yüksek cıva içeriği ve dermografi oluşabilmektedir. Metil cıva kökenli zehirlenme vakalarında çoğunlukla nörolojik etkiler gözlemlenmektedir (Sienko 1983; Dökmeci ve Dökmeci, 2005). Uzun süren  $Hg^0$  ve  $Hg^{+2}$  (anorganik) inhalasyonunda, cıvanın böbrek yoluyla atılımı dışkılamaya göre daha fazla olmakta iken, metil cıva kökenli

zehirlenmelerde ise cıva dışkılama yoluyla daha çok atılmaktadır ve cıva safra, ter, salya ve sütle de elimine olma özelliğine sahiptir (Vural, 2005).

### 3.2.2. Krom (Cr)

MTA'de belirtildiği üzere krom "Cr" simgesi ile gösterilmekte olup, Fransız kimyager Louis-Nicolas Vauquelin 1797 yılında kromun keşfini gerçekleştirmiştir. Yapısal olarak sert bir element olma özelliğine sahip krom, 1 907 °C erimekte olup, 2 672 °C kaynamaktadır. Periyodik cetvelin 4-B grubunda bulunur ve atom ağırlığı 51,996 g/mol olmaktadır (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom>, 2019).

Doğal koşullarda krom kromit ( $FeCr_2O_4$ ) formunda bulunmaktadır (Vural 2005; <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom>, 2019). Kromun kullanım alanları krom kaplama, krom çeliğinin üretimi ve kaynaklamada, deri işleme endüstrisinde, fotoğrafçılık faaliyetinde kullanılmaktadır (Langard ve Norseth, 1979).

Paslanmayı önlemesi nedeniyle krom ve alaşımları boya hammaddesi olarak, sodyum bikromat ve kromik asit formülasyonları ise kimya endüstrisi gibi pek çok sektörde saf olarak veya türevleri kullanılmaktadır. Yüksek demir içeriğine ferrokrom cevheri metal sanayisi için hammadde olarak önemli bir yere sahiptir. Krom (ferrokrom) demiri sertleştirme özelliğinden dolayı ya da demir içerisine nikel ile karıştırılmasıyla daha sert ve güçlü alaşım elde edilebilmek mümkündür (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom>, 2019).

Ekosistemde krom (+2), (+3) ve (+6) oksidasyon basamak formlarında yer almaktadır. Canlılar için (+3) ve (+6) değerliğe sahip krom iyonları önemli bir yere sahiptir. Biyolojik yapılarda kromun (+3) oksidasyon formu bulunduğu tahmin edilmektedir.  $Cr^{+6}$  (hekzavalan, kromat) formu hücre zarından geçerek  $Cr^{+3}$  (trivalan, kromik) formuna indirgenmektedir. Kroma maruz kalma inhalasyon yoluyla gerçekleşebilmektedir. Su içerisinde çözünme özelliği gösteren krom formları deri tarafından absorbe edilebilmektedir. Elde edilen bulgular sonucu kromun plasentayı aşarak fetüs bünyesinde konsantre olabildiği gözlemlenmiştir. Canlı bünyesinde

krom kas ve yağ dokularında, akciğer ve deride birikebilmektedir. Kan hücrelerine en çok kromat formu bağlanmaktadır (Vural, 2005).

Kromun vücuttan en çok atılım yolu idrarla gerçekleştiği gibi dışkılama yoluyla da atılımı gerçekleşebilmektedir. Kromun ikincil derece vücuttan atılım yolu sütle atılım yoludur. Deri bünyesinde alerjik dermatite heksavalan ve trivalan bileşikleri sebep olmaktadır. İnhalasyon yolu ile krom tozlarına maruz kalındığında farenjit ve bronşit vakaları gelişebilmektedir. Kronik olarak Cr<sup>+6</sup>'ya maruz kalan işçilerin büyük bir kısmında burun bölmesinin delinmesi gözlenmiştir. Cr<sup>+3</sup> bileşikleri Cr<sup>+6</sup> 'ya kıyasla daha az toksik etkilere sahip olup, iritan ve korroziv etkileri bulunmamaktadır. Krom ve krom pigmenti üretiminde çalışan insanlardaki krom maruziyeti ve solunum yolu kanseri arasında ilişkilendirilmiştir. Oral yolla bünyeye alınan krom tuzları, kusma, mide bulantısı ve mide ülseri, böbrekte hasarların oluşması ve MSS üzerinde etkileri bulunmaktadır (Vural, 2005).

### **3.2.3. Kurşun (Pb)**

MTA'de belirtildiği üzere kurşun "Pb" simgesi ile gösterilmekte olup, atom numarası 82, atom kütlesi 207,21 u değerindedir. Metalik parlaklığa ve gri renge sahip bir elementtir. Ergime noktası düşük (327 °C), kaynama noktası (1 atmosferde) 1 525 °C dır (<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kursun>, 2019).

Eski tarihlerden beri insanlar kurşun ile etkileşim halindedir. Dolayısıyla M.Ö. ki yıllardan halk arasında kronik zehirlenme nedeni olmuştur. Antik Roma'da kurşun içeriğine sahip malzemelerden (su boruları, ev eşyaları, su kemerleri ve çeşitli aletler gibi) üretilen eşyalardan dolayı, o döneme ait insan kalıntılarında kurşuna rastlanmıştır. Kurşunun kullanım alanlarından bazıları, boya, seramik, porselen, akümülatör, yeraltı haberleşme kablolarının izolasyonunun sağlanması ve su borularında kullanılmaktadır (Nriagu, 1983).

Canlılarda kana transfer olan kurşunun büyük bir çoğunluğu eritrositler ile bağlanmaktadır. Daha azı ise, plazma proteinlerine bağlanmakta ya da kan sıvısı içerisinde serbest halde bulunmaktadır. Dolaşım sistemindeki kurşun, böbrekler,

kemik iliği, hücreler arası sıvı, dalak gibi yapılara geçmektedir. Sonrasında ise tırnaklara, kemiklere, saç ve kıllara, iskelet ve kalp kasına ve merkezi sinir sistemi geçmektedir (Kaya vd, 1995).

Anorganik formdaki kurşuna çeşitli (kronik ve subkronik) maruz kalmayla birlikte "kurşun ensefalopatisi" gelişebilmektedir. Kurşun ensefalopatisinin temel belirtileri arasında karamsarlık, hafıza kaybı, sinirlilik, baş ağrıları, huzursuzluk, kas titremesi ve adalelerde meydana gelen koordinasyon bozukluğu gözükmele birlikte bu belirtiler koma ya da ölümlerle sonuçlanabilmektedir. Organik kurşun bileşikleri merkezi sinir sistemini üzerinde etkisi psikişik özellikleri bulunmakta olup, temel belirtileri halüsinasyon, delüzyon (yanılsama) ve aşırı heyecan gösterebilmektedir. Kurşun periferik ve otonom sinir sistemini üzerine etkileri bulunmaktadır. Böylece ekstensör kaslarda zayıflık gözlemlenmesi felcin önemli belirtisi olmaktadır. Kurşunun bağırsağı etkileyerek kolik meydana gelmesine sebebiyet vermektedir (Vural, 2005).

Kurşunun düşük dozlarda alımından kaynaklanan akut etkiler düşük şiddette olabilmektedir. Ancak yüksek dozlarda ve tekrarlı alımlarda ise, intoksikasyon, ağızda metalik tat hissi, midede ağrı, koma, solunumun durması meydana gelebilmektedir. Kurşun zehirlenme olaylarında demir eksikliğine bağlı anemi meydana gelebilmektedir. Hafif seyreden durumlarda ciltte solgunluk gözlemlenmektedir. Daha ağır seyreden durumlarda ise yutma güçlüğü, iştahsızlık, kabızlık gibi sindirim sistemi problemleri ortaya çıkmaktadır (Dündar ve Aslan, 2005).

#### **3.2.4. Kadmiyum (Cd)**

Kadmiyum "Cd" simgesi ile gösterilmekte olup, Göttingen Üniversitesi bünyesindeki kimyagerlerden biri olan Friedrich Stromeyer tarafından 1817 yılında kadmiyumun keşfini gerçekleştirmiştir. Çizilebilecek yumuşaklığa sahip olan kadmiyum kolaylıkla tel ya da levha formuna sokulabilmekte ve kaynaklanabilmektedir. Çinkoya kıyasla yoğun ve yumuşak özellik göstermektedir.

MTA'de belirtildiği üzere kadmiyum 1 538 °C erimekte olup, 2 861 °C kaynamaktadır. Periyodik cetvelin 2-B grubunda bulunur ve atom ağırlığı 112,41 g/mol olmaktadır (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kadmiyum>, 2020).

Doğal ortamlarda kadmiyum, çinko (çinko blendi gibi) ile yer almaktadır. Bununla birlikte farklı mineral filizleri bünyelerinde değişen oranlarda kadmiyum barındırabilmektedir. Kullanım alanlarından bazıları ise demir, bakır, çelik ve çinko gibi metallerde korozyon oluşmaması için yapılan kaplamalarda, kablo kaplamalarda; boya ve cam üretim faaliyetlerinde; nötron absorblayıcısı bakımından atom reaktörleri kurulumunda; pil üretiminde; bazı plastiklerin yapımı olarak sıralanabilir (Rani vd, 2014).

Kadmiyum kullanan bazı sektörlerde oluşan kadmiyum buhar, toz ve aerosollerine çalışan insanlar maruz kalabilmektedir. Endüstride, kadmiyum barındıran minerallerden kaynaklı, kadmiyum içerine atıklarından çevreye verilen kadmiyum hava, su ve toprağı kirlenmesine neden olmaktadır. Toprak ve sudaki kadmiyum sudaki etkileşim halindeki canlılara geçerek, besin zincirine dâhil olmakta ve dolayısıyla insanlara ulaşabilmektedir. Kadmiyum besin ve tütünle insan bünyesine geçebilmektedir (Huff vd, 2007).

Kadmiyum kökenli toksisiteden doğrudan veya dolaylı olarak solunum, sinir, kardiovaskular, kemik, üriner, gastrointestinal sistemler etkilenebilmektedir (Anetor, 2012). Çözülebilir formdaki kadmiyum tuzları MSS, testis, böbrek, akciğer, beyin, karaciğer, kalp gibi organlarda birikmesiyle toksisiteye sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Ayrıca kronik rinit, eozinofili, anemi, anozmi ve osteoporoza yol açtığı saptanmıştır (Valko vd, 2005).

Kadmiyum buharlarının inhalasyon yoluyla alınması daha çok akciğerleri etkilemektedir. Etkilenenin akciğerlerinde pnömoni, pulmoner ve ödem oluşmaktadır. Akut dozda gastrointestinal yol ile bu toksik metalin absorbe edilmesi sonucu gastroenterite gelişmekte, kusma ve bulantı gibi şikâyetler oluşmaktadır. Kronik olarak oral yol ile kadmiyum maruziyetinde nispeten kadınlarda "osteomalasi"ye neden olmaktadır. Endüstriyel maruziyette ise erkek ve kadınlarda

da zehirlenme gelişebilmekte ve etkileri akciğer ve böbrekler üzerinde olmaktadır. Kronik zehirlenme belirtilerinde endüstriyel faaliyetlerde inhalasyonla kadmiyuma maruziyet neticesinde, etkileri akciğer ve böbrekleri üzerinde olmaktadır. Akciğer üzerine etkileri solunum fonksiyonlarını yavaşlatması, ileri safhalarda anfizem, perivasküler ve peribronşiyal fibrozis gözlemlenebilmektedir. Oral yollar ile vücut bünyesine alınan kadmiyum ise itai-itai hastalığının sebep olduğu belirtileri ortaya çıkartmaktadır. İnhalasyon ve oral yolla metalin kronik maruziyetinde hipertansiyon gelişebilmektedir (Vural, 2005).

### 3.2.5. Nikel (Ni)

Nikel "Ni" simgesi ile gösterilmekte olup, İsveçli Cronstedt tarafından 1751 yılında nikelin keşfini gerçekleştirmiştir (Caneb, 2019). Nikelin görünümü altına çalan bir renkle metalik ve gümüş tonlarındadır. Doğal şartlar altında katı formda ve yapısı yüzey merkezli kübik sınıfındadır.

Nikel elementinin 1 455 °C erimekte olup, 2 861 °C kaynamaktadır. Periyodik cetvelin 8-B grubunda bulunur ve atom ağırlığı 58,693 g/ mol olmaktadır (Caneb, 2019). Doğal şartlar altında nikel, arsenik ya da demir ve bakır barındıran mineraller ile birlikte bulunmaktadır.

Endüstriyel kökenli nikel maruziyet nikel kaplama faaliyetleri, nikelin öğütme işlemlerinde, nikel karbonil ve nikel sülfat olarak sıralanabilir. Nikel madeni paraların üretiminde, elektronik, paslanmaz çeliğin üretiminde, pil ve besin üretiminde katalizör özelliğinden yararlanılmaktadır. Nikel karbonil gazı özelliği itibariyle çok toksittir. Aktif haldeki nikelin karbonmonoksit ile etkileşimi sonucunda, minerallerden nikel eldesinde, nikel katalizör uygulamalarında, kaplama faaliyetlerinde meydana gelmektedir. Fosil kaynaklı sıvı yakıtların yanması da havada nikel olmasının nedenlerinden birisi olmaktadır (Vural, 2005).

Nikel solunum yoluyla absorbe edilmektedir. Gastrointestinal ve deri yolu ile absorpsiyonu daha yavaş gerçekleşmektedir. Vücutta taşınımı plazma bünyesindeki serum albumini, aminoasitler ya da polipeptidlere bağlanması ile gerçekleşir. Oral

yolla alınan nikel dışkılamayla atılmakta ve idrarla atılımı ise 4 ile 5 gün sürmektedir. Nikel karbonil akciğerler tarafından absorbe edilmektedir. Kısmi olarak deriden absorpsiyonu gerçekleştirebilmektedir. Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalarda nikelin dokularda böbrek, hipofiz, akciğer deri ve testislilerde dağılımının meydana geldiği saptanmıştır. Ölü doğan bazı organlarında nikelin varlığı tespit edilmiştir. Nikel karsinojenik ve dermatit olarak toksik etkisini göstermekte olup, nikel karbonil en yüksek toksik etki gösteren nikelin bileşimidir. Bu toksik bileşikle zehirlenme olaylarındaki başlangıç belirtileri, göğüs ağrısı, baş ağrısı ve dönmesi, bulantı ve kusma, göğüs sıkışması, soğuk terleme, kuru öksürük görülmektedir. Hafif maruziyet durumlarında oluşan belirtiler zamanında tedavi uygulanarak giderilmektedir. Şiddetli zehirlenme vakalarında bahsedilen belirtilerin şiddetli akut versiyonları gerçekleşmektedir. Nikel bileşiklerine derinin maruziyeti sonucunda dermatit görülebilmektedir (Vural, 2005).

### **3.2.6. Bakır (Cu)**

Bakır "Cu" simgesi ile gösterilmekte olup, adı ilk keşfedildiği yer olan Kıbrıs'ın Latince'sinden almıştır (Favier, 1998). Çatalhöyük'te yapılan araştırmalar sonucunda ilk olarak bakır metalinin kullanımına ilişkin kanıtlar M.Ö. 8000-7000 yıllarına aittir (Ehsani, 2016). Bakırın erime noktası 1 083 °C, kaynama noktası 2 300 °C değerindedir.

Periyodik cetvelin 1-B grubunda bulunur ve atom ağırlığı 63,57 g/mol'dür. Bakır, kaya ve minerallerin bünyesinde fazlaca bulunan esansiyel elementler arasında yer almaktadır. Prokaryot ve ökaryot hücrelerin metabolik aktiviteleri için gerekli bir elementtir. Birçok enzim yapısında bakır bulundurmaktadır. Bakır  $Cu^0$ ,  $Cu^{+1}$  ve  $Cu^{+2}$  değerliklerinde bulunmaktadır (Favier, 1998).

Bakır kablo üretimi ve elektronik, boya üretiminde, otomatik, tesisat boruları imalatında ve basınçlı sistemlerde kullanılabilir (Favier, 1998; Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001). Veterinerler bakır tuzlarını antelmintik ve tarımda ise fungusit olarak kullanılmaktadır. Bakır, hava, su, beslenme yoluyla ve

bakır içeriğine sahip bileşiklerin deriye teması etmesiyle canlı bünyesine alınmaktadır (Favier, 1998).

Bakır bazı iç organlar, saç, derinin esnek bölümleri ve kemiğin yapısına katılmaktadır. Metalloenzimlerin barındırdığı bakır, biyokatalizör olarak insan metabolizmasında birçok rolü bulunmaktadır. Bakır demirin vücutta kullanılması için gerekli bir elementtir. Aksi takdirde demirin hemoglobine bağlanması gerçekleşmemektedir (Favier, 1998).

Bakırın neden olduğu ciddi zehirlenme vakaları oral yol ile gerçekleşmektedir. Memeli dokularında birikme özelliği gösteren bakır, kritik seviyelerde olduğunda toksik etkiler gözlemlenmektedir. Bakır maruziyetiyle öncelikli olarak karaciğer ve böbrek ardından birçok doku patolojik değişiklikler geçirmektedir (Alkış, 2011). Bakır kaynaklı akut zehirlenme vakaları daha nadir karşılaşılmaktadır. İnsanlarda ağız yolu ile alınan bakır kaynaklı akut zehirlenme meydana gelmesi için LD<sub>50</sub>, (Lethal Dose: Öldürücü Doz) 100 mg/kg değerindedir ama 600 mg/kg değerine ulaştığında bile tedavisi yapılabilmektedir (Uyanık, 2000; Kabak ve Gülbahar, 2013). Menkes Sendromu bağırsaklardaki bakır emiliminin bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu rahatsızlıkta plazmanın bakır ve bakır oksidaz içeriğinde düşüme belirlenmiştir. Menkes Sendromu ile kişinin büyümesinde yavaşlama meydana gelir, vücut ısısı düşer ve saçları ağarmaktadır. Bakır noksanlığı kalp hastalığı riskini düşürmektedir. Wilson Hastalığı'nda ise bağırsaklarda bakırın emiliminin bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır. Böylece bakırın birikimi karaciğer ve beyinde meydana gelmektedir (Uyanık, 2000; Kabak ve Gülbahar, 2013).

Bakır metali kullanılarak üretilmiş kaplarda besinlerin saklanması ya da yemeklerin servis edilmesi bakır zehirlenmesin, tetikleyebilir. Bakır kökenli zehirlenme belirtileri bulantı ve kusma, midenin yanması ve diyare şeklindedir. Bakır noksanlığının belirtileri ise kansızlık, cilt ve kemik bozukluklar ve zekâ gelişiminde bozukluklar şeklindedir. Elemental haldeki bakırın 15 mg miktarından fazla bünyeye alınması durumunda bulantı ve kusma, ishal, yaygın kas ve karın ağrısı gözlemlenmektedir. Ayrıca zihinsel bozukluklar, koma ve ölüm ile sonuçlanabilmektedir (Stern vd, 2007).



### 3.2.7. Çinko (Zn)

Çinko "Zn" simgesi ile gösterilmekte olup, çinkonun varlığı antik çağlardan bilinmekte, fakat üretim ve kullanılma bilgisi tam kavranamamış bir element olmuştur (Özdemir ve Tabanlı 2016). 1721 yılında Alman kimyager Johann Friedrich Henckel tarafından çinko keşfi edilmiştir. 1746 yılında ise Alman kimyager Andreas Sigismund Marggaf tarafından kömür bünyesinden çinko izole edilmiştir. Çinkonun görünümü mavimsi açık gi renge sahip ve kırılğan özelliğe sahip bir metaldir. Çinko elementinin 420 °C erimekte olup, 907 °C kaynamaktadır. Periyodik cetvelin 2-B gubunda bulunur ve atom ağırlığı 65,38 g/ mol olmaktadır.

Çinko elementi, tek yükseltgenme derecesine sahip olmakla birlikte bileşik formlarında iyonik bağlı ve +2 değerliği almaktadır. Çinkonun kullanım alanlarından bazıları otomotiv, elektrik ve elektronik, boya ve yazıcıların mürekkebinin üretilmesinde, galvanizlemede, flüoresan lambalarda, sabun imalatında, tekstil gibi üretim faaliyetleri sıralanabilir.

İnsan vücudu demirden sonraki ikinci element olarak çinko barındırmakla birlikte çeşidi 300'ü geçen enzimin fonksiyonunun gerçekleşmesi için önemlidir. DNA'nın sentezlenmesinde, gen ekspresyonunda, hormonların salınmasında ve depolanmasında, nörotransmisyonunda, nükleik asit ve proteinin sentezlenmesinde, canlılığın büyüme ve gelişmesinde, hafıza, görme, koku almada ve tat almada önemli bir esansiyel elementtir. Ancak fazla miktarda çinko alımında toksikolojik etkileri bulunmaktadır (Ülger ve Coşkun, 2003; Belgen ve Akar, 2004). Yetişkin bir insanın bünyesinde 2-3 g arasında ortalama olarak çinko barındırmaktadır. Retinada, böbreklerde, karaciğerde, kaslarda, prostatta, kemiklerde, semende, beyinde hipokampus ve eritrositlerde çinko bulunmaktadır. Deri ve saç bünyesindeki çinko metabolizmaya katılamamaktadır. İhtiyaç durumunda ise kas ve kemik bünyesindeki çinko sistemik metabolizmaya katılabilmektedir (Ülger ve Coşkun, 2003). Ayrıca çinko vücut sıvısı bünyesinde de bulunmaktadır.

Çinkonun bağışıklık sistemini üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Doğuştan var olan bağışıklık hücrelerinin, öldürücü hücrelerin ve nötrofillerin gelişimi ve ya

faaliyetinde önemlidir. Bağırsaklarda gerçekleşen sindirim olaylarından kaynaklanan serbest radikallerin meydana getireceği hasarın önlenmesi, çinkonun antioksidan özelliğinin bulunmasıdır (Prasad, 2008). Çinko yaraların iyileşmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla çinko hücre rejenerasyonunda önemli rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki çocuk ölüm ve sakatlık olaylarının ~%4'ü çinko noksanlığından kaynaklanmakta olduğu saptanmıştır (Önder ve Yıldız, 2002).

Çinko noksanlığının en temel belirtisi büyüme ve gelişme gerilemesi olmaktadır. Hipofiz bezi diğer organlara kıyasla bünyesinde daha fazla oranlarda çinko bulundurmaya birlikte çinkonun, hipofiz bezinde meydana gelen hormonal fonksiyonları için önemli bir etkidir. Dolayısıyla çinko noksanlığı oluştuğunda büyüme hormonunun miktarında ve salınımında düşüş gözlemlenmektedir (Ülger ve Coşkun, 2003).

Vücut bünyesindeki çinkonun yaklaşık olarak %20'lik kısmı deri içerisinde bulunmaktadır. Derinin çinko içeriği bakımından epidermis tabakası dermise kıyasla daha çok çinko barındırmaktadır. Çinko noksanlığının deri üzerinde etkileri parakeratoz, hiperkeratoz, akantoz ve alopesi gibi şikâyetlere rastlanılmaktadır. Çinkonun UV ışınlarına karşı koruma işlevi ve yaraların iyileşme süresini kısaltmaktadır (Belgemen ve Akar, 2004; Tarakçı ve Küçüköner, 2006; Kahraman, 2011).

Çinko eksikliğinin meydana gelmesini tetikleyen bazı etmenler diğer nedenleri ise yağ bezlerinde salgı salgılama oranındaki artışı, bağırsak kaynaklı kayıpların meydana gelmesi, karaciğer ve kronik böbrek rahatsızlıkları, anemi, emilim bozuklukları ve sıcak ortam ya da fazla terlemeyle gerçekleşen çinko kayıplarıdır (Belgemen ve Akar, 2004; Ülger ve Coşkun, 2003; Prasad, 2008)

Ulusal Sağlık Enstitüsü (NIH) tarafından günlük 35-40 mg çinko dozu bünyeye alındığında çinko zehirlenmesi meydana gelmektedir. Metal kaplama faaliyetlerinde ve kaynaklama işlemi sırasında gaz ve duman oluşmaktadır. Bu gaz bünyesinde ince metal partiküllerini barındırmaktadır. Çinko dumanına maruziyet sonucu kendini gösteren ilk belirti yüksek ateş olmaktadır. Sonraki belirtiler ise susuzluk, boğazın

gıdıklanması ve susuzluk hissi ve öksürme ve ağrı görülmektedir. İlerleyen safhalarda halüsinasyonlar da görülebilmektedir. Akut çinko zehirlenmelerinde gıdalardan çinko içeriği zengin besinlerin yüksek oranlarda tüketilmesi ve çinko takviyelerinin aşırı kullanılması sonucu gerçekleşmektedir. Belirtileri arasında ishal, kusma ve bulantı, mide krampı, baş ağrısı ve iştahsızlık bulunmaktadır.

Kronik çinko zehirlenmesi günlük alınabilecek dozun üzerindeki miktarlardaki çinkonun süreye yayılmış olarak alınmasıyla meydana gelmektedir. Bu durumda ise uzun süreli yüksek oranlarda çinko alımı bakırın emilimini azaltmaktadır. Belirtileri arasında eklemelerde ağrı, kronik öksürük, kan basıncının düşük olması ateş ve ağızda metalik tadın hissedilmesi gösterilebilir. İlerleyen safhada nörolojik hasarlar ortaya çıkabilmektedir (Fosmire, 1990).

Ağır metal kökenli kirleticiler inorganik kirleticiler sınıfında yer aldığı gibi asbest, siyanür ve tiyosiyanatta bu sınıfta yer almaktadır. Organik kirleticilere kıyasla inorganik kirleticiler doğada bozulmamaktadır. Dolayısıyla ağır metallerle kirlenmiş alanlar uzun süreli çevre ve insan sağlığına tehlike oluşturmaktadır (İmamoğlu ve Erdoğan, 2017).

Küresel Çevre Fonu (GEF) finansal desteğiyle Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi işbirliği ile hazırlanan “Kirlenmiş Saha Temizleme/İyileştirme Teknolojileri Kılavuzu”nda inorganik kökenli toprak kirleticilerin giderilmesinde kullanılan teknolojiler Çizelge 3.1 ’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. İnorganik kirliliğin temizlenmesinde kullanılan teknolojiler (İmamoğlu ve Erdoğan, 2017)

İnorganik Kirlilik			
Toprak		Yeraltı Suyu	
Yerinde	Yerinden Alınarak	Yerinde	Yerinden Alınarak
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrokinetik Ayırma</li> <li>• Toprak Yıkama</li> <li>• Solid./Stab.</li> <li>• Geliş. Biyoremediasyon</li> <li>• Fitoremediasyon</li> <li>• Kimyasal Oksidasyon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kimyasal Ekstraksiyon</li> <li>• Kimyasal İnd./Yük.</li> <li>• Solid./Stab.</li> <li>• Biyoyiğın</li> <li>• Siluri Faz Biyo. Arıtım</li> <li>• Ayırma</li> <li>• Toprak Yıkama</li> <li>• Yüzey Kapatma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geliş. Biyoremediasyon</li> <li>• Sıvı-Gaz Emişli Arıtım</li> <li>• Çift Faz Ekstraksiyonu</li> <li>• Isıl Arıtım</li> <li>• Pasif/Reaktif Arıtma Duvarları</li> <li>• Fitoremediasyon</li> <li>• Kimyasal Oksidasyon</li> <li>• Yönlü Kuyular</li> <li>• Derin Kuyu Enjeksiyon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yapay Sulak Alan</li> <li>• Absorp./Adsorp.</li> <li>• İyon Değişimi</li> <li>• Yumak./Topak./Çöktürme</li> <li>• Ayırma</li> <li>• İleri Oksidasyon</li> <li>• Granül Aktif Karbon</li> <li>• Pompalama ve Arıtım</li> </ul>

Arıtma çamurlarının uzun süreli uygulanması barındırdıkları toksik etkilere sahip bileşikler nedeniyle önemli çevresel risk oluşturabileceği yapılan pek çok çalışmada belirtilmiştir. Tarım topraklarında kullanılacak arıtma çamuru kökenli toksik metal kirliliğinin önlenmesindeki en iyi seçenek arıtma çamurlarının bünyesindeki toksik metallerin uzaklaştırılmasıdır. Toprak solucanları arıtma çamurlarıyla birlikte organik atıkları kompostlamakta ve böylece toksik etkilere sahip metalleri bünyelerinde alarak (biyoakümülyasyon) çamurun toksik metal düzeyini azaltabilmektedir (Namlı vd, 2016).

## BÖLÜM 4

### TOPRAK SOLUCANLARI

Ekosistem bünyesinde birçok abiyotik maddeleri, üretici, tüketici ve ayrıştırıcı canlıları barındırmaktadır. Canlılar karşılıklı olarak madde alışverişi yapmaları sonucu birbirine etki etmektedirler. Toprak, üzerindeki ve bünyesindeki canlı organizmaları ve cansız varlıkları nedeniyle canlı ve dinamik özellik gösteren bir ekosistem örneğidir. Ekosistemler bünyesindeki elemanların birbiriyle belli bir denge ve uyum ile etkileşimleri sonucu oluşmuştur. Ekosistem elemanları doğrudan ve dolaylı olarak besin döngülerine katılarak canlılığın sürdürülmesine katkıda bulunmaktadır. Besin maddelerinin çoğu toprak ekosistemi içerisinde meydana gelen bir takım döngülerle, etkileşim halindeki diğer ortamlara verilmektedir. Toprak makrofauna grubuna ait olan solucanlar, organik madde geri dönüşümüne hususunda önemli katkıları bulunmaktadır. Yıllardır verimli topraklar ile ilişkilendirilen bu canlılar; toprak yapısını ve verimliliğini değiştirerek bitki büyümesini teşvik etmektedir (Buckerfield, 1998). Solucanlar toprağın verimliliğine olumlu etkileri ile su rejimi, organik atıkların ayrışması, toprağın organik dinamikleri ve mikrobiyal aktivite hususunda önemli roller üstlenmiştir. Toprak solucanlarının besin döngüleri gerçekleri için üstlendikleri mekanik ve biyokimyasal etkileri bulunan rolleri vardır (Lee, 1985; McLean ve Parkinson, 2000; Baker vd, 2003).

Aristoteles (M.Ö. 300) tarafından “toprağın bağırsakları” tanımını kullanarak toprak solucanları tarafından organik maddenin zengin humus veya kompost formuna dönüştürüldüğü vurgulanmıştır. Charles Darwin’in 39 yıllık süreçteki toprak solucanları üzerinde yapmış olduğu inceleme sonucunda “Saban insanlığın en eski ve en kıymetli icatlarından biridir, fakat daha insan toplumu ortaya çıkmadan çok önce bile toprak solucanları tarafından düzenli olarak sürülmüştür” açıklamasıyla tarım ve ekosistem için solucanların önemini vurgulamıştır.

Toprak solucanları omurgasız hayvanlar olup, uzun vücutları "metamer" segmentlerden oluşan Annelida şubesine mensup karasal canlılar olarak nitelendirilebilir (Tutar, 2012). Solucanların ortam istekleri türlere göre değişmekle birlikte genel olarak 15-20°C'luk bir sıcaklık, %70- 90 civarı bir nem ve 6,5-8 arası bir pH arzu edilmektedir (Munroe, 2007).

Omurgasız türler arasında yer alan annelid solucanlar, toprağın kalitesini ve verimliliğini sağlamaktadır (Brown vd, 2004; Reinecke, 2004). Toprak faunası içerisindeki nitelikleri itibariyle, toprak kirlenici maddelerini ve toprağın toksisitesinin değerlendirilmesi sebebiyle önemli bir konumda yer almaktadırlar (Reinecke, 2004). Toprak solucanlarının besin yelpazesinde ölü bitkisel artıklar, toprak bünyesinde yaşayan birtakım mantar, protoza gibi ve patolojik özellikteki mikroorganizmalar ve çürümüş hayvan kalıntılarını gibi birçok organik artık bulunmaktadır.

Edwards ve Neuhauser (1988) tarafından atık su arıtma çamurları, bira üretimi atıkları, işlenmiş patates artıkları; kümes hayvanlarından, domuzlardan, sığırlardan, koyunlardan, keçilerden, atlardan ve tavşanlardan kaynaklı organik artıklar, bahçecilik faaliyetleri sonucu bitkilerinden oluşan kalıntılar ve mantar üretimi endüstrisinden kaynaklanan organik atıklardan beslenerek toprağın zenginleştirme potansiyeline ve ticari potansiyele sahip olan materyale dönüştürme potansiyeline sahip olduklarına değinilmiştir.

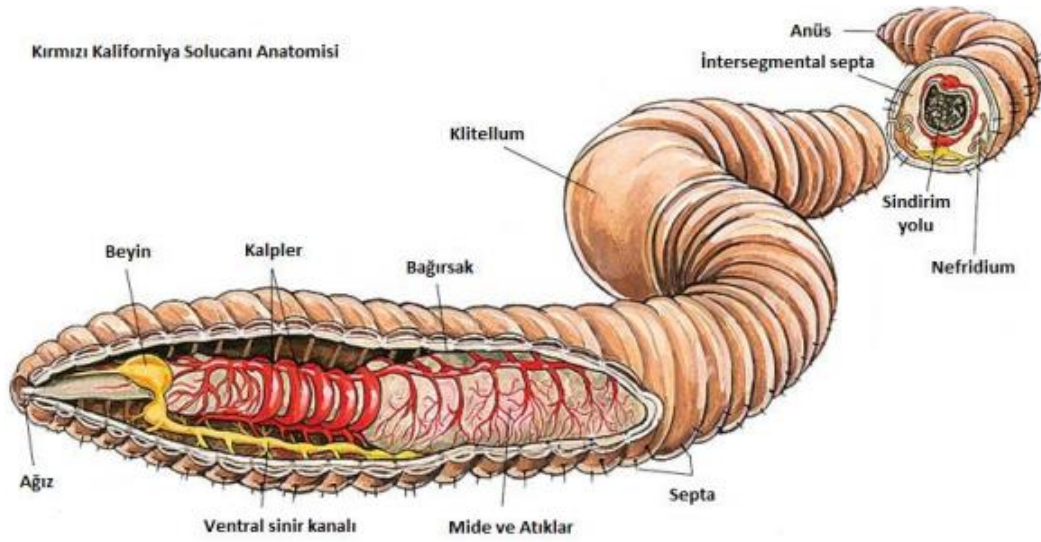
Toprak solucanlarının doğaları nedeniyle organik maddenin ayrışması ve mineralizasyonunu gerçekleştirmesi ile birlikte besinin kullanılabilirlik potansiyelini arttırmaktadır. Vermik aktivite sonucu solucanların etkileşimde olduğu topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileşmesiyle toprağın verimliliği arttırmaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996).

#### **4.1. TOPRAK SOLUCANLARININ GENEL VÜCUT YAPILARI**

Toprak solucanlarındaki boy uzunluğu çeşitlilik göstermekte olup, ortalama 5-15 cm' den ve 50-100 cm (Dev Avustralya Solucanları, *Megascolides australis*) arası

değerlere kadar değişim göstermektedir (Tutar, 2012). Toprak solucanları omurgasız hayvanlar olup, uzun vücutları "metamer" segmentlerden oluşan Annelida şubesine mensup karasal canlılar olarak nitelendirilebilir (Tutar, 2012).

Toprak solucanları çoğunlukla silindirik yapıli canlılar olup, vücutlarının son segmentlerinin enine kesiti dörtgen, sekizgen veya trapezoidal şekil özellikleri gösterebilmektedir. Bazı solucan türlerinin son segmentte sırt-karın yönünde yassılaşıma ve sırt bölgesinden daha soluk renkli bir yapıya sahiptir (Mısırlıoğlu, 2011).



Şekil 4.1. Toprak solucanına ait anatomik yapıyı betimleyen çizim (Tutar, 2012).

Solucanların iskelet sistemi bulunmamaktadır. Vücutlarının dış dokuları kıllı ve ince kütikül yapıya sahiptir. Genel olarak vücut rengi kırmızı, kahverengi veya bu renklerin türevi şeklinde gözlemlenmektedir (Edwards ve Bohlen, 1996).

Beyni ve ağzı bulduran baş bölümüne prostomium ve anüsü bulduran kuyruk bölümüne periprokt ve ya anal segment denilmektedir. Toprak solucanları sölom olarak adlandırılan sıvı ile vücut boşluğunun ayrıldığı bir çift tüpten, vücut duvarı ve sindirim sisteminden meydana gelmiştir. Bu durum solucanların morfolojisi yönünden iç içe geçirilmiş iki adet boruya gibidir. Vücut uzunluğu

boyunca uzanmış sindirim sistemi kanalına, su dengesinin kontrolünü sağlayan boşaltım sistemine ve iki tüpün arasında konumlanmış halde bulunan sinir sistemine sahiptir. Farklı ekolojik ortamlarda toprak solucanları türleri yaşamlarını sürdürmelerine karşın benzer fizyolojik özellikleri gösterdikleri gözlemlenmiştir. Solucanlar kopartılan vücut parçalarını yenileyebilen canlılardır. Bu özellikleri solucanların hayatta kalma şansını arttıran önemli bir faktördür (Tutar, 2012).

Solucanların anatomisi ele alındığında, vücutları bölmeli segment (halka) meydana gelmektedir. Bu halkalar vücut boyunca uzanmış sindirim sistemini çevrelemekte olan sıvı dolu bölmelerdir. Hayati organlar (beyin ve kalp gibi) solucanların baş bölümünde kümelenmiş gözlemlenmektedir. Solucanların görme işlevi için duyu organları bulunmamasına rağmen ışığa karşı tepkileri oldukça hassastır. Işığa karşı oluşan duyarlılığın temel nedeni ise epidermis hücrelerinin arasında yer almış pigmentler ve ışıktan etkilenen hücrelerin varlığından kaynaklanmaktadır. Toprak solucanlarında her segmentin sırt kısmında porlar yer almaktadır. Olası bir kuruma tehlikesi anında vücut sıvısı porlardan çıkartılarak hayvanı nem dengesini sağlamaktadır (Tutar, 2012).

Güneş ışığı ve ışığa uzun süre maruz kalındığında kuruyarak ölmektedir. Dayısıyla toprağın nemli bölgelerinde yaşarlar. Toprakta oluşan titreşimleri hissetmektedirler. Solucanların her bir segmentine metamer ve bu özellikteki yapıya ise metamerizm denilmektedir (Kılıç, 2009).

Hareket ise 100-200 adet halkalı bölümlerin aynı zamanda etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Vücutta bulunan her bir halka kas gibi ve diğer bölümlerden bağımsız hareket ederek genişleme ve büzülme olayını meydana getirmektedir. Solucanın ön ve arka uç kısmında seta adı verilen kıllar yer almaktadır.

Kıllar solucanın ön uç kısmını yere sabitler, solucan arka kısımdaki halkaları kasarak ileriye sürükler. Böylece öteleme hareketi yapılarak yer değiştirme hareketi yapılır. Setalar kitinden meydana gelmiş, iğneye benzeyen ve “S” şeklindeki yapılardır. Setaların boyları solucanın türüne ve aynı türe ait olan üyelerde dahi farklılık gösterebilmektedir. Bu kılların dip kısımları “kıl folikülü” adıyla adlandırılmış



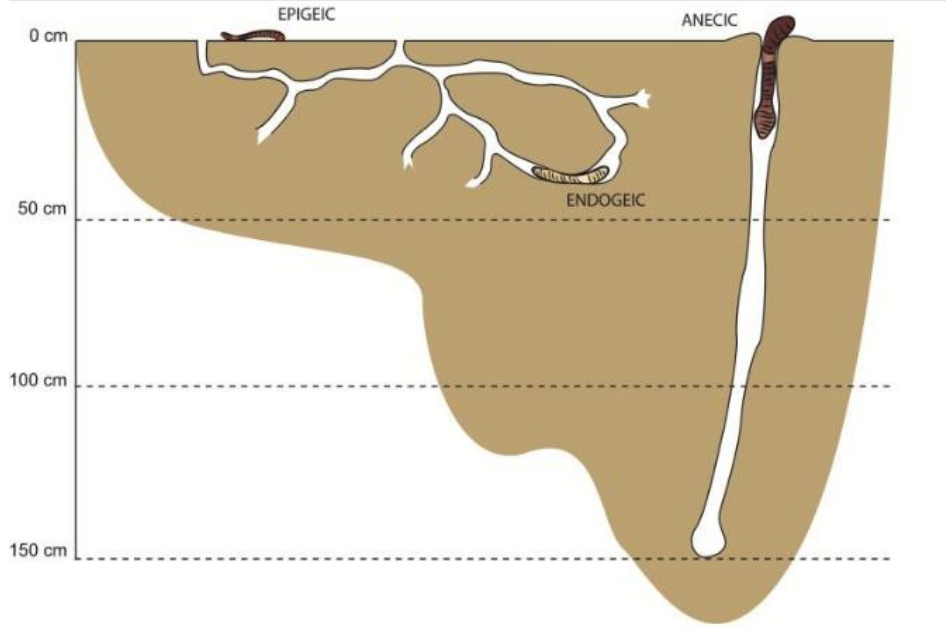
deriden meyna gelen bir kesede bulunmaktadır. Kılılar dışarıya ve içeriye doğru hareket ederek segmentlerin zemine tutunmasını sağlar. Solucanın bazı segmentlerindeki seta çiftleri, üremek için özelleşmiştir. Mikroskop ile incelendiğinde boyuna oluklar şeklinde gözlemlenen setaların görevinin birleşme esnasında partnerini uyarmak ve tutmak olduğu öngörülmektedir (Tutar, 2012).

#### **4.2. TOPRAK SOLUCANLARINDA HAREKET OLAYI**

Solucanların epidermis tabakası, vücudun dış kısmını çevreleyen sütun şekilli destek hücrelerinden meydana gelmiştir. Ayrıca epidermis tabakasındaki hücreler kütikül tabakasıyla bağlantıdır. Eş zamanlı olarak halkalı kas tabakası ile boyuna uzanmış kasların zıt yönde kasılması sölom sıvısında basınç oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan basınç sonucu solucanın segmentleri uzayıp kısalmaktadır. Böylece solucan hareket faaliyetini gerçekleştirir. Solucanın vücut boşluğundaki sölom sıvısının hidrolik iskelet işlevi bulunmaktadır. Halka kaslar vücudu enine kasma olayını gerçekleştirdiğinde, sölom sıvısına basınç uygulanır ve bu durum solucanın ön ucunun uzamasını tetikler. Solucan ön ucunun tutunmasının ardından boyuna kaslarıyla arka ucunu ileri yönde çekme hareketini gerçekleştirerek vücudunu tekrar kalınlaştırmaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996; Mısırlıoğlu, 2011).

#### **4.3. TOPRAK SOLUCANLARININ EKOLOJİLERİ**

Toprak solucanları habitatları bakımından temelde 3 sınıfta incelenebilir. Bu sınıflar ise epigeic, endogeic ve anecic olarak adlandırılmaktadır (Lee 1985).



Şekil 4.2. Toprak solucanlarının ekolojik sınıflandırılması (Schelfhout vd, 2017).

Toprak yüzeyi içinde yaşayan solucanlar bilimsel adlandırma ile “epigeic” olarak tanımlanmıştır. Epigeic toprak solucanları yaprak artıkları, gübre yığınlarının yakınlığında ve toprağın 0-2,5 cm derinliğinde bulunmaktadır. Morfolojik olarak parlak kırmızı ya da kızıl kahverengi renge ve genel olarak 7,5 cm’den kısa uzunluğa sahip (Turgay vd. 2011) olup, çoğunlukla vücut çizgileri bulunmamaktadır. Natural England Commissioned Report’a göre *Dendrobaena octaedra*, *Dendrobaena attemsi*, *Dendrodilus rubidus*, *Eiseniella tetraedra*, *Heliodrillus oculatus*, *Lumbricus rubellus*, *Lumbricus castaneus*, *Lumbricus festivus*, *Lumbricus friendi* ve *Satchellius mammalis* türleri epigeic solucanlar sınıfında yer almaktadır. (<http://publications.naturalengland.org.uk/file/5824256822738944>, 2019).

Toprağın humusça zengin tabakasında yaşayan solucan türleri, bilimsel adlandırma ile “endogeic” olarak tanımlanırlar. Böyle tanımlandırılmasının nedeni olarak toprağın alt kısmını yatay hizada ve dallanan tünel sistemi şeklinde oluştururlar. Bu sınıftaki solucanlar toprağın yaklaşık 0-50 cm’lik yüzey kısmında bulunmaktadır. Yetişkinliğe ulaşmış olan türlerin vücut uzunlukları 3-12,5 cm arasında değişim göstermektedir (Lee, 1985). Organik madde bakımından zengin topraklara hakim

büyük olan solucanlar buldukları toprağı sindirip harmanlamaktadır. Böylece toprağın havalandırılması gerçekleşir.

Natural England Commissioned Report'a göre endogeic solucanlar bitki köklerinin ölü kısımlarının ayrışmasında büyük rol oynamalarına karşın, toprak yüzeyinin yakınındaki organik artıkların ayrışmasında pek bir rolleri bulunmamaktadır. Endogeic solucanlar genellikle soluk gri, pembe, yeşil veya mavi renge sahiptir. Endogeik solucan türleri arasında *Allolobophora chlorotica*, *Apporectodea caliginosa*, *Apporectodea icterica*, *Apporectodea rosea*, *Murchieona muldali*, *Octolasion cyaneum* ve *Octolasion lacteum* türleri endogeic solucanlar sınıfında yer almaktadır (<http://publications.naturalengland.org.uk/file/5824256822738944>, 2019).

Toprağın altında yaşayan solucan türleri bilimsel adlandırma ile "anecic" olarak tanımlanırlar. Bu sınıfa giren solucanlar toprağın derinliğe uzanan dikey yönlü ve sağlam tüneller oluştururlar. Anecic türler 12,5-20 cm arasında vücut uzunluğuna sahip toprak solucanlarıdır. Oluşturdukları sağlam ve genellikle 2 m derinliğindeki yuva tünellerinde yaşamlarını sürdürürler (Turgay vd, 2011).

Anecic sınıfı solucanlar hayvan gübresi, artık yaprak ve diğer çürüyen organik maddelerle beslenmek için yüzeye doğru hareket eder ve sindirim artıklarını yüzeydeki yuva ağzı çevresine bırakırlar. *Lumbricus terrestris* ve *Aporrectodea longa* gibi türler artık organik maddelerin ayrıştırılarak toprağın yapısının düzenlenmesinde önemli etkilere sahiptir. *Lumbricus terrestris* türü toprak solucanı beslenmek için toprak yüzeyinden 19-62 metre kadar derinlere ilerleyebilir (Warner 1996). Anecic sınıfı solucanların kafa kısmı koyu kırmızı veya koyu kahverengi renge sahip olup, kuyruk kısmı daha solgun renge sahiptir.

#### **4.4. TOPRAK SOLUCANLARININ SİNDİRİM SİSTEMİ**

Toprak solucanlarının, beslenme mekanizması kısaca vücutlarından sindirim yoluyla geçirdikleri toprağın bünyesindeki mineralleri aktifleştirerek boşaltım ile dışarı çıkartırlar. Solucanların sindirim sistemleri vücutları boyunca uzanmakta olup basit bir yapıya sahiptir.

- Ağızın bulunduğu solucanın ön tarafında organik madde yutulur.
- Yemek borusunda iç duvarlar tarafından salgılanan maddelerle komponentler nötralize edilir.
- Taşlıktaki güçlü kaslar organik maddeyi ve çamuru 2-4 mikron arasındaki boyuta kadar küçük parçacıklar haline getirilir.
- Taşlıkta öğütülmüş atık parçaları proteaz, lipaz, amilaz, selüloaz ve kitineaz gibi enzimler tarafından parçalanarak bağırsağa geçer.
- Bağırsakta yaşayan simbiyotik bakteriler vasıtasıyla biyoparçalanma sağlanır ve emilim gerçekleşerek anüsten sindirim artığı uzaklaştırılır.

#### **4.4.1. Sindirim Kanalı Ve Sindirim Bezleri**

Solucanlarda ağız direk olarak sindirim kanalına açılmakta olup, sindirim kanalı bünyesinde aşağıdaki yer alan organlar yer almaktadır. Sindirim olayı, mekanik ve kimyasal sindirim (hidroliz) ve besin maddelerinin emilimi için bir dizi odadan oluşur.

#### **4.4.2. Ağız Boşluğu**

Solucanlarda ağız boşluğu vücut üzerindeki üçüncü segmentin ortasına kadar olan bölüme denk gelmektedir. Yapısı ince duvarlı özellik göstermekte ve armut şekline benzemektedir. Eşleşmiş olan uzatıcı ve kısaltıcı kaslara sahiptir. Bu özelliğinden dolayı uzayan ve esnek bir yapıdadır.

#### **4.4.3. Yutak**

Vücut üzerindeki 3-5. segmentin arasında yutak yer almaktadır. Yutağın görevi alınan gıdayı yutmaktır ve 1,5 segmentten meydana gelmektedir. Farenks adı verilen kas yapısı tarafından, emme hareketi gerçekleştirilir ve toprak ile birlikte alınan besin alımını kolaylaştırmaktadır. Yutak duvarında radyal kaslar bulunmaktadır. Yutak tükürük odasını ve ön iletim odasını bünyesinde barındırmaktadır. Tükürük odasının görevi salya üretmektir. İletim odasında ise besin maddelerinin geçirilir. Yutağın arka duvarı yutak haznesini barındırır. Yutak haznesindeki hücrelerden salgılanan salgıda

protein parçalayıcı enzimler bulunmaktadır. Dolayısıyla yutakta proteinlerin sindirimi gerçekleşmektedir.

#### **4.4.4. Yemek Borusu**

Vücut üzerinde 5-7. segmentler yemek borusu yer almaktadır. Yemek borusunun yan kısımlarındaki her bir segmentte, bir ve bir veya birden fazla çift kese yer almaktadır. Keselerin bünyesinde kalsiyum karbonat taneleri barındıran bezler bulunmaktadır. Yüksek miktarda humik asit içeriğine sahip besin maddelerinin nötr değere döndürülmesi için bezlerin sayesinde olduğu düşünülmektedir. Başka bir sava göre ise bezler, besinle vücuda alınan aşırı miktarda kalsiyuma solunumla oluşan karbondioksiti bağlanması ile kanın pH dengesini koruması sağlanmaktadır.

#### **4.4.5. Kursak**

Kursak, besin maddelerinin taşlığa alınana kadar depo edildiği odacıktır. Kursakta besinler birbiriyle iyice karıştırılır. Daha sonra asıl sindirimin başlatılması için taşlığa iletilir.

#### **4.4.6. Taşlık**

Vücut üzerinde 8. segmentte taşlık yer almaktadır. Kursakta besin maddeleri öğütülerek boyutları ufaltılır. Besinle birlikte alınmış olan kumlar gibi sert maddelerinde boyutları küçültülmüş olur. Ufaltılan parçalar daha büyük yüzey alanına sahiptir ki bu durum enzimatik aktiviteyi kolaylaştırmaktadır.

Taşlığın iç kısmı ölü epiderm tabakadan meydana gelmiştir. Mide duvarı kuvvetli şekilde gelişim göstermiş dairesel kaslardan oluşmuştur. Buradan salgılanan bazı enzimler kimyasal sindirimi tetiklemektedir. Taşlıkta kalın macun haline getirilen materyal bağırsağın içine itilir.

#### **4.4.7. Bağırsak**

Vücut üzerinde 14-120. segment aralığına kadar bağırsak yer almaktadır. İnce duvarlı ve geniş bir yapıya sahip bağırsak, düz şekilde bulunur. Bağırsak duvarında pepsin, tripsin, maltaz, lipaz, kitinaz, selülaz gibi sindirim enzimlerine sahip olan bağırsak suyu salgılanmaktadır. Ayrıca bağırsakta simbiyotik bakterilerde yaşamaktadır. Bakteriler besin ile etkileşime girerek solucanın ihtiyacı olduğu vitaminleri, proteinleri, karbonhidratları ve mineralleri emilebilecek hale getirilmesini sağlarlar. Sindirilen besin maddeleri, villus tarafından emilerek kılcal damarlardan vasıtasıyla kana geçirilmektedir. Bağırsak 3 bölgeye ayrılarak incelenmektedir.

##### **4.4.7.1. Tiflosolis Öncesi Bölge**

15-26. segment arasında ve bağırsakların ilk kısmı oluşturmaktadır. Tiflosolis öncesi bölgede, bağırsak astarı villus oluşturmak için katlanmış olup, tiflosolis içermemektedir. Vücudun yaklaşık 26. Segmentinde caeca yani bağırsağın her iki tarafında iki adet kısa ve konik şekilde çıkıntı yer almaktadır. Caecanın enine kesiti incelendiğinde villus gibi pek çok uzunlamasına kıvrımlar bulunmaktadır. Caeca, nişastanın sindirimi için amilaz enzimini salgılamak ile görevlidir.

##### **4.4.7.2. Tiflosolis Bölgesi**

Vücut üzerinde tiflosolis 24-25. segmentler hariç, 26. ile son segment arasında yer almakta olup, bağırsağın ikinci kısmını oluşturmaktadır Tiflosolis, bağırsakların emici yüzey alanını artıran yüksek derecede vasküler ve salgı bezinden oluşmaktadır.

##### **4.4.7.3. Tiflosolis Sonrası Bölge**

Solucan bağırsağında 24-25. segmentte yer alan tiflosolis veya vinillere sahip olmayan bölgedir. Bağırsağın bu kısmına üçüncü bölge veya rektum olarak da adlandırılmaktadır. Burada su ve mineraller emilerek özümsemeyen kısım anüse yönlendirilmektedir.

#### **4.4.8. Anüs**

Vücutun son segmentinde yer alan anüs, bağırsağın son kısmındaki dairesel açıklıktır. Sindirilmeye uğramamış besin maddeler, toprak ve kum parçacıkları anüs yoluyla alıcı ortama verilmektedir.

#### **4.5. SİNİR SİSTEMİ**

Toprak solucanları basit yapılu bir sinir sistemine sahip olup, ip merdiveni şeklindedir. Vücutun 3. segmentinin sırt tarafında çift loblu ve beyaz renge sahip serebral ganglion yani beyin mevcuttur. Duysal ve motor fonksiyonların denetimi buradan gerçekleşmektedir. Bu bölgeden ayrılan iki sinir lifi solucanın yutağının etrafını çevreleyerek yutak altı ganglionu yapısını meydana getirerek karın kısmında sinir lifleri yan yana konumlanır. Toprak solucanın her segmentinde birer segmental ganglion meydana getirerek gövdenin arka uç kısmına kadar uzanmaktadır. Toprak solucanları kimyasallara, ışığa ve fiziksel temasa hassas derecede duyarlılık ve tepki gösterirler. Solucanların epidermisi bünyesinde çok fazla duyu organı mevcuttur. Bu organlar fotoreseptör organlar ve epitelyal duyu organları olarak ikiye ayrılmaktadır. Solucanın duyu organları, kütikula üzerindeki por ismi verilen açıklıklardan dışarı çıkan yapılar olup, hücre tabanına duyu sinirine bağlanmış durumdadır (Edwards ve Bohlen 1996; <http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm>, 2019).

#### **4.6. BOŞALTIM SİSTEMİ**

Toprak solucanlarının boşaltım organları nefridyum adı verilen yapılardır. Nefridyumlar solucan vücudunun 3. segmentinden sonra sonra başlayıp, son segmentten bir önceki segmentine kadarki tüm segmentlerde çift halde yer almış olan kıvrımlı, uzun ve ince boru şeklinde yapılardır. Nefridyumların su ve tuz düzeyini düzenleyici işlevlerinin yanı sıra sölom sıvısının su içeriğini düzenleme işine de hizmet ederler. Solucan vücudundaki karın seta çiftlerine ek olarak nefridiopor isimlendirilen yapılardan kreatin, amonyak ve üre gibi azotlu atık ürünlerin canlı bünyesinden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır ( Edwards ve Bohlen, 1996).

#### 4.7. DOLAŞIM SİSTEMİ

Toprak solucanları vücutları boyunca uzanan kapalı dolaşım sistemine sahip canlılar olup (Edwards ve Bohlen 1996; <http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm>, 2019; <https://www.sas.upenn.edu/~rlnet/Earthworms.html>, 2019), kırmızı renkte kan ve kan bünyesinde bir çeşit solunum pigmenti olan hemoglobin taşımaktadır.

Solucan bünyesinde bir adet dorsal bölgede iki adet ise ventral bölgede olmak üzere organlara kan iletimini sağlayan üç ana damar mevcuttur. 7. ve 11. segmentler arasında yer alan 5 çift segmental damar kasılabilir özelliği nedeniyle kalp görevi üstlenmektedir (Edwards ve Bohlen 1996; <http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm>, 2019). Dorsal kan damarlarının görevi kanın solucan vücudunun ön kısmına taşınmasını sağlarken, ventral kan damarları ise kanın solucan vücudunun arkasına taşımakla görevlidir (<http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm>, 2019). Toprak solucanın vücudundaki kan akış yönü sırt damarında ön tarafa, karın damarında ise arka tarafa doğru akmaktadır (Edwards ve Bohlen 1996).

#### 4.8. SOLUNUM SİSTEMİ

Toprak solucanları derileri vasıtasıyla nefes almaktadır. Toprak solucanın derisinde olan difüzyon olayı ile oksijen ve karbondioksit akışı gerçekleşmektedir. Difüzyon olayı için solucanın derisinin nemli olması gerekmektedir (<http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm>, 2019). Solucan derisinin nemi sölom sıvısı, nefridiopor ve epidermis bezleri tarafından salgılanan sekresyonlar ile sağlanmaktadır. Yapı itibarıyla ince ve nemli vücut duvarı bünyesindeki kılcal damarlar oksijen alır ve karbondioksit vermektedir. Daha sonra bünyeye alınan oksijen plazma bulunan hemoglobine bağlanır ve kanın hareketi sonucu solucanın vücudunda taşınır (Edwards ve Bohlen, 1996).



#### 4.9. SAVUNMA SİSTEMİ

Toprak bünyesinde barınan solucanlar, patojenik özelliğe sahip mikroorganizmalarla birlikte yaşamaktadırlar. Vücutlarının yaralanmalara maruz kalması ve beslenmeleri esnasında bünyelerine aldıkları topraktan dolayı sürekli mikroorganizmaların istilasına maruz kalmaktadır. Farklı nedenlerle solucanların uyarılması durumunda, uyarının şiddetine göre mukus salgılanmaktadır. Solucanların dış yüzeyini kaplayan mukus sıvısının mikroorganizmalara karşı koruma görevi bulunmaktadır. Mikroorganizma kaynaklı tehditlere karşı solucanlar, savunma sistemleri ve kendilerinin ürettiği antimikrobiyal maddeler ile savunmaktadırlar. Solucanların savunma mekanizmaları iki kısımda incelenebilir. İlk olarak yüzey mukusları, derileri ve sindirim kanalları antimikrobiyal bariyeri oluşturan elemanlardır. İkincisi olarak ise humoral, doğal ve hücrel immün yanıtına ek olarak vücut sıvısı içerisindeki antimikrobiyal özelliği bulunan maddeler, antijen bağlayıcı proteinler ve lizozim organelleri en önemli elemanlarıdır (Wang vd, 2006). Solucanların çevresindeki patojenlere direnç oluşturmaları salgıladıkları vücut sıvıları ile sağlanmaktadır.

Solucanların sindirim sistemlerinin savunma işlevi de bulunmaktadır. Solucanların bağırsağındaki bakteriler besinlerin basit yapılarına ayrıştırılmasında görev alırlar. Yapılan çalışmalar sonucunda, solucan bağırsağında bulunan bakteriler nedeniyle etkileşim halinde olduğu topraktan yüksek oranlarda azot ve karbonu bağırsaklarında buldukları saptanmıştır (Edwards ve Bohlen, 1996; Zhang, 1997; Zhang vd, 2000; Wang vd, 2006).

Vasanthi vd, (2012), *Eudrillus eugeniae* türü toprak solucanı hamurlaştırılarak farklı bakteri ve funguslar üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, bakterilerden *Escherichia coli*, *Salmonella abony*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* ve *Klebsiella pneumoniae* türleri ile funguslardan *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* ve *Penicillium notatum* türleri üzerinde antimikrobiyal aktivite tayini yapılmıştır. Sonuç olarak söz konusu fungus ve bakteriler üzerinde solucan hamurunun bakteriyostatik etki gösterdiği gözlemlenmiştir.

#### 4.10. ÜREME SİSTEMİ, ÇİFTLEŞME VE GELİŞİM

Solucanlar hermafrodit canlılardır. Hermafrodit canlılar hem erkek hem dişi üreme organlarına sahiptir. Solucanların üremesi sırasında, çiftleşen her solucan iki üreme organını da kullanarak yumurtaları döllenmektedir. Vücut üzerinde yer alan erkek eşey bezleri, yine vücut üzerindeki dişi eşey bezlerinden daha önde konumlanmıştır. Ayrıca her bir solucanda bir veya iki çift testis yapısı ile bir çift yumurtalık bulunabilmektedir (Tutar, 2012).

Solucanlarda erkek üreme sistemi sperm hunisinin iki çift testise kanal ile bağlanmasıyla oluşmaktadır. Üretilen sperm birleşme olayı sırasında huni ve kanallar vasıtasıyla transfer edilir. Dişi üreme sistemi ise aynı segmentte bulunan bir çift ovaryumdan oluşmaktadır. Çiftleşmenin başlaması için iki solucan birbirine zıt tarafa sıralanır. Her solucanın fazla miktarda mukoza salgılamasıyla sperm kesesi denilen yapı oluşur. Solucanlar karşılıklı aldıkları spermi sperm keselerine depolar. Depolanan sperm kokon içindeki yumurtaların döllenmesine muhafaza edilir.

Çiftleşme olayı solucanlar ayrıldıktan sonrada devam etmektedir. Solucanın ön kısmındaki kalın banda benzer yapıya klitellum denilmektedir. Klitellum etrafındaki bezler yardımıyla salgılanan maddeler yumurta kapsülünü (kokon) oluşturmaktadır.

Klitellumun bir diğer işlevi ise, çiftleşme esnasında meydana getirilen salgı vasıtasıyla partnerlerin birbirine sıkı bir şekilde sarılmalarını sağlamaktır (Tutar, 2012). Daha sonra vücut hareketleri yardımıyla kokon ileriye doğru ilerletilir. Dişi eşey açıklığı yapısına kokon halkası geldiğinde yumurtaların dışarı bırakılması sağlanır. Kokon halkasının spermateka porlarının üzerinden geçirildiği anda ise sperm keselerindeki sperm boşaltılmaktadır. Nihai olarak kokon solucanın ön kısmından ortama bırakılmaktadır (Mısırlıoğlu, 2011; <https://www.sas.upenn.edu/~rlnet/Earthworms.html>, 2019).

Genellikle çiftleşme gece ve ortalama 20-25°C arası ortam sıcaklığında çiftleşme gerçekleşmektedir. Çiftleşme sonunda oluşan kokonlar mercimek tanesi büyüklüğünde ve limona benzerler. Kaliforniya solucanları yumurtlayarak hızlı

çoğalırlar ve bir yılda ortalama 16-20 katına kadar kokon üretebilirler. Kokonlardan yaklaşık 1 ay içinde beyaz renkte ve 2 mm boyunda solucanlar çıkmaya başlar.



Şekil 4.3. Toprak solucanlarının çiftleşmesi sırasında bir görünüm (<https://teara.govt.nz/en/photograph/15489/earthworms-mating>, 2019).

Mısırlıoğlu (2011) tarafından *Eisenia fetida* türüne ait bireylerin 3-5 gün aralıkla 2-10 adet kokon oluşturduğu, üretilen her bir kokonun 1-8 adet yumurta barındırdığı ve yumurtalardan 2 adet yumurtanın gelişim gösterdiğine değinilmiştir.



Şekil 4.4. Yavru toprak solucanları ve kokonlara ait bir görünüm (Sedaghatoor, 2016).

Mısırlıoğlu (2011) tarafından toprak solucanlarında zigot oluşumu kokon içerisinde meydana gelen döllenme ile gerçekleşmektedir. Daha sonra meydana gelen bir dizi bölünme olayları ile blastula evresi başlatılır. Blastula evresinde üstte ektoderm hücreleri ve altta endoderm hücrelerinin geliştiği gözlemlenmektedir. Bu iki hücrelerin arasında ise büyük iki tane mesoblast hücresi yer almaktadır. Blastula oval bir yapıya doğru şekillendiği anda sütun şeklini almaya başlayan endoderm hücreleri gözlemlenmektedir. Gastrula evresi içerisinde ventral yüzey konkavlaşmaya ve kenarları kıvrılarak posterior niteliğinde birleşme olayları gerçekleşir. Kapanma olayıyla birlikte endoderm ağız yapısıyla sonlanmış bir tüp (bağırsak) şeklinde invagine olmaktadır. Anüsün gelişimi daha sonra gerçekleşmektedir. Ektoderm ve bağırsağın arasında çoğalan iki mesoblast hücresi ise kese ve kas yapılarının oluşmasını sağlamaktadır. Kokon bünyesindeki albuminli madde embriyonun beslenmesi için bağırsağa nüfuz etmektedir. Sıcaklık ve çevre koşulları yumurtadan çıkma süresi ve olgunluğa erişimi etkileyen unsurlardır. Yavaş bir gelişme göstermekle birlikte uygun sıcaklık seviyesine ulaşılmadan yumurtadan çıkma olayı gerçekleşmez. Genç bireyler genellikle ilkbahar aylarında ortamın uygun sıcaklık seviyesine ulaşması ile birlikte eş zamanlı kokonlarını terk ederler.

Solucanların gelişiminde serbest larva evresi bulunmamakla birlikte, başkalaşım geçirmeksizin gelişim göstermektedirler. Solucanların gelişim evreleri 3 kısımda incelenmekle birlikte genç, önergic ve ergin safhalarıdır. Ergin solucanlar gelişmişimi tamamlamış klitellum bulundurmaktadır. Önergic solucanlarda eşeyssel yapıların oluştuğu, ancak tam anlamıyla klitellumun gelişmediği gözlemlenmektedir. Genç solucanlar ise eşeyssel yapıları ve klitellum bulundurmazlar. Bu safhadaki solucanların yüksek yenilenme yeteneklerinden ötürü vücutlarının ön veya arka kısmında meydana gelen çok küçük kopmalar dahi tamamıyla yenilenebilir.

#### **4.11. *Eisenia fetida* TÜRÜ TOPRAK SOLUCANI, EKOLOJİK YERİ VE ÖZELLİKLERİ**

Toprak solucanları içerisinde halkalı solucan sınıfında yer alan kırmızı Kaliforniya solucanı, 8 türü bünyesinde barındıran Lumbricidae ailesine mensuptur. İlk olarak Kaliforniya Enstitüsü bünyesinde kültürlenmesinden ötürü “kırmızı Kaliforniya

solucanı” adı kullanılmıştır. Latince adı ise *Eisenia fetida*’dır. *Eisenia fetida* türü solucanların vücut uzunluğu 2,5 ile 10,5 cm arasında ve vücut kalınlığı ise 0,50 ile 0,75 cm arasında değişik göstermektedir. Bu türdeki solucanların ön baş bölgesi daha kalın ve kaslı bir yapıya sahiptir. Vücut rengi turuncu, kırmızı olarak gözlemlenir. Baş bölgesinin uç noktasında ağız ve kuyruk kısmında rektum yer almaktadır. Vücut ağırlığı ise 0,24 ile 1,4 g arasında değişebilmektedir (Arıman Karabulut vd, 2016).



Şekil 4.5. *Eisenia fetida* türü toprak solucanının görünümü (Zhang, 2015).

Epigeic toprak solucanı türleri organik toprak horizonlarında, yüzeysel atık kümelerinin yakınında bulunurlar. Epigeic tür solucanlar sınıfında yer alan *Eisenia fetida*, değişen ortam koşullarına gösterdiği geniş tolerans aralığından dolayı Dünya çapında vermikompostlama faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan solucan türüdür (Kumar, 2013). Kırmızı Kaliforniya solucanlarının ömürleri ortalama 4-5 yıl sürmektedir. Yetişkinliğe erişmiş solucanların ağırlığı 0,8-1 g arasında değişim göstermektedir. Bu türe ait solucanlar bir gün içerisinde tükettikleri besin miktarı kendi vücut ağırlıkları kadar olmakla birlikte ürettikleri gübre miktarı kendi vücut ağırlığının yarısı kadar olmaktadır. Bu durum belirtmektedir ki vermikompost (solucan gübresi) üretme oranı yaklaşık canlı ağırlıklarının %55'i kadar olmaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996).

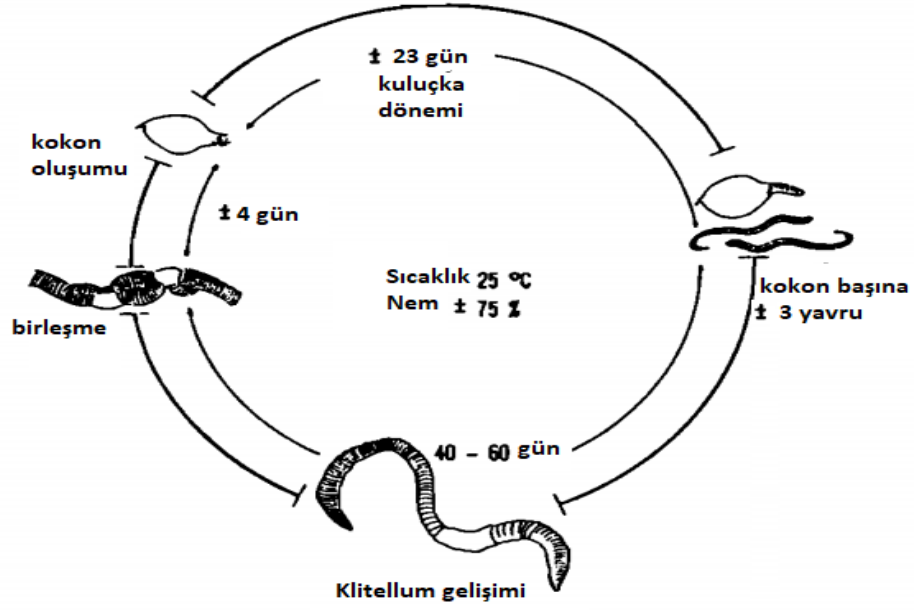
*Eisenia fetida* türü solucanlar kompostlama proseslerinde yaygın kullanılan solucanlarıdır (Venter ve Reinecke, 1988; Siddique, 2005). Diğer solucan türlerine

kıyasla daha küçük, parlağa dönük kırmızı renge sahiptirler. Yüzeyleri pürüzsüz ve mukusla kaplıdır fakat aynı zamanda birer çıkıntı halinde birçok küçük kıllara (seta) da sahiptirler. Solucanlar ilk 30 gün boyunca ilk başta çok yavaş büyür ve daha sonra solucanın büyüme hızı sabit bir şekilde artar ve 600 gün sonra ortalama 2,5 mg / solucan / gün büyüme hızına ulaşır (Venter ve Reinecke, 1988).

*Eisenia fetida* kokondan çıktıktan sonraki 7 ila 8 haftalık süreçte cinsel olgunluğa ulaşmaktadır. *Eisenia fetida* solucanının gelişimi ve çoğalması için ortamın % 75-80 arasında nem içeriğinin uygun olduğu belirtilmiştir (Venter ve Reinecke, 1988; Edwards ve Bohlen, 1996).

Solucan gübresi üretiminde 9 tür solucan kullanılmasına rağmen bunlardan iki tanesi en iyi bilinenlerdendir: *Eisenia fetida* (Red Wigglers) ve *Lumbricus rubellus* (Red Worms) (Wendell, 1977) . Başka bir çalışmada ise; Altı toprak solucanı türü, organik atıkları parçalamak için potansiyel olarak en faydalı tür olarak tanımlanmıştır. Bunlar *E. fetida* (ve yakından ilişkili *Eisenia andrei*), *Dendrobaena veneta* ve sıcak bölgelerden *Lumbricus rubellus* ve tropik bölgelerden *Eudrilus eugeniae* ve *Perionyx hawayana*. Diğer türler kullanılabilir ancak bu türler en yaygın olanıdır. (Bakthvathsalam ve Ramakrishnan, 2004).

Geleneksel tarımda, ahır gübresi tarımsal amaçlı kullanılan toprağın organik madde içeriğini arttırmak için kullanılmaktadır. Bu durum, toprakların doğal özelliğini bozarak toprağın tuzluluk oranının artmasını, nitrat ve fosfatın akiferler vasıtasıyla akıntıya veya sızmaya karışarak yeraltı ve yüzey sularına ulaşmasını gibi ekosistem sağlığını olumsuz etkileyebilecek senaryolar meydana gelebilir. Ayrıca gübrenin içinde bulunan patojenik mikroorganizmaları, parazit yumurtalarını ve zararlı bitki tohumlarını içermektedir.



Şekil 4.6. İnek gübresi ile yetiştirilen *E. fetida* solucanının yaşam döngüsü (% 75 nem içeriği ve 25 ° C sıcaklıkta) (Venter ve Reinecke, 1988).

Gübrenin çevresel etkisinin azaltılması kompostlama ile gerçekleştirilebilir. Vermikompostlamada kompost materyalinin karıştırılması ile birlikte havalandırılması Kırmızı Kaliforniya Solucanı (*Eisenia fetida*) tarafından gerçekleştirilmektedir (Santamaría-Romero vd, 2001). Ferrera ve Alarcón (2001); Nogales vd, (2005) tarafından, vermik kompostlama yöntemiyle elde edilen malzemenin kompostlama öncesi durumuna kıyasla kimyasal ve biyolojik olarak zenginleştirilmiş olduğu kabul edildiğine değinilmiştir.

Castillo vd, (2010) tarafından yapılan çalışmada *Eisenia fetida* eklenmiş olan ve klasik kompostlama yöntemlerinin etkinliği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 25 günlük kompost ürünleri incelenmiş, her iki yöntemde de C / N oranının, vermikompostta 15.5 ve klasik kompostta 17.1 değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Marul tohumları (*Lactuca sativa* L.) kullanılarak çimlenme endeksi incelenmiş ve vermikompost ve klasik kompost materyalinin çimlenme endeksleri sırasıyla % 134 ± 3.08 ve % 121 ± 3.08 olduğu saptanmıştır. Bu sonuca göre vermikompostun bazı fitotoksik maddelerin tohumlar üzerindeki zararlılığının azalttığını göstermektedir. Dolayısıyla 25 günlük vermikompost materyali, marul tohumlarının çimlenmesi için daha uygun bir malzemedir.

*Eisenia fetida* ile etkileşimde olan toprağın pH'ı, çözünmüş organik karbon (DOC), mikrobiyal popülasyonu ve suda çözünebilir ağır metallerin fraksiyonun arttığı ve bu topraktaki buğdayların kök sürgünlerindeki ağır metal artmıştır. Solucanı aktivitesi ile topraklardaki ağır metallerin hareketliliğini ve biyoyararlanımının arttırdığını belirtilmiştir (Wen vd, 2004).

#### **4.12. TOPRAK SOLUCANLARINDA AĞIR METALİN BİYOAKÜMÜLASYONU**

Litojenik faktörler sebebiyle toprak bünyesinde ağır metal birikimi gerçekleşeceği gibi toprağın ağır metal seviyesi endüstriyel faaliyetler (Cemek ve Kizilkaya, 2006) kontrolsüz kimyasal gübre ve arıtma çamurlarının kullanıldığı tarımsal faaliyetler (Kizilkaya ve Bayraklı, 2005) sonucunda artışlar meydana gelebilmektedir (Tarakçıoğlu vd, 2006). Ağır metaller ile kirletilmiş arazilerde yetişmiş olan bitkilerin dokuları, etkileşim halinde oldukları toprak veya sudaki ağır metalleri biriktirmektedir. Bu nedenle besin döngüsü içerisinde birincil ve ikincil tüketici hayvanlar besin yoluyla olumsuz etkilenmektedir. Biyolojik olarak parçalanamayan ağır metaller besin döngüsündeki her bir katmanda daha çok etkilerini göstermektedir. Ağır metaller ile etkileşime girmiş bitki ve hayvanlardan elde edilen gıda ve doğal malzemeleri tercih eden insanlar ise besin döngüsünün en üst katmanında düşünülebilir.

Toprak içerisindeki fauna ve floranın üyelerine kıyasla toprak solucanları ağır metal konsantrasyonundan daha az etkilenmekte (Kizilkaya, 2004; 2005) olup, yine de ağır metaller toprak solucanının gelişimini (Van Gestel vd, 1991; Khalil vd, 1996), kokon üretimini (Ma, 1988; Spurgeon ve Hopkin, 1996) ve toprak içindeki faaliyetini (Siekierska ve Urbanska-Jasik, 2002) olumsuz etkileyerek ölmesine neden olabilmektedir (Neuhauser vd, 1985; Dominguez, 2012).

Vermikompostlama organik kirleticilerin bozunmasında ve ağır metallerin arıtma çamuru içerisinde uzaklaştırılması bakımından etkili olduğu kanıtlanmıştır (Gupta vd, 2005; Rosińska ve Karwowska, 2017; Khan, 2019) . Ağır metal barındıran ortamlarda beslenen toprak solucanları dışkılama yolu ile ağır metalleri toprağa geri



transfer edilirken bir kısmı da solucan dokularında biriktirilebilmektedir. Kompost ortamının ağır metal konsantrasyonuna bağlı olarak bu durum değişiklik göstermektedir. Birçok solucan türünde metaller dışkılama yolu vasıtasıyla vücutlarından ortama bırakılmaktadır ve dışkı bünyesindeki ağır metal konsantrasyonları bünyelerine kıyasla daha yüksek seviyelerde rastlanabilmektedir (Tessier vd, 1994).

Song vd, (2014) tarafından, vermikompost malzemesi içerisindeki ağır metallerin (As, Pb, Cu ve Zn) seviyeleri vermikompostlama sırasında meydana gelen organik bozulmadan dolayı ilk duruma göre ağır metal seviyelerinin daha yüksek olduğunu bildirilmiştir. Suthar vd, (2014) tarafından ise, arıtma çamurunun vermikompostlanmasından sonraki ağır metal (Pb, Cd, Cr ve Cu) seviyelerinde azalmanın olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bazı araştırmalar sonucunda ise, toprak solucanları etkileşim halinde olduğu topraktaki ağır metali vücut dokularında biriktirerek toplam metal konsantrasyonun azaltılmasını sağlamışlardır. (Wang vd, 1998; Hepsen ve Kizilkaya, 2007; Sizmur and Hodson, 2009; Li vd, 2010) Dolayısıyla solucanlar beslenme olayı sırasında ağır metal biriktirme yeteneklerinin etkisiyle metallerin besin zincirine katılma oranını azaltabilirler (Wang vd, 1998; Hepsen ve Kizilkaya, 2007).

Ayrıca yapılan çoğu çalışmalarda toplam konsantrasyonlara odaklanmış ve metallerin fraksiyonlanması ihmal edilmiştir. Önceki bulgulara göre, eser metallerin hareketliliği ve biyoyararlılığı büyük ölçüde toplam içerikten ziyade spesifik kimyasal türlerine bağlı olmaktadır (He vd, 2009; Wang vd, 2013).

Lv vd, (2016) tarafından, vermikompost içerisindeki ağır metallerin oranlarının artışı, organik stabilizasyonun neden olduğu konsantrasyon etkisinin vermikompostlama sırasında solucan bünyesinde biriktirilen ağır metal seviyelerinin aşılmasının bir sonucunun olabileceği belirtilmiştir.

Toprak solucanları suda çözünebilir ve ekstrakte edilebilir ağır metal fraksiyonlarını doğrudan bağırsak / deri emilimi ile emer ve okside olabilen veya organik bağlı ağır metal fraksiyonlarını organik madde alımıyla biriktirebilmektedir (Nahmani vd, 2007; Goswami vd, 2016; Suleiman vd, 2017).

Vermikompostlama sırasında oksitlenebilir fraksiyondaki ağır metallerin artışı ile solucanlarda ağır metal birikimini artırılmasında ve vermikompost içerisindeki ağır metallerin azaltılması bakımından önemli bir mekanizma olabilir. Bitkisel atıklar suda çözünebilir ve ekstrakte edilebilir ağır metallerin bir kısmının bağlanmasına bağlı olarak oksitlenebilir ağır metallerin artmasında etkili olabilmektedir. Ayrıca solucan bağırsağındaki metallothionein ve diğer yüksek moleküler ağırlıklı proteinler ağır metallerin birikimine katkıda bulunmaktadır (Goswami vd, 2016)

Solucanlar beslenme yoluyla almış oldukları ağır metallerin bir kısmı dışkılama yoluyla alıcı ortama verilirken bir kısmını ise vücut dokularında birikimi gerçekleştirmektedir (Tessier vd, 1994; Wang vd, 1998). Solucan dokuları yüksek konsantrasyonlarda ağır metalleri barındırabileceği gibi gübrelere daha az miktarda metal içerebilir (Kizilkaya, 2004). Bu durum etkileşimde bulunan topraktaki ağır metal konsantrasyonuna, toprağın fiziksel yapısına, organik madde içeriği gibi faktörlere bağlı olmaktadır (Wang vd, 1998).

He vd. (2016), Ni, As, Cr, Fe ve Pb'nin değiştirilebilir fraksiyonunun azaltıldığını, katkı malzemeleri (toprak, saman, uçucu kül ve talaş) ile vermikompostlama sırasında artmış fraksiyonun arttığını bulmuşlardır. Bununla birlikte, Cu, Cd, Mn ve Zn için, değişebilir artık fraksiyonları artırılmış ve aynı vermikompostlama sırasında indirgenebilir ve oksitlenebilir fraksiyonlar azaltılmıştır.

Toprağın pH'ı, solucanların ağır metal birikimini etkileyen parametrelerden biridir. (Morgan ve Morgan, 1988). Ağır metallerin çözünürlüğü ve toprak pH'ı arasında yakın bir ilişki bulunmakta olup, pH seviyesi düştüğünde solucanların metal birikimi artmaktadır (Herms and Brunner, 1984) Solucanlardaki ağır metal birikimini etkileyen bir diğer faktör ekolojik kategorileridir (Morgan ve Morgan, 1988; Nahmani vd, 2007; Suthar, 2009).

Endojeik tür sınıfına ait solucanlar kadmiyumu epigeic ve anecic solucan türlerine göre daha yüksek oranlarda vücutlarında biriktirirken, anecic türler ise çinkoyu diğer ekolojik kategorilerdeki iki türden daha yüksek oranlarda biriktirebilmektedir. Örneğin, *L. rubellus* türü toprak solucanları bakır kaynaklı kirliliğe *A. caliginosa* türüne göre toleransı daha fazladır. *E. fetida* türü solucanların ise kurşunda en az toksisite gösterdikleri gözlemlenmiştir (Neuhauser vd, 1985).

Toprağın nemi içeriği ağır metalin solucan dokularında birikmesini etkilemektedir (Marinussen ve Van Der Zee, 1997). Temelinde alan kapasitesine yakın nem içeriği solucanlarının aktivitesini arttırarak dokularındaki metal birikim oranını arttırmaktadır. Ayrıca topraktaki yüksek tuzluluk (Chang vd, 1997) ve yüksek orandaki amonyum iyonlarının varlığı (Masciandaro vd, 2002; Kizilkaya vd, 2009) toprak solucanlarının aktivitesini olumsuz etkileyerek metal birikimlerini olumsuz etkilemektedir.

Malińska vd'ne, (2014) göre tarafından yapılan çalışmada ağır metallerin solucanların aktivitesi, büyüme ve üremesini inhibe ettiği gösterilmiştir. Dolayısıyla arıtma çamurunun kompostlanma verimliliğini azaltmaktadır. Solucanların yaşamsal özelliklerin sağlanması için hacim arttırıcı maddelerle (örneğin gübre, talaş tozu vb.) desteklenerek vermikompost dönüşüm oranını arttırılması gerekmektedir (Paul vd, 2019).

## BÖLÜM 5

### KOMPOST VE VERMİKOMPOST

#### 5.1. KOMPOST VE TARİHİ

İnsanlık tarihinde kompostun kullanılması, yaklaşık M.Ö. 9000 tarihine avcılık ve toplayıcılık faaliyeti yapan insanların çeşitli nedenlerle yöneldikleri tarımcılık faaliyetlerinin erken döneminde ortaya çıktığı düşünülmektedir. İlk çağlardan beri insanlar çevresini gözlemlemiştir. Bu gözlemsel değerlendirmelerini günlük hayatta kullanarak yaşam zorlukları aşılmıştır.

Muhtemel olarak insanlar tarafından, hayvan gübresi yığınlarının bulunduğu yerlerdeki verimde artışın yaşandığı gözlemlenerek iki olgu arasında bağlantı kuruldu. Bu durumda kompostlama hakkında bilinçli çalışmaların yapılmasının kapısını araladığı düşünülmektedir. Hayvan gübresinin toprağa uygulanması hakkında ilk yazılı kaynağın, Akad İmparatorluğu'na ait olan kil tabletler olduğu bilinmektedir (Rodale vb, 1960; Roba ve Labriga, 2015). Romalılar, Yunanlılar ve İsrail Kabileleri kompost bilgisine sahip olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır. İncil ve Talmud içerisinde çürütülmüş gübre ile samanının kullanımı hakkında pek çok referans içermektedir. Kompostla hakkında diğer referanslar ise onuncu ve on ikinci yüzyıla ait Arap yazılarında, ortaçağ dönemi kilisesi metinleri ve Rönesans dönemi edebi yazılarda yer almaktadır. William Shakespeare, Sir Francis Bacon, Sir Walter Raleigh gibi pek çok yazar kompost kullanımına değinmiş olup, kompost üretimini destekleyen George Washington, Thomas Jefferson, James Madison ve George Washington Carver gibi önemli insanlar bulunmaktadır (<https://web.extension.illinois.edu/homecompost/history.cfm>, 2019).

Tarım uzmanı Sir Albert Howard, 1905 tarihinde Hindistan'a yolculuk yaptı. Orada 30 yıl boyunca organik bahçecilik ve tarımı inceledi. Howard en iyi kompost yönteminin Indore yöntemi olduğunu keşfetmiştir. 1943 tarihinde Sir Howard, çalışmaları doğrultusunda bir “*An Agriculture Testament*” adlı kitabı yayınladı. Kitap, organik tarım yöntemlerine olan ilgiyi yeniledi ve günümüzün organik tarım ve bahçeciliğin babası olarak tanınmasını sağladı.

J. I. Rodale, Sir Howard'ın çalışmalarını daha ileri taşıyarak Amerikalı tarım faaliyetleri yürütenlere toprağın kalitesini sağlamak için kompostun önemini ortaya koydu. Pennsylvania'da tarım araştırma merkezi ve aylık “*Organic Gardening*” dergisi kurulmasını sağlamıştır (<https://web.extension.illinois.edu/homecompost/history.cfm>, 2019).

Sürdürülebilir atık yönetimi çerçevesinde atıklar işe yaramayan materyaller yerine, ekonomi ve doğaya geri kazandırılmaları mümkün olan hammaddeler olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle geri dönüşüm ve atıkların değerlendirilmesi temel hedef olarak belirlenmiştir. Sürdürülebilir atık yönetimi çerçevesinde doğaya ve ekonomiye kazandırılması gereken materyaller içerisinde tarımsal atıklar da bulunmaktadır. Tarımsal atıklar tarımsal faaliyetler sonucu bitkisel ve hayvansal kökenli atıklar oluşturulmaktadır. Bitkisel atıklar bünyesinde organik madde ve karbonu, hayvansal atıklar bünyelerinde ise azotu yüksek miktarlarda bulundurmaktadır. Ülkemizde yıl içerisinde yaklaşık 160 milyon ton gübre hayvansal üretim faaliyetleri ve yaklaşık 12,8 milyon ton organik atık ise bitkisel üretim faaliyetleri sonucunda oluşturulmaktadır (Başçetinçelik vd, 2006).

Çevreci olan biyolojik arıtma yöntemlerinden biri olan kompostlaştırma dünya çapında yaygınlaşmaktadır. Örnek olarak ABD’de bilhassa 1980 yılının ortalarından itibaren hızlı bir şekilde artış yaşanan evsel kompost tesisleri, 2000 yılında ise 3400 sayısına ulaşmıştır. Sadece bahçecilik faaliyetleri sonucu oluşturulan atıkları kompostlayan hem özel sektör hem de kamu hizmetinde olmak üzere 3 500 tesis çalıştırılmaktadır. Yapılan tahminler göstermektedir ki günümüzde 5 000’den fazla işletilen kompost tesisi bulunmaktadır.

Ülkemizde ise 1968 tarihinde başlatılan kompostlama faaliyeti kapsamında için kurulan tesislerin çoğu kurulu kapasitelerinin altında çalışmakta veya çeşitli gerekçeler nedeniyle kapatılmaktadır. Ülkemizde lisanslı ve aktif bulunan kompost tesislerinin sayısında azalma görülmektedir ( Ergin, 2006; Roda ve Labriga, 2015 ). Kompost tesislerinin verimsiz işletilmesi ve / veya kapatılması hakkında tespit edilen bulgular aşağıda listelenmiştir (Ergin, 2006; Roda ve Labriga, 2015; <http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.html>, 2019):

- Kompost tesisleri için temin edilen ithal ekipmanlar ülkemizin katı atık profiline uygun olmaması, bu durum ise ekipmanların kullanım ömrünü düşürerek verimi azaltmakta ve ithal ekipmanların değişimi bakım masraflarını arttırmaktadır.
- İşletme maliyeti beklenen miktarlardan çok daha yüksek olması, bu durum belediye bütçesi ve / veya sözleşme yapılan şirketlerde baskıya sebebiyet vermektedir.
- Tesis yerlerinin uygun seçilmemesine ek olarak yetersiz yönetim ve denetimi yöre halkının tepkisine sebebiyet vermektedir.
- Büyükşehir Belediyesi Kanununun ardından, ilçe belediyelerinde olan tesis yönetimi büyükşehir belediyelerine verilmiştir. Bu durumdan sonra söz konusu tesisler ve faaliyetlerine, tesis verimleri ve istatistiksel verileri hakkında yeterli bilgiler bulunmamaktadır.
- Teknik ve bilginin yetersiz olması, deneyimli kalifiye eleman olmaması ve yetiştirilmemesi üretilen kompostun kalitesini düşürmüş ve talebin azalmasına sebebiyet vermektedir.
- Ülkemizdeki atık ayrıştırma uygulamalarının gelişmemiş olması, kompost tesislerinin proses akışını bozarak elde edilen kompostun kullanılabilirliğini sınırlandırmaktadır.

Tanım olarak kompostlama, kontrollü koşullar altında mikroorganizmalar ve / veya organizmalar tarafından organik materyalin bozunmaya uğratıldığı işlemdir. Tarım artıkları, hayvan atıkları, yemek artıkları, bazı belediye atıkları ve uygun endüstriyel atıklar gibi ham organik maddeler kullanılmaktadır (Misra ve Roy, 2003).

## 5.2. KOMPOSTLAMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kontrollü bir kompost prosesi için aşağıda belirtilen hususlara dikkat etmek gerekmektedir (Misra ve Roy, 2003; Yıldız vd, 2009; <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting>, 2019). Bu hususlar:

### 5.2.1. Kompost Malzemesi ve Nutrientlerin Dengesi (C:N Oranı)

Kontrollü bir kompostlaştırma için yeşil ve kahverengi organik malzemelerin belli bir dengede kullanılması gerekmektedir.

EPA tarafından belirtildiği üzere yeşil organik malzemeler bünyelerinde büyük miktarlarda azot (N) barındırmaktadır. Bu sınıftaki malzemelere çim kırpıntıları, meyve ve sebze artıkları ve gübre örnek verilebilir. Kahverengi organik malzemeler ise bünyelerinde ve büyük miktarda karbon (C) içeren kuru yapraklar, odun talaşı ve dal parçaları örnek verilebilir (<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting>, 2019).

Kompostlama sürecinde görev alacak mikroorganizmalar enerji elde etmek ve büyümek için karbonu; üremek ve protein sentezlemek için ise azotu kullanmaktadırlar. Bu nedenle karbon ve azotun uygun oranlarda olması önemlidir (Öztürk, 2017). Ortamda yeterli besinin varlığı dengeli bir C:N oranıyla elde edilmektedir. Aktif kompostlama sürecinde besin maddesindeki C:N oranı 15:1-30:1 ayarlanır. Ancak iyi bir kompostlama süreci 20:1-40:1 C:N oranlarıyla da sağlanabilmektedir. C:N oranı 50:1 veya daha yüksek oranlarda kullanılan uygulamalarda mevcuttur. Yüksek azot içeriğinin mevcut olduğu şartlar altında amonyak (NH<sub>3</sub>) veya azot oksit (N<sub>2</sub>O) atmosfere transfer edilir ve bu durum ise koku problemine sebebiyet vermektedir (Rynk vd, 1992; Öztürk, 2017). C:N oranı 25-30 değeri arasında olmalıdır (Sharma vd, 1996; Günay ve Dursun, 2018;). Yapılan bazı çalışmaların neticesinde ise C:N oranının 15-20 değerinde üretilen kompostun kalitesinin iyi olduğu saptanmıştır (Sharma vd, 1996).

Kompost malzemesinin düşük azot içeriğine sahip olması mikroorganizma popülasyonundaki azalmaya sebebiyet vermekte, malzeme içerisindeki karbon ayrışma süresi uzamaktadır (Tchobanoglous vd, 1993). Dolayısıyla kompost malzemesindeki yüksek karbon içeriği kompostlama sürecini yavaşlatarak kompost süresini uzatmaktadır (Graves vd, 2000; Öztürk, 2017).

Samanın içerisindeki karbonu mikroorganizmalar odunsu maddelere kıyasla daha kolay kullanabilmektedirler. Bir diğer örnek ise dirençli selülozik formdan meydana gelen mısır koçanları ile bazı bitki saplarının biyolojik bozunma çok yavaş olmaktadır. Bu duruma neden olan olay ise, odunsu malzemenin bünyesinde barındırdıkları biyolojik bozunmaya direnç gösteren lignin bileşiklerinin yine odunsu malzemesinin bünyesindeki organik maddelerle bağlı bir yapıda olmasıdır (Öztürk, 2017).

Lignin bitkinin kök ve gövdedeki odunsu yapıyı meydana getiren madde olup, suyu geçirmeme özelliği gösteren yapıya sahiptir. Selüloz çeperlerinin üstünde ölü hücrelerin birikmesiyle olumsuz çevre koşullarından korumaktadır (Martinez vd. 2001). Lignini ayrıştırabilen bakteri veya mantarların mevcut karbon oranını arttırabilir, kompostlama sürecini hızlandırır ve azot kaybını azaltabilir (Misra ve Roy, 2003).

### **5.2.2. Malzemenin Parçacık Boyutu**

EPA tarafından belirtildiği üzere kompost malzemelerinin öğütülerek, ufaltılarak veya parçalanarak mikroorganizmaların etkileşime gireceği yüzey alanı arttırılmaktadır. Malzemelerin küçük parçalar haline getirilmesiyle daha homojinize kompost edilir. Ancak malzemenin boyutu gereğinden fazla küçükse, yığına verilen havanın akışına olumsuz etki yaratabilir (<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting>, 2019). Ayrıca oksijenli kompost prosesinde malzemenin yüzey alanının arttırılması ile mikrobiyal aktivite ve biyolojik bozunma hızı arttırılabilmektedir.



Kompostlama prosesi için kullanılan parça büyüklüğü 5 cm'den daha azdır (Tchobanoglous vd, 1993; Rynk vd, 1992)

### 5.2.3. pH

Mikroorganizmalarda dahil canlıların hayatlarını sürdürmeleri için pH önemli bir faktördür. Kompost malzemesi içerisinde optimum bozunmayı sağlamak için pH aralığı 6.5-8 değerleri arasında olmalıdır (Rynk vd, 1992; Vanlalawii ve Awasthi, 2016). Kompost ortamının bakteriyel faaliyet için pH'ın 6.0-7.5 değerleri arasında; fungal faaliyet için ise 5.5-8.0 değerleri arasında bulunması gerekmektedir (Vanlalawii ve Awasthi, 2016).

Ortamın pH değerinin sekizin üstü değerlere ulaştığında ortamda amonyak gazı oluşarak atmosfere verilmektedir (Rynk vd, 1992; Misra ve Roy, 2003). Kompostlamanın ilk safhalarında organik asitlerin oluşması ortam pH'ını düşürebilmektedir. Eğer ortamda amonyak üretimi gerçekleşirse pH artabilmektedir.

### 5.2.4. Nem İçeriği

EPA tarafından belirtildiği üzere yeterli miktarda nem kompost yığını içerisinde yaşayan mikroorganizmaları hayatta tutmak için gerekli etmenlerden biridir. Su, organik atıktaki besin maddelerinin mikroorganizmalara ulaştırılmasını sağlayan temel unsurdur (Gaves vd. 2000; Meenembaal vd, 2003; Misra ve Roy, 2003 <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting>, 2019) . Genel olarak kompost uygulamalarında için % 40-65 arasında nem içeriği önerilmektedir (Gaves vd, 2000; Baldwin ve Geenfield, 2006; Öztürk, 2017).

Malzemenin içindeki nem içeriği % 15 değerinin altında olduğu şartlarda biyolojik aktivite durduğu gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin % 40 değerine yaklaştığı şartlarda kompostlama yavaşlamaktadır. Nem içeriği % 65 değerini aşan şartlarda ise malzeme parçaları arasındaki gözenek boşlukları su barındırır. Oksijen yerine su içerdiğinden oksijen azalarak anaerobik koşullar ortaya çıkmasına neden olur (Öztürk, 2017). Bu

durum, komposttaki besin maddelerinin süzülmesiyle mikrobiyal aktivite azalmasına ve biyolojik ayrışmanın yavaşlamasıyla sıcaklığın azalmasına neden olmaktadır. Ancak, malzemenin emiciliğine ve gözenekliliğine bağlı olarak % 65 değerinden fazla nem içeriği kabul edilebilmektedir (Rynk vd, 1992).

Ayrıca organik atığın bünyesinde belli bir miktar nem içerdiği gibi gerekli durumlarda yeterli nem yağış veya sulama ile sağlanabilir ya da fazla nem eklenecek kuru malzemelerle (saman, odun talaşı gibi) nem kontrolü sağlanabilir (Öztürk 2017; <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting>, 2019).

### **5.2.5. Havalandırma**

Aerobik mikroorganizmalar için oksijen kompostlama süreci içerisinde canlılıklarını korumaları için önemli bir faktördür. Aerobik koşulların devamlılığı için için kompost malzemesinde bulunan gözenek boşluklarının oksijen konsantrasyonu minimum % 5 değerinde olmalıdır (Gaves vd, 2000; Öztürk, 2017; <http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.htm>, 2019).

Havalandırmanın diğer etkileri ise aşırı ısınmayı veya soğumayı önler, su buharını ve diğer gazları kütlelerini yığın bünyesinden uzaklaştırır (Misra ve Roy, 2003).

Yeterli oksijenin olmadığı şartlarda, anaerobik ortam şartları şekillenmektedir. Anaerobik ortamda farklı mikroorganizma formları ve bu farklı mikroorganizma formlarının biyokimyasal reaksiyonları gelişmektedir. Anaerobik bozunma ile oluşan ara ürünler hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), metan (CH<sub>4</sub>), organik asitler, karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ve diğer maddeler olarak sıralanabilir. Anaerobik bozunma ürünlerinin çoğu ağır kokulu özelliğinden dolayı kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca anaerobik bozunma aerobik bozunmaya kıyasla daha yavaş ve verimi azdır (Öztürk, 2017). Kompost yığınının gözenekliliği ve nem içeriği havalandırmayı etkilemektedir.

### 5.2.6. Sıcaklık

Mikroorganizmalarda dâhil olmak üzere organizmaların canlılıklarını sürdürmeleri için özel bir sıcaklık aralığına sahip ortamda bulunmaları gerekmektedir. Bazı sıcaklık aralıkları hızlı kompostlama sürecini hızlandırır ve kompost yığınındaki patojenleri ve yabancı ot tohumlarının canlılıklarını sonlandırmaktadır (Misra ve Roy, 2003). Yüksek sıcaklığa maruz kalan kompost malzemesi içerisindeki selüloz, protein, karbonhidratların ve yağ gibi besin maddelerinin bozunması hızlanmaktadır. Ancak bazı yüksek sıcaklık değerleri mikroorganizmaların hayatı fonksiyonlarını olumsuz etkilediğinden besin maddesinin bozunması engellenebilmektedir (Rynk vd, 1992).

Kompostlama süreci mezofilik ve termofilik olarak adlandırılan iki sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Kompostlaşmanın ilk aşamasında 20–45 ° C sıcaklık aralığı ideal olup, kompostlama sürecinde termofilik mikroorganizmalar hakim olduğunda, 50-70 ° C sıcaklık aralığı ideal olabilmektedir (Misra ve Roy 2003; Tchobanoglous vd, 1993). Eğer yığın çok sıcak ve su kaybı fazla ise (nem içeriği % 40'ın altında), kompostta kendiliğinden yanma gerçekleşebilir (Öztürk, 2017).

Kompostlamanın ilk aşamasında, kompost yığını içerisindeki karbonhidratların, yağların ve proteinlerin biyolojik bozunması mezofilik bakterilerle birlikte aynı ortamda yer alan mantarlar aktinomisetler ve mayalar ve diğer tarafından gerçekleştirilir. Protozoonlar tarafından bakteri ve mantarlar besin kaynağı olarak kullanılmaktadır (<http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.htm>, 2019).

Sıcaklık koşullarının 30 °C dereceye ulaşana kadar kompost ortamında küf mantarları, nematodlar, protozoonlar ve bakteriler aktif görev almaktadır. 30-40 °C derece aralığına sahip ortamlarda aktif olan organizmanın aktinomisetler olduğu gözlemlenmektedir ve kompost yığınında topraksı koku meydana gelmektedir. Aktinomisetlerin ürettiği antibiyotik etki gösteren maddeler patojenleri ortadan kaldırmaktadır. Kompost ortamının 40-50 °C dereceye ulaştığı şartlar altında kompostlama sürecini başlatmış organizmaların hemen hemen tamamının yaşamı sonlanmaktadır. Ortamda 70 °C derece sıcaklık seviyesine kadar dayanıklı ve ısı

üretebilir özelliğe sahip termofilik bakteriler hakim olmaktadır. 40-50 °C seviyesindeki sıcaklıklarda bulunan bakteri ve aktinomisetler kompost içerisinde bünyesinde bulunan zorlukla parçalanabilen bazı maddelerin parçalanmasını sağlayabilirler. 60-70 °C sıcaklık meydana gelen kompost bölgelerinde hemen hemen çoğu patojenik özellik gösteren organizmalar 1-2 saat içerisinde yaşamını yitirmektedir. Kompost içerisindeki termofilik bakterilerin besleneceği besini tüketmeleriyle ısı üretmeyi durdurmaktadırlar. Böylece soğuyan kompost içerisinde ölü bakterilerle birlikte son kalan besin maddelerini kullanan mantar ve aktinomisetler çoğalmaktadır (<http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.htm>, 2019).

Bölüm 3’de değinildiği üzere, iz element sınıfında yer alan bazı metaller canlıların beslenmesinde ve yaşamını sürdürmesinde hayati öneme sahiptir. Kompost içerisinde de toksik etkiler yaratan elementlerin (Cu, Pb veya Zn gibi) bulunması halinde, toprağa uygulanması sonucu çevre üzerinde meydana gelebilecek olumsuz söz konusu olmaktadır. Toprakta söz konusu elementlerin konsantrasyonu aşırı arttığında, toprakla etkileşimde olan bitkilerin büyümesini ve gelişmesini olumsuz etkileyebilir ve besin zincirine dâhil olarak insan ve hayvan sağlığını etkileyebilmektedir (Kabata-Pendias ve Pendias, 1984; Barral ve Paradelo, 2011;). Özellikle kentsel atıklar kullanılarak üretilen bazı kompost tipleri önemli riskler barındırmaktadır. Arıtma çamurlarındaki metal kayakları insanların beslenme alışkanlığı ve atıksu kanal sistemindeki korozyonlardan kaynaklanabilmektedir (Topal ve Topal, 2013)

### **5.3. KOMPOSTLAMA TÜRLERİ**

Dünya çapında uygulanmakta olan farklı kompostlama modelleri mevcuttur. Genellikle açık ve kapalı sistemler olmak üzere iki kısımda incelenmekte olup; faaliyette kullanılan makine/ekipmana ve işletme şartlarına göre bünyesinde dallara ayrılmaktadır. Aşağıda yaygın olarak uygulanan kompostlama sistemleri verilmiştir (Yıldız vd, 2009).

- Pasif ya da açık yığında kompostlaştırma,

- Çevirmek, karıştırmak ve işlemek için yükleyici iş makinaları kullanarak yapılan aktarmalı yığın kompostlaştırma,
- Özel aktarma makinaları kullanarak yapılan aktarmalı yığında kompostlaştırma,
- Delikli borular kullanarak yapılan havalandırılmalı statik yığında kompostlaştırma,
- Reaktörde kompostlaştırma,
- Bahçe tipi kompost

#### **5.4. VERMİKÜLTÜR, VERMİKOMPOST VE TARİHİ**

Vermikompost veya vermikültür terimleri latince kökenli olan “vermes” kelimesinden türetilen ve solucanlar anlamına gelmektedir (Sinha vd, 2002; Dominguez ve Edwards, 2004). Vermikompost organik malzemenin stabilize edilmesi için toprak solucanı ve bir takım mikroorganizmalar organik materyali stabilize etmek için vermikompost süreci boyunca birlikte çalışmakta olup, termofilik aşamayı içermemektedir.(Dominguez ve Edwards, 1997; Suthar, 2009)

Kompostlama sürecinde organik malzemenin biyolojik olarak bozunması mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilirken, toprak solucanları ise, besini şartlandırma ve biyolojik bozunmayı başlatmaktadır (Suthar, 2009). Vermikültür solucan yetiştiriciliği ve ya kültürel ortam içerisinde solucanların çoğaltılması ve bu kapsamda yapılan yan eylemler şeklinde tanımlanabilmektedir.

Toprak solucanları 600 milyon yıldır ekosistem mühendisleri olarak faaliyet göstermektedir (Sinha vd, 2010). Dünya üzerinde antik Mısırlılar, toprak solucanın toprak üzerine etkilerini tanıyan ve tarım ekonomisi çerçevesinde önemi bilinen ilk kültürlerden biridir.

Kleopatra'nın yönetimi altında (M.Ö. 69-30), toprak solucanları yeryüzünün kutsal varlıkları kabul edilmiş ve Mısır'da solucanlara zarar verilmesi veya ihracatının yapılması halinde, ilgili kişilerin idamına sebep gösterilebilecek bir suç niteliği taşımaktaydı (Hosaad 2009). Mısır ve Hindistan'daki subtropikal bölgelerde, Nil ve

İndus Vadisi'nde yaşamış antik uygarlıkların başarısı, alüvyon süreci nedeniyle toprağın dinamik olarak yenilenmesi ve kısmi olarak toprak solucanlarının faaliyeti sonucu bereketli toprakların meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır (Yadav, 2014). Aristoteles (M.Ö. 300) tarafından “toprağın bağırsakları” tanımını kullanarak toprak solucanları tarafından organik maddenin zengin humus veya kompost formuna dönüştürüldüğü vurgulanmıştır. Charles Darwin'in 39 yıllık süreçteki toprak solucanları üzerinde yapmış olduğu inceleme sonucunda “Saban insanlığın en eski ve en kıymetli icatlarından biridir, fakat daha insan toplumu ortaya çıkmadan çok önce bile toprak solucanları tarafından düzenli olarak sürülmüştür” açıklamasıyla tarım ve ekosistem için solucanların önemini vurgulanmıştır.

Kırmızı Kaliforniya solucanı, ABD'de 1950'li yılların sonunda Thomas Jason Barrett tarafından organik atıkların miktarının azaltılmasını hızlandırmak için yetiştirilmiştir. Thomas J. Barrett, Amerika Birleşik Devletleri'nde endüstriyel vermikompostlamanın kurucusudur (Edwards, 2011). Türkiye'deki vermikompost üretimi hakkında çok az veri bulunmaktadır. Vermikompost üretimi 2011 yılından sonra başlamıştır. 2017 yılında ortalama katı vermikompost üretimi, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı'nın resmi üretim izni olan 15 tesis tarafından üretilen yaklaşık 20000 tondur. Resmi olarak onaylanan işlemlere ek olarak, Türkiye'de yaklaşık 4200 izinsiz vermikompost üreticisi bulunmaktadır (Bellitürk, 2018). Türkiye'de 23.02.2018 tarihli ve 30341 sayılı resmi gazetede yayınlanmış “Tarımda Kullanılan Organik, Mineral Ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik” kapsamında vermikompost ürünü standartları düzenlenmiştir.

Toprak solucanı, atık materyal bünyesinde faydalı ayrıştırıcı bakterilerin çoğalmasını teşvik etmekle birlikte, bulunduğu ortamdaki atık materyaline havalandırıcı, öğütücü, karıştırıcı ve biyolojik uyarıcı etkilere sahiptir.

Toprak solucanlarının sindirim sisteminde (taşlık ve bağırsaklarında) salgılanan birtakım enzimlerin (proteaz, lipaz, amilaz, selüloz ve kitinaz) yardımıyla organik atık materyal bünyesindeki selülozik ve proteinli maddelerin hızlı biyokimyasal dönüşümünü sağlanmaktadır (Hand, 1988). Solucanın taşıdığı ve bağırsakları biyoreaktör gibi çalışmaktadır. Bu organlarda öğütülen ve kimyasal sindirime

uğrayan materyalin % 5-10'luk bir kısmı solucan tarafından özümsemektedir. Özümsemeyen kısmı ise vermikastingler adı ile bilinen nitrat, fosfat ve potasyum oranı yüksek mukus kaplı granül agege şeklinde vücut bünyesinden uzaklaştırılır (Agarwal 1999). Atık materyal içinde aktif olarak dolaşma ve öğütme faaliyetleri sonucunda materyal hacmini azaltmaktadırlar (Dominguez ve Edwards, 1997). Komarowski (2001) tarafından Avustralya'da solucan kompostlama yöntemi uygulanarak yılda 13 000 metre karelik depolama alanının azaltıldığına değinilmiştir. Dolayısıyla vermikompost çevre sağlığı açısından uygun ve düşük maliyetli bir atık yönetimi sağlamaktadır (Banu vd, 2001; Asha vd, 2008).

## **5.5. VERMİKOMPOST ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Kaliteli bir vermikompost üretimi için toprak solucanlarının yaşam koşullarını ve farklı abiyotik ve biyotik faktörlere karşı tepkilerini bilmek önemlidir. Bu faktörler aşağıda listelenmiştir.

### **5.5.1. Yatak Malzemesi**

Yatak malzemesi, toprak solucanlarının ihtiyaç duyduğu yaşama ortamını sağlayan materyaldir. Yatak malzemesi aşağıdaki özellikleri barındırmalıdır (Namlı vd, 2016).

#### **5.5.1.1. Yüksek Oranda Emicilik**

Toprak solucanları deri solunumu yaptıklarından ötürü nemli ortamları tercih etmektedir. Dolayısıyla yatak malzemesinin suyu iyi bir şekilde emmesi ve tutması gerekmektedir.

#### **5.5.1.2. Yüksek Hacim Kazanma Potansiyeli**

Yatak malzemesi çok yoğun yahut sıkışık ise, malzeme içerisindeki hava akışı azalabilir veya tamamen kesilebilir. Malzemenin parça boyutu, şeklinin çeşidi, yapı ve dayanıklılığı gibi unsurlar malzemenin genel gözenekli yapısını etkilemektedir.

Bahsedilen etkiye ise, malzemenin hacim kazanma potansiyeli olarak adlandırılmaktadır.

### **5.5.1.3. Düşük Protein Ve/Veya Azot İçeriği (Yüksek Karbon: Azot Oram)**

Toprak solucanları buldukları yatağı tükettiklerinden ötürü yavaş parçalanması önem taşımaktadır. Yüksek oranda protein/azot içeriğine sahip olan malzeme hızlı parçalanmaya ve kompost ısısının yükselmesiyle ölümlere sebebiyet verebilmektedir. Vermikültür veya vermikompost içerisindeki besin katmanlarında ısınma güvenli olabilir ancak yatak malzemesindeki ısınma için bu durum geçerli olmamaktadır.

*E. fetida* türü toprak solucanları için mükemmel yatak malzemesi; iyi nem tutma, yüksek oranda C:N ve yüksek hacim kazanma özelliklerini barındırması gerektirmektedir. Genel olarak iyi vermikompost prosesi için uygun yatak malzemelerinin karıştırılması önemlidir. İyi yatak malzemesi karışımları aşırı sıcaklık değişimlerinden koruma, gerekli olan nem ve yeterli oksijen sağlamaktadır.

### **5.5.2. Nem İçeriği**

Toprak solucanlarının hayatta kalabilmesi ve gelişimi için ortamın yeterli düzeyde nemli olması gerekmektedir. Solucanlar deri solunumu yapmaları nedeniyle nem içeriği önemlidir. Reinecke ve Venter (1985) tarafından, düşük nem koşullarında bulunan solucanlarda büyüme oranının düştüğü ve cinsel gelişimin geciktiği belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından inek gübresi ortamında *E. fetida* türü solucanlar için optimum nem oranının % 70'in üzeri değerde olduğu belirtilmiştir. Ancak Dominguez and Edwards (1997) tarafından ise, *E. andrei* türü solucanın domuz gübresi ortamında, % 80-90 değerlerinin en iyi nem içeriği aralığı olmasına ek olarak, % 85 değerinin en iyi nokta olduğu belirtilmiştir.



### 5.5.3. Havalandırma

Toprak solucanları anaerobik koşullara karşı oldukça hassas canlılardır. Solunum hızları düşük oksijen konsantrasyonlarının bulunduğu ortamlarda yaklaşık olarak %55-65 oranında (Edwards ve Bohlen, 1996) azalır ve bu duruma bağlı olarak beslenme azalmaktadır. *E. fetida* türü solucanlar oksijenin tükendiği, karbondioksit ya da sülfür birikmiş ortamlardan göç ettikleri raporlanmıştır (Dominguez ve Edwards, 2004).

Farklı ekolojik kategorilerde bulunan solucan türleri toprağın farklı derinliklerinde bulunmaktadır. Bu nedenle her solucan türünün vermikompost üretiminde aynı başarıyı gösteremeyeceği sonucuna varılabilir. Sert kış şartlarında meydana gelen yüzey donmalarında yığın materyali içindeki suda bulunan oksijen sayesinde hayatlarını sürdürürler. Solucanların hareket aktiviteleri ile toprağın havalandırılması gerçekleşmektedir. *E. fetida* türü solucanların kompostlamada kullanıldığında yığın yüksekliği kompost ortamının havalandırılmasını sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir (Namlı vd, 2016).

### 5.5.4. Sıcaklık

Toprak solucanları sıcaklık değişim durumlarına karmaşık tepkiler göstermektedir. Genel olarak toprak solucanları 15-25 °C arası değerlerdeki sıcaklığın büyüme için gerekli olduğu belirtilmiştir (Dominguez ve Edwards, 2004). Edwards (1988) tarafından yapılan bir çalışmada, *E. fetida* türü solucanların optimum sıcaklığın 25 °C ve sıcaklık toleransının ise 0-35 °C arası değere sahip olduğu belirlenmiştir.

10 derecenin altındaki sıcaklığa sahip ortamlarda bulunan solucanların beslenmesi durmuş ve ya azalmıştır. 4 altında ise, genç solucanların kokon üretimi ve gelişimi olumsuz etkilenmiştir (Edwards ve Bohlen, 1996). Sert mevsimsel koşullarda toprak solucanları kış uykusu ya dakorunma amacıyla toprağın daha derin katmanlarına hareket etmektedir.

30 °Cdeğerinin üzerinde seyreden sıcaklıklarda gözlemlenen olumsuz etkiler doğrudan olmamaktadır. Aşırı sıcaklıklar besindeki kimyasal ve mikrobiyal aktiviteyi arttırmakta, artan mikrobiyal aktivitenin ise solucanlar üzerinde olumsuz etkisi olmaktadır. Ayrıca sıcaklığın artması ile oksijen seviyeside azalmaktadır (Dominguez ve Edwards, 2004).

### **5.5.5. pH**

Toprak solucanlarının 4.5'ten az pH değerine sahip ortamları terk ettikleri belirtilmiştir (Edwards ve Bohlen, 1996). Epigeik kategorideki toprak solucanları pH'a nispeten toleranslı canlılardır. Kompost ortamının pH'ının 5 değerine sahip materyale doğru hareket ettikleri gözlenmiştir (Dominguez ve Edwards, 2004).

Birçok araştırmacı solucanların 7 ya da biraz daha yüksek seviyedeki pH'ı tercih ettikleri belirtilmiştir. En ideal yaşam ise ortamın 7.5-8 arası pH değerinde olduğu bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Besin maddesi veya kompost yatağı asidik düzeydeyse pH 7'den de aşağı değerlere düşebilmektedir. Dolayısıyla kurt gibi zararlı böceklerin malzeme içerisinde gelişmesine neden olabilmektedir. Bu gibi durumlarda ortamın pH'ı, kalsiyum karbonat miktarının artırılmasıyla yukarı seviyelere çıkartılabilmektedir. pH'ın aşağı seviyelere düşürülmesi gerektiği nadir şartlarda kompost ortamına yosun gibi asidik malzemeler eklenebilir. (Namlı vd, 2016).

### **5.5.6. Amonyak ve Tuz İçeriği**

Toprak solucanları amonyağa karşı hassasiyet göstermektedir. Taze kümes hayvanı gübresi gibi yüksek amonyak içeriğine sahip atıkların oluşturduğu ortamlarda olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca yüksek oranlarda inorganik tuz barındıran organik atıklarda olumsuz etki yapmaktadır. Amonyak ve inorganik tuzlar için sınır değer, <1 mg/g amonyak ve <0.5 tuz şeklindedir (Dominguez ve Edwards, 2004).

### 5.5.7. Besin İçeriği

Vermikompostlama ile kompost üretiminde yararlanılan organik atık yelpazesi oldukça fazladır. Bu organik atıklardan bazıları atık su arıtma (Neuhauser vd, 1988) faaliyetleriyle oluşturulan katı atıklar, kağıt, bira ve mantar endüstri (Butt, 1993) sırasında oluşturulan atıklar/artıklar, şarap üretimi sırasında oluşan cibre vb., pamuk üretim faaliyetleri atıkları, kabuklu yemiş atıkları, şeker üretimiyle oluşan pancar atık posaları ve parçaları (Bellitürk, 2016), manav, restoran ve evsel atıklar (Edwards vd, 1985), tavşan, domuz, büyükbaş ve küçükbaş hayvanları ve at (Edwards, 1988a) yetiştirme faaliyetleri sırasında oluşturulan hayvansal atıklar, park ve bahçe atıkları, tarımsal üretim sonucu oluşturulan bitki atıkları, gıda ve kağıt endüstrisi atıkları kullanılabilmektedir.

Kanatlı hayvanlardan elde edilen gübreler içerdiği yüksek amonyak sebebiyle vermikompost faaliyetlerinde çok fazla tercih edilmemektedir. Bu durumun temel nedeni ise amonyağın solucanlar üzerinde zehir etkisinin olmasıdır (Tchobanoglous vd, 1993). Bellitürk (2016) tarafından, yalnızca sığır gübresiyle üretilen vermikomposttaki organik madde içeriğinin diğer materyaller ile hazırlanan vermikompostlara kıyasla % 44 daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Kaliteli bir vermikompost elde etmek için önemli diğer etken ise solucan mamasının uygun olarak hazırlanmasıdır. Uygulanacak solucan mamasının önceden fermantasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Fermantasyon işlemi ile organik materyalin ön ayrışması yapılmaktadır. Ayrıca termofilik parçalanma ve zararlı patojenik unsurlar ortadan kaldırılmaktadır (Bansal ve Kapoor, 2000). Et, kan, kemik, hayvansal yağlar ve süt ürünleri içerdikleri yüksek oranda protein nedeniyle ayrışırken anaerobik şartları tetikleyerek pH düşüüne ve koku problemlerine neden olmaktadır. Narenciye, soğan ve sarımsak artıkları kompost ortamının pH'ını düşürerek asidik şartların oluşmasını sağlamaktadır. Solucanlar tuzluluğa karşı aşırı hassas canlılardır ve tuz oranı yüksek besinlerin mama içerisine katılmaması önerilmektedir. Odunsu bitkilerin artıkları parçacık boyutları ufaltılarak ve ön işleminden geçirilerek üretim dizaynına göre belli dozlarda uygulanmalıdır. Solucanların en çok tercih ettiği besinler arasında kahve ve çay posası , kabak, elma,

muz kabuğu gibi meyve artıkları, yumurta kabuğu ve sığır gübresi yer almaktadır. Antibiyotik kullanan hayvanlardan elde edilen gübreler ve böcek ilacı kalıntısı barındıran gıda artıkları da solucanların hayati aktivitelerini inhibe edebilmektedir.

Son yıllarda biyochar kompost ve vermikompostlama çalışmalarında kullanılmaktadır. Biyocharın toprak kirleticilerinin biyodegradasyonu ve ya immobilizasyonu üzerindeki olumlu etkilere sahiptir. Yüzeyinde metalleri ve organik kirleticileri immobilizasyonunu sağlamaktadır. Biyochar toprak sera gazı emisyonlarını oldukça azaltmaktadır. Uygulandığı topraktaki besin kayıplarını azaltır ve toprak karbon mineralizasyonunu tetiklemektedir. Ayrıca hücre dışı enzimler, biyocharın stabilizasyon potansiyeli nedeniyle uzun süreli aktif halde kalmaktadır (Sanchez-Hernandez vd, 2019). Biyochar havalandırmayı sağlaması, sıcaklığı, mikrobiyal biyokütleyi artırması ve nitrifikasyonun yoğunluğunu düzenlemesi gibi özelliklerinden dolayı kompostlama sürecinde önemli olmaktadır (Wu vd, 2019).

Vermikompostlama faaliyetlerinde biyocharın uygulanması ise solucan üreme potansiyelini arttırmakta ve substratın vermikompost bünyesine daha verimli bir şekilde dâhil edilmesine katkıda bulunmaktadır (Malinska vd, 2016).

Biyochar uygulaması ile yapılan vermikompostlama sonucu elde edilen “vermichar” adı ile tanımlanan yan ürün üretilmektedir. Böylece charın üzerinde mikrobiyal aktivite arttırılmış ve solucanlar biyocharın yüzeyindeki adsorpsiyonunu kolaylaştırabilme yeteneklerinin olduğu belirlenmiştir (Sanchez-Monedero, 2018).

Zhao vd, (2016) tarafından, kompost ve ya vermikompost uygulamaları sırasında kullanılan biyocharın, kanalizasyon çamuru digestatının olumsuz özelliklerini azaltabilmekte, düşük C/N oranını değiştirebilmekte ve kompostta tatmin edici yapı ve gözeneklilik kazandırılmasına katkı sağlayabilmektedir. Tehlikeli hammaddelerin vermikompostlanması sırasında metal biyoyararlanımındaki artış, biyochar yüzeyinde gerçekleşen metal immobilizasyonu dengelenebilmektedir. Ancak tehlikeli materyallerin kullanımı ile (örneğin, kanalizasyon çamurları) biyochar bünyesinde biriken yüksek konsantrasyonlarda toksik kimyasallar ile tehlikeli koşullar oluşabilir (Sanchez-Hernandez vd, 2019).

## 5.6. VERMİKOMPOSTLAMA SİSTEMLERİ

Vermikompost üretiminde yığın sistemi ve sürekli akış sistemi vasıtasıyla pek çok yöntem kullanılabilir. Genellikle kullanılan ya da kullanılacak olan yöntemler aşağıda verilmiştir (Namlı vd, 2016):

### 5.6.1. Küçük Yataklarda Üstten Besleme İle Vermikompost Üretimi

Bu tip vermikompost üretim faaliyetleri sandıklar ya da kasalar kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemle yapılan vermikompost üretimi ticari üretim için uygun bir yöntem değildir. Genellikle küçük yataklar için genişliğin 1 metre, uzunluğun 2 metre ve yüksekliğin 30 santimetre olması tavsiye edilmektedir. Kompostlama kabının (kutu, kasa ya da sandık) zeminine bitki atığı ya da parçalanmış kâğıt yerleştirilmesinin ardından üstüne solucan yataklığıyla birlikte kompost solucanları eklenmektedir. İyi bir kompost ortamı için yatak türü ve miktarı önemlidir. Vermikompost üretiminin sağlanması ve kompost solucanlarının beslenmesi için üste azar azar taze besin ilavesi yapılmaktadır. Az miktarlarda ve düzenli besleme yapıldığında sürekli yüzeye doğru hareket eden solucanların amacı taze besinlere ulaşmaktır. Böylece üretilen vermikompost alt kısımlarda kalmaktadır. Dolayısıyla kompost kabının alt kısmında hareketli sistemin yerleştirilmemesiyle sistemin altında biriken kompostun alınımı zor olmaktadır. Sistemin alt kısmında birikmiş olan vermikompostun alınması için kompost solucanlarının diğer kompost kaplarına transfer edilmesi gerekmektedir. Bu vermikompost yöntemi daha çok evsel atıkların değerlendirilmesi amacıyla ya da hobi olarak vermikompost üretimini gerçekleştirmek isteyenlere yöneliktir. Kasa sistemiyle vermikompost üretiminde; katmanlar prensibiyle tasarlanmış kasaların alt kısımlarında hareketli sistem mevcut olup, alt kısımda birikmiş vermikompost solucanların yapay transfer edilmesine gerek kalmadan alınmaktadır. Dolayısıyla iş gücü azaltılır ve kompost solucanları strese sokulmaz. Profesyonel vermikompost (ticari işletmeler) üretiminde kullanılan yerden yüksek yataklarda da aynı mantıkla üretim gerçekleştirilmektedir. Hazır kasaların kullanılmadığı durumda alt kısımda gereğinden fazla suyun drenajını sağlayacak yeterli deliklerin bulunması ya da kasanın alt tarafının delikli telden üretilmiş olmasına dikkat edilmelidir.

Alt kısmı tel örgülü kasaların kullanıldığı üretimlerde; Kasanın alt kısmı kontrplak ile kapatılır. Solucan yatağına solucanlar ve az miktarda besin eklenir. Alt seviye doldurulduktan sonra, üzerine ikinci kasa konulur ve solucan yatağı besin bu kasaya eklenir. İkinci kasa doldurulduğunda aynı işlem üçüncü kasa için yapılır. Böceklerin uzaklaştırılması ve nemin tutulması için kasalar kapak ile kapatılabilir. Üçüncü kasa doldurulduğunda ilk kasada zengin tamamlanmış vermikompost kalmış olmalıdır. Birinci kasada sadece birkaç solucan kalmalı, onlarda sisteme geri eklenmelidir. Birinci kasa tekrar en üste yerleştirilerek yayak malzemesi ve besin ile doldurulmalıdır ve böylece işlem tekrar edilir.

Kompost solucanları buldukları kasadaki besini tükettikçe üzerindeki doldurulan kasaya yer değiştireceklerdir. Böylece alt seviyelere ait kasalarda solucanlar azalacak, solucan dökümleri (vermikompost) kalacaktır.



Şekil 5.1. Vermikompost kutusu görünümü (<https://www.epa.gov/recycle/how-create-and-maintain-indoor-worm-composting-bin>, 2019)

### 5.6.2. Zemin Yataklı ve Sıralı Yığınlar Halinde Vermikompost Üretimi

Doğrudan toprak üzerine açık alanlardaki sıralı yığınlar halinde veya toprak zemininden derinliği 50-60 santimetre, genişliği ise 2,4 metre boyutlarında kazılmasıyla oluşturulan yataklarda vermikompost üretim teknikleri ticari olarak vermikompost üretim faaliyeti arasında yer almaktadır. Vermikompost faaliyetinde sıralı yığınlar halinde uygulanması toprağın kazılarak oluşturulduğu yataklarda ya da

arazinin boyutlarına göre yığınların uzunluğu ayarlanmaktadır. Üretimin toprağın üzerinde gerçekleştiğinden ötürü, kompost solucanlar düzenli beslendiği takdirde buldukları yığını terk etmemektedir. Kompost yığınlarının toprak ile teması gerçekleştiğinden ötürü toprak bünyesindeki doğal olarak varlığını sürdüren solucan ırklarıyla kompost solucanları çiftleşebilmekte ve meydana gelen yeni oluşan solucan generasyonunun vermikompost üretmesi azalabilmektedir.

Açık alanda uygulanan üretim faaliyetlerinde yığınlara serilen organik malzemenin nem içeriği buharlaşma ya da sızıntı olayları nedeniyle hızlı değişimler gözlenebilmektedir. Dolayısıyla bu tip vermikompost üretim faaliyetlerinde ortam neminin dikkatlice kontrol edilmelidir.

Vermikompost yığınları oluşturulurken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

**1.** Kompost yığınlarının karıştırılması gerekmemekte olup, düzenli sulanıp yığın üzeri kapatılmalıdır. Kompost ortamında nem içeriğinin %70 değerinin üstü olan şartları tercih eden solucanlar %60'ın altındaki değerlerde gelişim gösterememektedirler. Ayrıca kompost yığınlarının nemi korunması için kapatılabilir. Kompost yığınları oluşturulurken kullanılacak malzemenin çok ıslak olduğu durumlarda, yığının iyi kaplanmasıyla üretimin tamamlanması için yeterli nem tutulmuş olacaktır. Üretimin yeterli yağış olan bölgede yapıldığında, kaplama malzemesi olarak halı kullanılarak kompost malzemesinin bünyesine nemin girişi sağlanmış olur. Yağışın yeterli olmadığı durumlarda plastik kaplama malzemeleri tercih edilmesiyle nemin uzun zaman korunması sağlanır.

**2.** Sert kış olaylarının yaşandığı bölgelerde küçük ölçekli vermikompost çalışmaları denenmelidir. Sert kış olaylarının yaşandığı bölgelerdeki yığınlarında bulunan solucanlar, kış şartlarına dayanabilmekte ve bahar aylarında tekrar yığınlara dönmektedir. Bu şartlardaki bölgelerde ilk olarak pahalı ve büyük ölçekte denemelerin kurulmasından kaçınılmalıdır. Ancak bu bölgelerde ilk basta pahalı olmayan bir okekte denenmelidirler. Hasır gibi yalıtkan kaplama malzemeleriyle bir yere kadar yığınları korunmaktadır. Yüksek azot içeriğine sahip besinlerin kullanımı sert kış şartlarında bile iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

3. Azot takviyesini çekinmeden uygulanabilir. Solucanların çekilebileceği alanlar olması şartıyla (örnek olarak besinsiz 20 cm derinliğinde yatak temeli gibi) kompost karışımına azot içeriği yüksek besinler eklenebilir. Azot içeriği yönünden zengin malzeme, sıcaklığı yüksek tutarak kış kartlarında solucanların sıcak kalmasına olanak sağlamaktadır. Sıcaklık seviyesinin düzenli olarak aldığında solucanlar buldukları konumdan azot açısından zengin kısımlara doğru yer değiştirirler.

### **5.6.3. Beton veya Plastik Yataklı Havuzlarda Vermikompost Üretimi**

Açık alanda yapılan üretimin toprağın üzerinde gerçekleştiğinden ötürü, kompost solucanlar düzenli beslendiği takdirde buldukları yığını terk etmemektedir. Kompost yığınlarının toprak ile teması gerçekleştiğinden ötürü toprak bünyesindeki doğal olarak varlığını sürdüren solucan ırklarıyla kompost solucanları çiftleşebilmekte ve meydana gelen vermikompost üretim verimi düşük yeni solucan jenerasyonunun engellenmesi ve açık alanlardaki kompost yığınlarının buharlaşma gibi olaylar ile nem içeriğindeki dalgalanmaların önlenmesi için beton ya da plastik malzemeden imal edilmiş havuzlarda ve kompost yığının direk olarak güneş ışığına maruz kalmayacak şekilde üzerinin kapatılması sağlanarak vermikompost üretim faaliyetinin gerçekleştirilmesidir. Bu tip üretimde küçük yataklarda üstten beslemeyle üretime benzerlik göstererek solucanların beslenmesi ve kompost üretimi için üst kısımdan düzenli beslenme yapılmaktadır.

### **5.6.4. Sürekli Akış Reaktörleri İle Yerden Yüksek Yataklarda Vermikompost Üretimi**

Vermikompost üretim faaliyetinde kompost solucanları genel olarak yüzey kısma yakın yaklaşık 10-15 cm arasındaki alanda vermikompost oluşumunu gerçekleştirmekte ve zaman içerisinde yataklardaki yığının alt taraflarında oluşumunu tamamlamış vermikompost birikmektedir. Bu sistemde de solucanlar üstten beslenerek, solucanların taze besine yönelmelerini sağlayarak alt kısımlarda biriken vermikompost toplanmaktadır. Günümüzde sağlanan teknolojik gelişmelerin sayesinde tamamen otomasyon sistemleri kullanılarak solucanların üst kısımdan beslenmesi ve alt kısımlarda biriken vermikompostun toplanması gerçekleştirilir Bu



durum işletme için tesis maliyetini artırmaktadır ve işgücünü azaltmaktadır. Taze solucan besin malzemesi üst kısımdan otomatik olarak yapılmakta ve vermikompost sistemin alt kısmına konumlandırılmış ızgaradan hidrolik prensipte çalışan mafsalı kol vasıtasıyla çıkarılmaktadır. “Sürekli akış” ifadesi solucanların yatak içerisinde rahatsız edilmediğinin bir ifadesidir. Bu tip sistemlerde kompost malzemeleri yukarıdan dâhil edilip reaktör boyunca (solucanların bağırsakları dâhil) akarak alt taraftan çıkışı ( genel olarak *E. fetida* türü solucanlar yüzeyde beslenmekte ve dışıklarını sistemin alt kısımlarına bırakmaktadır) gerçekleşmektedir. Düzgün olarak yönetilen 0.3 m yüzey alanına sahip olan sürekli akış ünitesi günlük 2-3 ton organik atık işlemektedir.

## **5.7. TOPRAK SOLUCANLARININ HASAT EDİLME YÖNTEMLERİ**

Vermikompostun üretiminden sonra solucanların bünyesinden ayrılmasına vermikompost hasadı olarak tanımlanmakta olup, üretim ölçeğine göre aşağıda belirtilmiştir (Namlı vd, 2016):

### **5.7.1. Elle Hasat**

Genellikle hobi amaçlı vermikompost faaliyetleri veya küçük ölçekli işletmelerde uygulanmakta olan yöntemdir.

Vermikompost bünyesinden solucanların direkt el ile ayıklanması, ya da toplanması faaliyetini içermektedir. Ayıklama solucanların ışıktan kaçması durumundan yararlanılarak da yapılabilmektedir. Yataklar bünyesinden alınan vermikompost ve solucan karışımı yaygı serilen zemin üzerine dökülür ve piramit formuna getirilir. Daha sonra yığın 20-25 dakika civarında ışığa maruz bırakılmaktadır. Bu süreç içerisinde yığın içerisindeki solucanlar yığının merkezine doğru yer değiştirmektedir. Sonrasında, yığın üzerindeki vermikompost katmanı solucan gözükene kadar ayrılır. Bu işlem ince bir kompost katmanında yumak halini almış solucanlar gözükene kadar. Kalan solucan topluluğu bir kaba aktarılır ve sisteme geri transfer edilir ya da diğer sektörlerde değerlendirilmek üzere tartılır ve yönlendirilir.

### **5.7.2. Pasif Göç**

Pasif göç yönteminin temelinde solucanlar için uygun olmayan ortamdaki yeni besin maddeleri bulmak ya da daha iyi çevresel koşullara (nem, ışık gibi) sahip bölgelere geçme davranışlarını esas almaktadır. Pasif göç yönteminde meyve kasaları ya da soğan filesi gibi malzemeler kullanılmaktadır. Yatak içerisinde olgunlaşan vermikompost toplanmadan asgari 10 gün öncesinde son olarak solucanların beslenmesi gerçekleştirilir ve bir müddet aç bırakılır.

Bünyesindeki deliklerin solucanların rahatlıkla geçebileceği boyutta olan çuval gibi torbalara solucanların sevdiği kavun kabuğu, elma ya da kivi gibi besin maddeleri yerleştirilir. Daha sonra besin doldurulan torba yatağın köşesine gömülümü gerçekleştirilir. Birkaç günün sonunda solucanların buldukları konumdan torba içerisine yer değiştirdikleri gözlemlenir. Göç aşaması tamamlandığında yatak bünyesindeki torba çıkarılır ve toplanan solucanlar amaca yönelik değerlendirilir.

### **5.7.3. Mekanik Hasat**

Çok daha hızlı, teknik ve kolayla vermikompost bünyesindeki solucanları ayırmak için büyük ölçekli işletmelerde uygulanan mekanik bir hasat yöntemidir. Sistem eleme tamburundan mekanik toplayıcıdan ve 2,5-3 metre uzunluğa, çapı ise 60-90 santimetre arası olan döner silindirden meydana gelmektedir. Silindir duvarları, farklı boyutlarda elek malzemelerinden oluşur. Silindirin uç kısmına monte edilen bir elektrik motoru vasıtasıyla silindir döndürülür. Eleme tamburu açılır. Dönmekte olan tamburun yukarı kısmından solucan ve yatak karışımı dökülür. Silindirin dönüşüyle yataklar paravandan aşağıya hareket eder. Solucanlar, ise tamburu bastan başa dolaştıktan sonra aşağı kısımdan toplama kabına aktarılır.

## **5.8. TOPRAK SOLUCANLARININ KULLANIM ALANLARI**

Solucanların tıbbi alanda kullanımına ilişkin bilgiler M.S. 1340 yılına kadar uzanmaktadır (Reynolds ve Reynolds, 1973).

Solucan dokuları kullanılarak elde edilen ekstraktlar birçok hastalığın tedavi edilmesinde kullanılmaktadır. Elde edilen solucan ekstraktlarının antioksidant, antikanser, antibakteriyel ve iltihap sökücü özelliği olan makromolekülleri barındırdığı yapılan birçok çalışmada saptanmıştır (Gdiša vd, 2013). Burma ve Hindistan'da alternatif tıbbi uygulamaları gerçekleştiren halk hekimleri solucanları kullanmaktadır. Burma'da solucanlar külleşme gerçekleşinceye kadar kapalı bir kap içerisinde ısıtılmaktadır. Solucan külleri, diş tozu olarak kullanılabilen ya da içerisine kavrulmuş demir hindi tohumları ve tembul fındık karıştırılarak lezzeti değiştirilebilmektedir. Ayrıca Burma'da solucanlar suda bekletilerek elde edilen sıvı içerisine çiçek hastalığı olan kişinin banyosu yaptırılarak uygulanan tedavi yöntemi mevcuttur.

İran'da ise solucanlar, mesane taşının boyutunu azaltmak ve ya düşürmek için ekmek ile pişirilip tüketilmiştir. Solucan külleri gül yağı eklenerek saçların uzaması amacıyla saçlara uygulanmıştır. Delaware'in Nanticoke Kızılderilileri, romatizma ağrısında uygulanan bir ilaçta solucan kullanmışlardır. Biyokimyacı araştırmacıların solucanların lipitleri üzerine yaptıkları araştırmalarda terapötiklere giren solucan yağ asitlerini keşfetmişler ve bilim adamları tarafından solucanlardan bronşiyal özelliğe sahip dilatasyon maddesi izole edilmiştir. Bu çalışmalar Kızılderililer'in keşiflerini tıbbi inançlarında bilinçli olarak uygulandığını göstermektedir (Reynolds ve Reynolds, 1973).

Anadolu'da pek çok halk hekimi tedavilerinde solucanları kullanmışlardır. Bu uygulamalardan bazıları, Adana bölgesinde mantar enfeksiyonlarının tedavisi için solucanlar kullanılmaktadır (Özgen, 2007). Manavgat yöresinde kızıl (kızamık) hastalığı gelişen yeni doğanlarda solucanlar çocuğa ait bir beze yerleştirilir ve kına eklenerek bebeğin göbeğinin üzerine yerleştirilir (Göreç, 2019). Zehirlenme olaylarında, tülbentte yedi çift bir tek solucan tuz ile ezilir ve elde edilen su hasta kişiye içirilmektedir (Saylan ve Saylan, 2016) Beyağaç köyü civarlarında meydana gelen gaz zehirlenmelerinde solucanlar ezilip elde edilen su hastaya içirilmektedir (Dinç, 1971). Ayrıca deri keşiği ve derin yaralanma olaylarında, yara üzerine ölü solucan koyularak temiz bezle sarılmaktadır. Batı Visayas yerlileri tarafından kanın

inceltilmesi amacıyla kullanılan solucan püresinden elde edilmiş ekstraktın kan pıhtılaşma etkisi olduğu saptanmıştır (Guerrero, 2006).

Japon bilim adamı tarafından 1986 yılında “lumbrokinaz” adlı enzimin izole edildiği ve bu enzimin insankan dolaşımındaki kan pıhtılarını çözme etkisinin olduğu belirlenmiştir (Guerrero, 2006).

Afrika, Güney Amerika, Japonya, Çin, Papua Yeni Gine ve Yeni Zelanda yerlileri tarafından gıdalarında kullanılmıştır (Guerrero ve Guerrero 2006). Son yıllarda, Batı Avrupa ve Güney Doğu'daki bazı ülkeler konserve solucanlar, mantar-solucanlar ve solucan bisküvileri ve ekmek gibi çeşitli solucan ürünleri üretmiştir. Solucanlar yapıları gereği protein ve çeşitli amino asit içeriği bakımından zengin canlılardır. Solucan yemeği kuru ağırlık bakımından % 54,6-59,4 oranında protein içeriğine sahiptir (Sun ve Jiang, 2017).

Amino asit bileşimi ve protein içeriği bakımından solucanlar balık unu, inek sütü ve soya küspesinden daha iyi değerlerdedir. Solucan yemeğinin ham yağ içeriği % 7,34 civarındadır. Solucan proteini serbest amino asitlere kolaylıkla hidrolize olmaktadır. Hidrolize edilmiş solucanlarla elde edilen vücut sıvılarında litre başına % 9,34 oranında protein ve serbest amino asit içeriği 78,73 mg oranında bulunmaktadır. Ayrıca solucanlar yüksek vitamin ve mineral içeriğine sahiptir. Bu durumdan dolayı gıda kaynaklarının sınırlı olması durumunda insan beslenmesi için önemli hayvansal kökenli protein kaynağı olması muhtemel olmaktadır (Sun ve Jiang, 2017).

Solucan unu hayvan yemi olarak kullanılmakta olup, yüksek oranlarda protein ve uygun aminoasit ve yağ asitleri barındırmaktadır. Canlılar üzerinde kilo aldırma etkisi bulunan solucan ununun ek takviye olarak da kullanılabilir. Solucan unu kültür balıkları başta olmak üzere diğer hayvanlarda kullanılabilir. Karabulut (2016), kültür ortamından temin edilen 37 adet canlı durumdaki kırmızı Kaliforniya solucanının üzerindeki toprak kalıntıları ve 28°C sıcaklıkta sindirim içeriğinden arındırıldıktan sonra 105°C'de kurutma kurutma işlemine tabi tutulmuştur. 8,51 g yaş solucanın kurutma işlemi ile 1,24 g solucan unu üretilmiştir.

Akvaryum ve ya balık çiftliklerinde canlı veya kuru olarak solucanlar besin olarak kullanılabilir.

## 5.9. VERMİKOMPOSTTUN ÖZELLİKLERİ

Vermikompostun özellikleri ise aşağıda verilmiştir: (Tavuç ve Özçelik, 2014)

- Yapısında barındırdığı yüksek oranda faydalı mikroorganizma, uygulandığı toprakta bulunan zararlı mikroorganizmaları baskılayarak zararlı etkilerini ortadan kaldırmaktadır.
- Tamamıyla kokusuzdur.
- Zararlı mikroorganizmalar tarafından hastalanmış olan bitkilerin iyileşmesini sağlamaktadır.
- Kimyasal ilaç ve gübreler ile verimliliğini kaybetmiş ve çoraklaşmış olan toprakların hızla canlanmasını, iyileşmesini sağlamaktadır.
- Toprağın yapısını düzenleyerek su tutma kapasitesini arttırmaktadır
- Aşırı kuraklığa ve don olaylarına karşı bitkinin köklerini korumaktadır
- Dikilen fidanların tutma yüzdesini arttırmaktadır
- Yapısında bulunan humik ve fulvik asit ile bitkilerde köklendirmeyi arttırmaktadır
- Topraktaki etkisi 1-3 yıl arasında devam etmektedir
- Yüksek su tutma kapasitesinden dolayı sulama miktarını azaltmaktadır
- Tamamen organik atıklardan üretildiği için yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını, atmosferi ve toprağı kirletmemektedir.
- Üretilen gübrenin diğer organik gübreler gibi eskitilmesine gerek yoktur.
- Vermikompost tamamen organik ve hiçbir şekilde kimyasal madde içermemektedir.
- Bitkilerde 2-3 hafta erkencilik sağlamakta ve ürün verimini arttırmaktadır.
- Üretilen ürünlerin raf ömrünü arttırmaktadır.
- Vermikompost ile yetiştirilen bitkiler daha canlı renklere sahip olmaktadır.
- Toprağın yapısını gevşeterek köklerin büyümesine ve gelişmesine destek olmaktadır.

- Toprak solucanları buldukları malzemeyi havalandırdığından, oksijence doymun vermikompost üretimi gerçekleşir.
- Aşırı kimyasal gübre ve tarım ilacı kullanımdan kaynaklanan toprak kirliliğinin etkilerini ortadan kaldırır.
- Klasik gübrenin uygulanmasından sonraki yanma ile bitki kökleri zarar göremektedir. Vermikompost bu olasılığı içermemektedir.
- Vermikompost bünyesinde zararlı ot tohumu, parazit yumurtaları, bitkiyi hasta eden mikroorganizmalar barındırmamaktadır.
- Vermikompostun içyapısı gereği besin maddelerini sulama ve yağmur suyuna karışmamaktadır. Dolayısıyla yeraltı suları korunur.

## 5.10. VERMİKOMPOSTUN GELENEKSEL KOMPOSTTAN FARKLI TARAF LARI

Vermicompost ürünü ideal gözenekli, havalandırılmış, iyi drenaj ve nem tutma kapasitesi olan ince yapılı özelliğe sahip bir malzemedir. Vermikompost uygulandığı toprakta dengeli mineral özelliği sağlar ve bitkilerin topraktan besin kullanılabilirliğini kolaylaştırmaktadır (Dominguez ve Edwards, 1997).

Düşük teknolojili vermikompost sistemleri küçük ölçekli çiftliklerde veya hayvancılık faaliyeti gösteren işletmelerde kolaylıkla uyarlanabilen ve yönetilebilen sistemlerdir (Dominguez ve Edwards, 1997).

Dominguez ve Edwards (1997) tarafından yapılan laboratuvar çalışmaları vermikompostlama süreci yüksek oranlarda patojenik mikroorganizmaları azaltması bakımından kompostlamadan farklı olmadığını ortaya koymaktadır. Ancak kompostlama sürecinde termofilik aşamanın patojenik mikroorganizmaları ortadan kaldırdığı kabul edilmektedir. Ancak yapılan çalışmalar vermikompostlama sürecinde patojenik mikroorganizmaların azaldığı saptanmıştır.

Bitki büyümesine olumlu özellikleri olan rizosferik bakterileri (*Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azotobacter* vb.) toprak solucanlarının sindirim sistemlerindeki ideal mikro ortamlardan geçerek aktifleşmekte ve çoğalmaktadır.

(Sinha vd, 2010). Antibiyotikler, flüoresan pigmentleri, sideroforlar ve fungal hücre duvarı bozundurucu enzimler, yani, kitinaz ve glukanaaz gibi maddeler simbiyotik bakteriler tarafından üretilerek fungal büyüme baskılanmasında önemli etkisi olmaktadır ( Wang vd, 2006; Ravindra vd, 2008; Pathma ve Sakthivel, 2012).

Tutar (2013) tarafından yapılan çalışmada vermikompostun (*Eisenia fetida* türü kullanılarak) etanol ve kloroform solventleriyle hazırlanan ekstraları, bitkilerde hastalık yapıcı etkisi olan patojenik 9 adet bakteri ve 9 adet fungus türüne karşı etkisinin saptanması için “disk difüzyon” ve “MIC” testleri yapılmıştır. Sonuç olarak toprak solucanlarındaki enfeksiyonlara direnç gösteren immun sisteminin dolaylı olarak etkileşimde oldukları bölgedeki pek çok toprak kaynaklı olan bitki patojeni bakteri ve funguslar üzerinde etkili olabileceği gözlemlenmiştir.

Konveksiyonel kompostlamada aktif faz süresini oluşturan termofilik aşama organik atığın yapısal özelliğine ve kompost kontrol parametreleri (havalandırma ve sulama) gibi faktörlere bağlı olmaktadır. Vermikompost sürecinde ise organik atığın özelliği itibariyle toprak solucanlarının atığın taze ayrışmayan katmanlarına ilerlemesi ve mikrobiyal bozunmada aktif faz sürecinde etkilidir. Bu nedenle aktif faz süreci toprak solucanının türüne ve komposttaki yoğunluğuna, mikrobiyal faaliyetin yoğunluğuna ve toprak solucanlarının kompost materyali alım hızına bağlı olmaktadır (Dominguez ve Edwards, 1997).

Kompostlama sürecinde havalandırma ve karıştırma mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri için önemli unsurdur. Vermikompostlama sürecinde ise toprak solucanları doğaları gereği kompost materyali içinde hareket ettiklerinde havalandırma gerçekleştirilir.

Kompostlama süreci mezofilik sıcaklarda başlayıp termofilik sıcaklıklarda tamamlanırken vermikompostlama mezofilik sıcaklık aralıklarında gerçekleşir. Mezofilik safhayı içeren vermikompost, termofilik komposta kıyasla daha kısa sürelerde olgunlaşmakta olup, ürün ve işlem yönünden iyi sonuçlara ulaşabilmektedir (Dominguez vd. 1997).

Vermikompost ürünü kompost ürününe kıyasla daha yüksek azot, fosfor ve potasyum oranlarına sahiptir. Ayrıca vermikompost fiziksel yapısı itibariyle besi maddelerini bünyesinde daha uzun süre muhafaza etmektedir ve bitkiler besi maddelerini vermikompot malzemesinden daha kolay temin etmektedir (Sinha vd. 2010).

Kompost sürecinde anaerobik şartların oluşması ile koku problemleri meydana gelebilmektedir. Vermikompost sürecinde toprak solucanları materyali karıştırarak homojen olarak havalandırılmasını sağlamaktadır.

Kompostlama sürecinde ağır metaller ve antibiyotik maddelerin varlığı mikroorganizmaları inhibe edici unsurlar arasındadır. Ancak toprak solucanlarının ekotoksositeye dirençli canlılardır ve bulunduğu ortamları iyileştirmektedirler.

Klasik kompostlama sırasında organik ksenobiyotiklerin bozulmasına yol açarken, hacim ve hacim azalması nedeniyle ağır metaller konsantrasyonlarını yoğunlaştırabilmektedir (He vd, 2016). Bu nedenle, ağır metallerin hareketsiz hale getirilmesi veya uzaklaştırılması, gübre veya toprak değişikliği olarak kanalizasyon çamurunun geri dönüşümü için çok önemlidir (Wu vd, 2018). Vermikompostlama organik kirleticilerin bozunmasında ve ağır metallerin arıtma çamuru içerisinden uzaklaştırılması bakımından etkili olduğu kanıtlanmıştır (Gupta vd, 2005; Rosińska ve Karwowska, 2017; Khan, 2019) .

Wu vd, (2018), tarafından Cd, Pb ve Zn'nin oksitlenebilir fraksiyonlarının (esas olarak organik olarak bağlı fraksiyon dahil) bitki atığı ile yapılan kompostlarda artması, katkı bitki atığı ile yapılan vermikomplastlarda ise azaldığına değinilmiştir.

Toprak solucanına ait ağır metal biriktirme kapasitesi, ağır metallerin toprak solucanlarını üzerinde göstereceği toksisite, ağır metal türü ve toprak solucanın ekolojik kategorisi gibi faktörlere bağlı olarak, solucanın vücut dokularındaki ağır metal birikimi oranı değişkenlik göstermektedir (Kara vd, 2016).



Vermikompostlama ortamı için % 70 ile % 90 oranında nem içeriğine gereksinim duyulurken (Edwards, 1995), kompostlama ortamı için % 40 ile % 60 oranında nem içeriğine sahip olmalıdır (Golueke, 1991).

Vermikompostun değerli olmasındaki temel sebeplerden biriside, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin elementlerinin çözülmüş ve basit formda bünyesinde barındırması ve bitkilere faydalı etkileri bulunan bakteri, fungus gibi pek çok mikroorganizmayı barındırmasıdır. Solucanların sindirim faaliyeti sonucunda dışarı atılan solucan dökümlerindeki mikro besin elementleri kolloidal formda bulunduğundan topraktan bitkiye kolaylıkla geçişi sağlanır. Vermikompostunun içerisindeki organik bileşikler bitkilerin hormon aktivitesini hızlandırarak hastalıklara karşı direnci kuvvetlendirmektedir. Bu duruma ek olarak, simbiotik ve asimbiotik azot bağlacı işlevleri bulunan bakteriler bulunduğundan, toprağın azot kazancını yükselmektedir (Karaçal ve Tüfenkçi, 2010).

Solucanlar beslenirken, buldukları ortamdaki patojen özellikteki bakterileri, nematodları, pek çok yabancı ot tohumu ve mantarlarında tüketimini gerçekleştirmektedirler. Bu duruma ek olarak solucan sindirim sisteminden geçirilen zararlı maddelerin birçoğu imha edilmektedir. Solucanların sindirim sisteminde salgılanan maddeler etkileşim halinde olduğu ortamda bulunun birçok zararlı canlının yapısını bozmaktadır. Yapısı bozulan zararlılar farklı mikroorganizmalar tarafından hızlıca tüketilebilmektedir. Solucan mukusuyla kaplanan besin elementleri toprağa yavaşça salınmaktadır. Dolayısıyla toprağın besin elementlerinin kaybını azaltmaktadır (Yüksek vd, 2019).

Yağmur vd, (2015) tarafından, vermikompost, uygulandığı toprağa besinleri yavaş salınımlı şekilde transfer etmesi ve toprağa sağladığı olumlu fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileri nedeniyle son zamanların en rağbet gören organik gübre konumunda olduğuna değinilmiştir

Vermikompostlama, diğer kompost sistemlerine kıyasla daha kaliteli ürünün elde edilmesine olanak sağladığı ve stabilize edilmiş bir ürün olduğu belirtilmiş olup, bitkilerin besin alımını kolaylaştırdığı belirtilmiştir (Suthar, 2009).

Malzeme miktarına ve parça boyutuna göre değişmekte olup, vermikompostlama kompostlamaya kıyasla daha kısa sürelerde organik gübre elde etmeye olanak sağlamaktadır.

*Eisenia fetida* türü toprak solucanları vermikompostlama için kullanılan yaygın türdür. Raymond vd. (1985) tarafından *Dendrobaena veneta*, *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* ve *Pheretima hawayana* türü solucanların farklı sıcaklıklar altında (10, 15, 20, 25, 30 ve 35°C) gelişimleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan torak solucanı türlerinde en iyi büyüme ve üreme 20-25 ° C arası değerlerinde gözlemlenmiş, beş türün büyümesi, 30 ° C sıcaklıkta azalmış ve 35 ° C sıcaklıkta ölüm gözlemlenmiştir. Ayrıca beş solucan türü içerisinde E. *fetida*, 20 haftalık çalışma sonucunda en fazla yavru üreten tür olduğu gözlemlenmiştir.

Selladurai vd, (2009)'a göre, vermikompost prosesi zararlı arıtma çamurlarının besin açısından zengin, toksik içermeyen materyale dönüşmesi için potansiyel bir teknoloji olabilir, ayrıca belediye atık yönetimine yeni bir biyolojik yaklaşım sağlamaktadır.

## **5.11. VERMİKOMPOSTLAMA VE VERMİKOMPOST UYGULAMALARI HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Arancon vd, (2004) 4,2 m<sup>2</sup>'lik sahada 5 ve ya 10 ton/ha miktarlarında vermikompost uygulamaları yapılarak çilek (*Fragaria ananasa*) bitkisinin gelişimi ve verimi incelenmiştir. Çalışmada kullanılacak vermikompostun analizi doğrultusunda vermikompost ilave edilmiş araziler için önerilen toplam toplam azot, fosfor ve potasyum oranlarını elde etmek için ilave olarak uygun miktarda inorganik gübre vermikompostta eklenmiştir. Elde edilen karışım uygulanacak alanın 10 cm derinliğine nakil edilmiştir. Her bir yatağa yirmi dört bitki, üç sıra halinde ve bitkiler arasında 38 cm aralıklarla ekilmiştir. Sonuç olarak yetiştirilmiş çilek bitkisinin yaprak alanında ve bitki kök biyokütlesinde % 37, çiçek oluşumunda % 40 ve pazarlanabilir meyve miktarında % 35 oranlarında artışların meydana geldiği bildirilmiştir.

Azarmi vd, (2008) vermikompostun toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkisi domates (*Lycopersicum esculentum*) tarlasında incelendiği çalışmada; 4 gup olarak toprağın 15 cm derinliğine farklı miktarlarda (0,5, 10, 15 t/ha) *Eisenia fetida* türü toprak solucanıyla üretilmiş koyun gübresi vermikompostu uygulanmıştır. Domates yetiştirilen uygulama topraklarındaki 3 aylık süreç sonunda 15 t/ ha oranında uygulanan örneğin kontrol örneğine kıyasla fiziksel yapısının (yoğunluk ve toprak gözenekliliği gibi) pozitif yönde değişim gösterdiği ve organik karbon, toplam azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, çinko ve mangan içeriğinde artış meydana geldiği saptanmıştır. Çalışmanın bir diğer sonucu ise vermikompost uygulanan toprağın uygulanma yapılmayan toprağa göre daha fazla tuzluluk ve pH seviyesinde azalma saptanmıştır.

Atiyeh vd, (2000) *Eisenia andrei* türü toprak solucanın taze inek gübresi üzerindeki biyokimyasal değişikliğinin değerlendirildiği çalışmada, 2500 g taze inek gübresi 8 adet deney kabına koyulmuş ve 4 adedin her birine 250 (yaklaşık 65 g) solucan eklemiş diğer kaplar ise solucansız kontrol olarak kullanılmıştır. Deney ortamı  $24 \pm 2$  ° C'de 4 ay boyunca sürdürülmüştür. Deney süreci sonucunda solucanların pH'ı ve gübrenin nemini azalttığı belirtilmiştir. Ancak tüm deney kaplarında C: N oranı aşamalı olarak 36'dan 21'e düşmüştür. Ayrıca solucan aktivitesi ile mikrobiyal biyokütlenin azalmış, amonyum azotunun nitrata dönüşümü artmıştır. Araştırmacılar tarafından vermikompostun büyükbaş hayvan gübresine kıyasla bitkinin gelişimi hususundaki etkilerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Küçükyumuk vd, (2014) mikorizan (bazı bitkiler ile simbiyotik özelliğe sahip mantar) ve vermikompostun ayrı ayrı ve karıştırılarak biber bitkisinin gelişimi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, mikoriza ( 0, 1 ve 2 g saksı<sup>-1</sup>) ve vermikompost dozları ( 0, 2.5, 5 ve 10 g saksı<sup>-1</sup>) uygulanmıştır. 44 günlük deney sürecinden sonra biber bitkisi içerisindeki besin elementi, biber bitkisi yaş ve kuru ağırlıkları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda mikoriza ve vermikompost kullanımının değerlendirilen parametrelere pozitif etkisinin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca en yüksek doz mikoriza ve vermikompost kullanılarak hasat edilen biber bitkisinin daha fazla gelişme göstererek ve daha fazla besin elementi içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Zaller, (2007) turba alternatif olarak vermikompostun uygulanabilirlik potansiyelinin araştırıldığı çalışmada, turba % 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 (v/v) oranlarında vermikompost eklenerek domates bitkisinin biyokütle miktarı, elde edilecek ürünlerin verimi, pazarlanabilir ürün kalitesi ve çimlenme süresi üzerine etkisi incelemiştir. Deneydeki 3 çeşit içerisinde 2'si % 100 oranında turba uygulanması sonucu erken çimlenme göstermiş, 1'inde ise % 100 oranında vermikompost uygulanmasıyla erken çimlenmiştir. Sonuç olarak vermikompost uygulamasının bitki gelişimi ve biyokütlesi üzerine olumlu etkilerinin olduğu saptanmıştır.

Sönmez vd, (2011) kış dönemi içerisinde ve açık tarla şartları altında yapılan çalışmada, 100 kg/da<sup>-1</sup> ile 200 kg/da<sup>-1</sup> vermikompost dozları, 1500 kg/da<sup>-1</sup> ile 3000 kg/da<sup>-1</sup> ahır gübresi dozları ve kontrol materyali kullanılarak toprağın verimliliğine, ıspanak bitkisinin gelişimi ve verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak 3000 kg/da<sup>-1</sup> ahır gübresi daha etkiliyken, vermikompostlu denemelerde kontrole kıyasla önemli artışların meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca ıspanak bitkisinin demir içeriği ve ekim toprağının kalsiyum içeriği 200 kg/da<sup>-1</sup> vermikompost dozu uygulanarak en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar uygulanan vermikompost dozlarının yeterli olmadığı ve daha iyi sonuçlar için uygulanan vermikompost dozlarının yükseltilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Harstenstein ve Mitschell, (1978) tarafından aerobik veya anaerobik koşullarda oluşturulan arıtma çamurunun solucan aktivitesine etkisinin araştırıldığı çalışmada anaerobik şartlarda olgunlaştırılan arıtma çamurunun *Eisenia fetida* türü toprak solucanları üzerinde akut toksisitesinin bulunduğu belirtilmiştir.

Contreras-Ramos vd, (2005) tekstil endüstrisi ve evsel atıksularından oluşturulmuş arıtma çamuruyla yulaf samanı ve ahır gübresinin belli oranlarda elde edilen karışımlarının *Eisenia fetida* türü toprak solucanları kullanılarak elde edilen vermikompost kalitesi USEPA standartlarına uygunluğunun değerlendirildiği 2 aylık inkübasyon çalışmasında, karışımların metal içeriklerinin USEPA standartlarına uygun olduğu saptanmış olup, inkübasyon süresi sonunda bazı karışımlardaki kimyasal özellikler için stabilitenin sağlanamadığı belirlenmiştir. USEPA

standartlarına uygunluğa ve stabiliteye sahip karışımın içeriğinin 200 g yulaf samanı, 1400 g arıtma çamuru ve 200 g ahır gübresi olduğu saptanmıştır.

Zhi-wei vd, (2019) farklı oranlarda pirinç kabuğu ve mutfak atığının 20-25 ° C derecede ve % 45'in altındaki nem koşullarında 45 günlük vermikompostlamanın yapıldığı çalışmada, fosfor ve potasyum içeriğinde önemli artışların meydana geldiği ve TOK ve TN içeriklerinde azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Solucanların büyüme oranı (*Eisenia foetida*) tüm karışımlarda elde edilmiş olup, solucan büyümesi için en uygun karışım oranının pirinç samanı / mutfak atık için 3/2 değerinde olduğu ve aşırı mutfak atığı içeriğinin solucanların büyümesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirtilmiştir.

Paul vd, (2019) epigeik solucanlar ile sebze atığı, talaş tozu ve inek gübresinin vermikompostlanması sırasında farklı miktarlardaki biyochar dozunun kompostlama ve ağır metaller üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, sonuç olarak biochar uygulanması, elektriksel iletkenliği, azot içeriğini, NO<sub>3</sub>-N ve besin değerini arttırmış olup CO<sub>2</sub> üretiminin azaltılmış olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından ağır metallerin biyochar uygulanması nedeniyle gelişen organik materyalin parçalanması sırasında immobilizasyonun sağlandığı belirtilmiştir.

Ananthavalli vd, (2019) önceden ayıklanmış farklı türdeki yosunlar ile inek gübresinin (1:1) oranında elde edilen karışımların *Perionyx excavatus* türü toprak solucanı ile 60 günlük uygulanan vermikompostlama çalışmasında, vermikompostun pH'ında düşük oranlarda azalma gözlenirken, elektrik iletkenliğinde önemli bir artışın meydana geldiği belirtilmiştir. Toplam NPK içeriği solucan kontrole göre vermikompostta artış meydana gelmiştir. Vermikompostlardaki toplam mikrobiyal popülasyon, tüm deniz yosunu ve inek gübresi karışım kombinasyonlarının başlangıçtaki durumuna kıyasla önemli ölçüde yüksektir. *Perionyx excavatus* türünün deniz yosunu ve inek gübresi kombinasyonları içerisinde büyümesi ve çoğalması ve bu karışımların besin açısından zengin vermikompostta dönüştürülmesi için uygun şartların olduğu saptanmıştır.

Atmaca, (2012) vermikompostun fide (domates ve hıyar) yetiştirmeciliği üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışma, fideleri organik ve konvansiyonel şekilde sadece torf, sadece vermikompost ve farklı oranlarda vermikompost dozlarıyla elde edilen karışımlar ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar üç dönemde (2 bahar ve 1 sonbahar) yapmıştır. Fide yetiştiriciliğindeki bazı kalite değerlerindeki farklılığın yetiştirme dönemine, yetiştirme sistemine ve tre bağlı olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda üç dönem içerisinde konvansiyonel domates fidesi üretimi için sadece vermikompost uygulanarak oluşturulan grupta en dşuk fide boyu elde edilirken, organik fideler için ilkbahar çalışmalarında torfa kıyasla vermikompost karışım uygulamalarında daha yüksek değerde bitki boyunun elde edildiği gözlemlenmiştir. Yüksek oranda vermikompostun sonbaharda domates ve ilkbaharda ise hıyar için daha yüksek oranlarda bitki biyokütlesi elde edilmiştir. Vermikompost oranlarının artışı paralel olarak kök biyoktlesinide arttırmıştır

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre ve Enerji Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışma vermikompostlama, solucanların hasat edilmesi, solucanların bünyelerindeki ağır metalin analiz ettirilmesi ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi olarak 4 aşamada planlanarak yürütülmüştür.

#### 6.1. MATERYAL

Bu çalışmada, ağır metal içeriği zengin atık su arıtma çamuru oluşturan demir-çelik sektörü atık su arıtma çamuru, kompostlama verimi en yüksek türler arasında olan *E. fetida* türü toprak solucanı ve yardımcı malzeme olarak deneylerde ahır gübresi, odun talaşı ve atık çay posası kullanılmıştır.

##### 6.1.1. Vermikompost Uygulamasında Kullanılan *Eisenia fetida* Türü Toprak Solucanı

Çalışmada kullanılması planlanan *Eisenia fetida* türü solucanlar Zonguldak ili, Ereğli ilçesinde vermikompostlama faaliyeti gösteren bir firmadan yaklaşık olarak 500 adet temin edilmiştir. Solucanlar besi ortamı ve solucan mamasıyla birlikte plastik bir kutuda getirilmiştir. Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre ve Enerji Laboratuvarında karanlık ve 20-25 °C sıcaklığa sahip ortamda muhafaza edilmiştir.

##### 6.1.2. Vermikompost Uygulamasında Kullanılan Atıksu Arıtma Çamuru

Solucanların bünyelerine ağır metal alımlarının değerlendirilmesi için, ağır metalce zengin atık su arıtma çamuru oluşturan entege demir-çelik üretim tesisi seçilmiştir.

Entegre demir-çelik tesislerine ait merkezi atık su arıtma tesisinin dekantör ünitesi çıkışından çamur keki temin edilmiştir.

### **6.1.3. Vermikompost Uygulamasının Gerçekleştirildiği Ortam**

Solucanların bünyelerine ağır metal alımlarının sağlanması ve arıtma çamuruyla temasının gerçekleştirilmesi için ağzı kilitli, yaklaşık olarak 11,5 X 16,5 X 25 cm ebatlarında ve 11,5 cm derinliğinde plastik kaplarda uygulama gerçekleştirilmiştir.

### **6.1.4. Vermikompost Uygulamasında Kullanılan Ahır Gübresi, Odun Talaşı ve Atık Çay Posası**

Çalışmada kullanılan yardımcı malzeme olarak ahır gübresi, odun talaşı ve atık çay posası için açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Karabük ili, Bostanbükü Köyü mevkiinde seracılık faaliyeti için ön kompostlamaya tabi tutulmuş ahır gübresi temin edilmiştir. Odun talaşı Karabük Organize Sanayii'ndeki marangoz ve ahşap mobilya üreten işletmelerden, atık çay posası ise Karabük'ün 100. Yıl Mahallesi Prof. Dr. Burhanettin UYSAL Caddesi üzerindeki masa oyunları ve yeme-içme faaliyeti gösteren bir kafeteryadan temin edilmiştir.

## **6.2. METOT**

Bu çalışma kapsamında yapılan denemeler, Azizi vd, (2013) ve Suthar vd, (2014) tarafından uygulanmış metotlar modifiye edilerek kurulmuştur. Deney düzeneği demir-çelik endüstrisi atık su arıtma çamuru (DAÇ), atık çay posası (ÇP), odun talaşı (OT), ahır gübresi (AG) ve ağır metal giderici materyal olarak da *Eisenia fetida* solucan türü kullanılarak hazırlanmıştır.

Demir-çelik entegre tesislerinden laboratuvara getirilen arıtma çamuru, deney gerçekleştirilmeden önce demir-çelik atık su çamuru bünyesinde olan naftalin, amonyak, fenol ve poliaromatik hidrokarbonlar gibi kirleticilerin yoğunluğu nedeniyle alınan çamur numunesi 12 saat açıkta havalandırılmıştır. Havalanan çamur



100 °C ayarlanmış etüvde 24 saat bekletilmiştir. Bekletilen çamur değirmen taşıyla boyut küçültme işlemi yapıldıktan sonra yaklaşık 2 mm boyutuna gelene kadar kırıcıda öğütülmüştür. Elde edilen materyal nem, hava ve ışık almayacak şekilde muhafaza edilmiştir.



Şekil 6.1. DAÇ'ye ait bir görüntü (Orjinal).



Şekil 6.2. AG'nin parça boyutunun ufaltılması sırasında elde edilen görüntü (Orjinal).

Laboratuvara getirilen odun talaşı, atık çay posası ve ahır gübresi, küflenme ve patojenik unsurların en aza indirilmesi için 100 °C derecede 6 saat etüvlenerek sterilizasyon işlemi yapılmıştır. Daha sonra ahır gübresi 2 mm boyutunda öğütülme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 6.3. Toplanan ÇP'ye ait bir görüntü (Orjinal).

### 6.2.1. Deney Düzenliğinin Kurulması

Deneysel çalışma Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre ve Enerji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Vermikompostlama işlemi 5 litre kapasiteli ve 11,5 X 16,5 X 25 cm ebatlarında plastik kutularda yürütülmüştür. Deney kutularının kapakları hava akışının sağlanması için delikler açılmıştır. Deney materyalleri farklı oranlarda olacak şekilde birbirleri ile karıştırılarak solucan yetiştirme ortamı hazırlanmıştır. Denemeler 3 tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir ve sonrasında deney kutuları numaralandırılmıştır. Materyallerin karışım oranları aşağıda verilmiştir.

- D1. DAÇ (%100)
- D2. DAÇ : AG (1:3)
- D3. DAÇ : AG (1:2)
- D4. DAÇ : AG (1:1)
- D5. DAÇ : (ÇP+OT) (3:1)

D6. DAÇ : AG (3:1)

D7. DAÇ : AG (2:1)

D8. Solucan Kontrol

Deney kutuları oluşturulurken kontrol kutuları haricinde her bir kaba 200 g atık çay posası ve 50 g odun talaşı eklenmiştir. Her bir deneme kutusuna nemin sağlanması için 200 ml safsu ilave edilerek kutu içerisindeki materyaller homojenize edilmiştir. Islatılan deney kutularındaki materyaller yumuşaması ve gözeneklerinin açılması için 24 saat laboratuvar koşullarında bekletilmiştir.



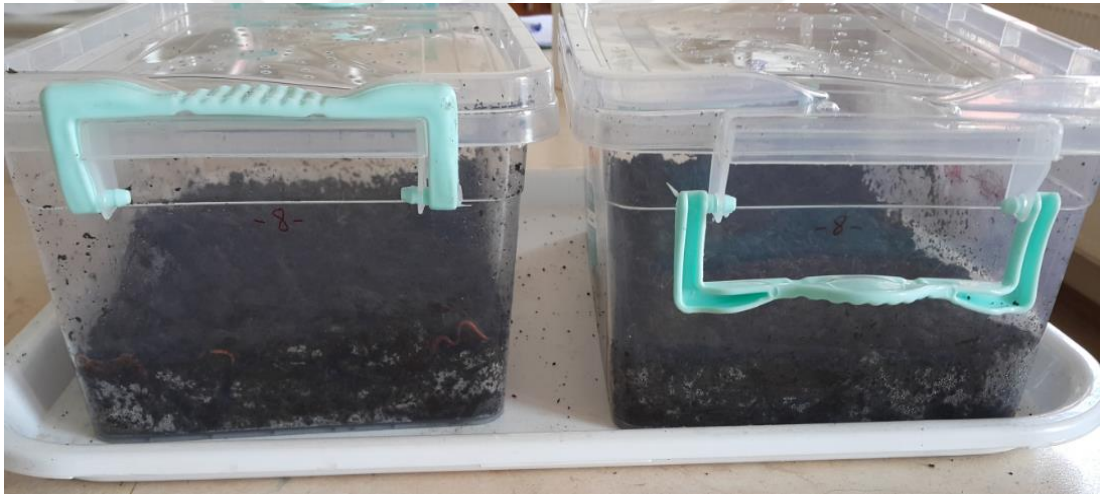
Şekil 6.4: Islatılmış deney kutularına ait bir görüntü (Orijinal).

Her bir deneme kutusuna 35 adet solucanı, toplam ağırlıkları 5,53-7,624 g aralığında olacak şekilde bırakılmıştır. Solucanlar kutulara bırakılmadan önce kültür kutusundan çıkartılıp, yumuşak uçlu fırça ile kültür toprağından temizlendikten sonra nemli bez arasında 24 saat bırakılarak mide içerikleri çıkartılmış, tekrar temizlenerek hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra deney kapları ışık almayan yaklaşık 25-20 ° C sıcaklığa sahip ortamda 30, 90 ve 120 gün boyunca inkübasyona bırakılmış, kaplardaki eksilen nem, pH-nemölçer cihaz ile ölçülerek, 120 ml distile su ile giderilmiştir.





Şekil 6.5. Hazırlanan deney kutularına ait bir görüntü-1 (Orijinal).



Şekil 6.6. Hazırlanan deney kutularına ait bir görüntü-2 (Orijinal).

*E. fetida* için ideal olan yaşam ve besin ortamı koşullarının; sıcaklığı 15-24 °C, nem düzeyi % 60-90, amonyak düzeyi 0,5 mg/g' dan düşük, tuz miktarı 0,5 mg/kg' dan az, pH 5-9 arasında, %70 nem içeriğine sahip ve oksijence zengin olması gerektiği açıklanmıştır (Edwards 2004; Edwards 1988; Zeng vd. 1982). Bu bilgiler doğrultusunda vermikompostta kullanılacak materyallerin kontrol ölçümleri yapılarak eksiklikler giderilmiştir. Amonyak ve tuz faktörlerine karşı ahır gübresinin ön işleme tabi tutulmuş olmasına özen gösterilmiştir. Deney sürecince yapılan periyodik kontroller ile eksilen nem giderilmiştir. Deneme sürecinde kutuların pH 5-8 arasında gözlemlenmiştir.

### 6.2.2. Solucanların Hasat Edilmesi, Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında 30, 90 ve 120 gün sonunda deney kutuları teker teker boşaltılmış ve içindeki solucanlar elle hasat yöntemi ile ayrılıp sayılmıştır. Daha sonra ayıklanan solucanlar yumuşak uçlu fırça ile yüzey kısmındaki artıklardan arındırılmış ve hassas terazide tartılmıştır. Tartımı gerçekleştirilen solucanların analize yollanması için buldukları deney kutusundaki malzeme yayılıp karıştırılmıştır. Yığın malzemedan “9 Daire Tekniği” kullanılarak yaklaşık 50 g’lık malzeme alınmış ve şeffaf saklama kabına yerleştirilmiştir. Saklama kabının yüzeyine tartılan solucanlar bırakılmış ve kendi içgüdüleriyle kaba dağılmaları sağlanmıştır. Numaralandırılıp delikler açılan saklama kapları paketlenip ilgili akredite analiz firmasına gönderilmiştir.



Şekil 6.7. Deney kutularının boşaltılmasına ait bir görüntü (Orijinal).



Şekil 6.8. Solucanların el ile hasat edilmesine ait bir görüntü (Orijinal).



Şekil 6.9. Temizlenen solucanlara ait bir görüntü (Orijinal).

Solucanların ısı altında ne kadar ağırlık kaybettiğinin tespiti için, kültür ortamından canlı olarak alınan 35 adet solucanın dış yüzeyindeki toprak kalıntıları temizlenmiş ve 28 °C’de nemli ortamda dışkı ve sindirim sistemi boşaltılmıştır ve solucanlar hassas terazide (kullanılan her bir kap türü için sıfırlama yapılmıştır) tartılmıştır. Daha sonra kurutma fırınında 105 °C’de 24 saat işleme tabi tutulmuştur.





Şekil 6.10. Kurutma işlemine tabi tutulmuş solucanlara ait bir görüntü (Orijinal).



Şekil 6.11. Kurutma işlemine tabi tutulmuş solucanların tartımına ait bir görüntü. (Orijinal)

### 6.2.3. Solucan Bünyelerindeki Ağır Metalin Analizi

Deney kutularına bırakılan solucanlar bünyelerine aldıkları ağır metal miktarının tespit edilmesi amacıyla 30, 90 ve 120 gün sonunda kutulardan çıkarılarak analiz edilmiştir. Analizler akredite edilmiş bir laboratuvarında yaptırılmıştır.

### 6.2.3.1. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) gaz fazında bulunan atomların elektromanyetik ışını absorplamasının ölçülmesi prensibine dayanan, metal ve yan metallerin sayısal analizinin gerçekleştirilmesi için uygulanan bir metottür. Maddelerin atom formu halindeki spektroskopik analizi, analit atomlarının veya bazı elementer formdaki iyonların bulunduğu gaz ortamında gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla atomik spektroskopi uygulamalarının ilk aşaması atomlaştırma olmaktadır.

Atomlaştırma aşamasındaki verimlik ve tekrarlanabilirlik; yöntemin doğruluğunu, kesinliğini ve duyarlılığını yüksek oranda etkilemektedir. Atomlaştırma basamağı atomik spektroskopisinin en kayda değer basamağı olma özelliğine sahiptir. Atomik spektroskopi yöntemleri arasında yer alan atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS), 1950'li yıllardan itibaren basitliği ve seçiciliği barındırdığından dolayı çok tercih edilen yöntemlerdendir. Bu yöntem biyolojik, çimento, farmakolojik, sediment numunelerinin bünyesindeki eser miktarda metalin tayinlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Monokromatik ışın demeti AAS spektrumlarında kullanılmaktadır. Işığın karakteristik dalga boyu nedeniyle spektrumdaki hat kendi dalga boyu üzerinden belirlenmektedir. Atomlardaki elektronların farklı enerji düzeyleri arasında geçişinin gerçekleşmesiyle ışığın absorpsiyonu meydana gelmektedir. Bütün atomlardaki temel hal en düşük enerji seviyesi olup, atomların uyarılmış hali ise daha yüksek enerji seviyelerindeki durumunu göstermektedir. Atomun ışığı yayması için uyarılmış halde olması gerekmektedir. Atomlar mevcut seviyelerinden daha düşük seviyelere ya da temel hal durumu gerçekleşmesi anında enerji saçılması meydana gelmektedir (Lajunen, 1992).

Oda koşulları altında birçok atom temel halde bulunmaktadır. Atomlar yalnızca uygun olan dalga boyunda uyarıldıkları takdirde absorpsiyon spektrumu ortaya çıkmaktadır (Lajunen, 1992).



Atomik veya molekül formdaki numunelerin absorpsiyon olayında, absorpsiyon ortamında maruz kalınan ışığın şiddeti ( $I_0$ ), absorpsiyon ortamının kalınlığı ( $d$ ), absorplayan madde derişimi ( $c$ ), arasındaki ilişki Lambert-Beer yasasıyla ifade edilmektedir.

$$A = \log \frac{I_0}{I} = kcd \quad (6.1)$$

$I_0$ : Gelen ışığın şiddeti

$I$ : Absorpsiyon ortamın çıkan ışığın şiddeti

$A$ : Absorbans,

$k$ : Ortam katsayısı (absorpsiyon katsayısı)

Eşitlik 6.1'de gösterildiği üzere absorbans katayısı, ışığın geçiyle sarf ettiği ortamın kalınlığı ve absorplayıcının yoğunluğuyla orantılı olmaktadır. Ayrıca  $k$  ile ifade edilen absorpsiyon katsayısı ise ışığın dalga boyuna ve absorplayan cinsine göre sabit değerleri ifade etmektedir. Atomik absorpsiyon spektrometresine bileşenleri ise Şekil: 6.12'de belirtilmektedir.



Şekil 6.12. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi bileşenleri (Merey, 2019).

Işın kaynağı analit elementin spektrumunu yaymakta olup, soğurma sistemi numuneyi atom formuna dönüştürmektedir. Atomik absorpsiyon spektroskopisinde analiz edilecek numunenin en dar dalga boylarında absorpsiyonunun gerçekleşmesi bu spektroskopinin avantajları arasındadır. Işık kaynağı bakımından oyuk katot lambaları (1-ICL), sürekli ışık kaynakları, yüksek lambalar, elektrotsuz boşaltım lambaları (EDL), buhar boşaltım lambaları ile AAS gerçekleştirilmektedir. En yaygın kullanılan kaynaklar ise oyuk katot lambaları ile elektrotsuz boşaltım lambaları (EDL) gösterilebilir. Oyuk katot lambası; anot, katot, argon ve ya neon inert gaz içeriğe sahip olan, 4-5 cm civarında en, 9-11 cm civarında boya sahip cam tüptür.

Tayin edilecek elementlerin dalga boyu hattının ayrımını gerçekleştiren optik düzeneğe monokromatör denilmektedir. Çok elementli tayine olanak sağlayan AAS'nin geliştirilmesi devam etmekte olup, bu gelişmelerle oluşturulan dizaynlar piyasaya tanıtılmaktadır.



## BÖLÜM 7

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma, demir çelik endüstrisi atık su arıtma çamurunda bulunan ağır metallerin toprak solucanları kullanılarak giderilmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada aynı zamanda solucanların, gelişimi ve canlı ağırlığı, yavru ve kokon oluşumu, kompost materyali üzerine etkileri incelenmiştir.

#### 7.1. *E. fetida* TÜRÜ TOPRAK SOLUCANLARININ ATIK SU ARITMA ÇAMURUNDAN METAL GİDERİMİNE ETKİSİ

1:1 oranında (D4) hazırlanan karşımda 30, 90 ve 120 gün sonunda solucanlar ile yapılan analizlerde elde edilen ağır metal miktarları Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Demir-Çelik Tesisleri arıtma çamuru ve gübrenin 1:1 oranında (D4) karıştırılmasıyla yapılan denemede solucan analizlerinde elde edilen ağır metal miktarları (mg/kg).

Parametre	Solucan Kontrol	D4 Kutusu		
		30. Gün	90. Gün	120. Gün
Analiz Sonucu (mg/kg)				
Kadmiyum (Cd)	<0,24	<0,24	<0,24	<0,24
Bakır (Cu)	36,4	90,8	85,2	105,4
Kurşun (Pb)	6,1	32	37,7	38,5
Nikel (Ni)	4,2	241,6	268,3	257,3
Çinko (Zn)	266,2	11 930	12 158	16 430
Cıva (Hg)	<0,1	<0,1	2,4	1,4
Krom (Cr)	6,1	64,9	81,2	87,9

Analiz sonuçlarında elde edilen verilere göre solucan bünyelerinde bulunan Kadmiyum (Cd) miktarları kontrol grubu ve 30, 90 ve 120 gün sonucunda yapılan analizlerde <0,24 mg/kg olarak bulunmuş ve herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Liu vd, (2005) tarafından kanalizasyon çamurunun 60 günlük inkübasyondan sonra, solucan dokularındaki Cd'un 10 mg/kg'a kadar arttığı belirtilmiştir. Atık su arıtma çamuru için yapılan metal analizlerinde Cd miktarının 0,0014 mg/kg olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla farklı yardımcı malzemelerle farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamurunun kutu içerisindeki Cd konsantrasyonu azalmıştır. Bu durum ise beslenmeyle alınan Cd miktarında da azalmaya yol açmıştır.

Garg, vd, (2009) tarafından iki farklı solucan türü (*Allolobophora parva* ve *Eisenia fetida*) tarafından farklı metal konsantrasyonlarına ait şartlarda hayatta kalma, üreme ve toplam metal birikimi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı 45 günlük vermikompost çalışmasında Cd için yüzde alımı, *Eisenia fetida* türü toprak solucanı için % 73-52 arasında değişim gösterdiği raporlanmıştır.

Bakır (Cu) miktarları solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonunda sırasıyla 36,4, 90,8, 85,2 ve 105,4 mg/kg olarak bulunmuştur. Kurşun (Pb) miktarları solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla 6,1, 32, 37,7, 38,5 mg/kg bulunmuştur. Nikel (Ni) miktarları solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla 4,2, 241,6, 268,3 ve 257,3 mg/kg bulunmuştur. Çinko (Zn) miktarları ise solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla 266,2, 11 930, 12 158 ve 16 430 mg/kg bulunmuştur. Cıva (Hg) miktarları solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla <0,1, <0,1, 2,4 ve 1,4 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Krom (Cr) miktarları da solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla 6,1, 64,9, 81,2 ve 87,9 mg/kg olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki verilere göre bakır (Cu) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 2,50, 2,34 ve 2,90 kat arttığı tespit edilmiştir. Kurşun (Pb) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 5,25, 6,19 ve 6,32 kat arttığı tespit edilmiştir. Nikel (Ni) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 57,53, 63,89 ve 61,27 kat arttığı tespit edilmiştir. Çinko (Zn) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna

göre sırayla 44,82, 45,68 ve 61,72 kat arttığı tespit edilmiştir. Cıva (Hg) miktarları için 30. gün sonunda solucan kontrol grubuna göre değişim göstermediği, 90 ve 120 gün sonunda sırayla 24 ve 14 kat arttığı tespit edilmiştir. Krom (Cr) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 10,64, 13,32 ve 14,41 kat arttığı tespit edilmiştir.

Kadmiyum hariç diğer ağır metaller için solucan kontrol grubuna göre 30, 90 ve 120 gün sonunda zamana bağlı olarak solucanların bünyelerine aldıkları ağır metal miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Ağır metaller içerisinde solucan bünyelerine en fazla alınan metalin çinko olduğu ve zamana bağlı olarak miktarının artış gösterdiği belirlenmiştir. Shaymaa vd, (2010) tarafından endüstriyel arıtma çamurundan kurşun, nikel ve alüminyum ağır metallerinin solucan kompostlama yöntemi ile gideriminin araştırıldığı çalışmada; arıtma çamurları koyun gübresi ile farklı oranlarda karıştırılmış ve 56 günlük çalışma süreci sonunda kurşun, nikel, alüminyum ağır metallerinin sırasıyla % 97, % 86 ve % 72 oranlarında giderim sağlandığı tespit edilmiştir.

Aleagha ve Ebadi, (2011) tarafından, ağır metallerin vermikompostlama ile biyobirikimi üzerine yapılan çalışmada, *Eisenia fetida* farklı konsantrasyonlardaki metal bileşiklerini içeren karışıma bırakılmış ve çalışmanın sonuçlarına göre Cd, Zn, Ni, Pb ve Cr elementlerini bünyesinde 14 günde biriktirdiğini, aynı zamanda Pb ve Cr'nin biyoakümülyasyonu ile Ni ve Cd arasında güçlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Zhu vd, (2014)'ne göre vermikompostlardaki metal içeriği; ham atığın fiziko-kimyasal özellikleri, ham atıklardaki metallerin konsantrasyonu, vermikompostlama amacıyla kullanılan solucan türleri, çevre koşulları vb. gibi faktörlerden etkilenebilir. Vermikompostlama işlemi sırasında iki farklı işlemden etkilenmektedir. İlk süreç, organik maddelerin ayrışması ve mineralizasyonu nedeniyle ham atıkların kütlelerinde ve hacminde azalma ve ikinci süreç ise vermikompost işlemi sırasında solucanların vücudunda ağır metallerin birikmesidir.

Demir-Çelik Tesisleri atıksu arıtma çamuru ve gübrenin 3:1 oranında karışımı ile hazırlanan (D6) denemede 30, 90 ve 120 gün sonunda solucanlar ile yapılan analizlerde elde edilen ağır metal miktarları Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Demir-Çelik Tesisleri arıtma çamuru ve gübrenin 3:1 oranında (D6) karıştırılmasıyla yapılan denemede solucan analizlerinde elde edilen ağır metal miktarları (mg/kg).

Parametre	Solucan	D6 Kutusu		
	Kontrol	30. Gün	90. Gün	120. Gün
	Analiz Sonucu (mg/kg)			
Kadmiyum (Cd)	<0,24	<0,24	<0,24	<0,24
Bakır (Cu)	36,4	123,7	101,4	123,9
Kurşun (Pb)	6,1	49,2	40,5	44,7
Nikel (Ni)	4,2	342,7	326,3	361,2
Çinko (Zn)	266,2	21 115	15 845	19 135
Cıva (Hg)	<0,1	<0,1	2,3	1,9
Krom (Cr)	6,1	93,7	104,8	110,9

Analiz sonuçlarında elde edilen verilere göre solucan bünyelerinde bulunan Kadmiyum (Cd) miktarları solucan kontrol grubu, ve 30, 90 ve 120 gün sonucunda yapılan analizlerde <0,24 mg/kg olarak bulunmuş ve tüm gruplarda bir değişiklik göstermemiştir. Bakır (Cu) miktarları solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla 36,4, 123,7, 101,4 ve 12,9 mg/kg bulunmuştur. Kurşun (Pb) miktarları solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla 6,1, 49,2, 40,5 ve 44,7 mg/kg bulunmuştur. Nikel (Ni) miktarları solucan kontrol grubu, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla 4,2, 342,7, 326,3 ve 361,2 mg/kg bulunmuştur.

Yukarıdaki verilere göre bakır (Cu) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 3,40, 2,79 ve 3,41 kat arttığı tespit edilmiştir. Kurşun (Pb) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 8,07, 6,64 ve 7,33 kat arttığı tespit edilmiştir. Nikel (Ni) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 81,60, 77,70 ve 86 kat arttığı tespit edilmiştir. Çinko (Zn) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 79,34, 59,53 ve 71,89 kat arttığı tespit edilmiştir. Cıva (Hg) miktarları

için 30. gün sonunda solucan kontrol grubuna göre değişim göstermediği, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 23 ve 19 kat arttığı tespit edilmiştir. Krom (Cr) miktarları 30, 90 ve 120 gün sonunda solucan kontrol grubuna göre sırayla 15,37, 17,19 ve 18,19 kat artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Çinko (Zn) miktarları kontrol, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla D4 (1:1) için 266,2, 11 930, 13 158 ve 16 430 mg/kg ve D6 (3:1) için 266,2, 21 115, 15 845 ve 19 135 mg/kg olarak bulunmuştur. Cıva (Hg) miktarları ise kontrol, 30, 90 ve 120 gün sonunda sırasıyla <0,1, <0,1, 2,3 ve 1,9 mg/kg olarak bulunmuştur. Krom (Cr) miktarları solucan kontrol grubunda, 30, 90 ve 120 gün sonucunda sırasıyla 6,1, 93,7, 104,8 ve 110,9 mg/kg olarak bulunmuştur.

Genel olarak D4 ve D6 uygulamaları için 30 ve 90. günler kıyaslandığında, solucan bünyesindeki çinko miktarı 90. gün sonunda yapılan analizlerde 30 güne göre azalmıştır. Bu durum atık su arıtma çamurunun temin edildiği sektörün prosesinden ötürü organik içeriğinin düşük olması nedeniyle tüketilen organik materyalle paralel olarak solucan aktivitesi azalmış ve canlı bünyesine alınan çinko miktarı da azalmıştır. Ayrıca esansiyel bir elementlerden biri olan çinko, beslenme miktarının sınırlanmasıyla solucanın metabolik aktivitesi için ötürü vücut bünyesindeki mevcut çinko kullanılmış olabilir. 90. günde yapılan besleme sonrası 120. gün yapılan analizlerde solucan bünyesindeki çinko miktarlarının 90. güne kıyasla arttığı belirlenmiştir. Hepşen Türkay, (2010) fındık zurufu ve arıtma çamurunun toprak solucanlarıyla kompostlanması yöntemiyle üretilen solucan kompostunun tarım topraklarının biyolojik yapısına etkilerinin saptanması için 90 gün süren çalışma sonucunda, kullanılan arıtma çamurundaki çinkonun deneyde kullanılan toprak solucanının dokularında tutularak arttığı, elde edilen solucan kompostunda ise çinko miktarında azalma olduğunu saptamıştır.

Suthar (2008) tarafından yapılan çalışmada, solucan dokularındaki metalin içki endüstrisi arıtma çamuru (100%) + inek gübresi (0%) kombinasyonunda en fazla olduğu ve içki endüstrisi arıtma çamuru (20%) + inek gübresi (80%) kombinasyonunda ise en az olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada D6 (3:1) dozunda bulunan solucanlardaki metalin D4 (1:1) dozundan daha fazla olduğu tespit

edilmiştir. Lukkari vd.'nin (2006) yaptığı çalışmada metallerin organik maddeye bağlanmasının (daha sıkı bağlı olan fraksiyonlar), metallerin solucanlar için kullanılabilirliğini kısmen azalttığını belirtmişlerdir. Solucan bağırsağının, pH değişiklikleri nedeniyle metallerin hareketliliğini etkileyebileceği ve asimilasyonlarını destekleyebileceği belirtilmiştir.

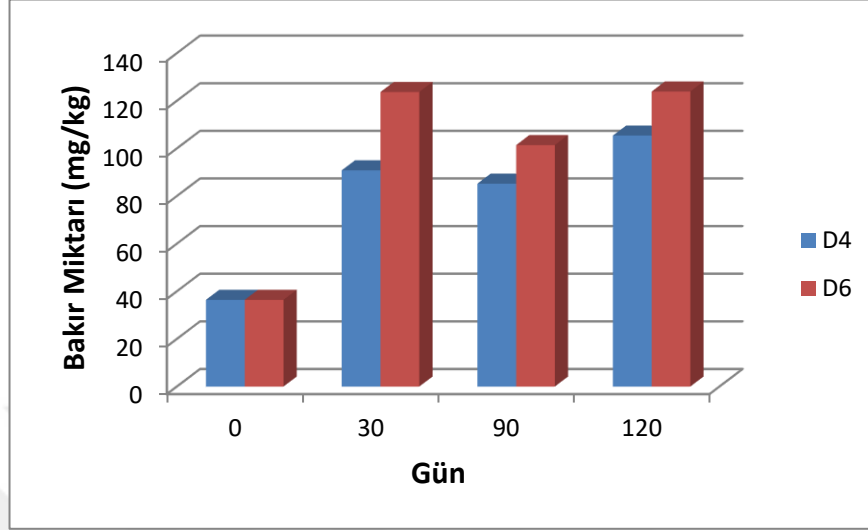
Liu vd, (2012) toprak solucanın (*Eisenia fetida*) arıtma çamuru bünyesindeki ağır metallere (Cu, Ni, Cd, Pb ve Zn) ve N, P, K elementlerine etkisinin araştırıldığı laboratuvar çalışmasında 120 günlük vermikompostlama sonucunda solucan dokularında 5 ağır metalin biriktiği ve vermikomposttaki ağır metallerin miktarının azaldığı saptanmıştır. Çalışmanın diğer bir sonucu ise, mevcut azot ve fosfor miktarı, vermikompostta ham arıtma çamuruna göre daha yüksektir. Mevcut potasyumun ise vermikompostta ham arıtma çamuruna göre daha az olduğu bulunmuştur.

Gogoi vd, (2015) atık su çamuru ile inek gübresinin farklı kombinasyonları ile *Eisenia fetida* türü solucanlar kullanılarak 15, 30, 45, 60 ve 75 günlük vermikompostlamaya tabi tutulduğu pilot çalışmada, vermikompostlama öncesi ve sonrasındaki çeşitli fizikokimyasal parametreler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bakır ve çinkonun hem toplam hem de suda çözünür fraksiyonlarında zamansal bir değişiklik saptanmıştır. 1:1 (çamur ve inek gübresi) karışımındaki Zn ve Cu konsantrasyonlarının 1:2 (çamur ve inek gübresi) karışımına kıyasla daha az olduğu saptanmıştır. Ayrıca araştırmacılar tarafından, 75 günlük vermikompostlamada 1:1'lik karışımın daha düşük metal içeriği ve stabilizasyon sürecine uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Ruiz vd, (2009) maden ocağı olarak faaliyet göstermiş ve ağır metallerce kirletilmiş alandan temin edilen topraktan mısır ve arpa bitkisi kullanılarak metal (Pb, Zn, Cd ve Cu) alımı üzerine yapılan bir pot deneyinin sonucu olarak, solucanlar sayesinde toprağın metal kapsamında önemli oranda değişikliklerin yaşandığı ve *Eisenia fetida* türü solucanlar ile birlikte bulunan mısır ve arpa bitkilerinde de metal akümülyasyon oranlarının önemli derecede daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



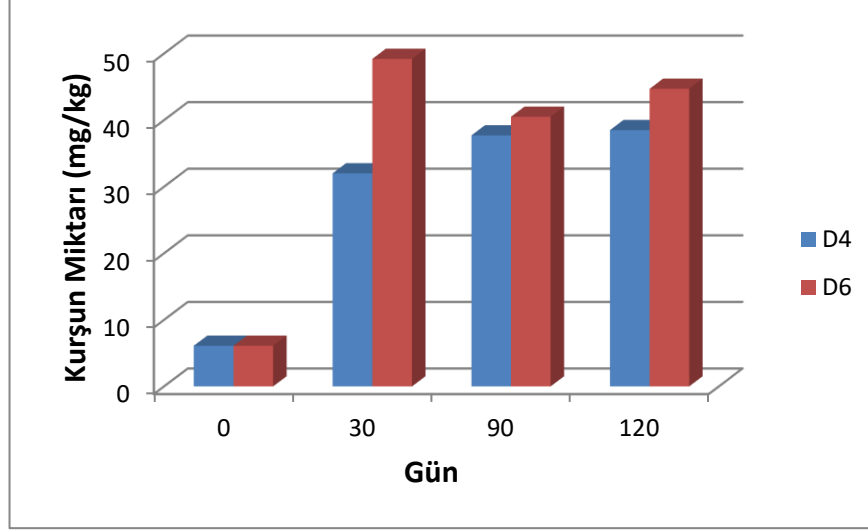
Analiz sonuçlarını grafiksel olarak verdiğimizde Şekil 7.1’de D4 ve D6 deneme kutularındaki solucanlarda bulunan bakır miktarları (mg/kg) verilmiştir.



Şekil 7.1. D4 ve D6 kutularında bulunan solucanlardaki bakır miktarları (mg/kg).

Şekil 7.1’e göre D4 kutusundaki solucanların bünyesindeki bakır incelendiğinde bakır alım veriminin 30. gün olduğu gözlenmiştir. 90. gün sonundaki beslemenin solucanlardaki bakır alım verimine pozitif etkisinin olduğu gözlenmiştir.

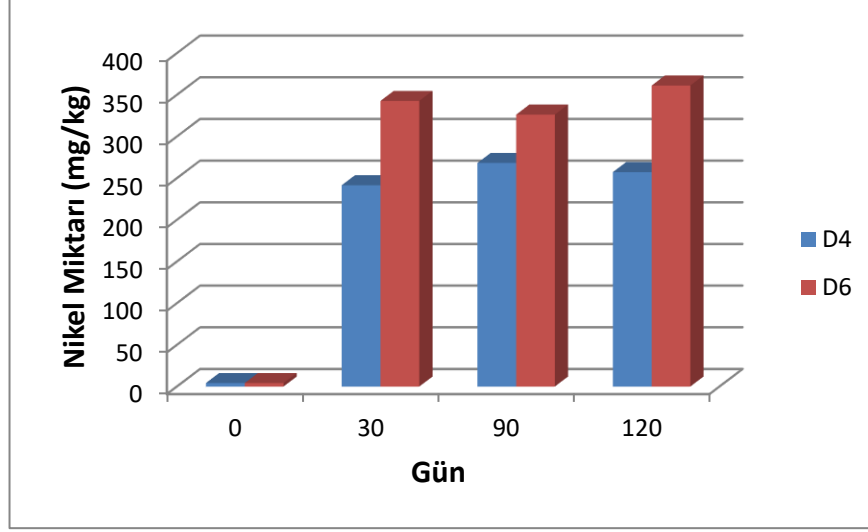
Liu vd, (2005) tarafından yapılan çalışmada, kanalizasyon çamurunun 60 günlük inkübasyonundan sonra solucan dokularında bakır (Cu) içeriğinde artışın meydana geldiği belirtilmiştir. Bu çalışmada da solucan kontrol uygulamasına kıyasla D4 ve D6 uygulamalarındaki solucanlarda bakır miktarında artışın meydana geldiği belirlenmiştir. D6 kutusundaki solucanların bünyesindeki bakır incelendiğinde bakır alım veriminin 30. günde yüksek olduğu ve 90. gün sonundaki beslemenin solucanlardaki bakır alım verimine pozitif etkisinin olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.2. D4 ve D6 kutularında bulunan solucanlardaki kurşun miktarları (mg/kg).

Şekil 7.2'ye göre D4 kutusundaki solucanların bünyesindeki kurşun incelendiğinde kurşun (Pb) alım veriminin 90. gün olduğu gözlenmiştir. Buna karşın, D6 kutusundaki solucanların bünyesindeki kurşun incelendiğinde kurşun alım veriminin 30. gün olduğu gözlenmiştir.

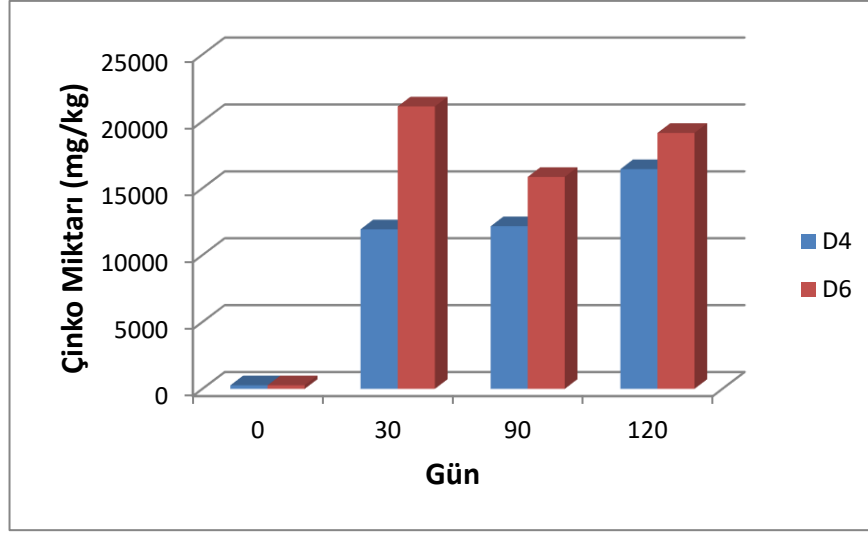
Garg, vd, (2009) tarafından Pb için yüzde alımı, *Eisenia fetida* türü toprak solucanı için % 39-16 arasında değişim gösterdiği rapor edilmiştir.



Şekil 7.3. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki nikel miktarları (mg/kg).

Şekil 7.3'e göre D4 kutusundaki solucanların bünyesindeki nikel incelendiğinde nikel alım veriminin 90. gün olduğu, D6 kutusundaki solucanların bünyesindeki nikel alım veriminin ise 30. gün olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında 90. gün sonundaki beslemenin solucanlardaki nikel alım verimine pozitif etkisinin olduğu gözlenmiştir.

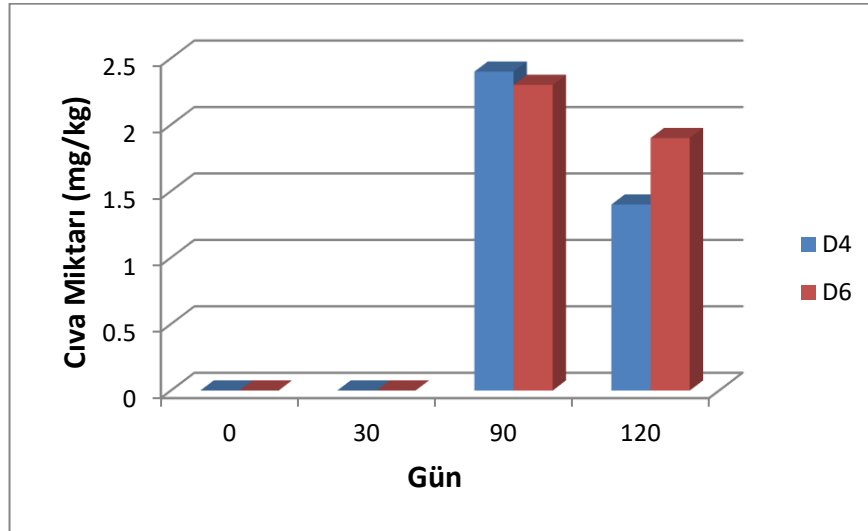
Beyer vd, (1982) tarafından toprak solucanlarının nikel (Ni) biriktiremedikleri bildirilmiştir. Bu duruma karşın Liu vd, (2012) tarafından ise, *Eisenia fetida* türü solucanların Ni'nin bir kısmını biriktirebilme yeteklerinin olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada D4 ve D6 uygulamalarında bulunan solucanların bünyesinde solucan kontrol uygulamasına kıyasla daha fazla miktarda Ni'in varlığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.4. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki çinko miktarları (mg/kg).

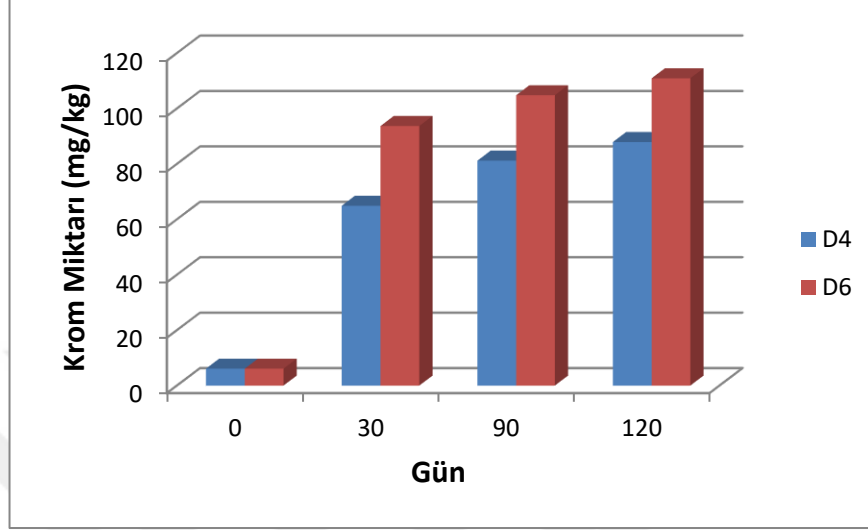
Şekil 7.4'e göre D4 kutusundaki solucanların bünyesindeki çinko incelendiğinde çinko (Zn) alım veriminin 120. günde yüksek olduğu ve D6 kutusundaki solucanların çinko alım veriminin 30. gün olduğu belirlenmiştir.

D4 ve D6 kutuları için 90. gün sonundaki beslemenin de solucanlardaki çinko alım verimine pozitif etkisinin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.5. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki cıva miktarları (mg/kg).

Şekil 7.5'e göre D4 kutusundaki solucanların bünyesindeki cıva incelendiğinde cıva alım veriminin 90. gün ve D6 kutusundaki solucanların cıva alım veriminin de 90. gün olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.6. D4 ve D6 kutuları içerisindeki solucanlardaki krom miktarları (mg/kg).

D4 ve D6 kutularındaki solucanların krom miktarları Şekil 7.6'da verilmiştir. D4 kutusundaki solucanların bünyesindeki krom (Cr) incelendiğinde krom alım veriminin 90. gün olduğu, 90. gün sonundaki beslemenin de solucanlardaki krom alım verimine pozitif etkisinin olduğu belirlenmiştir. D6 kutusundaki solucanların krom alım veriminin 90. gün olduğu ve 90. gün sonundaki beslemenin de solucanlardaki krom alım verimine pozitif etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Garg, vd, (2009) tarafından *Eisenia fetida* türü toprak solucanı için Cr alımı % 65-26 arasında değişim gösterdiği ve solucanlardaki Cr'un 30. ve 45. günlerde zamana bağlı olarak doğrusal olarak arttığı belirtilmiştir. Shaymaa vd, (2010) tarafından endüstriyel arıtma çamurundan kurşun, nikel ve alüminyum ağır metallerinin solucan kompostlama yöntemi ile gideriminin araştırıldığı çalışmada; arıtma çamurları koyun gübresi ile farklı oranlarda karıştırılmış ve 56 günlük çalışma süreci sonunda kurşun, nikel, alüminyum ağır metallerinin sırasıyla %97, %86 ve %72 oranlarında gideriminin sağlandığı tespit edilmiştir.

Genel olarak vermikompostlamada 30, 90 ve 120 gün sonra D4 ve D6 kutularında bulunan solucanların bünyelerindeki ağır metal miktarı değerlendirildiğinde D6 kutusuna ait solucanlardaki metal miktarlarının fazla olduğu görülmektedir. Bu konuda Kizilkaya, (2004; 2005) tarafından yapılan çalışmalarda da bünyesinde yüksek oranda ağır metal barındıran atıksu arıtma çamurları ve bu çamurların arttırılmış dozlarıyla yapılan vermikompost uygulamalarının, toprak solucanının dokularında biriktirilen metal konsantrasyonunu arttırdığı belirtilmiştir. Kirlenmiş toprak içerisindeki organik bileşenlere bağlanmış metallerin miktarı arttığında, etkileşim halinde olan toprak solucanlarının vücudundaki metal birikimi artmaktadır. Çünkü toprak solucanları besin açısından doğal mineral topraktan daha çok değerli organik bileşikleri tercih etmektedirler.

Davies vd, (2003) tarafından yapılan çalışmada, kurşunun toprak solucanlarına toksisitesi incelenmiş ve canlı bünyesine kurşun alımının zamanla doğrusal oranda arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca mineral formunda bulunan kurşun toksisitesini gösteren en hassas parametrenin kokon (yumurta) üretimi olduğu saptanmıştır.

Solucanların beslenme yoluyla almış oldukları ağır metallerin bir kısmı dışkılama yoluyla alıcı ortama verilirken bir kısmının ise vücut dokularında birikimi gerçekleşmektedir (Tessier vd, 1994; Wang vd, 1998).

Solucan dokuları yüksek konsantrasyonlarda ağır metalleri barındırabileceği gibi gübrelerinde daha az miktarda metal içerebilir (Kizilkaya, 2004). Bu durum etkileşimde bulunulan topraktaki ağır metal konsantrasyonuna, toprağın fiziksel yapısına ve organik madde içeriği gibi faktörlere bağlı olmaktadır (Wang vd, 1998). Ayrıca Paul vd, (2019) tarafından, ağır metal immobilizasyonunun epige toprak solucanının dokularında ve bağırsaklarında biyoakümüülasyon yoluyla sağlandığına değinilmiştir.

Bu çalışmada, ele alınan ağır metaller içerisinde solucan bünyelerine en fazla çinko alımının olduğu, zamana ve beslenme olayına bağlı olarak kontrole kıyasla çinko miktarında da artış olduğu tespit edilmiştir.

Solucanlardaki ağır metal birikimini etkileyen diğer bir faktör ekolojik kategorileridir (Morgan ve Morgan, 1988; Nahmani vd, 2007; Suthar, 2009). Endojeik tür sınıfına ait solucanlar kadmiyumu epigeic ve anecic solucan türlerine göre daha yüksek oranlarda vücutlarında biriktirirken, anecic türler ise çinkoyu diğer ekolojik kategorilerdeki iki türden daha yüksek oranlarda biriktirebilmektedir. Örneğin, *L. rubellus* türü toprak solucanları bakır kaynaklı kirliliğe *A. caliginosa* türüne göre toleransı daha fazladır. *E. fetida* türü solucanların ise kurşunda en az toksisite gösterdikleri belirtilmektedir (Neuhauser vd, 1985).

Hepşen Türkyay, (2010) fındık zurufu ve arıtma çamurunun toprak solucanlarıyla kompostlanması yöntemiyle üretilen solucan kompostunun tarım topraklarının biyolojik yapısına etkilerinin belirlenmesi için 90 gün süren çalışma sonucunda, kullanılan arıtma çamurundaki çinkonun deneyde kullanılan toprak solucanın dokularında tutularak arttığı, elde edilen solucan kompostunda ise çinko miktarında azalma olduğu saptanmıştır. Bu alanda yapılmış olan diğer çalışmalarda (Tiwari vd, 1989; Kizilkaya ve Hepşen, 2007) solucanların kompostlaştırarak oluşturduğu materyalin organik karbon ve toplam azot içeriğinin önemli derecede yükseldiğini ve kullanılacak materyale karıştırılan organik materyalin elde edilecek olan solucan kompost ürünü içeriğinin belirlenmesinde önemli bir etken olduğu tespit edilmiştir.

Suthar, (2008) şeker endüstrisinin bir yan ürünü olan damıtma çamuru, inek gübresi ve *Eisenia fetida* (Savigny) türü solucanları kullanılarak yapılan vermikompostlamada, ağır metallerin (Fe, Cu, Zn, Pb) çamur bünyesinden vermitekoloji yoluyla uzaklaştırılmasının değerlendirildiği çalışmada, vermikompostlama sırasında metallerin transferi, vermikompostlanmış çamur ve solucan dokularındaki toplam metal içeriği değerlendirilmiştir. Vermikompostlanmış çamurdaki metal konsantrasyonunda önemli oranlarda azalma belirlenmiştir. Kompost solucanlarının dokularındaki metallerin biyoakümülosyon ile doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Suthar vd'nin, (2014) *Eisenia fetida* ve inek gübresi kullanılarak kağıt fabrikası arıtma çamurundan ağır metallerin uzaklaştırılmasının araştırıldığı bir çalışmada, yedi farklı kombinasyon ile hazırlanan karışımlarda meydana gelen kimyasal

değişimler 60 gün boyunca değerlendirilmiştir. Çalışmada, ağır metal seviyelerinde önemli düşüşlerin ve EC seviyesinin, toplam-N, mevcut P ve K içeriklerinde ise önemli artışların meydana geldiği saptanmıştır. 2:1 ve/ veya 3:1 (arıtma çamuru: inek gübresi) için yüksek metal giderimi ve solucan büyüme oranı açısından uygun karışımların olabileceği belirtilmiştir. Biyoakümülyasyon ise  $Cd > Cr > Pb > Cu$  şeklindedir. Ayrıca araştırmacılar tarafından vermiremediasyonun kağıt fabrikası arıtma çamurundan ağır metallerin uzaklaştırılmasında etkili bir teknoloji olduğu belirtilmiştir.

Wu vd'nin, (2018)'de yaptığı farklı bitki atıkları katılarak arıtma çamurunun vermikompostlanması sırasında ağır metallerin uzaklaştırılması ve ağır metallerin fitotoksitesinin araştırıldığı çalışmada, ağır metal içeriğinin azaltıldığı, organik karbon içeriğinin ve arıtma çamurundaki makroagelatların oranının arttığı saptanmıştır. Vermikompostlama ile kompost materyalindeki ağır metaller önemli oranlarda giderilmiştir. *Dracontomelon duperreanum* ve *Bauhinia purpurea* atıkları, arıtma çamurun bünyesindeki ağır metallerin oksitlenebilirliğini ve vermikompostlama sırasında *Eisenia fetida* türü solucanlarının ağır metalleri biriktirme kapasitesini arttırdığı saptanmıştır. *Bauhinia purpurea* atığı ilavesinin vermikompostlardaki Cd içeriğine etkisi, ham arıtma çamuruna kıyasla % 31 oranında azalma göstermiştir.

## **7.2. VERMİKOMPOSTLAMADAN 30 GÜN SONRA TOPRAKTAKİ AĞIR METAL MİKTARLARI**

Demir-Çelik endüstrisi atıksu arıtma çamuru ve gübrenin farklı oranlarda karışımıyla hazırlanan vermikompostun 30. gün sonunda yapılan analiz sonuçları Çizelge 7.3'te verilmiştir.



Çizelge 7.3. 30 günlük vermikompostlama süreci sonucunda analiz edilen toprakta ağır metal miktarları.

Parametre			D1.Kontrol (Atık Su Arıtma Çamuru)	D2.Çamur: Gübre (1:3)	D3.Çamur: Gübre (1:2)	D4.Çamur: Gübre (1:1)	D6. Çamur : Gübre (3:1)	D7. Çamur : Gübre (2:1)
	Birim	Ölçüm Belirsizliği	Analiz Sonucu					
pH	-	± 0,07	7,64	8,45	8,4	8,02	7,82	7,89
Demir (Fe)	mg/lt	%± 12,9	2,514	25,4	67,6	4,63	0,07	1,05
Kadmiyum (Cd)	mg/lt	%± 12,7	0,0014	0,001	0,002	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Krom (Cr)	mg/lt	%± 13,6	< 0,001	0,021	0,049	0,003	<0,001	<0,001
Bakır (Cu)	mg/lt	%± 12,8	0,005	0,059	0,076	0,013	0,005	0,005
Kurşun (Pb)	mg/lt	%± 12,6	<0,0005	0,085	0,242	0,017	<0,0005	0,003
Çinko (Zn)	mg/lt	%± 12,6	0,09	4,83	10,7	1,54	0,207	0,595
TKN	%	%± 13,4	15,9	16	12,4	12,5	10,2	9,76

Çizelge 7.3. incelendiğinde analiz edilen toprak örneklerinin pH seviyeleri 7,64 ile 8,45 arasındadır. Kadmiyum ve Krom miktarında kontrol grubuna göre önemli bir değişiklik olmamış ve elde edilen değerler sırasıyla  $0,001 \pm 12,7$  -  $< 0,0005 \pm 12,7$  ve  $< 0,001 \pm 13,6$  -  $0,049 \pm 13,6$  arasında değişmektedir. Diğer metallerde ise kompostlama karışım oranlarına bağlı olarak, bazıları azalırken bazılarında artış olduğu tespit edilmiştir. Demir miktarı  $2,51 \pm 12,9$  -  $67,6 \pm 12,9$  mg/lt arasında ve en yüksek değer D3 deneme grubunda  $67,6$  mg/lt olarak elde edilmiştir. Bakır miktarı  $0,005 \pm 12,8$  ve  $0,076 \pm 12,8$  mg/lt arasında değişmekte ve en yüksek olarak D3 denemesinde  $0,076 \pm 12,8$  mg/lt olarak bulunmuştur. Benzer şekilde kurşun ve çinko miktarları da D3 denemesinde en yüksek ve sırasıyla  $0,242 \pm 12,6$  ve  $10,7 \pm 12,6$  mg/lt olarak elde edilmiştir. TKN miktarları  $19,9 \pm 13,4$  ve  $9,76 \pm 13,4$  arasında değişiklik göstermiştir. Yadav ve Garg (2019) tarafından elde edilen vermikompostlardaki demir (Fe) içeriği, ilk karıştırmadan % 27,3 ile 31 oranında daha yüksek olduğu ve demir değişim hızının vermikompostlamanın ilk aşamasında nispeten daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca vermikompostlardaki bakır (Cu) içeriği % 1,7-40,8 oranında azalma tespit edilmiştir. Krom (Cr) içeriği % 28-80 oranında daha yüksektir. % 100 inek gübresi ile yapılan vermikomposttaki Cr

içeriğinde maksimum artış saptanmıştır. Vermikompostlama sırasında çinko (Zn) içeriğinde değişken bir artış gösterdiği ve Zn muhtevası, başlangıca kıyasla elde edilen vermikompostlarda % 7,5-32,8 oranında artmıştır.

Liu vd, (2005) tarafından, toprak solucanının (*Eisenia fetida*) arıtma çamuru bünyesindeki bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) ağır metalleri miktarlarına etkisinin araştırıldığı çalışmada, 150 adet toprak solucanı ile 60 günlük vermikompostlama sonucunda 250 mg Cu kg<sup>-1</sup> ve 10 mg Cd kg<sup>-1</sup> kadar artışın solucan dokularında mevcut olduğu belirlenmiştir. Toprak solucanlarının aktivitesi sonucu organik madde ve toplam azot içeriğinin ham arıtma çamuruna göre azaldığı, mevcut azot ve fosfor içeriğinin arttığı, toplam fosfor, toplam potasyum ve mevcut potasyum içeriğinde değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, solucan kompostunun lahanaya bitkisinin kütlesini artırdığı ve lahanaya bitkisinin kurşun ve bakır biyobirikiminin azaldığı belirlenmiştir.

He vd, (2016) farklı katkı maddeleri (toprak, saman, uçucu kül ve talaş) ve *Eisenia fetida* türü solucanı kullanılarak kanalizasyon arıtma çamurunun vermikompostlanarak ağır metallerin (As, Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) toplam içeriğinin ve türünün değerlendirildiği çalışmada, pH ve toplam organik karbonun azaldığını, fakat elektrik iletkenliği ve çimlenme indeksinin arttığı gözlemlenmiştir. Hacim arttırıcı maddelerin eklenmesi, arıtma çamurunun stabilizasyonunu hızlandırmış ve toksisitesini ortadan kaldırmıştır. Vermikompostlama sonrası toplam ağır metallerin, başlangıç değerleri kontrol grubuna kıyasla düşürüldüğü saptanmış olup, ağır metallerin hareketliliğinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Morgan ve Morgan, (1988)'a göre toprağın pH'ı, solucanların ağır metal birikimini etkileyen parametrelerden biridir. Ağır metallerin çözünürlüğü ve toprak pH'ı arasında yakın bir ilişki bulunmakta olup, pH seviyesi düştüğünde solucanlarda metal birikimi artmaktadır (Herms ve Brunner 1984).

Paul vd, (2019) tarafından ağır metallerin (Cu, Zn, Mn, Fe, Pb, Ni, Cd ve Cr) vermikompostlamadan sonra arttığı, organik materyalin azalmasıyla birlikte, karışımın ağırlığında ve hacmindeki azalmaya bağlı olarak konsantrasyonunun arttığı

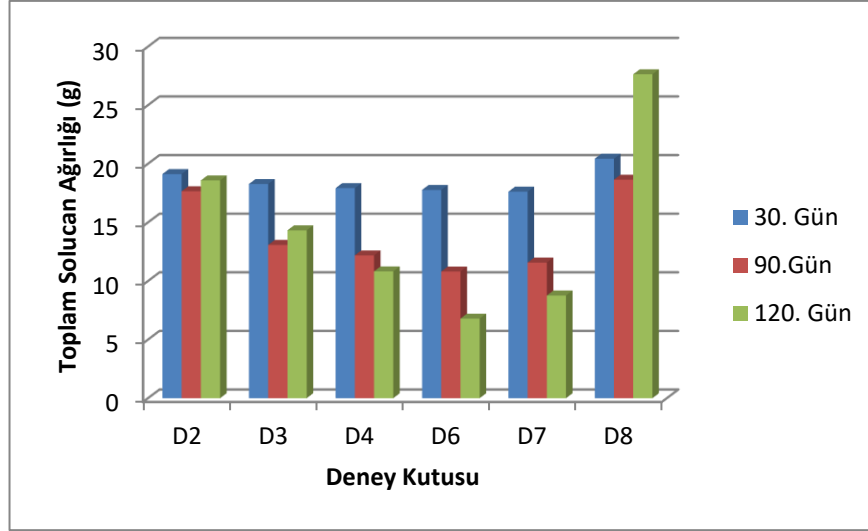
belirtilmiştir. Benzer sonuçlar Gupta ve Garg (2008) tarafından da raporlanmıştır. Ayrıca ağır metaller immobilizasyonun epige toprak solucanının dokularında ve bağırsaklarında biyobirikme yoluyla sağlandığına değinilmiştir.

Yadav ve Garg, (2018) farklı oranlarda fırıncılık endüstrisi arıtma çamurunun ve inek gübresinin 21 ile 105 gün arasındaki vermikompostlanmasının değerlendirildiği çalışmada, solucanların vermikompostun NPK içeriğini ve EC'yi önemli ölçüde arttırırken, arıtma çamurunun pH, TOK ve C:N oranının azaldığı belirlenmiştir. Vermikompostlamadan sonra, TKN, TAP ve TK içerikleri ilk karışımlara kıyasla artmıştır. Metal konsantrasyonlarının, ilk karışımlara kıyasla vermikompostlarda daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, diğer endüstriyel atıksu arıtma çamurları ile yapılan birçok çalışma ile benzerlik göstermektedir.

### **7.3. VERMİKOMPOST UYGULAMALARININ *E. fetida* TÜRÜ TOPRAK SOLUCANLARININ GELİŞİMİ VE CANLI AĞIRLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ**

Deney süreci boyunca toprak solucanlarının toplam yaş ağırlıkları 30, 90 ve 120 günlük olarak Şekil 7.7.'de verilmiştir.



Şekil 7.7. 30, 90 ve 120 gün sonunda deney kutularındaki toprak solucanların yaş ağırlıkları.

Vermikompost uygulamalarıyla solucanların 30 günlük gelişimi incelenmiştir. Solucan kontrol uygulamasında (D8) solucanların toplam yaş ağırlığı 20,44 g/solucan iken D2 kutusunda 19,12 g/solucan, D3 kutusunda 18,28 g/solucan, D4 kutusunda 17,93 g/solucan, D6 kutusunda 17,76 g/solucan ve D7 kutusunda 17,63 g/solucan tespit edilmiştir. Uygulamada malzeme oranlarının farklı olmasına karşın kutu içerisindeki solucan sayısı sabit kalmıştır. Ancak D1 ve D5 kombinasyonlarındaki solucanlar yaşamamıştır.

Şekil 7.7'deki veriler doğrultusunda solucan kontrol uygulamasının diğer doz uygulamalarına göre solucan yaş ağırlıkları büyükten küçüğe D2>D3>D4>D6>D7 şeklindedir. Kontrol uygulamasındaki solucanlara en yakın fiziksel özelliklere sahip uygulamanın D2 kutusu olduğu gözlemlenmiş olup, arıtma çamuru dozunun az olduğu dozlardaki (D2 ve D3 kutuları) solucanların eşey gelişimleri kontrole yakın durumdadır. Bu dozlardaki solucanların fiziki tepkilere yanıtın hızlı olduğu ve yer değiştirmeye oldukça fazla yatkın oldukları saptanmıştır. Arıtma çamuru dozunun fazla olduğu D6 ve D7 dozları ve yarı yarıya arıtma çamuru-gübre dozundaki (D4) solucanların renklerinin koyulaştığı ve eşey gelişimlerinin mevcut olmadığı gözlemlenmiştir. Bu dozlardaki solucanların fiziki tepkilere yanıtın olduğu ve yer değiştirmeye yatkınlıklarının bulunduğu saptanmıştır.

Vermikompost uygulamalarıyla solucanların 90 günlük gelişimi incelenmiştir. Kontrol uygulamasında (D8) solucanların toplam yaş ağırlığı 18,65 g/solucan iken D2 dozunda 17,66 g/solucan, D3 dozunda 13,08 g/solucan, D4 dozunda 12,19 g/solucan, D6 dozunda 10,09 g/solucan ve D7 dozunda 11,57 g/solucan tespit edilmiştir. Ancak D1 ve D5 denemelerindeki solucanların yaşamadıkları tespit edilmiştir.

Deney periyodu sonunda kaplardaki solucanlar (yavrularda dahil) sayılmıştır. Kontrol uygulamasında (D8) solucanların toplam sayısı 93 adet/solucan iken D2 dozunda 52 adet/solucan, D3 dozunda 49 adet/solucan, D4, D6 ve D7 dozlarında 35 adet/solucan tespit edilmiştir. Malińska vd'ne, (2014) göre ağır metallerin solucanların aktivitesi, büyüme ve üremesini inhibe ettiği gösterilmiştir. Solucanların yaşamsal özelliklerinin sağlanması için hacim artırıcı maddelerle (örneğin gübre, talaş tozu vb.) desteklenerek vermikompost dönüşüm oranının artırılması gerekmektedir (Paul vd, 2019).

Yukarıdaki veriler doğrultusunda kontrol uygulamasının diğer doz uygulamalarına göre solucan yaş ağırlıkları büyükten küçüğe  $D2 > D3 > D4 > D7 > D6$  şeklindedir. Kontrol uygulamasındaki solucanlara en yakın fiziksel özelliklere sahip dozun D2 dozu olduğu gözlenmiş olup, D8, D2 ve D3 doz uygulamalarında bulunan solucanların klitellum yapılarının oluştuğu gözlemlenmiştir. D4, D6 ve D7 dozlarında bulunan solucanların klitellum yapısının oluşmadığı ya da cılız olduğu gözlemlenmiştir. Süreç sonunda D8, D2 ve D3 dozlardaki solucanların fiziki tepkilere yanıtın yavaş olduğu ve yer değiştirmeye oldukça az yatkınlık sergiledikleri saptanmıştır. D4, D6 ve D7 dozlardaki solucanların ise; fiziki tepkilere hemen hemen hiç yanıtın olmadığı ve yer değiştirmede zorlandıkları saptanmıştır. Bu dozlara ait solucanların renklerinin koyuluğunun devam ettiği gözlemlenmiştir. Bahsedilen bilgiler ışığında ana malzeme olan DAÇ'ın içerdiği düşük organik madde miktarından dolayı 90. gün sonunda her bir deney kutusuna 250 g'lık atık çay posası eklenmiştir.

Khan vd'nin, (2019) kanalizasyon çamurunun (SS) ve mutfak atığı (KW) karışımına (SS + KW, 70:30) eklenen farklı biyocharların (ağırlıkça % 10) solucanların

büyümesi, üremesi ve hayatta kalması ve kompostlama kalitesi üzerine etkilerinin incelendiği bir vermikompostlama çalışmasında, ön inkübasyon (16 gün) ve vermikompostlama (30 gün) için ikincil materyal olarak kullanılan dört tip biyochar vardır. Bunlar çam ağacı biyocharı (PTB), kavak bitkisi biyocharı (PPB), sulak alan bitki biyocharı (WPB) ve bahçe atık biyocharı (YWB). Biyokütle karışımının ön inkübasyonu ve vermikompostlanması, sırasıyla 60 L ve 2L kapasiteli yuvarlak şekilli biyoreaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Bozundurulmuş biyokütle numuneleri, ön inkübasyon sırasında her 2 günde bir bitki besin maddeleri ve ağır metal içerikleri açısından analiz etmek için vermikompostlama sırasında örnekler 5 gün arayla toplanmıştır. Vermikompost substratın (SS + KW) biyocharlar ile düzenlenmesi; PTB, PPB, WPB ve YWB, solucanların (*Eisenia fetida*) üreme oranını kontrol grubuna kıyasla sırasıyla arttığı belirlenmiştir. Ayrıca vermikompost substratında Cd, Cr, Cu, Mn, Pb ve Zn toplam içeriğinde önemli azalmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ağır metallerin solucan vücut birikim faktörünün (BAF) deney sonunda Cd> Zn>Pb> Cu> Mn > Cr olduğu belirlenmiştir. Biyochar eklemeleri tüm makrobesinlerin konsantrasyonunu artırırken, pH, Na içeriği, TOK, OM ve C:N oranının azaldığı saptanmıştır. Çalışmanın sonucunda, SS + KW karışımının PPB ile düzenlenerek vermikompostlanması sonucu daha düşük ağır metal içeriğine sahip ve besin açısından zengin vermikompost elde edilmiştir ve bu karışım kullanılarak daha fazla sayıda kokon, solucan büyüme ve üreme oranı elde edilmiştir.

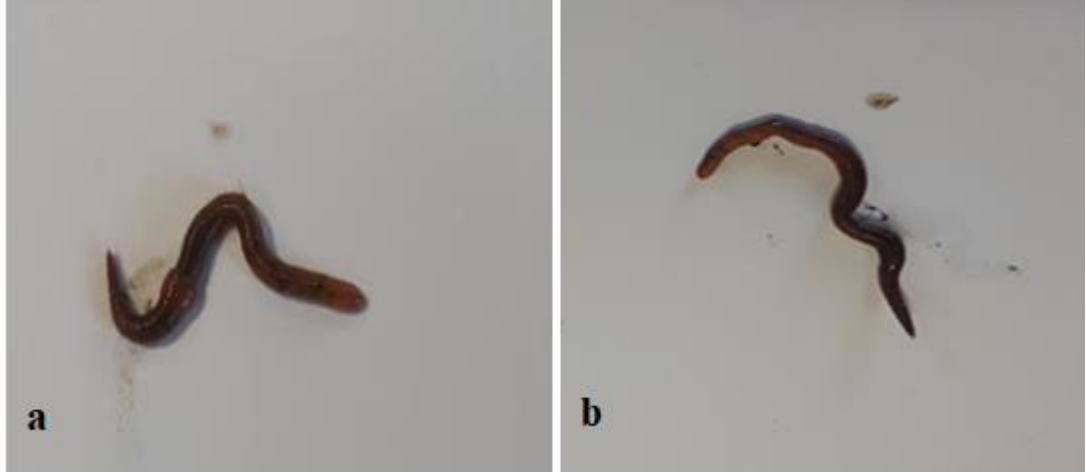
Vermikompost uygulamalarında solucanların 120 günlük gelişimi incelenmiştir. Kontrol uygulamasında (D8) solucanların toplam yaş ağırlığı 27,64 g/solucan iken D2 dozunda 18,58 g/solucan, D3 dozunda 14,32 g.r/solucan, D4 dozunda 10.82 g/solucan, D6 dozunda 6.79 g/solucan ve D7 dozunda 8,76 g/solucan tespit edilmiştir. Deney periyodu sonunda kaplardaki solucanlar (yavrularda dahil) sayılmıştır. Kontrol uygulamasında (D8) solucanların toplam sayısı 273 adet/solucan iken D2 dozunda 52 adet/solucan, D3 dozunda 43 adet/solucan, D4 dozunda 32 adet/solucan, D6 dozunda 33 adet/solucan ve D7 dozlarında 30 adet/solucan tespit edilmiştir. Ancak D1 ve D5 uygulamalarındaki solucanlar yaşamamıştır.

Yukarıdaki veriler doğrultusunda kontrol uygulamasının diğer doz uygulamalarına göre solucan yaş ağırlıkları büyükten küçüğe D2>D3>D4>D7>D6 şeklindedir.

Kontrol uygulamasındaki solucanlara en yakın fiziksel özelliklere sahip dozun D2 dozu olduğu gözlenmiş olup, D8, D2 ve D3 doz uygulamalarında bulunan solucanların klitellum yapılarının olduğu gözlemlenmiştir. D4, D6 ve D7 dozlarında bulunan solucanların klitellum yapılarının oluşmadığı ya da cılız olduğu gözlemlenmiştir. Süreç sonunda D8, D2 ve D3 dozlardaki solucanların fiziki tepkilere yanıtın 90 günlük sürece kıyasla daha iyi olduğu ve yer değiştirmeye yatkınlık sergiledikleri saptanmıştır. D4, D6 ve D7 dozlara ait solucanların renklerinin koyuluğunun devam ettiği ve fiziki tepkilere yanıtın 120 günlük sürece kıyasla daha iyi olduğu ve yer değiştirmeye yatkınlık sergiledikleri belirlenmiştir. Venter ve Reinecke, (1988)'göre kompost ortamındaki mikro faunaya ve atığın içerdiği organik madde miktarının, komposttaki solucanın ne kadar süre boyunca aynı kültür ortamında hayatta kalabileceğini etkilemektedir. Dolayısıyla kompostlamaya dayalı çalışmaların süreleri farklılık göstermektedir.

#### **7.4. VERMİKOMPOST UYGULAMALARININ *E. fetida* TÜRÜ TOPRAK SOLUCANLARININ YAVRU VE KOKON OLUŞUMUNA ETKİSİ**

30 günlük vermikompost uygulamaları sonucunda kontrol uygulaması (D8) da dâhil olmak üzere D2, D3, D4, D6 ve D7 dozlarına ait ortamlarda kokon ya da yavruya rastlanmamıştır. 90 ve 120 günlük vermikompost uygulamaları sonucunda D8, D2 ve D3 dozlarına ait ortamlarda kokon ve yavru sayılarında ilerleyen zamanla birlikte artış yaşanmıştır. Ancak 90 ve 120 günlük vermikompost uygulamaları sonucunda D4, D6 ve D7 dozlarına ait ortamlarda kokon ya da yavruya rastlanmamıştır.



Şekil 7.8. Kontrol uygulamasından (D8) alınmış *E. fetida* türü toprak solucanı (a) ve D4 uygulamasından alınmış *E. fetida* türü toprak solucanı (b) (Orijinal).

Şekil 7.8’de görüldüğü gibi solucan kontrol uygulamasından alınmış toprak solucanın D4 dozundan alınmış toprak solucanına kıyasla klitellumun gözle görülür bir şekilde geliştiği ve renginin daha açık olduğu gözlenmektedir. Ayrıca yer değiştirmeye daha yatkın oldukları ve fiziki tepkilere oldukça hızlı tepki verdiği belirlenmiştir.

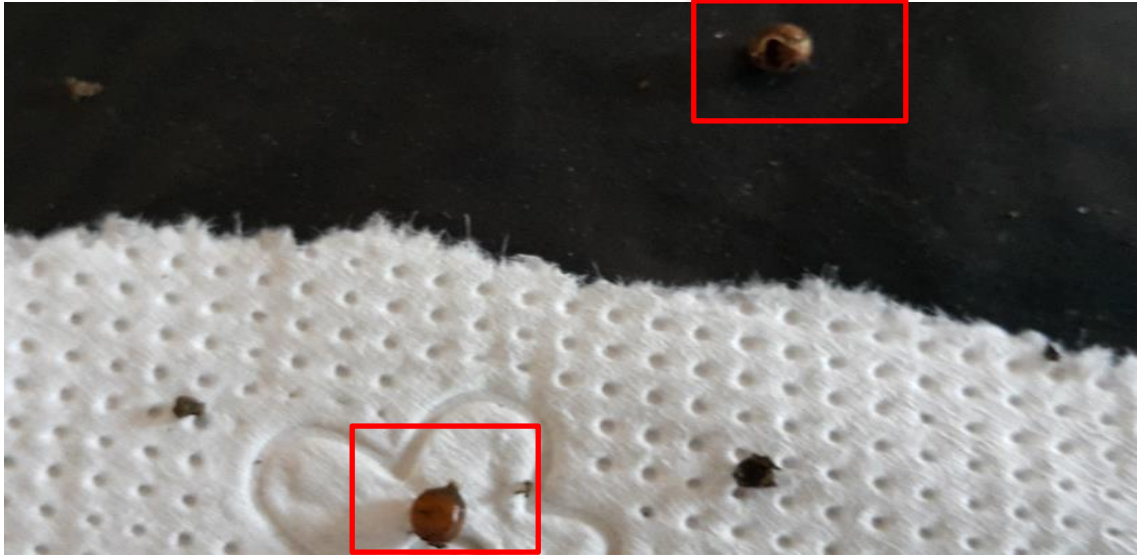
Venter ve Reinecke, (1988)’e göre *Eisenia fetida* türü toprak solucanlarının gelişimleri ve üremeleri üzerine yapılmış çalışmada, 10 adet solucanın başlangıçta ilk 60 günlük süreçte yavaş büyüdüğü, 60. günden sonra deney kabına taze besin eklendikten sonra 90. güne kadar solucanların büyüme hızının, 60. güne kadarki büyüme hızından daha fazla olmaktadır. Davies vd, (2003) tarafından yapılan çalışmada, toprak solucanlarının kurşun toksisitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, canlı bünyesine kurşun alımının zamanla doğrusal oranda arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca mineral formunda bulunan kurşun toksisitesi üzerindeki etkisini gösteren en hassas parametrenin kokon (yumurta) üretimi olduğu saptanmıştır.

Malińska vd’ne, (2014) göre tarafından yapılan çalışmada ağır metallerin solucanların aktivitesi, büyüme ve üremesini inhibe ettiği gösterilmiştir, dolayısıyla arıtma çamurunun kompostlanma verimliliğini azaltmaktadır. Paul vd, (2019)



tarafından ise solucanların yaşamsal özelliklerin sağlanması için hacim arttırıcı maddelerle (örneğin gübre, talaş tozu vb.) desteklenerek vermikompost dönüşüm oranını arttırılması gerektiğini bildirmektedir.

Maleri, (2007) ağır metallerin toksisitesinin *Eisenia fetida* türü solucan üzerindeki etkilerini araştırmış ve solucan popülasyonunun ağır metaller nedeniyle düştüğünü ortaya koymuştur. Haroun vd, (2007) tarafından ise daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan ağır metallerin, hem fitotoksik hem de zootoksik olma potansiyeline sahip olduğuna değinilmiştir. Dominguez, (2012) tarafından yapılan bir çalışmada ise, nikel, bakır, çinko ve kadmiyum ağır metallerine maruz kalan *Eisenia fetida* türündeki solucanların çoğunun öldüğü ve ölü biyokütlede bahsedilen metallerin var olduğu bulunmuştur.



Şekil 7.9. Deney kutularında bulunmuş solucan kokonları (Orijinal)



Şekil 7.10. Deney kutularında bulunmuş *E. fetida* türü yeni yavru toprak solucanları (Orijinal)

#### **7.5. VERMİKOMPOSTLAMA SÜRECİNİN ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER ÜZERİNE ETKİSİ**

Vermikompostlama uygulaması sırasında bilhassa 30. günden itibaren solucanların aktivitesi nedeniyle kompost materyali üzerinde solucan dökümlerinin bırakıldığı gözlenmiştir. Sonrasında, materyalin dokusu yoğunlaşmaya başlamıştır. Materyal üzerinde 90. günden sonra ince solucan dökümleri yoğun bir şekilde bulunmuştur. Uygulama sonrasında materyal toprağa yakın bir kıvama ulaşmıştır. Deneyde kullanılan materyallerin homojenize olarak ayrıştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.11. Vermikompost uygulamasının başlangıcından (a) ve 30 günlük vermicompost uygulamasından (b) görüntüler (Orijinal)



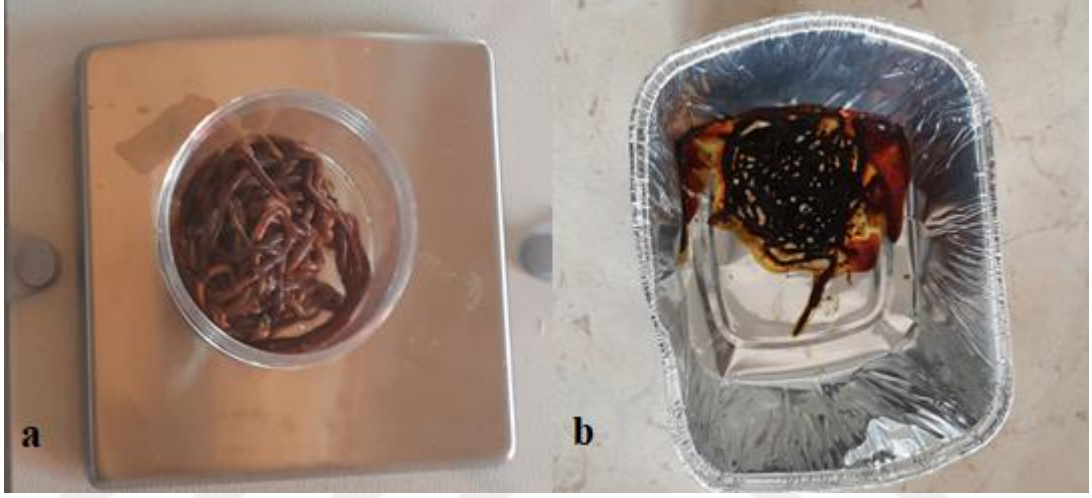
Şekil 7.12. 90 günlük vermicompost uygulamasından bir görüntü (Orijinal)

## 7.6. TOPRAK SOLUCANLARININ KURU AĞIRLIKLARININ BELİRLENMESİ

Solucanların ısı altında ne kadar ağırlık kaybettiğinin tespiti için, kültür ortamından canlı olarak alınan 35 adet solucanın dış yüzeyindeki toprak kalıntıları temizlenmiş ve 28 °C'de dışkı ve sindirim sistemi boşaltılmıştır. Daha sonra solucanlar hassas terazide tartılarak 16,693 g canlı ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. Tartılan solucanlar derin dondurucuda bekletildikten sonra kurutma fırınında 105 °C'de 24 saat işleme tabi tutulmuştur. Solucanların kuru ağırlığı ise 4,720 g olarak tespit

edilmiştir. Solucan hacminin ise ilk duruma göre önemli oranda azaldığı gözlenmiştir.

Karabulut, (2016) kültür ortamından temin edilen 37 adet canlı durumdaki kırmızı Kaliforniya solucanının üzerindeki toprak kalıntıları ve 28 °C sıcaklıkta sindirim içeriğinden arındırıldıktan sonra 105 °C’de kurutma işlemi uygulanmış ve 8,51 g yaş solucandan kurutma işlemi ile 1,24 g solucan unu üretilmiştir.



Şekil 7.13. Hasat edilen yaş solucanlara (a) ve kurutma işlemine tabi tutulmuş solucanlara (b) ait bir görüntüler (Orijinal)

Şekil 7.13’de de görüldüğü gibi bünyelerinde yüksek miktarlarda sıvı bulunduran solucanların kurutma işlemi sonunda yüksek oranda hacim ve ağırlık kaybettiği belirlenmiştir.

## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR

Bu çalışma, ağır metal içeriği zengin atık su arıtma çamuru oluşturan demir-çelik sektörü atık su arıtma çamurunda bulunan ağır metallerin *E. fetida* türü toprak solucanı kullanılarak giderilmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla atık su arıtma çamuru ve ahır gübresinin farklı kombinasyonlarının, odun talaşı ve atık çay posası kullanılarak *E. fetida* türü toprak solucanı ile 30, 90 ve 120 günlük deneme periyodu ve 3 tekerrürlü olarak vermikompostlama yapılmıştır. Endüstriyel atık su arıtma çamuruyla etkileşime giren toprak solucanlarının bünyelerindeki metal miktarlarındaki değişimlerin incelenmesi başta olmak üzere, solucanların toplam yaş ağırlığı, yavru ve kokon oluşumu ve kompost materyali üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada;

1. D4 ve D6 kutularında bulunan solucanların bünyesindeki ağır metal miktarları değerlendirildiğinde deney kutularındaki artan arıtma çamuru dozuna paralel olarak solucan bünyesindeki metal miktarlarında da artış meydana gelmiştir.
2. Ağır metaller içerisinde solucan bünyelerine en fazla çinko alımının gerçekleştiği ve zamana bağlı olarak artışın olduğu belirlenmiştir.
3. Çalışmada incelenen ağır metallerden (Cd, Cu, Pb, Hg, Zn ve Cr), kadmiyum hariç (<0,24) diğer metallerin solucan kontrol grubuna kıyasla arttığı belirlenmiştir. Cıvanın 30. günde yapılan analizinde <0,1 değerinde olduğu ve 90. günde arttığı tespit edilmiştir.
4. D4 ve D6 uygulamaları için 90 ve 120. günlerde yapılan solucanlarda metal analizlerinde cıva hariç diğer metallerin biyoakümüülasyonun 120. günde arttığı saptanmıştır. Bu durum besleme ile solucan aktivitesinin artması ve dolaylı olarak solucan bünyesine metal girişinin artması ile açıklanabilir.
5. Arttırılan arıtma çamuru dozunun toprak solucanlarının üreme ve eşey gelişimi üzerine negatif etkisinin olduğu, 1:1 (D4) ve artan arıtma çamuru dozuyla

etkileşime giren solucanların 30. ve 90. günde sayısının sabit kaldığı 120. günde ise sayılarında azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

6. Solucan kontrol (D8) uygulamasında bulunan solucanların gösterdiği biyolojik özellik ve fiziki tepkilere benzer etkinin D2 uygulamasında bulunan solucanlarda olduğu; solucan gelişimi, eşeyssel olgunlaşma ve üreme verimi en yüksek şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir.
7. Solucan yaş ağırlıklarının 30. günde yapılan tartımlarda en fazla olduğu ve 90. gündeki tartımlarda azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum toprak solucanlarını denemede kullanılan yardımcı materyalleri tüketmesiyle, bunların miktarının azalmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, proses nedeniyle organik madde içeriği düşük olan demir-çelik endüstrisi atık su arıtma çamurunun toksik etkileri, ortamdaki besinin azalması ile artmış ve solucan aktivitesini azaltmıştır. Bu durum D4 uygulaması da dahil olmak üzere D6 ve D7 uygulamalarındaki solucanlarda gözlenmiştir. Kontrol grupları haricinde 90. gün sonunda bahsedilen durumlardan dolayı belli oranda kutulara çay posası eklenmiştir.
8. D2, D3 ve D8 uygulamalarında 30. güne kadar solucan sayıları sabit kalmış ve canlı ağırlıkları artmıştır. 90. gün sonunda yapılan incelemede solucan sayılarının arttığı ancak ağırlıklarının azaldığı gözlenmiştir. Kompost ortamında artan solucan popülasyonunun sınırlı besin üzerindeki baskıyı arttırarak solucanların beslenme miktarını sınırlandırmış, bu durum ise ağırlık kaybına neden olmuştur.
9. D4, D6 ve D7 uygulamalarında 30. güne kadar solucan sayıları sabit kalmış ve canlı ağırlıkları artmıştır. 90. gün sonunda yapılan incelemede solucan sayılarının sabit kaldığı ve ağırlıklarının azaldığı gözlenmiştir. 90. gün sonunda besleme yapılmıştır. 120. gün sonunda yapılan incelemede solucan sayılarının ve ağırlıklarının 90. güne kıyasla azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum 1:1 oranı da dahil artan atık su arıtma çamuru dozlarının zaman ilerledikçe solucanlar üzerindeki toksik etkilerinde arttığını göstermektedir.
10. D1 ve D5 uygulamalarında solucanların materyale girmeyi reddedip, yüzeyde kaldıkları veya kutuyu terk ettikleri gözlenmiştir. Bu duruma sebep olan etmenlerin atık su çamurundaki gazlar ve çamurun malzeme yapısının sık ve geçirgenliğinin az olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bu veriler

ışığında ahır gübresinin demir çelik endüstrisi atık su arıtma çamuru için uygun hacim arttırıcı malzeme olduğu söylenebilir.

11. 120 günlük vermikompost süreci boyunca 30. günden itibaren arıtma çamuru kokusunun giderilmeye başlandığı ve solucan dökümlerinin kutu yüzeyinde mevcut olduğu gözlenmiştir. 90. günde ise homojenize olmuş ve bütünleşmiş materyal elde edilmiştir.
12. Atık su arıtma çamuru 1:1 (D4) ve arttırılmış dozlarının besin azalmasına paralel olarak solucanların fiziki etkilere (ışığa ve temasa vb.) tepkilerinin yavaş olduğu ve renklerinin D8 uygulamasına göre koyu olduğu gözlemlenmiştir.
13. Bünyelerine metal kirliliğini alan solucanların bertarafı için ısı uygulamalarının yapılabileceği ve kurutma işleminin solucanlar üzerinde yüksek miktarlarda ağırlık ve hacmin azaltılmasında uygulanabilir olduğu belirlenmiştir.
14. Besin takviyesi sonucu 120. gün sonunda D2 ve D3 kutularında toplam solucan ağırlığında artış meydana geldiği, diğer taraftan 1:1 oranı (D4) ve artan atık su arıtma çamuru dozlarında bulunan solucanların toplam canlı ağırlıklarında azalma olduğu ortaya tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen verilere göre demir-çelik endüstrisi atıksu arıtma çamurlarının bünyelerinde bulunan ağır metallerin, *E. fetida* türü toprak solucanı ve ahır gübresi gibi farklı tarımsal atıklar kullanılarak giderilmesi veya önemli oranda azaltılması yapılabileceği ortaya konulmuştur.



## KAYNAKLAR

Agarwal, S., “Vermiculture biotechnology for ecological degradation of kitchen wastes and growth of vegetable crops on the biodegraded waste products (Vermicompost)”, *University of Rajasthan*, PhD Thesis, Jaipur, India, 27-28 (1999).

Akalın, M. K., “İleri Arıtma Sistemleri Ders Notları”, *Karabük Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü*, Karabük (2017).

Albering, J. H., van Leuson, S. M., Moonen, E. J. C., Attogewerff, J. A. and Kleinjans, J. C. S., “Human health risk assessment: A case study involving heavy metal soil contamination after the flooding of river meuse during the winter of 1993-1994”, *Environmental Health Perspectives*, 107(1):37-43 (1999).

Aleagha, M. M. and Ebadi, A. G., “Study Of Heavy Metals Bioaccumulation İn The Process Of Vermicomposting”, *African Journal of Biotechnology* Vol. 10(36), 6997-7001 (2011).

Alkış, İ. M., “Türk şaraplarında ağır metallerin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,12 (2011).

Ananthavalli, R., Ramadas, V., John Paul, J. A., Karunai Selvi, B. and Karmegam, N., “Seaweeds as bioresources for vermicompost production using the earthworm, *Perionyx excavatus* (Perrier)” *Bioresource Technology*, 275, 394–401 (2019).

Anetor J. I., “Rising environmental cadmium levels in developing countries: threat to genome stability and health”, *Niger J Physiol Sci*, 27(2):103-115 (2012).

Arancon, N. Q., Galvis, P. A. and Edwards, C. A., “Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicompost”, *Bioresource Technology* 96, 1137-1142 (2005).

Arıman Karabulut, H., Kurtoğlu, İ. Z., Yüksek, T. ve Osmanoğlu M.İ., Balık Yemlerinde Hayvansal Protein Kaynağı Olarak Solucan Ununun Kullanımı, *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi* Yıl: 1, Sayı: 2, 2016 (64-69).

Arslan Topal, E. I. ve Topal, M.,”Kompost Standartları Üzerine Bir Derleme”, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* Cilt 2(2) 85-108 (2013).

Arslan, H. H., Aksu, D. S., Özdemir, S., Yavuz, O., Or, M. E. ve Barutçu, Ü. B., “Evaluation of the Relationship of Blood Heavy Metal Trace Element Levels and Antioxidative Metabolism in Cattle Which Are Living Near The Trunk Roads”, *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, 17(A) 77-82 (2011).



Asha, A., Tripathi, A. K. and Soni, P., “Vermicomposting: A Better Option for Organic Solid Waste Management”, *J Hum Ecol.*, 24:59–64 (2008).

Atmaca, L., “Fide yetiştirme ortamı olarak vermikompost kullanımının etkileri”, Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı*, İzmir 1-7 (2012).

Atiyeh, R. A., Dominguez, J., Subler, S. and Edwards, C. A., “Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth *Pedobiologia*”, 44 (6) 709–724 (2000).

Azarmi, R., Giglou, M. T. and Talesmikail, R. D., “Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field”, *African Journal of Biotechnology*, 7 (14) 2397-2401 (2008).

Azizi, A. B., Lim, M. P. M., Noor, Z. M. and Abdullah, N., “Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising *Lumbricus rubellus*”, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 90 13-20 (2013).

Ayvaz, Z., “Atıksu Arıtma Çamurlarının Yeniden Değerlendirilmesi”, *Ekoloji Çevre Dergisi*, Cilt: 9 Sayı: 35 3-12 (2000).

Baker, G. H., Amato, M. and Ladd, J., “Influences of *Aporrectodea trapezoides* and *A. rosea* (Lumbricidae) on the uptake of nitrogen and yield of oats (*Avena fatua*) and lupins (*Lupinus angustifolius*). *Pedobiologia*. 47: 857–862 (2003).

Baldwin, K. R. and Greenfield, J. K., “Composting on Organic Farms”, *North Carolina Cooperative Extension Service*, July (2006).

Bansal, S. and Kapoor, K. K., “Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*”, *Bioresource Technology*, 73(2): 95-98 (2000).

Banu, J. R., Logakanthi, S. and Vijayalakshmi, G. S., “Biomangement of paper mill sludge using an indigenous (*Lampito mauritii*) and two exotic (*Eudrilus eugineae* and *Eisenia foetida*) earthworms”, *J Environ Biol.*, 22:181–185 (2001).

Barral, M. T. and Paradelo, R., “Trace elements in compost regulation: The case of Spain” *Waste Management* 31, 407-410 (2011).

Başçetinçelik, A., Öztürk, H. H., Kaya, D., Kaçira, K., Ekinci, K. ve Karaca, C., “Türkiye’de Biyokütle Enerjisi Kullanımını Geliştirme Olanakları”, *VI: Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Mayıs, Isparta, 25-26 (2006).

Belgemen, T. ve Akar, N., “Çinkonun yaşamsal fonksiyonları ve çinko metabolizması ile ilişkili genler”, *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası* 57(3): 161-166 (2004).

Bellitürk, K., “Vermicomposting in Turkey: Challenges and opportunities in future”, *Eurasian Journal of Forest Science*, 6(4): 32-41 (2018).

Bellitürk, K., “Sürdürülebilir Tarımsal Üretimde Katı Atık Yönetimi İçin Vermikompost Teknolojisi”, *Çukurova Tarım Gıda Bil. Dergisi*, 31(3): 1-5 (2016).

Berger, L. L., “ Trace minerals: keys to immunity”, *Animal Sciences Univ.*, Illinois, (1996).

Beyer, W. N., Chaney, R. L. and Mulhern, B. N. “Heavy metal concentration in earthworms from soil amended sewage sludge” *Journal of Environmental Quality*, 11:381–385 (1982).

Bianchina, J. N., “Development of a flowsystem for the determination of Cd in fiel alcohol using vermicompost as bioabsorbent” *Talanta*, 78: 333-336 (2009).

Brown, G. G., Benito, N. P., Pasini, A., Sautter, K. D., Guimaraes, M. And Torres, E., “No-tillage greatly increases earthworm populations in Parana State”, *Pedobiol.*, Volume-47, Brazil, 764-771 (2004).

Buckerfield, J. C., “Earthworm are indicators of sustainable production. 6th international symp”, *Earthworm Ecol.*, Vigo, Spain, 95 (1998).

Butt, K. R., “Utilization of solid Paper mill sludge and spent brewery yeast as a feed for soil-dwelling earthworms”, *Biosource Technology*, 44: 105-107 (1993).

Caneb, G., “Nikel”, *Madencilik Dergisi*, Cilt EC Sayı 5, www.maden.org.tr /resimler/ekler/558.pdf (2019).

Castillo, H., Hernández, A., Dominguez D. and Ojeda, D., “Effect Of Californian Red Worm (*Eisenia fetida*) On The Nutrient Dynamics Of A Mixture Of Semicomposted Materials”, *Chilean Journal Of Agricultural Research*, 70(3):465-473 (2010).

Cebeci, M. ve Sonverdi, E., “Entegre Demir-Çelik Üretim Süreçlerinin Çevresel Etkileri”, *Karabük University International Iron and Steel Symposium*, Karabük, 1183 (2012).

Cemek, B. ve Kizilkaya, R., “Spatial variability and monitoring of Pb contamination of farming soils affected by industry” *Environment Monitoring Assessment*, 117, 357–375 (2006).

Clarkson, T. W, Magos, L. and Myers, G. J., “The toxicology of mercury current exposures and clinical manifestations”, *N Engl J Med.*, 349:1731 (2003).

Chang, L. W., Meier, J. R. and Smith, M. K., “Application of plant and earthworm bioassays to evaluate remediation of a lead-contaminated soi”, *Arch Environ Contam Toxicol*, 32:166–171 (1997).

Chhotu, D. J. and Fulekar, M. H., "Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques", *Afr. J. Biotechnol.*, 8(6): 921-928 (2009).

Crea, T., Guerin V. and Ortega F., "Zinc and immun system", *Ann Med-Intern*, 141 (5): 447-457 (1990).

Davies, N. A., Hodson, M. E. and Black, S., "Is the OECD acute worm toxicity test environmentally relevant? The effect of mineral form on calculated lead toxicity", *Environ. Pollut.*, 121: 49-544 (2003).

Dermont, G., Bergeron, M., Mercier, G. and Richer-Lafleche, M., "Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical technologies and field applications", *Journal of Hazardous Materials*, 152(1), 1-31 (2008).

Dinç, İ., "Mesudiye'de Halk Hekimliği ve Halk Veterinerliği", *Mezuniyet Tezi Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Etnoloji Kürsüsü*, 69 (1971).

Dominguez, J. and Edwards, C. A., "Comparison of vermicomposting and composting", *BioCycle*, 38(4):57-59 (1997).

Dominguez, J. and Edwards, C. A., "Vermicomposting organic wastes: A review", In: Shakir Hanna, S. H. and Mikhail, W. Z. A., (eds) Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century, *Geocities*, 369-395 (2004).

Domínguez, C. A. M., Sánchez-Hernández, Z. E., Torres-Huerta, A. M., NegreteRodríguez, M., Conde-Barajas, E. and Flores, A., "Vela Effect of the Heavy Metals Cu, Ni, Cd and Zn on the Growth and Reproduction of Epigeic Earthworms (*E. fetida*) during the Vermistabilization of Municipal Sewage Sludge", *Water Air Soil Pollut*, 223, 915-931 (2012).

Dökmeci, İ. ve Dökmeci, A. H., "Toksikoloji Zehirlendirmede Tanı ve Tedavi", 4. Baskı, *Nobel Tıp Kitabevleri*, (2005).

Dündar, Y. ve Aslan, R., "Yaşamı Kuşatan Ağır Metal Kurşunun Etkileri", *Kocatepe Tıp Dergisi*, 6: 1-5 (2005).

Edwards, C. A., Burrows, I., Fletcher, K. E. and Jones, B. A., "The use of earthworms for composting farm wastes. In composting of Agricultural and Other Wastes", *JKR Gasser (Ed.)*, Elsevier, Amsterdam, 229-242 (1985).

Edwards, C. A., "Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms", *SPB Academic Publ. Co.*, 21-31 (1988).

Edwards, C. A., "Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms", *Agriculture, Ecosystems and Environment*,: 24:21- 31 (1988a).

Edwards, C. A. and Bohlen, P. J., "Biology and Ecology of Earthworms 3rd. Ed.", *Chapman and Hall*, New York, 15-27 (1996).

Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Sherman, N., “Introduction, history, and potential of vermicomposting technology. Vermiculture Technology. Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management”, *CRC Press*, 11–21 (2011).

Ehsani, A. ve Yazıcı, E. Y., “Anadolu'da Bakır Madenciliği ve Kullanımının Kısa Tarihi”, *Yer Altı Kaynakları Dergisi*, Yıl:5, Sayı:9, 43-48 (2016).

Erdin, E., “Atık Suların Sulamada Kullanılması”, *Su Kimyası ve Teknolojisindeki Son Gelişmeler Semineri*, İzmir, 1-13 (1981).

Ergün, A. ve Şehu, A., “Dengesiz beslenmenin immun sistem üzerine etkileri”, *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 1 (1) 45-50 (1999).

Ersöz, T., Düğenci, M., Ünver, M. ve Eyiol, B., “Demir-Çelik Sektörüne Genel Bir Bakış ve Beş Milyon Ton Üstü Demir Çelik İhracatı Yapan Ülkelerin Kümeleme Analizi İle İncelenmesi”, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* Cilt 4(2) 75-90 , (2015).

Favier, A., “Is zinc a cellular mediator in the regulation of apoptosis”, *Met Ions Biol Med.*, 5:164- 7 (1998).

Ferrera, C. D., Alarcón, A., “La agricultura del suelo en la agricultura sostenible”, *Ciencia Ergo Sum*, 8:175183 (2001).

Fosmire, G. J., “Zinc toxicity”, *The American Journal of Clinical Nutrition*, Volume 51, Issue 2, 225-227 (1990).

Garg, P., Satya, S. and Sharma, S., “Effect of heavy metal supplementation on local (*Allolobophora parva*) and exotic (*Eisenia fetida*) earthworm species: A comparative study”, *Journal of Environmental Science and Health*, Part A, 44(10), 1025–1032 (2009).

Geogievski, VI., “The physiological role of microelements: Zinc”, *Mineral Nutrition of Animals*, 192-198 (1982).

Grace, N. D. and Clark, R., “Trace element requirements, diagnosis and prevention of deficiencies in sheep and cattle”, *Proceedings of the Seventh International Symposium on Ruminant Physiology*, 321-346 (1991).

Gogoi, A., Biswas, S., Bora, J., Bhattacharya, S. S. and Kumar, M., “Effect of vermicomposting on copper and zinc removal in activated sludge with special emphasis on temporal variation”, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 15(2), 101–107 (2015).

Golueke, C. G., “Understanding the process. In: Staff of BioCycle (Eds.). The BioCycle Guide to the Art and Science of Composting”, *The JG Press Inc.*, Emmaus, Pennsylvania, USA, 14-27 (1991).

Goswami, L., Pratihari, S., Dasgupta, S., Bhattacharyya, P., Mudoi, P., Bora, J., Bhattacharya, S. S. and Kim, K. H., “Exploring metal detoxification and accumulation potential during vermicomposting of Tea factory coal ash: sequential extraction and fluorescence probe analysis”, *Sci. Rep.*, 6, 30402 (2016).

Göreç, C., “Manavgat Yöresinde Halk Hekimliği Uygulamaları”, *SUTAD*, (46): 195-219 (2019).

Graves, R. E. and Hattemer, G. M., Stettler, D., Krider, J. N., and Chapman, D., “Chapter-2 Composting”, Environmental Engineering National Engineering Handbook, *The United States Department of Agriculture*, USA, Washington, 2-17 (2000).

Grdiša, M., Gršić, K. and Grdiša, M. D., “Earthworms - role in soil fertility to the use in medicine and as a food”, *ISJ*, 10: 38-45 (2013).

Guerrero R. D., III. n.d. “The culture and use of earthworms as animal protein source in the Philippines”, *Philippine Council for Aquatic and Marine Resources and Development*, (2006).

Guerrero, L. A and Guerrero, R. D. III. n.d., “Eugeton- a new natural health product from earthworms. In: Guerrero R. D. III. n.d., Guerrero-del Castillo MRA (eds.). Vermicomposting Technologies for Developing Countries. Proceedings of the International Symposium-Workshop on Vermicomposting Technologies for Developing Countries. Nov. 16-18, 2005, Los Baños, Laguna, Phils”, *Philippine Fisheries Association, Inc.* 145-147 (2006).

Gupta, S. K., Tewari, A., Srivastava, R., Murthy, R. C. and Chandra, S., “Potential of *Eisenia foetida* for sustainable and efficient vermicomposting of fly ash”, *Water Air Soil Pollut.* 163(1-4) 293-302 (2005).

Gupta, R. and Garg, V. K., “Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting”, *J. Hazard. Mater.* 153 1023-1030 (2008).

Günay, Ü. ve Dursun, Ş., “Aritma Çamuru ve Zirai Atıkların Kompostlanarak Tarım Arazilerinde Kullanımı”, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 1(1): 14-19 (2018).

Halistürk, İ., Yoldaş S. ve Topçu B., “Atıkların Arıtılmasında Mikroorganizmaların Kullanılması”, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümü*, İzmir, (2017).

Hand, P., “Earthworm Biotechnology; In: Greenshields, R. (ed.) Resources and Application of Biotechnology: The New Wave”, *MacMillan Press Ltd.*, US, (1988).

Haroun, M., Idris, A. and Omar, S. S., “A study of heavy metals and their fate in theomposting of tannery sludge”, *Waste Manage.*, 27 (11), 1541-1550 (2007).

Harstenstein, R, and Mitchell, M. J., “Utilization of earthworms and microorganisms in stabilization, decontamination and detoxification of residual sludges from treatment of wastewater, Final Report, US Department of Commerce”, *National Technical Information Services*, PB 286018, Springfield, Virginia, 34 (1978).

He, M. M., Tian, G. M. and Liang, X. Q., “Phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead during the aerobic composting of sewage sludge”, *J. Hazard. Mater.* 163, 671–677 (2009).

He, X., Zhang, Y., Shen, M., Zeng, G., Zhou, M. and Li, M. “Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials”, *Bioresource Technology*, 218, 867–873 (2016).

Hepşen Türkay, F. Ş., “Fındık Zurufu Ve Arıtma Çamurunun Solucanlarla Kompostlanması ve Elde Edilen Vermikompostun Sera ve Tarla Koşullarında Toprakların Biyolojik Özelliklerinde Meydana Getirdiği Etkilerin Belirlenmesi”, *OMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, Samsun, 12-23 (2010).

Hermes, U. and Brummer, G., “Solubility and retention of heavy metals in soils”, *J. Plant Nutr Soil Sci.*, 147:400–424 (1984).

Hosaad, K. H., “Case study: Vermiculture and vermicomposting technologies use in sustainable agriculture in Egypt”, *Agricultural Research Center*, Egypt, 1-2 (2009).

Huff, J., Lunn, R. M., Waalkes, M. P., Tomatis, L., and Infante, P. F., “Cadmium-induced cancers in animals and in humans”, *Int J Occup Environ Heal*, 13(2):202-212 (2007).

İlhan, N. M., “Cıva ve Bileşiklerinin Zararlı Sağlık Etkileri ve Korunma”, *Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, Cilt 5, Sayı 17, 44-45 (2004).

İnternet: Earthworms, “Earthworm Anatomy”, <https://www.sas.upenn.edu/~rlenet/Earthworms.html> (2019).

İnternet: Te Ara, “Earthworms Mating” <https://teara.govt.nz/en/photograph/15489/earthworms-mating>, (2019).

İnternet: Genel Biyoloji Laboratuvarı II–VII,” Toprak Solucanı Diseksiyonu” <http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm> (2019).

İnternet: Home Compost, “History Of Compost” <https://web.extension.illinois.edu/homecompost/history.cfm> (2019).

İnternet: İSKİ (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi), “Yıllık Faaliyet Raporu, 2012”, <https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/faaliyet-raporlari1> (2019).

İnternet: Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, “Kadmiyum”, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kadmiyum> (2020).

İnternet: Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, “Krom”, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom> (2019).

İnternet: Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, “Kurşun”, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kursun> (2019).

İnternet: Natural England Commissioned Report, “Earthworms in England: distribution, abundance and habitats”, <http://publications.naturalengland.org.uk/file/5824256822738944> (2019).

İnternet: EPA (Environmental Protection Agency), “Reducing the Impact of Wasted Food by Feeding the Soil and Composting”, <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting> (2019).

İnternet: EPA (Environmental Protection Agency), “How to Create and Maintain an Indoor Worm Composting Bin”, <https://www.epa.gov/recycle/how-create-and-maintain-indoor-worm-composting-bin> (2019).

İnternet: TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), Haber Bülteni (18.02.2014), “Belediye Atıksu İstatistikleri, 2012”, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16169> (2020).

İnternet: TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), Haber Bülteni (22.02.2012), “Belediye Atık İstatistikleri Haber Bülteni, 2010”, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=1075> (2019).

İnternet: Yıldız Teknik Üniversitesi “Kompost”, <http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.html> (2019).

İmamoğlu, İ. ve Erdoğan, S., “Kirlenmiş Saha Temizleme/İyileştirme Teknolojileri Kılavuzu”, *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, 18 (2017).

Jimenez, A. A., “Trace elements deficiencies affect ruminant fertility” *Feedstuffs*, 22:36 (1979).

Kabak, Y. B. ve Gülbahar, M. Y., “Sıçanlarda deneysel bakır zehirlenmesinde karaciğer ve böbrek dokularında apoptozisin belirlenmesi”, *Vet Fak Derg.* 60:39-45 (2013).

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., “Trace Elements in Soils and Plants” *CRC Press Boca Raton* , 315 (1984).

Kalaycıoğlu, L., Serpek B., Nizamlıoğlu M., Başpınar N. ve Tiftik A. M., “Biyokimya”, *Selçuk Üniv. Vet. Fak. Yayınevi*, Konya, 35-53 (2000).

Kara, E. E., Taciroğlu, B. ve Sak, T., “Toprakta Ağır Metal Gideriminde Solucanların Kullanımı”, *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19(2), 201-207 (2016).

Karabulut, H. A., “Yaş Kırmızı Kaliforniya Solucanın Proksimate Analizi, Yayınlanmamış Ön Deneme”, *RTEÜ Su Ürünleri Fakültesi*, Rize (2016)..

Karaçal, İ. ve Tüfenkçi, Ş., “Bitki Beslemede Yeni Yaklaşımlar ve Gübre-Çevre İlişkisi”, *Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi*, 257-268 (2010).

Kahraman, Ö., “Süt ve süt ürünlerinin çinko ile zenginleştirilmesine ilişkin yaklaşımlar” *Gıda* 36(4): 241-248 (2011).

Kaya, S., Pirinççi, İ. ve Bilgili, A., “Veteriner Klinik Toksikoloji”, *Medisan Yay*, 90-95 (1995).

Keen, C. L. and Graham, T. W., “Zinc”, In Kaneko JJ, 4th Ed., *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*, 776-784 (1989).

Kılıç, Y.A., “Genel Biyoloji 1. Baskı”, *T.C. Anadolu Üniversitesi*, Yay. No: 1965, Eskişehir, 65 (2009).

Kischgessner, M., “Tiereahrug 6”, *Auflage DLG Verlag*, Frankfurt, 154-160 (1985).

Kizilkaya, R., Bayraklı B., “Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities”, *Applied Soil Ecology*, 30,192–202 (2005).

Kizilkaya, R., Hepşen, S., Akca, I., Bayraklı, B., Askin, T. ve Turkmen. C., “Determination of total and mobile Pb fractions during vermicomposting in sewage sludge”, *International symposium on environment, Kyrgyzstan – Turkey Manas University, Faculty of Engineering*, Bishkek, Kyrgyzstan, 2009.

Kizilkaya, R., “The role of different organic wastes on zinc bioaccumulation by earthworm *Lumbricus terrestris* L. (Oligochaeta) in successive Zn added soil”, *Ecol. Eng.*, 25:322–331 (2005).

Kizilkaya, R., “Cu and Zn accumulation in earthworm *L. Terrestris* L. in sewage sludge amended soil and fractions of Cu and Zn in casts and surrounding soil”, *Ecological Engineering*, 22, 141-151 2004.

Kizilkaya, R. ve Hepşen, Ş., “Microbiological properties in earthworm *Lumbricus terrestris* L. cast and surrounding soil amended with various organic wastes”, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 38: 2861-2876 2007.

Khan, M. B., Cui X., Jilani, G., Lazzat, U., Zehra, A., Hamid, Y., Hussain, B., Tang, L., Yang, X. and He, Z., “*Eisenia fetida* and biochar synergistically alleviate the heavy metals content during valorization of biosolids via enhancing vermicompost quality”, *Science of The Total Environment*, 684, 597–609 (2019).



Khalil, M. A., Abdel-Lateif, H. M., Bayoumi, B. M. and van Straalen, N. M., "Analysis of separate and combined effects of heavy metals on the growth of *Aporrectodea caliginosa* (Oligochaeta; Annelida), using the toxic approach", *Appl Soil Ecol.*, 4:213–219 (1996).

Komarowski, S., "Vermiculture for Sewage and Water Treatment Sludge," *Water*, 28(5):39-43 · January (2001).

Kumar, D. S., Kumar, P. S., Kumar, V. U. and Anbuganapathi, G., "Impact of Biofertilizers on Growth and Reproductive Performance of *Eisenia fetida* (Savigny 1926) During Flower Waste Vermicomposting Process", *Sciencedomain International*, 3(4): 574-583 (2013).

Kuran, M., Erener, G., Ocak, N. Ve Yıldız, S., "Çiftlik hayvanlarının üreme fonksiyonlarının doğal kontrolünde vitamin ve minerallerin önemi", *Animal Enformasyon*, 11(129): 143-151 (1997).

Küçükyumuk, Z., Gültekin, M. ve Erdal, İ. "Vermikompost ve Mikorizanın Biber Bitkisinin Gelişimi ile Mineral Beslenmesi Üzerine Etkisi", *Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, 51- 58 (2014).

Langard, S and Norseth, T. "Chromium", in: Handbook on the Toxicology of Metals, (L. Friberg, G. F. Nordberg ve V. B. Vouk (Eds.), Elsevier/North Holland *Biomedical Press*, 383-397, (1979).

Lajunen, H. J., "Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission," *Cambridge: Royal Society of Chemistry*, 117-125 (1992).

Lee, K. E., "Earthworms – Their Ecology and Relationship with Soils and Land Use. Sydney", *Academic Pres.*, (1985).

Lee, L. H., Wu, T. Y., Shak, K. P. Y., Lim, S. L., Ng, K. Y., Nguyen, M. N. and Teoh, W. H., "Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizervia vermicomposting: a mini-review", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 93, 925-935 (2018).

Liu, F., Zhua, P. and Xue, J., "Comparative study on physical and chemical characteristics of sludge vermicomposted by *Eisenia fetida*", *Procedia Environmental Sciences*, 16 , 418 – 423 (2012).

Li, L. X. Y., Xu, Z. L., Wu, J. Y. and Tian, G. M., "Bioaccumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida* in relation to bioavailable metal concentrations in pig manure", *Bioresour. Technol.*, 101, 3430–3436 (2010).

Liu, X., Hu, C. and Zhang, S., "Effects of earthworm activity on fertility and heavy metal bioavailability in sawege sludge", *Environment International*, 31, 874-879 (2005).

- Lukkari, T., Teno, S., Vaisanen, A., and Haimi, J., “Effects of earthworms on decomposition and metal availability in contaminated soil: Microcosm studies of populations with different exposure histories”, *Soil Biol. Biochem.*, 38: 359-370 (2006).
- Lv, B., Xing, M. and Yang, J., “Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure”, *Bioresour. Technol.*, 209, 397–401 (2016).
- Ma, W. C., “Toxicity of copper to lumbricid earthworms in sandy agricultural soils amended with Cu-enriched organic waste materials”, *Ecol Bull*, 39:53–56 (1988).
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, “Metal Madenler Alt Komisyon Bakır Pirit Çalışma Grubu Raporu”, ISBN 975 – 19 – 2861-3, Ankara, 11-16 (2001).
- Maden, Metal ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı, “Demir-Çelik, Demir-Çelikten Eşya Sektör Raporu”, *Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı*, Ankara, 2-3 (2018).
- Maleri, R., Reinecke, S. A., Przybylowicz, M. J. and Reinecke, A. J., “Growth and Reproduction of Earthworms in Ultramafic Soils”, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 52, 363–370 (2007).
- Malinska, K., Zabochnicka-Swiatek, M., Cáceres, R. and Marfáb, O., “The effect of precomposted sewage sludge mixture amended with biochar on the growth and reproduction of Eisenia fetida during laboratory vermicomposting”, *Ecol. Eng.*, 90, 35–41 (2016).
- Maňáková, B., Kuta, J. , Svobodová, M. and Hofman, J., “Effects of combined composting and vermicomposting of waste sludge on arsenic fate and bioavailability”, *J. Hazard. Mater.*, 280 544–551 (2014).
- Marinussen, M. P. J. C. and Van Der Zee, S. E. A. T. M., “Cu accumulation by *Lumbricus rubellus* as affected by total amount of Cu in soil, soil moisture and soil heterogeneity” *Soil Biol Biochem.*, 29:641–647 (1997).
- Martinez, A. T., Camerero, S. and Gutierrez, A., “Studies on wheat lignin degradation by Pleurotus species using analytical pyrolysis”, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.*, 59, 401-411 (2001).
- Masciandaro, G., Ceccanti D. and Garcia C., “In situ vermicomposting of biological sludges and impacts on soil quality”, *Soil Biol Biochem.*, 32:1015–1024 (2002).
- Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. and Thebo, A. “Global Wastewater and Sludge Production Treatment and Use”, *Wastewater Economic Asset in an Urbanizing World*, New York, 15–38 (2015).
- Meenambal, T., Uma R.N. and Saravannan S., “Study on Biodegradation of Fruit Waste Aerobic Composting”, *Proceedings of the Third International Conference on Environment and Health*, Chennai, 441-450 (2003).

MEGEP., “Aile ve Tüketici Hizmetleri, Arıtma Çamurları 850CK0101”, *T.C. Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 10-25 (2011).

Mengi, A., “Biyokimya”, *İstanbul Üniv. Vet. Fak. Yay.*, No:89, İstanbul, 35-40 (1998).

Merey, G., “Aletli Analiz Yöntemleri Ders Notu”, *Hitit Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü*, Çorum (2019).

Mc Dowell, L. R., “Minerals in Animal and Human Nutrition”, *Academic Press Inc.*, California, 152-371 (1992).

Mc Lean, M. A. and Parkinson, D., “Introduction of the epigeic earthworm *Dendrobaena octaedra* changes the oribatid community and micro arthropod abundances in a pine forest”, *Soil Biol. Biochem.*, Volume-32, 1671-1681 (2000).

Mısırlıoğlu, M., “Toprak Solucanları Biyolojileri, Ekolojileri ve Türkiye Türleri”.*Nobel Yayınları*, No: 1636, 92 s, Ankara (2011).

Mills, C. F., “The physiological and pathological basis of trace element deficiency disease”, *Trace Elements in Animal Production and Veterinary Practice Occasional Publication*, 7:1-10 (1982).

Misra, R. V. and Roy, R. N., “On-Farm Composting Methods”, *Food And Agriculture Organization Of The United Nations (F.A.O.)*, Rome, 16-17 (2003).

Morgan, J. E. and Morgan, A. J., “Heavy metal concentrations in the tissues, ingesta and faeces of ecophysiologicaly different earthworm species”, *Soil Biology and Biochemistry* 24,1691–1697 (1992).

Mudrack, K. and Kunst, S., “Biologie der Abwasserreinigung (Biology of Wastewater Treatment)”, *Gustav-Fischer*, Verlag, Stuttgart (1991).

Munroe, G., “Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture. Publication of Organic Agriculture Centre of Canada”, *EcoAction Program of Environment*, 1-15 (2007).

Nahmani, J., Hodson, M. E. and Black, S., “A review of studies performed to assess metal uptake by earthworms”, *Environ. Pollut.*, 145 (2), 402–424 (2007).

Nair, J., Sekiozoic, V. and Anda, M., “Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste”, *Bioresource Technol.*, 97, 2091–2095 (2006).

Namlı, A., Bekyürek, Y. and Topaç, E., “Vermikompost (Solucan Gübresi) El Kitabı”, *Sümer Ofset Matbaacılık*, Kayseri, 22-35, 61-71 (2016).

Neuhauser, E. F., Loehr, R. C. and Malecki, M. R. The Potential of earthworms for managing sewage sludge. In earthworms and Waste Management. C.A.Edwards and E.F. Neuhauser (ed.) *SPB Academic Publishing*, The Netherlands, 9-20 (1988).

Neuhauser, E. F., Loehr, R. C., Milligan, D. L. and Malecki, M. R., “Toxicity of metals to the earthworm *Eisenia fetida*”, *Biol Fertil Soils*, 1:149–152 (1985).

Neuhauser, E. F., Kalpan, D. L., Malecki, M. R., and Hartenstein, R., “Materials supportive of weight gain by the earthworm *Eisenia fetida* in waste conservation system”, *Agric. Wastes*, 2: 43-60 (1980).

Nriagu, J. O., “Saturnine Gout Among Roman Aristocrats: Did lead poisoning contribute to the fall of the empire?” *N Engl J Med*, 308 (1) (1983).

Nogales, R., C. Cifuentes, and E. Benitez. “Vermicomposting of winery wastes: A laboratory study”, *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 34:659-573 (2005).

Onat, T. ve Emerk K., “Temel Biyokimya”, *Saray Yay.*, 2. Baskı, İzmir, 811-827 (1998).

Özgen, Z. N., “Adana (Merkez) Halk Hekimliği Araştırması”, Yüksek Lisans Tezi , *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Türk Dili Ve Edebiyatı Ana Bilim Dalı*, Adana, 56 (2007).

Öztürk, M., “Hayvan Gübresi ve Atıklardan Kompost Üretimi”, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 7-17, 50-71 (2017).

Önder, F. ve Yıldız, S., “Çinko ve bakır yetersizliğinin bağışıklık sistemine etkileri”, *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 8(2): 183-187 (2002).

Pathma, J. and Sakthivel N., “Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential” *Springerplus*, 1:26 (2012).

Paul, S., Kauser, H., Jain, M. S., Khwairakpam, M. and Kalamdhad, A. S. “Biogenic Stabilization and Heavy Metal Immobilization During Vermicomposting of Vegetable Waste with Biochar Amendment”, *Journal of Hazardous Materials*, 12136. (2019).

Prasad, A. S., “Zinc in human health: Effect of zinc on immune cells”, *Journal of Molecular Medicine*, 14(5-6): 353-357 (2008).

Prasad, A.S., “ Zinc and immunity”, *In Trace Elements in Human Proceeding of the 9th Meeting of the Mediterranean Blood Club*, Cappadocia, 1-9 (1995).

Pereira, M. G. and Arruda, M. A. Z., “Vermicompost as a natural adsorbent material: characterization and potentialities for cadmium adsorption”, *J. Brazil. Chem. Soc.*, 14, 39-47 (2003).

Rani, A., Kumar, A., Lal, A. and Pant, M., “Cellular mechanisms of cadmium-induced toxicity: A review”, *Int J Environ Heal R*, 24(4):378-399 (2014).

- Ravindra, N. P., Raman, G., Badri Narayanan, K. and Sakthivel, N., “Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing *Fluorescent pseudomonads* isolated from rhizospheric soil”, *BMC Microbiol.*, 8:230 (2008).
- Reinecke, A. J. and Reinecke, S. A., “Earthworms as test organisms in ecotoxicological assessment of toxicant impacts on ecosystems”, *Earthworm Ecol.*, 299–320 (2004).
- Reynolds, J. W. and Reynolds, W. M., “Earthworms in Medicine”, *The American Journal of Nursing*, 72(7):1273 (1972).
- Riordan, J. F., “Biochemistry of zinc”, *Med. Clim. North Am.*, 60 (4): 661-673 (1976).
- Roba, E., “Buğday Ekolojik Yaşamı Destekleme Derneği Dönüşüm Kitaplığı - 5 (Sağlıklı Toprak ve Sağlıklı Bitkiler İçin Kompost Rehberi)”, *Buğday Ekolojik Yaşamı Destekleme Derneği*, İstanbul, 19-41 (2017).
- Roba, E., Labriga, L., “Belediyeler İçin Kompost Rehberi”, *Buğday Ekolojik Yaşamı Destekleme Derneği*, İstanbul, 15-24 (2015).
- Rodale, J. I., Rodale, R., Olds, J., Goldman, M. C., Franz, M. and Minnich, J., “The complete book of composting”, *Rodale Books*, Emmaus, Pa., 215-250 (1960).
- Rosińska, A. and Karwowska, B., “Dynamics of changes in coplanar and indicator PCB in sewage sludge during mesophilic methane digestion”, *J. Hazard. Mater.*, 323 341-349 (2017).
- Ruiz, E., Rodríguez, L. and Alonso-Azcárate, J., “Effects of earthworms on metal uptake of heavy metals from polluted mine soils by different crop plants”, *Chemosphere*, 75(8), 1035–1041 (2009).
- Rynk, R.; van de Kamp, M.; Willson, G.G.; Singley, M.E.; Richard, T.L.; Kolega, J.J.; Gouin, F.R.; Laliberty, L., Jr.; Kay, D.; Murphy, D.; Hoitink, H.A.J. and Brinton, W.F.: “On-Farm Composting Handbook”, Rynk, R. Editor.; NRAES-54. *Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service*, Ithaca, NY (1992).
- Sanchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C. and Bolan, N., “Role of biochar as an additive in organic waste composting”, *Bioresour. Technol.*, 247, 1155–1164 (2018).
- Sanchez-Hernandez, J. C., Ro, K. S. and Díaz, F. J. “Biochar and earthworms working in tandem: Research opportunities for soil bioremediation”, *Science of The Total Environment*, Vol: 688 574-583 (2019).
- Santamaría-Romero, S., Ferrera, C. R., Almaraz, S. J., Galvis, S. A. and Barois, B. I., “Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo”, *Agrociencia* 35:377384 (2001).

Saylan, Ş. ve Saylan, B., “Trabzon'da Dini Hayat Sempozyumu Bildiriler Kitabı Cilt 2”, *Değişim Yayınları*, Trabzon, 871 (2016).

Sedagathoor, S., “Growth and reproductive performance of *Eisenia foetida* in cowmanure, cow manure + sugarcane bagasse, and cow manure + sawdust waste”, *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(1):237-247 (2016).

Selladurai, G., Anbusaravanan N., Prakash Shyam, K., Palanivel, K. and Kadalmani, B., “Biomanagement of municipal sludge using epigenic earthworms *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida*”, *Advances in Environmental Biology*, 3(3): 278-284, (2009).

Siekierska E. and Urbanska-Jasik D., “Cadmium effect on the ovarian structure in earthworm *Dendrobaena veneta* (Rosa)”, *Environ Pollut.*, 120:289–297 (2002).

Siddique, J., Khan, A. A., Hussain, I. and Akhter, S., “Growth and reproduction of earthworm (*Eisenia fetida*) in different organic media”, *Pak. J. Zool.*, 37:211 (2005).

Singh, R. P, Singh, P, Araujo, A. S. F., Ibrahim, M. H. and Sulaiman, O., “Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option”, *Resour Conserv Recy.*, 55:719-729 (2011).

Sinha, R. K., Herat, S., Agarwa, S., Asadi, R. and Carretero, E., “Vermiculture and waste management: study of action of earthworms *Elsinia foetida*, *Eudrilus euginae* and *Perionyx excavatuson* biodegradation of some community wastes in India and Australia.” *The Environmentalist*, (2002).

Sinha, R. K., S., Agarwa, Chauhan, K., Chandran, V. and Soni, B. K., “Vermiculture Technology: Reviving the Dreams of Sir Charles Darwin for Scientific Use of Earthworms in Sustainable Development Programs”, *Technology and Investment*, 1, 155-172 (2010).

Sizmur, T. and Hodson, M. E., “Do earthworms impact metal mobility and availability in soil? – a review”, *Environ. Pollut.*, 157, 1981–1989 (2009).

Song, X.C., Liu, M.Q., Wu, D., Qi, L., Ye, C.L., Jiao, J.G. and Hu, F., “Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues”, *Waste Manage.*, 34, 1977–1983 (2014).

Sönmez, S., Çıtak S., Koçak, F. ve Yaşın, S., “Vermikompost ve Ahır Gübresi Uygulamalarının Ispanak Bitkisinin Gelişimi ve Toprak verimliliği Üzerine Etkileri”, *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 28(1):56-69 (2011).

Shaymaa, M., Ahmed, H., Norli, I., Morad, N. and Mahamad Hakimi, I., “Removal of Aluminium, Lead and Nickel From Industrial Sludge Via Vermicomposting Process”, *World Applied Sciences Journal*, 10(11):1296-1305 (2010).

Sharma V. K., Canditelli M., Fortuna F. and Cornacchia G., "Processing of Urban and Agroindustrial Residues by Aerobic Composting", ENEA Research Centre, Department of Environment, Resource, ***Conservation and Recycling, Trisaia***, 23: 209-223 (1996).

Sharma, H. D. and Reddy, K. R., "Geoenvironmental engineering: site remediation, waste containment, and emerging waste management technologies", ***Environment International***, 35:50-55 (2004).

Sun, Z. and Jiang, H., "Nutritive Evaluation of Earthworms as Human Food. Future Foods", Future Foods, Hemio Mikkola, ***Intech Open***, Croatia, 135-138 (2017).

Suleiman, H., Rorat, A., Grobelak, A., Grosser, A., Milczarek, M., Płytycz, B., Kacprzak, M. and Vandembulcke, F., "Determination of the performance of vermicomposting process applied to sewage sludge by monitoring of the compost quality and immune responses in three earthworm species: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* and *Dendrobaena veneta*", ***Bioresour. Technol.***, 241, 103–112 2017.

Schelfhout, S., Mertens, J., Verheyen, K., Vesterdal, L., Baeten, L., Muys B. and Schrijver, A. D., "Tree Species Identity Shapes Earthworm Communities", ***Forests***, 8(3):85 (2017).

Suthar, S. "Vermicomposting potential of *Perionyx sansibaricus* (Perrier) in different waste materials", ***Bioresource Tech.***, 98:1231-1237 (2007).

Suthar, S., "Metal remediation from partially composted distillery sludge using composting earthworm *Eisenia fetida*", ***Journal of Environmental Monitoring***, 10(9), 1099 (2008).

Suthar, S., "Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate", ***Ecological Engineering***, 35, 914-920 (2009).

Suthar, S., Mutiyar P. K. and Singh, S., "Vermicomposting of milk processing industry sludge spiked with plant wastes", ***Bioresour Technol.***, 116:214-219 (2012).

Suthar, S., Sajwan, P. and Kumar, K., "Vermiremediation of heavy metals in wastewater sludge from paper and pulp industry using earthworm *Eisenia fetida*", ***Ecotoxicology and Environmental Safety***, 109, 177–184 (2014).

Spurgeon, D. J. and Hopkin, S. P., "Effects of metal-contaminated soils on the growth, sexual development, and early cocoon production of the earthworm *Eisenia fetida*, with particular reference to zinc", ***Ecotoxicol Environ.***, 35:86–95 (1996).

Tavuç, İ. ve Özçelik, H., "Doğa Dostu Solucan Gübresi Ve Özellikleri", ***Tabiat ve İnsan***. Yıl: 48, Sayı188. ISSN: 1302-1001 (2014).

Tarakçı, Z. ve Küçüköner, E., "Esansiyel bir mineral olan çinkonun fonksiyonel özellikleri" ***Türkiye 9. Gıda Kongresi Bildiriler Kitabı***, 717-720 (2006).

Tarakçıoğlu, C., Aşkın, T. ve Kizilkaya, R., “Heavy metal distribution: A survey from Ordu Province in the Black Sea region”, *American- Eurasian Journal of Agricultural Environmental Science*, 1, 282–287 (2006).

Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D., “Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Ed.”, *Metcalf and Eddy Inc.*, New York, 22-23 (1987).

Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. A., “Integrated Solid Waste Management, Engineering Principle and Management Issue”, *McGraw Hill Inc.*, New York, 285-297 (1993).

Tessier, L., Vaillancourt, G. and Pazdernik, L., “Temperature effects on cadmium and mercury kinetics in freshwater mollusks under laboratory conditions”, *Archives Environmental Contamination and Toxicology* 26,179-184 (1994).

Tiwari, S. C., Tiwari, B. K. and Mishra, R. R., “Microbial populations, enzyme activities and nitrogen-phosphorus-potassium enrichment in earthworm casts and in the surrounding soil of a pineapple plantation”, *Biol. Fertil. Soils*, 8, 178-182 (1989).

Turgay, O. C., Kizilkaya, R., Karaca, A. ve Camcı Çetin, S., “Detoxification of heavy metals using earthworms”, *Soil Biology*, 407-421 (2011).

Tutar, U., “*Eisenia fetida* Türü Toprak Solucanlarından Elde Edilen Farklı Ekstraktların Bitki Patojenleri Üzerindeki Antibakteriyel ve Antifungal Aktivitelerinin Araştırılması”, *Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı*, Tokat 10-23 (2012).

Tutar, U., “Toprak Solucanlarından Elde Edilen Vermikompostun Bazı Bitki Patojenleri Üzerindeki Antimikrobiyal Aktivitelerinin Araştırılması”, *Cumhuriyet University Faculty of Science Journal (CSJ)*, Vol.34, No.2 (2013).

Türkiye Demir ve Demir Dışı Metaller Meclisi, “Türkiye Demir ve Demir Dışı Metaller Meclisi Sektör Raporu”, *Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği*, ISBN: 978, Ankara, 16 (2010).

UNEP Environmentally sound technologies in wastewater treatment for the implementation of the UNEP Global Program of Action (GPA) “Guidance on municipal wastewater”. *IETC Technical Publication Series* [21] Version 1, Osaka Shiga, 22 (2001).

Underwood, J. E., “ Trace Elements in Human and Animal Nutrition”, *Academic Press: NY*, San Francisco, London, 196-233 (1977).

Uyanık, F., “Bazı iz elementlerin organizmadaki başlıca fonksiyonları ve bağışıklık üzerine etkileri”, *Sağlık Bilim Derg.*, 9:49-58 (2000).

Uzun, P. ve Bilgili, U., “Aritma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları”, *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, Sayı 2, 135-146 (2011).



Ülger, H. ve Coşkun, A., “Çinko: Temel fonksiyonları ve metabolizması”, **Düzce Tıp Fakültesi Dergisi**, 5(2): 38-44 (2003).

Üstdal, M., Paşaoğlu H.ve Muhtaroglu S., “Biyokimya Su ve Elementler”, **Erciyes Üniv. Yay.**, No: 16, Kayseri (1991).

Valko, M., Morris, H. and Cronin M. T., “Metals, toxicity and oxidative stress”, **Curr Med Chem**, 12(10):1161-1208 (2005).

Van Gestel, M., Van Dis, W. A., Dirven-van Breemen, E. M., Sparenburg, P. M. and Baerselman, R., “Influence of cadmium copper and pentachlorophenol on growth and sexual development of *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Annelida)”, **Biol Fertil Soils**, 12:117–121 (1991).

Vanlalmawii, E. and Awasthi, M., “Municipal Solid Waste Composting- A review”, **International Journal of Advances in Science Engineering and Technology**, Vol-4, Iss-2, Spl. Issue-1, ISSN: 2321-9009 (2016).

Vasanthi, K., Chairman, K. and Ranjit, A. J. A., “Antimicrobial activity of earthworm paste *Eudrilus eugeniae*”, **African Journal of Environmental Science and Technology**, Vol. 7(8), 789-793 (2012).

Venter, J. M. and Reinecke, A., “Sublethal ecotoxicological studies with the earthworm *E. fetida* (Lumbricidae), in earthworms in Waste and Environmental Management”, **SPB Acad. Publ.**, The Hague, Netherlands. 337-354 (1988).

Viljoen, S. A. and Reinecke, A. J., “The life cycle and reproduction of *Eudrilus eugeniae* under controlled environmental conditions”, **Mitt Hamb. Zool. Mus. Inst.**, 89:149-157 (1994).

Vural, N., “Toksikoloji”, **Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları**, No: 73, Ankara, 504-509, 522-524 (2005).

Wang, C., Sun, Z-J. and Zheng D., “Research advance in antibacterial immunity ecology of earthworm”, **The Journal of Applied Ecology**, 17(3), 525 (2006).

Wang, L., M., Zhang, Y. M., Lian, J. J., Chao, J. Y., Gao, Y. X., Yang, F. and Zhang, L.Y., “Impact of fly ash and phosphatic rock on metal stabilization and bioavailability during sewage sludge vermicomposting”, **Bioresour. Technol.**, 136, 281–287 (2013).

Wang, Z., Zhang, Y., Guo, Y., Xia, W. and Li, Z., “Monitoring of soil heavy metal pollution by earthworm”, **J. Environ. Sci.**, 10:437–444 (1998),

Wen, B., Hu, X., Liu, Y., Wang, W., Feng, M. and Shan, X., “The role of earthworms (*Eisenia fetida*) in influencing bioavailability of heavy metals in soils”, **Biol. Fertil. Soils**, 40: 181-189 (2004).

Werther, J., and Ogada, T., "Sewage sludge combustion", *Prog Energy Combust Sci.*, 25:55-116 (1999).

Winkler, M. K., Bennenbroek, M .H., Horstink, F. H., van Loosdrecht, M. C. and van de Pol, G. J., "The biodrying concept: an innovative technology creating energy from sewage sludge", *Biores. Technol.*, 147, 124–129 (2013).

Wu, H. P., Lai, C., Zeng, G. M., Liang, J., Chen, J., Xu, J. J., Dai, J., Li, X. D., Liu, J. F., Chen, M., Lu, L. H., Hu, L. and Wan, J., "The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review", *Critic. Rev. Biotechnol.*, 37, 754–764 (2017).

Wu, D., Yu, X., Chu, S., Jacobs, D. F., Wei, X., Wang, C., Long, F., Chen. X. and Zeng, S., "Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter", *Science of The Total Environment*, 633, 71–80 (2018).

Yadav, S., "Inter-specific Competition and Co-existence among Epigeic Earthworms in Polyculture Vermireactors", *International Journal of Current Research and Academic Review*, 2(7): 291-294 (2014).

Yadav, A. and Garg, V. K., "Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting", *Bioresource Technology*, 204 512-517 (2018).

Yağmur, B. ve Eşiyok, K. D., "Solucan Gübresi: Vermikompost-III. (Vermikompostun Kullanım Alanları)," *Dünya Gıda Dergisi*, 92-95 (2013).

Yıldız, Ş., Ölmez, E. ve Kiriş, A.," Kompost Teknolojileri Ve İstanbul'daki Uygulamaları" *Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı*, İstanbul (2009).

Yüksek, T., Atamov, A. ve Türüt, K., "Demlenmiş Çay Atığı ve Evsel Yemek Atıkları İle Beslenen Kırmızı Kaliforniya Solucanından Elde Edilen Katı Solucan Gübresindeki Bazı Besin Elementlerinin Belirlenmesi", *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, Yıl: 4, Sayı:2, 263-271 (2019)

Zaller, J. G., "Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties", *Science Direct*, 112:191-199 (2007).

Zhang, B., "Interaction between earthworms and microorganisms", *Acta Ecological Science*, 17(5), 556- 560 (1997).

Zhang, B. G., Li, G. T., Shen, T. S., Wang, J. K. and Sun, Z., "Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia fetida*", *Soil Biol. Biochem.*, 32:2055-2062 (2000).

Zhang, T., Li, S., Sun, X., Zhang, Y., Gong, X., Fu, Y. and Jia, L., “The Earthworm *Eisenia fetida* Can Help Desalinate a Coastal Saline Soil in Tianjin, North China”, *Plos One*, 10(12):e0144709 (2015).

Zhao, X. I., Li, B. Q., Ni, J. P. and Xie, D. T., “Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting”, *J. Integr. Agric.*, 15, 232–240 (2016).

Zheng, P., “The treating effect of fresh earthworm on hyperosteogeny”, *Fujian J. of Trad.*, 10 (3), 23 (1988).

Zhi-wei, S., Tao, S., Wen-jing, D. and Jing, W., “Investigation of rice straw and kitchen waste degradation through vermicomposting”, *Journal of Environmental Management*, 243, 269–272 (2019).

Zhu, W., Yao, W., Zhang, Z. and Wu, Y., “ Heavy metal behavior and dissolved organic matter (DOM) characterization of vermicomposted pig manure amended with rice straw”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21 (22), 12684–12692 (2014).

## ÖZGEÇMİŞ

Eren Mestan ŞENKAYA 1993 yılında Eskişehir’de dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Eskişehir İnönü Lisesi Fen Bilimleri Bölümü’nden mezun oldu. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde öğrenimine başlayıp Haziran 2017 yılında bölüm birinciliği ile mezun oldu. 2016 Mayıs-2017 Mayıs tarihleri arasında Kardemir, İşkur, Karabük Üniversitesi işbirliğiyle Türkiye’de pilot uygulama olarak yapılan işbaşı eğitim programına (İEP) katıldı. Eylül 2017 tarihinde Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2018 Ağustos-2019 Mayıs tarihleri arasında Karçed Çevre Danışmanlık ve Mühendislik Limited Şirketi’nde çevre görevlisi olarak çalıştı.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Çevre Mühendisliği Bölümü  
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK  
Tel : (539) 469 7 34 44  
E-posta : senkayaeren06@gmail.com