

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ATIK YÖNETİMİ KAPSAMINDA ORGANİK
ATIKLARIN SOLUCAN İLE KOMPOSTLAŞTIRILMASI: İTÜ AYAZAĞA
KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Nur USTA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Mühendisliği ve Yönetimi Programı

AĞUSTOS 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ATIK YÖNETİMİ KAPSAMINDA ORGANİK
ATIKLARIN SOLUCAN İLE KOMPOSTLAŞTIRILMASI: İTÜ AYZAĞA
KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ayşe Nur USTA
(501181739)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜVEN

AĞUSTOS 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**COMPOSTING ORGANIC WASTES WITH WORMS WITHIN THE SCOPE
OF SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT: THE CASE OF ITU AYAZAGA
CAMPUS**



M.Sc. THESIS

**Ayşe Nur USTA
(501181739)**

Department of Environmental Engineering

Environmental Science, Engineering and Management

Thesis Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜVEN

AUGUST 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501181739 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ayşe Nur USTA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SÜRDÜRÜLEBİLİR ATIK YÖNETİMİ KAPSAMINDA ORGANİK ATIKLARIN SOLUCAN İLE KOMPOSTLAŞTIRILMASI: İTÜ AYAZAĞA KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜVEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Osman Atilla ARIKAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Sinan BİLGİLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14 Temmuz 2023
Savunma Tarihi : 14 Ağustos 2023





Prof. Dr. İbrahim DEMİR anısına,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam sürecinde bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana sabırla yol gösteren değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Güven'e teşekkür ederim.

Çalışma sürecim boyunca solucanla kompostlaştırma alanındaki bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan Karaelmas Tarım ve Hayvancılık San. ve Tic. A.Ş. sahibi ve solucan kompostu üreticisi Mehmet Emin Pursa'ya ve Biyolog Fırat Sabit Pursa'ya destekleri için teşekkür ederim.

Doç. Dr. Mahmut Altınbaş, Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Yüksekdağ, Öğr. Gör. Sevide Korkut, Araş. Gör. Simge Sertgümeç ve katı atık laboratuvarındaki çalışma arkadaşlarıma deneysel çalışmalarındaki katkıları için teşekkür ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Onur Işık ve Dr. Şadiye Koşar'a değerli yardımları için teşekkür ederim.

Süreç boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Nihan Keskin, Beyza Özulu ve Elvin Gurbanov'a teşekkür ederim. Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve beni bu günlere getiren aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma konusunun fikir sahibi olan ve çalışmanın temellerini atan, bana hayatım ve eğitimim konusunda yol gösteren, çok kıymetli ve saygıdeğer hocam rahmetli Prof. Dr. İbrahim Demir'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İTÜ Sağlık Kültür ve Spor Daire Başkanlığı ile İTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan organik atıkların tedarikindeki destekleri için teşekkür ederim.

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir (Proje No: MGA-2021-43106).

Temmuz 2023

Ayşe Nur Usta
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Sürdürülebilirlik ve Üniversitelerde Uygulanması	3
2.1.1 Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma amaçları.....	3
2.1.2 Sürdürülebilir üniversite	5
2.1.3 Uluslararası üniversite sıralama indeksleri	6
2.1.3.1 UI Green Metric	6
2.1.3.2 Times Yükseköğrenim Etki Sıralaması.....	7
2.1.3.3 Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi. 8	
2.1.4 İTÜ’de sürdürülebilirlik uygulamaları.....	9
2.2 Organik Atıkların Yönetilmesi.....	11
2.3 Organik Atıkların Solucan ile Kompostlaştırılması	14
2.3.1 Solucan ile kompostlaştırma	14
2.3.2 Solucan ile kompostlaştırma işleminde kullanılan solucan türleri.....	14
2.3.3 Solucan ile kompostlaştırma işlemini etkileyen parametreler	15
2.3.4 Solucan ile kompostlaştırma yöntemleri.....	16
2.3.5 Vermikompostun özellikleri	17
2.4 Organik Atık Yönetimi ile İlgili Yasal Mevzuat.....	17
2.4.1 Ulusal Mevzuat	17
2.4.1.1 Atık Yönetimi Yönetmeliği	17
2.4.1.2 Sıfır Atık Yönetmeliği	18
2.4.1.3 Kompost Tebliği	18
2.4.1.4 Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik.....	19
2.4.2 Uluslararası Mevzuat	20
2.4.2.1 2008/98/AT sayılı Atık Çerçeve Direktifi	20
2.4.2.2 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1 Atık Karakterizasyonu.....	23
3.2 Kullanılan Solucan Türü ve Gelişiminin Takibi	27

3.3 Deneysel Sistem	30
3.3.1 Sürekli akış sistemli reaktörün özellikleri	30
3.3.2 Deney düzeneğinin kurulması ve işletilmesi	32
3.4 Analitik Yöntemler	38
3.4.1 pH	38
3.4.2 Elektriksel iletkenlik	39
3.4.3 Toplam katı madde	39
3.4.4 Toplam uçucu katı madde	40
3.4.5 Toplam organik karbon	40
3.4.6 Toplam kjeldahl azotu	41
3.4.7 Karbon/Azot oranı	41
3.4.8 Toplam fosfor	42
3.4.9 Makro ve mikro elementler	42
3.4.10 Patojenler	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1 Deneysel Çalışmalar	45
4.1.1 Ön kompostlaştırılmış atıkların karakterizasyonu	45
4.1.2 Elde edilen vermikompostun kalitesi	49
4.1.3 Solucan gelişimi	62
4.2 Maliyet Analizi	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	81

KISALTMALAR

AASHE	: Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education
AB	: Avrupa Birliği
As	: Arsenik
AYY	: Atık Yönetimi Yönetmeliği
Ca	: Kalsiyum
Cu	: Bakır
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
DDT	: Düzenli Depolama Tesisi
Eİ	: Elektriksel İletkenlik
Fe	: Demir
F/M	: Fayda/Maliyet Oranı
GÜY	: Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği
Hg	: Cıva
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
K	: Karışım
K	: Potasyum
KOB	: Koloni Oluşturan Birim
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
OM	: Organik Madde
SAY	: Sıfır Atık Yönetmeliği
SKA	: Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
Sn	: Kalay
STARS	: The Sustainability Tracking, Assessment & Rating System
THE	: Times Higher Education

TKGY	: Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TMECC	: Test Methods for the Examination of Composting and Compost
TKM	: Toplam Katı Madde
TOK	: Toplam Organik Karbon
TP	: Toplam Fosfor
TUKM	: Toplam Uçucu Katı Madde
VK	: Vermikompost
Zn	: Çinko



SEMBOLLER

°C : Santigrat derece

\$: Dolar

€ : Euro

₺ : Türk Lirası





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları.....	4
Çizelge 2.2 : Sıralamada kullanılan kategoriler ve toplam puan yüzdeleri.	7
Çizelge 2.3 : Atık kategorisine ait göstergeler ve puanları.....	7
Çizelge 2.4 : Kompost için sağlanması gerekli kriterler.....	19
Çizelge 2.5 : Kompost için ağır metal sınır değerleri.....	20
Çizelge 2.6 : Organik toprak düzenleyiciler için ağır metal sınır değerleri.....	21
Çizelge 2.7 : Organik toprak düzenleyiciler için sağlanması gerekli kriterler.	21
Çizelge 2.8 : Patojenler için sağlanması gereken kriterler.	21
Çizelge 3.1 : Ham atıkların karakterizasyonu.....	25
Çizelge 3.2 : Ham atıkların suda çözünebilir makro ve mikro element içeriği(mg/kg).	26
Çizelge 3.3 : Ham atıkların toplam makro ve mikro element içeriği (mg/kg).	26
Çizelge 3.4 : Hazırlanan atık karışımlarının içeriği (%).	27
Çizelge 3.5 : Reaktör besleme ve hasat planı.	35
Çizelge 4.1 : Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının karakterizasyonu.....	45
Çizelge 4.2 : Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının suda çözünebilir makro ve mikro element içeriği (mg/kg).	48
Çizelge 4.3 : Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının toplam makro ve mikro element içeriği (mg/kg).....	49
Çizelge 4.4 : Elde edilen vermikompostların içeriği.	50
Çizelge 4.5 : Vermikompostların suda çözünebilir makro ve mikro element içeriği (mg/kg).....	57
Çizelge 4.6 : Vermikompostların toplam makro ve mikro element içeriği (mg/kg).	58
Çizelge 4.7 : Vermikompostların patojen içeriği (kob/g).	59
Çizelge 4.8 : Elde edilen vermikompostların mevzuat ile karşılaştırılması.	61
Çizelge 4.9 : Bölmelerde solucan sayısının değişimi.	62
Çizelge 4.10 : Kampüste oluşan atık miktarları.....	63
Çizelge 4.11 : Kompostlaştırılacak atık miktarları ve yüzdeleri.	63
Çizelge 4.12 : Gerekli ekipmanlar ve fiyatları.....	64
Çizelge 4.13 : Solucanla kompostlaştırma işletme maliyeti.....	64
Çizelge 4.14 : Solucanla kompostlaştırma ile sağlanacak kazanç.....	65
Çizelge 4.15 : Solucanla kompostlaştırma gelir-gider özet tablosu (TL/yıl).....	65



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İTÜ Ayazağa Kampüsü Sıfır Atık Belgesi.....	11
Şekil 3.1 : Toplanan yemek atıkları.....	23
Şekil 3.2 : Toplanan çim ve budama atıkları.....	24
Şekil 3.3 : Ön kompostlaştırma işleminden sonra atık karışımlarının görünümü.	27
Şekil 3.4 : Kullanılan <i>Eisenia Fetida</i> türü solucan.....	28
Şekil 3.5 : Sayım yapılan bir bölge.....	29
Şekil 3.6 : Sayım için reaktörden alınan solucanlar.....	29
Şekil 3.7 : Reaktör tabanında bulunan ızgara yapı.....	30
Şekil 3.8 : Reaktör sisteminin tabanına yerleştirilen bıçak.....	31
Şekil 3.9 : Bıçağın hareketini sağlayan makara sistemi ve motor.....	31
Şekil 3.10 : Reaktörü bölmelere ayıran ahşap levhalar.....	31
Şekil 3.11 : Deneysel sürecin şematik özeti.....	32
Şekil 3.12 : Solucanların yerleştirilmesi için hazırlanan yatak.....	33
Şekil 3.13 : Reaktöre yerleştirilen solucanlar.....	33
Şekil 3.14 : Solucanların reaktöre eklendikten sonraki görünümü.....	34
Şekil 3.15 : Dolu reaktörün görünümü.....	36
Şekil 3.16 : Hasat sırasında reaktörün alttan görünümü ve hasat edilen vermikompost.	37
Şekil 3.17 : Reaktördeki sıcaklık, nem ve pH değerlerinin takibi.....	37
Şekil 3.18 : pH ölçümü.....	38
Şekil 3.19 : Elektriksel iletkenlik ölçümü.....	39
Şekil 3.20 : TOK analizörü.....	41
Şekil 4.1 : Atık karışımları ve vermikompostların TUKM/TKM oranları.....	51
Şekil 4.2 : Atık karışımları ve vermikompostların pH değerleri.....	52
Şekil 4.3 : Atık karışımları ve vermikompostların Eİ değerleri.....	53
Şekil 4.4 : Atık karışımları ve vermikompostların TKN içerikleri.....	54
Şekil 4.5 : Atık karışımları ve vermikompostların TOK içerikleri.....	55
Şekil 4.6 : Atık karışımları ve vermikompostların C/N oranı.....	55
Şekil 4.7 : Atık karışımları ve vermikompostların TP içerikleri.....	56



SÜRDÜRÜLEBİLİR ATIK YÖNETİMİ KAPSAMINDA ORGANİK ATIKLARIN SOLUCAN İLE KOMPOSTLAŞTIRILMASI: İTÜ AYAZAĞA KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ

ÖZET

Dünya nüfusunun günden güne artmasıyla birlikte doğal kaynaklar ve hammaddeler hızla tükenmektedir. Bu hızlı tüketimin sonucu olarak katı atık oluşumu artış göstermektedir. Oluşan katı atıkların yönetimi ve bertarafı tüm dünya için önem arz etmektedir. Çünkü atıklar uygun şekilde yönetilmedikleri takdirde çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. Oluşan atık miktarını azaltabilmek ve oluşabilecek risklerin önüne geçmek amacıyla atık yönetiminde yeni yaklaşımlar ve yöntemler uygulamaya konmaktadır. Atık oluşumu tamamen engellenemese bile atık yönetiminde sürdürülebilir yaklaşımların uygulanmasıyla çevreye verilen zarar minimize edilebilmektedir. Atık yönetiminde sürdürülebilir yaklaşımlar, çevre dostu ve ekonomik atık yönetim uygulamalarını beraberinde getirirken; bazı atıkların hammadde olarak kullanılmasıyla enerji ve hammadde kaynaklarının aşırı tüketiminin önüne geçilebilmektedir.

Katı atıkların önemli bir miktarını organik katı atıklar oluşturmaktadır. Organik katı atıkların bertaraf edilmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biri ise kompostlaştırmadır. Atıkların kaynağında ayrı toplanıp kompostlaştırılmasıyla birlikte düzenli depolama tesislerine gönderilen atık miktarı azaltılabilmektedir. Ayrıca kompostlaştırma işlemi sonucunda oluşan kompost önemli bir toprak düzenleyicidir.

Kompostlaştırma birçok farklı yöntemle yapılabilmektedir. Son yıllarda ilgi çeken ve kullanım sıklığı artan kompostlaştırma yöntemlerinden biri ise solucan ile kompostlaştırmadır. Organik atıkların solucan ile kompostlaştırılmasıyla oluşan vermikompost (solucan kompostu) önemli bir toprak düzenleyicidir ve organik gübre olarak değerlendirilmektedir. Organik atıkların solucanlarla kompostlaştırılması atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlarken, vermikompostun tarımda kullanılması kimyasal gübre kullanımından kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir. Solucan ile kompostlaştırmayla organik atık yönetimine önemli bir çözüm getirilirken tarımsal girdi olarak kullanılabilecek bir ürün elde edilmektedir. Böylece çevreci, ekonomik ve sürdürülebilir atık yönetimi sağlanabilmektedir.

Yapılan tez çalışmasında İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsünde oluşan organik atıkların solucan ile kompostlaştırılması araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kampüste oluşan yemek, çim ve budama atıkları solucan ile kompostlaştırmaya tabi tutulmuştur. Kompostlaştırma işlemi için 6 metre uzunluğunda, 1,25 metre genişliğinde ve 80 cm derinliğinde yatağa sahip olan bir sürekli akış sistemli kompostlaştırma reaktörü ve *Eisenia Fetida* türü solucanlar kullanılmıştır. Reaktör 5 farklı bölmeye ayrılarak birim alanda eşit miktarda solucan bulunacak şekilde solucanlar reaktöre eklenmiştir. Reaktörün 5 bölmesi için kampüste oluşan atıklardan 5 farklı atık karışımı oluşturulmuştur. Karışım 1 tamamen yemek atığından, Karışım 2, %50 yemek ve %50 çim atığından, Karışım 3, %80 çim ve %20 budama atığından, Karışım 4, %40 yemek, %40 çim ve %20 budama atığından ve Karışım 5, %80 yemek ve %20 budama atığından oluşturulmuştur. Oluşturulan atık karışımları 8 haftalık bir ön kompostlaştırma işlemine tabi tutulup solucanlar için kolay tüketilebilir bir mama haline getirilmiştir. Daha sonra 5 farklı karışımla reaktörün beş farklı bölmesindeki

solucanlar beslenmeye başlamıştır. Reaktör yeterli doluluğa ulaştıktan sonra ilk vermikompost hasadı yapılmış ve 1 ay süreyle 4 defa hasat yapılmıştır.

Reaktöre yerleştirilen solucanların beslenmesi reaktörün üst tarafından yapılmıştır. Solucanlara mama olarak ön kompostlaştırılmış atık karışımları verilmiştir. Reaktörün üstünden besin eklendikçe solucanlar reaktörün tabanından yukarıya doğru hareket etmektedir. Reaktör tabanında bulunan bıçak sistemi sayesinde üretilen vermikompost, reaktörün tabanından hasat edilmektedir. Böylece hasat yapılırken solucanların reaktörden çıkmamaları sağlanmaktadır.

Deneyisel çalışmaların başında kullanılan ham atıklar, ön kompostlaştırılmış atık karışımları ve çalışmanın sonunda elde edilen vermikompost laboratuvarında analiz edilmiştir. Bu çerçevede pH, elektriksel iletkenlik, toplam katı madde, toplam uçucu katı madde, toplam kjeldahl azotu, toplam organik karbon, toplam fosfor, makro-mikro element ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen vermikompost numunelerinin patojen içeriği analiz edilmiştir.

Elde edilen vermikompostların nem içeriği %70,7-74,3 aralığında iken organik madde içeriği %51,9-59,6 arasında değişmiştir. Vermikompostların pH değeri 7,00-7,38 aralığında değişmişken elektriksel iletkenlik değeri 4,35-5,91 mS/cm aralığında bulunmuştur. Vermikompostların toplam kjeldahl azotu içeriği ise %2,04-2,48 aralığında olmuştur. %50 yemek ve %50 çim atığı içeren Karışım 2'den elde edilen vermikompostun en yüksek azot içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Vermikompostların toplam organik karbon içeriği %25,68-32,64 aralığında bulunmuştur. Toplam organik karbon ve toplam kjeldahl azotu arasındaki ilişkiye bağlı olan karbon/azot (C/N) oranı ise 12,60-13,66 arasında hesaplanmıştır. Vermikompostların toplam fosfor ve potasyum içeriği sırasıyla 934-1.430 mg/kg ve 14.922-22.261 mg/kg ölçülmüştür. %80 çim ve %20 budama atığından oluşan Karışım 3'ten elde edilen vermikompostun en düşük fosfor ve potasyum içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Vermikompostlarda patojen tespiti için toplam koliform, *Escherichia coli* ve *Salmonella* analizi yapılmıştır. Hiçbir vermikompostta *Salmonella* tespit edilmemiştir. Buna karşın vermikompostlar toplam koliform ve *Escherichia coli* içerdiği tespit edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, elde edilen vermikompostun incelenen parametrelerin birçoğu için ulusal ve uluslararası mevzuatta belirlenen kriterlere uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Mevzuatta belirtilen kriterleri sağlamayan parametreler toplam koliform ve *Escherichia coli*'dir. Bulunan patojenlerin giderilmesi için vermikompostun için 70 °C'de 1 saatlik ısı işlem görmesi önerilmiştir.

Deneyisel çalışma kapsamında solucanların farklı atık karışımlarıyla beslenmelerinin çoğalmaları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 2 defa solucan sayımı yapılmıştır. Sayımlardan biri solucanlar atık karışımlarıyla beslenmeye başlanan ilk haftada, diğeri ise atık karışımlarıyla beslemenin tamamlandığı hafta yapılmıştır. Sayım sonuçlarına en çok artış Karışım 4 ile beslenen solucanların bulunduğu Bölme 4'te gerçekleşmiştir. En az artış ise Karışım 1 ile beslenen solucanların olduğu Bölme 1'de gerçekleşmiştir. Genel olarak en fazla solucan artışı %20 budama atığı içeren karışımlarla beslenen bölmelerde (Bölme3, Bölme 4, Bölme 5) gerçekleşmiştir.

Çalışma kapsamında, kampüste oluşan organik atıkların solucanla kompostlaştırılması ve DDT'ye (Düzenli Depolama Tesisi) gönderilmesi ekonomik olarak kıyaslanmıştır. Solucanla kompostlaştırma senaryosu için yıllık toplam maliyet ve yıllık toplam kazanç hesaplanıp fayda/maliyet (F/M) oranı 1,12 olarak bulunmuştur. F/M oranının 1'den büyük olması yatırımın karlı olduğunu göstermektedir.

Yapılan tez çalışması neticesinde, solucan ile kompostlaştırma tekniğinin İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Ayazağa Kampüsünde oluşan organik atıklarının yönetiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Üniversite kampüsleri yaşam ve iş alanlarına örnek olabileceği için buralardaki sürdürülebilirlik ve atık yönetim uygulamaları önem taşımaktadır. Bu sebeple araştırma, geliştirme ve uygulama merkezi olan üniversitelerin, örnek teşkil edecek şekilde atık yönetim yöntemleri uygulamaları sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Böylece İTÜ Ayazağa Kampüsünde solucan ile kompostlaştırma tekniğinin kullanılması benzer kurumlara örnek teşkil edecektir. Ayrıca bu tekniğin uygulanması halinde İTÜ’de Sıfır Atık Yönetiminin uygulanması konusunda önemli bir adım atılmış olacaktır. Buna ek olarak uluslararası üniversite sıralamalarında her yıl daha üst sıralamalar elde eden İTÜ, bu uygulamayla daha başarılı sonuçlar elde edebilecek ve Yeşil Kampüs kimliğini güçlendirebilecektir.





COMPOSTING ORGANIC WASTES WITH WORMS WITHIN THE SCOPE OF SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT: THE CASE OF ITU AYAZAGA CAMPUS

SUMMARY

With the increase in the world population day by day, natural resources and raw materials are depleted rapidly. As a result of this rapid consumption, solid waste generation increases. The management and disposal of solid waste is important for the whole world. Because if wastes are not managed properly, they pose a risk to the environment and human health. New approaches and methods are put into practice in waste management in order to reduce the amount of waste generation and prevent possible risks. Even if the waste generation cannot be completely prevented, the damage to the environment can be minimized by applying sustainable approaches in waste management. While sustainable approaches in waste management bring along environmentally friendly and economical waste management practices; by using some wastes as raw materials, excessive consumption of energy and raw material resources can be prevented.

Organic solid wastes constitute a significant amount of solid wastes. Composting is one of the most commonly applied methods for the disposal of organic solid waste. By collecting and composting the waste separately at the source, the amount of waste sent to sanitary landfills facilities can be reduced. In addition, the compost produced as a result of the composting process is an important soil conditioner.

Composting can be done in many different methods. One of the composting methods, which has become popular in recent years and has increased in frequency, is composting with earthworms. Vermicompost, which is formed by composting organic wastes with earthworms, is an important soil conditioner and is considered as organic fertilizer. While composting organic wastes with earthworms contributes to the reduction of environmental pollution caused by wastes, the use of vermicompost in agriculture can contribute to reducing the environmental impacts caused by the use of chemical fertilizers. While composting with worms brings an important solution to organic waste management, a product that can be used as agricultural input is obtained. Thus, environmentally friendly, economical and sustainable waste management can be achieved.

In the conducted thesis study, the composting of organic wastes generated in Istanbul Technical University Ayazağa Campus by composting with earthworms was investigated. Within the scope of the study, food, grass and pruning wastes generated in the campus were subjected to earthworm composting. A continuous flow-through composting reactor and *Eisenia Fetida* worms were used for composting. The reactor was divided into 5 different compartments and earthworms were added to the reactor so that there was an equal number of earthworms per area. The reactor used in the study was 6 meters long, 1.25 meters wide and 80 centimeters high. The continuous flow-through reactor is one of the most technological tools used for the production of vermicompost. Worms of the species *Eisenia Fetida* are the most common type of earthworm used in vermicompost production because it has the highest adaptation capacity among other species. This species has high reproductive potential and is resistant to acidic environments. In addition, this species feeds more and produces more vermicompost than other species. For the 5 compartments of the reactor, 5

different waste mixtures were formed from the wastes generated on the campus. Mixture 1 was all food waste, Mixture 2 was 50% food and 50% grass waste, Mixture 3 was 80% grass and 20% pruning waste, Mixture 4 was 40% food, 40% grass and 20% pruning waste, and Mixture 5 was 80% food and 20% pruning waste. An easily consumable food for worms were turned from an 8-week pre-composting process which was the subject of the created waste mixtures. Then the worms in five different compartments of the reactor began to feed with 5 different mixtures. The first vermicompost harvest was done after the reactor reached sufficient occupancy and 4 harvests were made for 1 month.

The worms placed in the reactor were fed from the top part of the reactor. Worms were fed with pre-composted waste mixtures. As food is added from above, the worms in the reactor move upward. Thanks to the blade system at the bottom of the reactor, the produced vermicompost was harvested. Thus, while harvesting, the worms were not left from the reactor.

At the beginning of the experimental studies, raw waste materials used, pre-composted waste mixtures, and the compost obtained at the end of the study were analyzed in the laboratory. Within this framework, pH, electrical conductivity, total solid content, total volatile solid content, total kjeldahl nitrogen, total organic carbon, total phosphorus, macro-micro element measurements. In addition, the pathogen content of the vermicompost samples were analyzed.

The moisture content of the obtained vermicomposts was between the range of 70.7% to 74.3%, while the organic matter content varied between 51.9% to 59.6%. The pH value of vermicomposts ranged from 7.00 to 7.38, and the electrical conductivity value was found to be between 4.35 and 5.91 mS/cm. The total kjeldahl nitrogen content of vermicomposts varied between 2.04% to 2.48%. Vermicompost obtained from Mixture 2, consisting of 50% food waste and 50% grass clippings, had the highest nitrogen content. The total organic carbon content of vermicomposts changed between 25.68% to 32.64%. The C/N ratios, which are related to the relationship between total organic carbon and total Kjeldahl nitrogen, were calculated between 12.60 and 13.66. The total phosphorus and potassium contents were measured from 934 to 1,430 mg/kg and 14,922 to 22,261 mg/kg, respectively. Vermicompost obtained from Mixture 3, consisting of 80% grass and 20% pruning waste, had the lowest phosphorus and potassium content. Total coliform, *Escherichia coli*, and Salmonella analyses were conducted to detect pathogens in the vermicomposts. No Salmonella was detected in any vermicompost. However, it was found that vermicomposts contained total coliform and *Escherichia coli*.

As a result of the conducted analyses, it has been concluded that the obtained vermicompost met the criteria set by national and international regulations for many of the parameters. The parameters that do not meet the criteria specified in the regulations were total coliform and *Escherichia coli*. To eliminate the found pathogens, it was recommended that the vermicompost undergo a thermal treatment at 70°C for 1 hour.

As part of the experimental study, two worm counts were conducted to examine the effect of feeding worms with different waste mixtures on their population growth. One count was conducted during the first week of feeding worms with waste mixtures, while the other count was done at the end of the week when feeding with waste mixtures was completed. The count results showed that the highest increase occurred in Compartment 4, where worms were fed with Mixture 4. The least increase was

observed in Compartment 1, where worms were fed with Mixture 1. Generally, the highest worm population growth occurred in compartments (Compartment 3, Compartment 4, Compartment 5) fed with mixtures containing 20% pruning waste.

Within the scope of the study, the composting of the organic wastes generated on the campus with earthworms and sending them to a sanitary landfill were economically compared. For the worm composting scenario, the annual total cost and annual total earnings were calculated and the cost/benefit (C/B) ratio was found to be 1.12. A C/B ratio greater than 1 indicates that the investment is profitable.

As a result of the thesis study, it was concluded that the composting with worms can be used in the management of organic wastes generated on the Istanbul Technical University (ITU) Ayazağa Campus. By collecting and disposing of organic waste separately at the source, there will be a significant reduction in the amount of waste sent to sanitary landfills. In addition, vermicompost will be obtained, which is a good quality soil conditioner. The obtained vermicompost can be used in landscaping works in campus green areas.

Sustainability and waste management practices in university campuses are important because they can be an example for living and business areas such as campuses. For this reason, the waste management practices of universities, which are research, development and application centers, are important in terms of achieving sustainable development goals. Thus, the use of vermicomposting technique in ITU Ayazağa Campus will set an example for similar institutions. In addition, in the case of applying this technique, an important step will be taken in the implementation of Zero Waste Management at ITU. In addition, ITU, which achieves higher rankings in international university rankings every year, will be able to achieve more successful results and strengthen its Green Campus identity with this practice.



1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Ayazağa Kampüsünde oluşan organik atıkların solucanlarla kompostlaştırılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu bağlamda kampüste oluşan organik atıklar, farklı oranlarda karışımlar hazırlanarak ve sürekli akış sistemli solucan ile kompostlaştırma reaktörü kullanılarak kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Çalışma kapsamında, İTÜ Ayazağa Kampüsünün yeşil alanlarında oluşan çim ve budama atıkları ile merkez yemekhanesinde oluşan pişmemiş yemek atıkları (yemek hazırlama atıkları) farklı oranlarda karıştırılarak 5 farklı atık karışımı oluşturulmuştur. Oluşturulan atık karışımları ön kompostlaştırma işlemine tabi tutulduktan sonra sürekli akış sistemli reaktör kullanılarak *Eisenia Fetida* türü solucanlarla kompostlaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan reaktör 5 eşit bölmeye ayrılmış, her bölmeye eşit miktarda ve homojen şekilde solucanlar yerleştirilerek ön kompostlaştırılmış atık karışımlarıyla belli aralıklarla beslenmiştir. Solucanların atık karışımlarını tüketmesi sonucunda oluşan solucan kompostu (vermikompost) ise belirli aralıklarla hasat edilmiştir. Reaktörün farklı bölmelerinden hasat edilen vermikompostlardan numuneler alınarak çeşitli kalite parametreleri için laboratuvarda analizler gerçekleştirilmiş ve solucan ile kompostlaştırılmış atıklardan oluşan son ürünün kalitesi belirlenmiştir. Ayrıca farklı atık karışımlarıyla beslenen solucanların sayılarındaki artış gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda İTÜ Ayazağa Kampüsünde oluşan organik atıkların solucan ile kompostlaştırma tekniğiyle bertaraf edilmesinin uygunluğu ve oluşan solucan kompostunun kalitesi değerlendirilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Sürdürülebilirlik ve Üniversitelerde Uygulanması

2.1.1 Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma amaçları

Dünya genelinde son yıllarda nüfusun yüksek oranda artışıyla birlikte yoğun bir şehirleşme ve sanayileşme meydana gelmiştir. Bu artış doğal kaynakların aşırı tüketilmesi ve çevre sorunlarının artışı gibi tüm dünyayı ve dünya geleceğini etkileyen sorunlara sebep olmaktadır. Bu sorunların en önemlilerinden biri katı atık yönetimi ile ilgili olan sorunlardır. Oluşan katı atık miktarı günden güne artmaktadır ve canlıların yaşam alanlarında tahribata yol açmaktadır. Organik katı atıklar oluşan toplam katı atığın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu yüzden organik katı atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeden, sürdürülebilir ve ekonomik bir şekilde yönetilmesi oldukça önemlidir.

Günümüz dünyasında şehirleşme ve sanayileşmenin sebep olduğu sorunların önlenmesi, tamamen önlenemediği zamanlarda olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla dünya genelinde çeşitli yasalar ve yönetmelikler çıkarılmıştır. Söz konusu yönetmelikler ve yasalar, çevre yönetimi hakkında önemli noktalara değinmektedir (Ömürbek vd., 2019). Tüm dünyayı etkileyen ekonomik, sosyal ve çevresel sorunlarla mücadelede sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramları önemli konular haline gelmiştir (Fissi vd., 2021). Sürdürülebilirlik, çevrenin korunumunun yanı sıra sosyal ve ekonomik boyutları da kapsayan bir kavramdır. Sürdürülebilir kalkınma ise günümüzün ihtiyaçlarının gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamasının önüne geçilmeyecek şekilde karşılanmasına olanak sağlayan kalkınma olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik gelişme, sosyal içerme ve çevrenin korunumunun birlikte ve uyum içinde sağlanmasıyla gerçekleşmektedir (Fonseca vd., 2020).

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması amacıyla Birleşmiş Milletler (BM) tarafından Sürdürülebilir Kalkınma Gündeminin bir parçası olarak 2015 yılında Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) kabul edilmiştir. Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi 17 SKA'nın gerçekleştirilmesini hedefleyen 15 yıllık bir süreci kapsamaktadır. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, yoksulluğu sona erdirmek, gezegeni korumak ve

herkesin yaşamını ve geleceğini tüm dünyada iyileştirmek için evrensel bir eylem çağrısıdır (Tiltay vd., 2021). 17 SKA ve tanımları Çizelge 2.1’de verilmiştir (Url-1).

Çizelge 2.1 : Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları.

SKA	Tanım
1. Yoksulluğa son	Her türlü yoksulluğu tüm dünyada sona erdirmek
2. Açlığa son	Açlığı bitirmek, gıda güvenliğini ve iyi beslenmeyi sağlamak, sürdürülebilir tarımı teşvik etmek
3. Sağlık ve kaliteli yaşam	Tüm yaş grupları için sağlıklı ve kaliteli yaşam sağlamak
4. Nitelikli eğitim	Kapsayıcı, eşitlikçi ve kaliteli eğitim sağlamak ve yaşam boyu öğrenim olanaklarını teşvik etmek
5. Toplumsal cinsiyet eşitliği	Toplumsal cinsiyet eşitliğini sağlamak
6. Temiz su ve sanitasyon	Erişilebilir su ve atıksu hizmetleri ile sürdürülebilir su yönetimini herkes için sağlamak
7. Erişilebilir ve temiz enerji	Uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimi herkes için sağlamak
8. İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme	Herkes için istikrarlı, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi, tam ve üretken istihdamı ve insana yakışır işleri desteklemek
9. Sanayi, yenilikçilik ve altyapı	Dayanıklı altyapılar tesis etmek, kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşmeyi teşvik etmek ve yenilikleri desteklemek
10. Eşitsizliklerin azaltılması	Ülkeler arasında ve içinde eşitsizliği azaltmak
11. Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar	Şehirleri ve insan yerleşim alanlarını kapsayıcı, dayanıklı, güvenli ve sürdürülebilir kılmak
12. Sorumlu üretim ve tüketim	Sürdürülebilir tüketim ve üretim modelleri sağlamak
13. İklim eylemi	İklim değişikliği ve etkileriyle mücadele etmek için acilen harekete geçmek
14. Sudaki yaşam	Okyanusları, denizleri ve deniz kaynaklarını korumak ve sürdürülebilir şekilde kullanmak
15. Karasal yaşam	Karasal ekosistemlerin sürdürülebilir kullanımını sağlamak, iyileştirmek ve korumak; ormanları sürdürülebilir bir şekilde yönetmek; çölleşmeyle mücadele etmek; arazi bozulmasını durdurmak ve tersine çevirmek; biyolojik çeşitlilik kaybını durdurmak
16. Barış, adalet ve güçlü kurumlar	Sürdürülebilir kalkınma için barışçıl ve kapsayıcı toplumları teşvik etmek, herkes için adalete erişim sağlamak ve her düzeyde etkili, hesap verebilir ve kapsayıcı kurumlar oluşturmak
17. Amaçlar için ortaklıklar	Sürdürülebilir kalkınma için küresel ortaklığı canlandırmak ve uygulama araçlarını güçlendirmek

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları sosyal, ekonomik ve çevresel kalkınmaları destekleyen 169 hedef içermektedir. Bu hedeflerden katı atıkların yönetilmesiyle ilgili olanlar (Url-1):

- 11. SKA'nın 11.6 numaralı hedefi, şehirleşmeden kaynaklanan olumsuz çevresel etkileri azaltmak amacıyla hava kalitesinin korunmasına ve atık yönetimine önem göstermektir. Bu hedefin atık yönetimiyle ilgili 11.6.1 numaralı göstergesi (indikatörü) ise planlı toplanan ve uygun şekilde bertaraf edilen kentsel atıkların toplam kentsel atıklara (şehir bazında) oranıdır.
- 12. SKA'nın 12.4 numaralı hedefi, 2020 yılına kadar kimyasalların ve tüm atıkların, yaşam döngüleri boyunca, üzerinde anlaşmaya varılan uluslararası çerçevelere uygun olarak çevreye duyarlı yönetimini sağlamak ve insan sağlığı ile çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için havaya, suya ve toprağa salımlarını önemli ölçüde azaltmaktır.
- 12. SKA'nın 12.5 numaralı hedefi, 2030 yılına kadar katı atık üretimini önemli ölçüde azaltmak amacıyla, atık oluşumunun önlenmesi ve azaltılması ile oluşan atıkların geri dönüşümünün ve yeniden kullanımının sağlanmasıdır. Bu hedefin 12.5.1 numaralı göstergesi ise geri dönüşüm oranı ve geri dönüştürülmüş malzemenin miktarıdır.

2.1.2 Sürdürülebilir üniversite

Son yıllarda özellikle büyük şehirlerde sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak adına planlar ve çalışmalar yapılmaktadır (Kayapınar-Kaya vd., 2019). Küçük birer yerleşim alanı örneği olmaları sebebiyle üniversite yerleşkelerinde sürdürülebilirlik uygulamalarının yapılması, şehirlerdeki daha büyük uygulamalar için pilot çalışma niteliği taşımaktadır (Yücel-Işıldar, 2012). Tüm dünyada popülaritesi artan 'sürdürülebilir kampüs' uygulamalarıyla; etkili atık yönetimine sahip, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlayan kampüs sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu üniversiteler, bulundukları şehirler için örnek çalışma alanı olurken, toplumun bilinçlenmesine de katkı sağlamaktadır (Kayapınar-Kaya vd., 2019).

Sürdürülebilir kampüslere artan ilgi, beraberinde bazı değerlendirme yöntemlerinin kullanımını getirmiştir. Bunlara; UI Green Metric, Times Yükseköğrenim Etki Sıralaması (THE) ve Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi (STARS) değerlendirmeleri örnek olarak verilebilir. Küresel çapta ilk

değerlendirme sistemi olan UI GreenMetric sisteminin diğer değerlendirme sistemlerine göre en sık kullanılan değerlendirme yöntemi olduğu söylenebilir.

2.1.3 Uluslararası üniversite sıralama indeksleri

2.1.3.1 UI Green Metric

UI GreenMetric Dünya Üniversite Sıralaması, 2010 yılında Endonezya Üniversitesi tarafından başlatılmıştır. Sıralamada üniversiteler çevresel sürdürülebilirlik ve yeşil kampüs konularında değerlendirilmektedir. Üniversitelerin değerlendirmeye alınmasının sebebi iklim değişikliğiyle mücadelede paydaşlar ve topluluklar arasında iş birliği sağlanması konusunda birleştirici bir görev göreceklere inanılmasıdır. Üniversitelerin, yenilikleri ve yenilikçi fikirleri destekleyip geliştirerek yeşil ulaşım, atık geri dönüşümü, enerji ve su tasarrufu gibi konularda toplum için rol model ve hükümet için işbirlikçi olması hedeflenmektedir. Böylece ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için gerekli davranış değişikliğinin üniversiteler yardımıyla sağlanması hedeflenmektedir (Url-2).

Sürdürülebilirlik konusunda ilk ve tek üniversite sıralaması olması sebebiyle UI GreenMetric'e dünya genelinden birçok üniversite katılmaktadır. 2010 yılında UI Green Metric sıralamasına 35 ülkeden 95 üniversite katılmıştır. Üniversitelerin 18'i Amerika, 35'i Avrupa, 40'ı Asya ve 2'si Avustralya'dan katılmıştır. 2022 yılında ise dünya genelinde 80 ülkeden 1050 üniversite sıralamaya katılmıştır (UI GreenMetric Guideline, 2023).

Sıralamanın temel amaçları:

- Eğitimde sürdürülebilirlik ve yeşil kampüs konularında akademik araştırmalara katkıda bulunmak,
- Sürdürülebilirlik amaçları konusunda sosyal değişimi üniversiteler önderliğinde desteklemek,
- Tüm dünyadaki yüksek öğrenim kurumları için sürdürülebilirlik konusunda değerlendirme aracı olmak,
- Hükümetleri, ulusal ve uluslararası çevre kuruluşlarını ve toplumu kampüslerde sürdürülebilir yaşam hakkında bilgilendirmek,

olarak sıralanabilir (UI GreenMetric Guideline, 2023).

Sıralamada enerji ve iklim değışikliğı, atık, su, ulaşım, altyapı ve eğitim olmak üzere 6 kategori ve 39 gösterge esas alınarak değerlendirme yapılmaktadır. 6 kategori ve puan ağırlıkları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Sıralamada kullanılan kategoriler ve toplam puan yüzdeleri.

No	Kategori	Toplam puan yüzdesi (%)
1	Yapı ve Altyapı (SI)	15
2	Enerji ve İklim Değışikliği (EC)	21
3	Atıklar (WS)	18
4	Su (WR)	10
5	Ulaşım (TR)	18
6	Eğitim (ED)	18
	Toplam	100

Sıralamadaki ağırlığı %18 olan Atık kategorisi 6 göstergeden oluşmaktadır. Tüm göstergeler toplamda 1800 puana karşılık gelmekteyken organik atıkların yönetimi göstergesi 300 puana karşılık gelmektedir. Atık kategorisine ait göstergeler ve puanları Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Atık kategorisine ait göstergeler ve puanları.

No	Gösterge	Puan
WS1	Üniversitelerde oluşan atıklar için geri dönüşüm programı	300
WS2	Kampüste kâğıt ve plastik kullanımını azaltma programı	300
WS3	Organik atıkların işlenmesi	300
WS4	İnorganik atıkların işlenmesi	300
WS5	Toksik atıkların işlenmesi	300
WS6	Atıksuların bertarafı	300
	Toplam	1800

2.1.3.2 Times Yükseköğrenim Etki Sıralaması

THE (Times Higher Education), 2004’ten beri öğrenciler ve aileleri, akademisyenler, hükümetler ve endüstriler için üniversiteler hakkında güvenilir bilgi sağlamaktadır. THE, üniversitelerin performanslarını değerlendirmek ve üniversiteler hakkında bilgi sağlamak amacıyla üniversite sıralamaları oluşturmaktadır. Sıralamalar üniversite faaliyetlerinin araştırma, etki ve öğretim alanlarını kapsamaktadır (Url-3).

Times Yükseköğrenim Etki Sıralaması (Times Higher Education (THE) Impact Rankings), üniversiteleri BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına göre değerlendirmektedir. Bu amaçlar değerlendirilirken araştırma, yönetim, öğretim ve

erişim kapasitesi olmak üzere dört ana gösterge dikkate alınmaktadır. Bu göstergeler sayesinde kapsamlı ve dengeli karşılaştırma yapılması hedeflenmektedir. 2019 yılında başlayan üniversite sıralamalarının 2023 yılında gerçekleştirilen beşincisine 112 ülkeden 1.591 üniversite katılmıştır (Url-3).

2.1.3.3 Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi

Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi (STARS), yükseköğrenim kurumlarının sürdürülebilirlik performanslarının üye kurumlar arasında karşılaştırılmasına yardımcı olmak amacıyla bir kıyaslama aracı olarak Yükseköğretimde Sürdürülebilirliğin Geliştirilmesi Birliği (AASHE) tarafından oluşturulmuştur. STARS, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada’da kullanılmak üzere tasarlanmıştır. 2013 yılında AASHE, STARS’ı dünya çapındaki yükseköğrenim kurumlarına açmıştır (Lidstone vd., 2015). STARS, yükseköğrenim kurumları için eğitim-araştırma, operasyonlar, planlama, yönetim-etkileşim ve yenilik alanlarında sürdürülebilirlik performansını ölçmek için şeffaf, kendi kendine raporlama yapan bir çerçevedir (Urbanski & Filho, 2015). STARS değerlendirme sisteminin kuruluş amaçları:

- Yükseköğretimin tüm sektörlerinde sürdürülebilirliği anlamak için bir sistem oluşturulmasını sağlamak,
 - Uluslararası kampüs sürdürülebilirlik topluluğunun geniş katılımıyla geliştirilen ortak bir ölçüm seti kullanarak zaman içinde ve kurumlar arasında anlamlı karşılaştırmalar yapmak,
 - Sürdürülebilirliğe yönelik sürekli iyileştirmeleri teşvik etmek,
 - Yükseköğretimde sürdürülebilirlik uygulamaları ve performansı hakkında bilgi paylaşımını kolaylaştırmak,
 - Daha güçlü, daha çeşitli bir kampüs sürdürülebilirlik topluluğu oluşturmak
- olarak sıralanmaktadır (Url-4).

2.1.4 İTÜ’de sürdürülebilirlik uygulamaları

İTÜ tüm kampüslerinde sürdürülebilirlik konularıyla ilgili çalışmalar yapmakta ve bu çalışmaları güncel tutmaktadır. Bununla birlikte Sıfır Atık Yönetmeliği doğrultusunda atık yönetim çalışmalarını da yürütmektedir. Kampüsteki kamuya açık tesisler sebebiyle kampüs nüfusu değişkenlik gösterdiği için buna bağlı olarak oluşan atık miktarı değişmektedir. Öğrenciler ve çalışanların yanı sıra her gün çok sayıda ziyaretçi kampüslere girmektedir. Bu nedenle, üretilen atık miktarı ziyaretçi hareketliliğinden etkilenmektedir (Url-5).

İTÜ Ayazağa Yerleşkesinde, plastik, kâğıt ve metal atıklar mavi kutularda, cam atıklar yeşil-beyaz kutularda, diğer atıklar ise gri kutularda toplanmaktadır. Kullanılmış yağlar 2 farklı noktada bulunan yeşil bidonlarda toplanmaktadır. Ayrıca yerleşkede atık karakterizasyonu çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında kampüs dört esas alana ayrılmıştır. Bu gruplar: yemek alanları (kafeteryalar ve okul yemekhanesi), yaşam alanları (yurtlar ve lojmanlar), idari binalar ve akademik binalardır. Atık karakterizasyonu için her gruptan bir bina seçilmiştir. Seçilen binada bir hafta boyunca oluşan atıklar toplanıp ve karakterize edilmiştir. Mavi ve gri kaplardaki atıklar 18 atık bileşenine göre sınıflandırılmıştır. 18 atık bileşeni, kampüsteki ve İstanbul’daki mevcut atık yönetimi göz önünde bulundurularak gıda atıkları (organik atık), ambalaj atıkları, cam atıkları ve diğer atıklar olmak üzere dört kategoride toplanmıştır. Çalışma sonucuna göre, kampüs atıklarının büyük bir bölümünü gıda atıkları oluşturmaktadır, bunu sırasıyla ambalaj atıkları, diğer atıklar ve cam atıkları izlemektedir. Tehlikeli atıklar (laboratuvar atıkları, boya vb.) ve tıbbi atıklar bu çalışmaya dahil edilmemiştir (Url-5).

İTÜ kendi atık yönetimi yönergesine de sahiptir. İTÜ Atık Yönetimi Yönergesinin amacı, rektörlüğün sorumluluk ve yetki alanı içinde oluşan tüm atıkların kaynağında ayrı toplanması, uygun şekilde geçici depolanması, taşınması ve bertarafının sağlanmasına ilişkin esasları düzenlemektir. Bu yönerge, araştırma, eğitim-öğretim, üretim ve hizmet alanlarında oluşan kimyasal, tıbbi, radyoaktif, biyolojik, elektronik atıklar ile büro atıklarını kapsamaktadır (İTÜ Atık Yönetimi Yönergesi, 2022).

İTÜ, kampüslerinde sıfır atık yönetimi ile ilgili çalışmalar yürütmektedir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın 2017 yılında başlattığı Sıfır Atık Projesi israfın engellenmesini ve kaynakların daha verimli kullanılmasını amaçlamaktadır.

12.07.2019 tarih ve 30829 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Sıfır Atık Yönetmeliği’nde, sıfır atık yönetim sistemi kurma zorunluluğu bulunan kurumlar ve bu sistemlerin kurulumlarının yapılması gereken tarihleri içeren takvimler belirtilmiştir. İTÜ, yönetmelik uyarınca belirtilen takvime uyum sağlayabilmek adına konuyla ilgili çalışmalarını sürdürmektedir.

İTÜ tüm kampüsleri için Temel Seviye Sıfır Atık Belgesi almıştır. Ayazağa Kampüsüne ait sıfır atık belgesi Şekil 2.1’de verilmiştir. İTÜ Temel Seviye Sıfır Atık Belgesi almak için aşağıdaki kriterleri sağlamıştır (Url-5):

- Geri dönüştürülebilir plastik, cam, metal ve kâğıt atıkların diğer atıklardan ayrı ve en az ikili olarak kaynağında toplanması
- Kolay ulaşılabilir yerlere yeterli sayı ve kapasitede biriktirme ekipmanları, cam kumbaraları ve tekstil atık kumbaraları yerleştirerek atıkların kaynağında ayrı toplanmasının sağlanması
- Atık Getirme Merkezleri ve toplama noktalarının kurulması ve işletmeye alınması
- Atıkların toplanması için program belirlenmesi, bu program hakkında bilgi verilmesi ve atıkların oluşturulan program doğrultusunda toplanması
- Atık pil, atık ilaçlar, elektronik atıklar ve bitkisel atıklar gibi atıklar ile büyük hacimli atıkların atık getirme merkezine getirilmesi veya kaynağından alınması için plan yapılması, bilgi verilmesi ve yönlendirilme yapılması
- Biyobozunur atıkların geri dönüştürülmesi amacıyla kaynağında ayrı toplanarak uygun şekilde işleme alınması (kompost, biyometanizasyon)
- Sıfır atık yönetim sisteminin sisteme ait tüm verilerin kayıt altına alınarak uygulanması için bilinçlendirme ve farkındalık çalışmalarının yapılması
- İl Sıfır Atık Yönetim Sistemi Planına uyum sağlanması
- Sıfır atık yönetim sistemi verilerinin kayıt altına alınarak sistemin uygulanması için farkındalık ve bilinçlendirme çalışmalarının yapılması



T.C.
İSTANBUL VALİLİĞİ
Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü



Belge No: TS/34/B2/6/203

Tarih: 25/05/2021

SIFIR ATIK BELGESİ
(Temel Seviye)

Adı : İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü
Adresi : İSTANBUL, REŞİTPAŞA Mahallesi, KATAR CADDE, No: 2-, SARIYER, Türkiye
Vergi No : 4830263147

12/07/2019 tarihli ve 30829 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Sıfır Atık Yönetmeliği'nce Sıfır Atık Yönetim Sistemi'ni kurarak Sıfır Atık Belgesi'ni almaya hak kazanmıştır.

Belge Son Geçerlilik Tarihi: 25/05/2026

e-imzalıdır

Hacı Mehmet
GÜNER

Çevre ve Şehircilik İl
Müdürü

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Şekil 2.1 : İTÜ Ayazağa Kampüsü Sıfır Atık Belgesi

İTÜ, üniversite kampüslerini yeşil alan ve sürdürülebilirlik açısından değerlendiren UI Green Metric sıralamasında "dünyanın en yeşil 47'nci üniversite yerleşkesi" olmuştur. Toplam 1.050 üniversitenin yer aldığı 2022 yılı listesinde İTÜ, 47'nci sıra ile en prestijli üniversitelerinden biri olurken, Türkiye'den katılan üniversiteler arasında 1. sırada yer almıştır (Url-5).

İTÜ, THE 2023 Etki Sıralamasında “İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme” başlığında 9. sırada, “Nitelikli Eğitim” başlığında 10. sırada ve “Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı” başlığında 23. sırada yer alarak önemli bir başarı elde etmiştir. İTÜ, “Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar” başlığında 40. sırada yer alırken “Sorumlu Üretim ve Tüketim” başlığında ilk 200’e girmeyi başarmıştır (Url-6).

2.2 Organik Atıkların Yönetilmesi

Gelişen teknoloji ve sanayileşme, insan yaşamı üzerinde kolaylaştırıcı ve olumlu etkiler yapmasına rağmen beraberinde birtakım sorunlar getirmiştir. Bu sorunlar özellikle insan ve çevre sağlığını, dolayısıyla sürdürülebilir yaşamı tehlikeye atan çevresel sorunlardır. Çevresel sorunların en önemlilerinden biri ise katı atık yönetiminde karşılaşılan zorluklardır. Bu zorlukların önüne geçebilmek için uygun atık yönetim planları gerekmektedir. Uygun olmayan atık yönetimi insan ve çevre sağlığına zarar verirken iklim değişikliğinin dünya üzerindeki etkilerinin de artmasına

sebeptir. Bu durumda uluslar ve hükümetler iklim değişikliğiyle mücadele etmek amacıyla daha fazla yatırım yapmak zorunda kalmaktadır (Wainaina vd., 2020).

Katı atıkların önemli bir bölümünü biyolojik olarak parçalanabilen evsel katı atıklar, hayvan gübreleri ve tarımsal atıklar gibi organik atıklar oluşturmaktadır. Bu atıkların uygun şekilde yönetilmemesi yüzey ve yer altı sularının kirlenmesi, havaya zehirli gazların salınması ve toprak kirliliği gibi insan ve çevre sağlığını olumsuz etkileyen sonuçlara sebep olmaktadır. Ayrıca, organik atıkların hiçbir ön işlem görmeden doğrudan toprağa uygulanması toprakta azot yoksunluğuna, toprağa ağır metal girdisine, patojenik (hastalık yapıcı) bakterilerin ve inorganik tuzların toprakta çoğalmasına sebep olarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda uygun olmayan atık yönetimi uygulamaları organik katı atığın bünyesindeki organik ve inorganik içeriğin azalmasına sebep olmaktadır (Soobhany, 2019).

Organik katı atıklar, atık yönetimi için ayrılan bütçelerdeki kısıtlamalar ve yetersiz altyapı yatırımları sebebiyle gelişmekte olan ülkelerde ve bazı gelişmiş ülkelerde hala uygun olmayan şekilde yönetilmektedir. Uygun organik katı atık yönetiminin seçilmesinde yöntemin ekonomik, sürdürülebilir, sosyal ve yasal olarak kabul edilebilir ve çevre dostu olup olmaması gibi özellikler dikkate alınır (Wainaina vd., 2020). Organik katı atıkların yönetilmesinde en sık kullanılan yöntemler düzenli depolama, yakma (termal bertaraf), anaerobik (havasız) çürütme ve kompostlaştırmadır. Düzenli depolama, fazla alan ihtiyacı gerektiren geleneksel bir yöntemdir. Yakma işlemiyle ise büyük hacimde atık bertarafı sağlanırken termal enerji (ısı enerjisi) üretilebilmektedir. Anaerobik çürütme ile atıktan metan gazı üretilirken çürütme sonrasında geriye kalan katı bakiye gerekli son işlemler uygulanırsa toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilir. Anaerobik çürütmenin dezavantajı ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Kompostlaştırma ise basit işletme koşulları ve yüksek ekonomik verimlilik sağlaması sayesinde organik katı atıkların yönetilmesinde kullanılan en popüler yöntemlerden biridir (Gao vd., 2017). Organik katı atıkların yönetilmesinde son zamanlarda esas alınan döngüsel ekonomi ve sıfır atık yaklaşımıyla atıkların çevreye olan zararı asgari seviyeye indirilirken bunun yanı sıra ekonomik katkısı olan son ürünler ve/veya enerji gibi çıktılar elde edilebilmektedir. Kompostlaştırma işletme koşullarının kolaylığı, ekonomik olarak uygulanabilirliği ve üretilen son ürünün kalitesi sebebiyle en sık tercih edilen yöntemlerden biridir.

Kompostlaştırma, organik atıkların kontrollü şartlar altında humus veya benzeri nitelikteki ürüne dönüştürüldüğü biyokimyasal ayrıştırma sürecidir. Bu sürecin faydalı son ürünü ise komposttur (Öztürk, 2015). Kompostlaştırma sayesinde DDT'lere gönderilen atık miktarı azalır, atıktan kaynaklanabilecek koku problemi ortadan kaldırılır ve süreç sırasında ulaşılan yüksek sıcaklıklarla istenmeyen patojenler giderilebilmektedir. Ayrıca üretilen kompost, bitkiler tarafından gerekli olan su ve havanın toprak tarafından tutulabilirliğini arttırmaktadır. Toprak için gerekli besin maddelerini de içermesi sebebiyle, kompostun tarımsal üretimde kullanılması ve bu şekilde kimyasal (suni) gübre kullanımından kaynaklanan maliyetlerin azaltılması mümkündür (Öztürk vd., 2015). Bundan dolayı organik atıkların kompostlaştırılarak tekrar kullanıma sunulması sürdürülebilir kalkınmanın esaslarından biridir.

Kompostlaştırma süreci, organik atıkların çevreye ve sağlığa tehdit oluşturmayan, biyolojik olarak kararlı (stabil) ve zengin besin içerikli maddelere kontrollü ve etkili dönüşümüdür (Öztürk vd., 2015). Kompostlaştırma biyolojik bir süreç olduğundan mikroorganizmaların çoğalabileceği ve etkin biçimde faaliyet gösterebileceği bir ortam oluşturulmalıdır.

Kompostlaştırma sürecinin en önemli adımları; hammaddenin işlenerek ve karıştırılarak hazırlandığı ön işlem, patojen gideriminin önemli olduğu aktif kompostlaştırma ve kararlı bir ürün elde etmek için gerekli olgunlaştırma adımlarıdır. Aktif kompostlaştırma ve olgunlaştırma aşamaları kompost sürecinin iki ana biyolojik kademesi olarak tanımlanır. Aktif kompostlaştırma aşamasında önce mezofilik (25-45°C) sonra termofilik (45-80°C) sıcaklıklara ulaşılmasıyla organik maddenin biyolojik olarak ayrışması sağlanır ve istenmeyen patojenlerin giderilmesi sağlanır. Olgunlaştırma adımı ise kompostun bitkilere zarar vermeden toprağa uygulanabilmesi için gereklidir. Tam olgunlaşmamış kompost toprağa uygulandığında mikrobiyolojik faaliyetler devam eder, bu faaliyetler sonucunda toprakta oksijensiz ve azotsuz bir ortam oluşabilir. Bu yüzden olgunlaşmamış kompost bitkiler ve toprak için zararlı olabilir (Öztürk vd., 2015). Kompostlaştırmaya etki eden temel parametreler ise; oksijen, dane boyutu, sıcaklık, nem, karbon/azot (C/N) oranı, biyobozunurluk ve pH'tır.

En çok kullanılan kompostlaştırma yöntemleri; pasif yığında kompostlaştırma, aktarmalı yığında kompostlaştırma, havalandırılmalı statik yığında kompostlaştırma, kapalı reaktörde kompostlaştırma, bank veya sandık tipi kompostlaştırma düzenekleri

olarak sıralanabilir. Son yıllarda kullanılmaya başlanan, kullanılan hammadde türüne bağlı olarak diğer kompostlaştırma yöntemlerinden daha yüksek verimler elde edilebilen yöntem ise solucan ile kompostlaştırmadır.

2.3 Organik Atıkların Solucan ile Kompostlaştırılması

2.3.1 Solucan ile kompostlaştırma

Solucan ile kompostlaştırma, biyolojik olarak parçalanabilen katı atıkların solucanlar yardımıyla besin açısından zengin bir son ürüne dönüştürülmesi işlemidir (Abbasi vd., 2009). Oluşan yararlı son ürün vermikompost (solucan kompostu) olarak adlandırılır. Vermikompost, organik atıkların solucanlar tarafından tüketilip sindirilmesiyle üretilen metabolik atıktır (Ali vd., 2015). Solucan ile kompostlaştırma işleminde solucanın sindirim sisteminde gerçekleşen enzimatik ve mikrobiyal faaliyetler vermikompostun konvansiyonel komposttan daha kaliteli bir son ürün olmasını sağlamaktadır (Nair vd., 2006). Vermikompost, solucanın sindirim sisteminde oluşması sebebiyle bitki büyümesi için faydalı besinler, enzimler ve hormonlar içerir. Bu nedenle vermikompost tarımsal üretimde toprak düzenleyici olarak kullanılmasının yanı sıra organik gübre kategorisine de dahil olmaktadır (Kaur, 2020).

Solucan ile kompostlaştırma ile organik atıklardan çevre dostu ve ekonomik bir ürün elde edilir. Bu nedenle organik atıkların işlenerek geri dönüşümünün sağlanmasında en fazla yarar sağlanan yöntemlerden biridir. Hayvan gübresi, gıda atıkları, tarımsal atıklar ve park-bahçe atıkları solucan ile kompostlaştırmada en yaygın kullanılan atık türleri olarak sıralanabilir. Ayrıca arıtma çamurları ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan organik atıklar da solucan ile kompostlaştırma işlemiyle bertaraf edilebilmektedir (Lim vd., 2016).

2.3.2 Solucan ile kompostlaştırma işleminde kullanılan solucan türleri

Organik katı atıkların kompostlaştırılmasında solucanların kullanılması oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir, ancak tüm solucan türleri bu amaç için uygun değildir. Solucanlarla kompostlaştırma işleminde kullanılan başlıca solucan türleri *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Dendrobaena veneta*, *Lumbricus rubellus*, *Perionyx excavatus* ve *Eudrilus eugeniae*'dir (Bajsa vd., 2004). Kullanılacak solucan türü seçilirken, bölgenin iklimi ve hava şartları göz önünde bulundurularak seçim yapılır. *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* ve *Dendrobaena veneta* türlerinin ılıman iklim

kuşağında kullanımı daha verimliken; *Lumbricus rubellus* ve *Perionyx excavatus* türlerinin sıcak tropik iklim özelliği gösteren bölgelerde kullanımı daha verimli olmaktadır (Ceritoğlu vd., 2019).

Kırmızı Kaliforniya Solucanı olarak da bilinen *Eisenia fetida* ve *Eisenia andrei* diğer türlere göre daha yüksek adaptasyon yeteneğine ve daha hızlı çoğalma potansiyeline sahip olmaları sebebiyle en çok tercih edilen türlerdir. En yaygın kompost solucanı olmalarının sebeplerinden birisi de asidik ortama olan dayanıklılıklarıdır. İnce bir yapıya sahip olmalarından dolayı atık yığını içinde daha hızlı galeri (kılcal boşluklar) açarak diğer türlere göre daha hızlı beslenirler ve böylece daha fazla gübre/nihai ürün elde edilmesini sağlarlar (Kaur, 2020).

2.3.3 Solucan ile kompostlaştırma işlemini etkileyen parametreler

Solucan ile kompostlaştırma işleminde kullanılacak atık türüne göre proses süresi ve uygulanan işlemler değişiklik göstermektedir. Kullanılacak atık, uygulanan işlemler ve uygulama süresi elde edilen kompostun kalitesi açısından önemlidir (Ceritoğlu vd., 2019). Solucanlara verilecek olan mamanın hazırlanması vermikompost üretimi için en önemli aşamalardan biridir. Mamanın uygun şartları sağlaması için fermentasyona tabi tutularak bir ön ayrışma sürecinden geçmesi gerekmektedir. Fermentasyon işleminin amacı organik maddenin ayrışmasını sağlamaktır (Abacıoğlu vd., 2020). Organik maddenin ayrışması, diş ve gelişmiş çene yapısına sahip olmayan solucanların besini almasını kolaylaştırır.

Mamanın fermentasyonu sırasında mikroorganizma faaliyetlerini engellemek için nem seviyesi %40'ın altına düşmemelidir. Mikroorganizmalarda en yüksek verim elde edilen nem oranı ise %55 civarındır (Ceritoğlu vd., 2019). Fakat mama solucanlara verildiğinde, nem oranı solucanlar için ideal düzeyde olmalıdır. Nem değerinin yanı sıra ortam sıcaklığı ve mamanın pH değeri solucanların yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için oldukça önemli parametrelerdir. Solucan gelişimi ve faaliyeti için ideal nem oranı %80-90 iken (Kaur, 2020), ideal ortam sıcaklığı 13-25 °C, ideal pH ise 7,5-8 arasındadır (Gupta & Garg, 2011). Mama için kullanılacak atığın C/N oranı da önemli bir parametredir. Yüksek C/N oranı mikrobiyal faaliyetlerin azalmasına sebep olurken çok düşük C/N oranına sahip substratlarda ise fazla miktarda bulunan amonyak solucanlar için toksik etki gösterebilmektedir (Ceritoğlu vd., 2019).

2.3.4 Solucan ile kompostlaştırma yöntemleri

Vermikompost üretiminde birçok farklı yöntem kullanılmaktadır ve kullanılan sistemler kesikli beslemeli ve sürekli beslemeli sistemler olarak iki şekilde işletilebilir. Kesikli beslemeli sistemlerde yatak malzemeleri, solucanlar ve mama sisteme sürecin başında eklenir ve ortam koşulları solucanlar için ideal ortamı sağlayacak şekilde ayarlanır. Bu sistemlerde süreç tamamlanana kadar atık ilavesi yapılmaz. Sürekli akışlı sistemlerde ise solucanlar sisteme yerleştirildikten sonra düzenli aralıklarla besleme yapılır (Munroe, 2007). Küçük ölçekli üretimlerde konteyner veya kutular kullanılabilirken, büyük ölçekli üretimlerde sıralı yığınlar, yataklar veya akış sistemli reaktörler kullanılabilir. Akış sistemli reaktörler sürekli olarak beslenirken, diğer yöntemler kullanıldığında besleme sürekli veya kesikli olarak yapılabilmektedir.

Sıralı yığınlar fazla işçilik ve geniş alan gerektiren düşük teknoloji sistemlerdir. Genellikle dış mekanlara kurulan bu sistemlerde besi maddesi kaybı olasılığı oldukça yüksektir (Hanc & Pliva, 2013). Bu sistemlerin bir diğer dezavantajı ise vermicompost hasadının zor olmasıdır. Hasattan sonra solucanları vermicomposttan ayırmak için ilave ekipman gerekebilmektedir. Bu düşük maliyetli sistemlerin işletilmesi kolaydır ve yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yatak veya konteyner kullanılan üretimlerde, üretim amacına ve atık miktarına göre boyutu değişebilen dört tarafı kapalı sistemler kullanılmaktadır. Bu yöntemde sistem dış etkenlerden korunur ve ürün kayıpları azaltılır (Kiyasudeen vd., 2020).

Sürekli akış sistemli reaktörler ise otomatik veya manuel (elle) olarak çalıştırılabilen daha gelişmiş sistemlerdir (Hanc & Pliva, 2013). Bu reaktörler ayaklar yardımıyla yerden yükseltilmiş, boyutları değişebilen dikdörtgen yataklardan oluşmaktadır. Reaktörün altında ızgara ve bıçak sistemi bulunmaktadır. Bu reaktörlerde solucanlar reaktörün üstünden beslenir, oluşan vermicompost ise reaktörün altındaki bıçak sistemiyle kesilerek ızgaradan düşürülür (Munroe, 2007). Bu sistemin en önemli avantajı sisteme müdahale edilmeden vermicompost hasadı yapılabilmesidir. Böylece üretim kesintiye uğramaz ve sisteme müdahale edilmeden sadece besleme yapılarak sistemin uzun süre çalışması sağlanır. Sistemin diğer avantajları ise daha az alan ve işgücü gerektirmesidir. Sürekli akış sistemli reaktörlerin ilk kurulum maliyeti yüksek olsa bile uzun süreli kullanımlarda ekonomik fayda sağlamaktadır (Kiyasudeen vd., 2016).

2.3.5 Vermikompostun özellikleri

Vermikompost kokusuz, homojen ve besin açısından zengin bir organik gübredir (Sharma & Garg, 2017). Bu gübre toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Katakula vd., 2021). Vermikompost, toprak düzenleyici özelliği ile toprak yapısının iyileştirilmesine katkıda bulunur ve toprağın su tutma kapasitesini artırır (Adhikary, 2012).

Vermikompostun içeriği kullanılan solucan ve organik atık türüne göre değişiklik göstermektedir. Kaliteli bir vermikompost %25'ten fazla organik madde (kuru madde bazında) ve %75-90 arasında nem içerir (Sharma & Garg, 2017). Ayrıca, besin açısından zengin olmasının yanı sıra yüksek kalitede humus, bitki büyüme hormonları ve enzimler içermektedir (Hanc & Pliva, 2013). Vermikompost, termofilik kompostlaştırma işleminden daha fazla bakteri, mantar, aktinomiset ve selülozu parçalayan bakteri içeren mikrobiyal çeşitliliğe sahiptir (Kiyasudeen vd., 2020). Organik gübre olarak kullanıldığında toprağı yararlı mikroorganizmalar ve hormonlar açısından zenginleştirir, genel bitki büyümesi ile mahsul verimini artırır ve bitkileri hastalıklara karşı daha dirençli hale getirir (Yatoo vd., 2021).

2.4 Organik Atık Yönetimi ile İlgili Yasal Mevzuat

2.4.1 Ulusal Mevzuat

2.4.1.1 Atık Yönetimi Yönetmeliği

Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY), 02/04/2015 tarihli ve 29314 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanmıştır. Yönetmeliğin amacı, atıkların çevre ve insan sağlığını gözeterek yönetilmesini sağlamaktır. Atıkların oluşumundan bertarafına kadar gerçekleşen tüm süreçlerin yönetilmesi yönetmeliğin kapsamına dahildir. Ayrıca bu yönetmelik ile atık üretiminin azaltılması, oluşan atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü ya da geri kazanımının sağlanması ile doğal kaynakların kullanımının azaltılması hedeflenmektedir (AYY, 2015).

Bu yönetmeliğin Ek-4 atık listesinde yönetmelik hükümlerinin uygulanacağı atıklar ve atık kodları bulunmaktadır. Listede, biyolojik olarak bozunabilir mutfak ve kantin atıkları 20 01 08 atık koduyla, bahçe ve park atıklarının (mezarlık atıkları dahil)

biyolojik olarak bozunabilir kısmı 20 02 01 atık koduyla ve pazarlardan kaynaklanan atıklar 20 03 02 atık koduyla yer almaktadır (AYY, 2015).

2.4.1.2 Sıfır Atık Yönetmeliği

Sıfır Atık Yönetmeliği (SAY), 12/07/2019 tarihli ve 30829 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanmıştır. Yönetmeliğin amacı, hammadde ve doğal kaynakların etkin yönetimini sağlayacak ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda tüm atık yönetimi süreçlerinde çevre ve insan sağlığını koruyacak sıfır atık yönetimi sisteminin kurulmasına, yaygınlaştırılmasına, geliştirilmesine, izlenmesine, finansmanına, kayıt altına alınarak belgelendirilmesine ilişkin genel ilke ve esasların belirlenmesidir. Sıfır atık yönetim sistemi atık oluşumunun azaltılması, oluşan atıkların kaynağında ayrı toplanması, geçici depolanması, taşınması ve işlenmesi aşamalarının tamamını kapsayan yönetim sistemidir. Sistem fayda ve maliyet esaslarını göz önünde bulundurularak kurulur (SAY, 2019).

Sıfır Atık Yönetmeliği’nin Ek-1 listesinde bulunan yerler, sıfır atık yönetim sistemini kurup temel seviyede sıfır atık belgesi almak zorundadır. Üniversiteler ve yerleşkeleri de listede bulunmakta olup temel seviyede sıfır atık belgesi almak zorundadırlar. Temel seviyede sıfır atık belgesine sahip üniversiteler gümüş, altın veya platin sıfır atık belgesini almakla yükümlüdür (SAY, 2019).

2.4.1.3 Kompost Tebliği

Kompost Tebliği, 05/03/2015 tarihli ve 29286 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanmıştır. Bu tebliğin amacı; işletmelerden kaynaklanan ya da bir faaliyet sonucu oluşan biyobozunur atıkların kaynağında ayrı toplanarak yönetilmesi ve düzenli depolamaya gönderilen miktarının azaltılması amacıyla geri kazanımının sağlanmasına ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir. Kompost tesislerinin teknik kriterlerinin belirlenmesi ve tesislerde üretilen ürünlerin yönetimine dair usul ve esasların belirlenmesi de tebliğin amaçları arasındadır (Kompost Tebliği, 2015).

Kompost Tebliği’nin Ek-1 listesinde biyobozunur atıkların kompost tesislerinde işlenmesi, elde edilen ürünün özellikleri ve kullanımına ilişkin teknik esaslar yer almaktadır. Söz konusu Ek-1 listesinde, biyolojik olarak bozunabilir mutfak ve kantin atıkları 20 01 08 koduyla bulunurken bahçe ve park atıklarının biyolojik olarak bozunabilir kısmı 20 02 01 koduyla bulunmaktadır. Bunun yanı sıra pazarlardan

kaynaklanan atıklar listede 20 03 02 atık koduyla yer almaktadır (Kompost Tebliği, 2015).

Kompost Tebliği Madde 12 ve Madde 13'e göre; üretilen kompostun kullanımı ve piyasaya arz edilmesinde Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik'te yer alan kriterler sağlanır ve bu yönetmelik hükümleri uygulanır (Kompost Tebliği, 2015).

2.4.1.4 Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik

Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik (TKGY), 23/02/2018 tarihli 30341 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğin amacı; organik, mineral ve mikrobiyal gübrelere kullanımını yaygınlaştırarak toprağın yapısının iyileştirilmesini, bitkisel üretimde verimin artırılmasını, çevre ve insan sağlığının korunmasını sağlamaktır. Organik, mineral ve mikrobiyal gübrelere tanımlanması, üretilmesi, analiz yöntemlerinin belirlenmesi, ithali, ihracı, piyasaya arzı ve kayıt altına alınmasına ilişkin usul ve esaslar bu yönetmelik ile belirlenmiştir (TKGY, 2018).

Kompost, bu yönetmeliğin Ek-4 Organik Toprak Düzenleyici Ürünler kategorisinde yer almaktadır. Ek-4'te belirlenen kalite kriterlerine göre kompostta dikkate alınması gereken parametreler ve kriterler Çizelge 2.4'te verilmiştir. Ayrıca yönetmelikte bulunan tüm ürünler için geçerli olan ve Madde 5'te belirtilen ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.5'te verilmiştir (TKGY, 2018).

Çizelge 2.4 : Kompost için sağlanması gerekli kriterler.

Parametre	Kriter
Organik madde	En az %35
Nem	En fazla %30
Elektriksel iletkenlik (EI)	En fazla 10 dS/m
C/N	8-22

Çizelge 2.5 : Kompost için ağır metal sınır değerleri.

Ağır metal	Sınır değeri (mg/kg)
Kadmiyum (Cd)	3
Bakır (Cu)	450
Nikel (Ni)	120
Kurşun (Pb)	150
Çinko (Zn)	1100
Cıva (Hg)	5
Krom (Cr)	350
Kalay (Sn)	10

2.4.2 Uluslararası Mevzuat

2.4.2.1 2008/98/AT sayılı Atık Çerçeve Direktifi

Bu yönergenin amacı, atık üretimi ve yönetiminin olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak veya azaltarak, kaynak kullanımını azaltarak ve kaynakların verimli kullanılmasını sağlayarak, çevre ve insan sağlığının korumaya yönelik birtakım kriterler belirlemektir. Yönetmelikte atık ‘atılması planlanan ya da atılmış durumda olan madde veya nesne’ olarak tanımlanmaktadır. Biyo-atık ise ‘biyolojik olarak parçalanabilir park ve bahçe atıkları ile evlerden, restoranlardan ve gıda işleme tesislerinden kaynaklanan gıda atıkları’ olarak tanımlanmaktadır (2008/98/AT sayılı Atık Çerçeve Direktifi, 2008).

Yönetmeliğe göre atık önleme ve yönetimi, atık yönetim hiyerarşisindeki öncelik sırasına göre uygulanmaktadır. Ayrıca biyo-atıklar atık yönetim hiyerarşisi doğrultusunda çevre ve insan sağlığını koruyacak şekilde yönetilmelidir. Bu amaçla biyo-atıklar kompostlaştırılacak ya da çürütülecek şekilde ayrı toplanmalı, çevreye zararsız bir şekilde işlenmeli ve çevre açısından güvenli bir son ürün elde edilmelidir (2008/98/AT sayılı Atık Çerçeve Direktifi, 2008).

2.4.2.2 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği

Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği (GÜY), AB’de gübreleme amacıyla kullanılan ürünler için geçerlidir. Bu yönetmeliğe göre kompost, organik toprak düzenleyici ürünler kategorisine girmektedir. Toprak düzenleyici, toprağın fiziksel veya kimyasal özelliklerini, yapısını veya biyolojik faaliyetini sürdüren, iyileştiren veya koruyan gübreleme ürünüdür (2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği, 2019).

İlgili yönetmelik EK-1’de organik toprak düzenleyiciler için bazı kriterler bulunmaktadır. Bu kriterlere göre organik toprak düzenleyici en az %95 biyolojik kökenli malzemeden oluşmalıdır. EK-1’de belirtilen, organik toprak düzenleyiciler için ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.6’da ve diğer kriterler Çizelge 2.7’de verilmiştir. Ayrıca yine EK-1’de patojenler için belirtilen sınırlandırmalar Çizelge 2.8’de verilmiştir (2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği, 2019).

Çizelge 2.6 : Organik toprak düzenleyiciler için ağır metal sınır değerleri.

Parametre	Sınır değer (mg/kg kuru madde)
Cıva (Hg)	1
Kadmiyum (Cd)	2
6 Değerlikli krom (Cr VI)	2
Nikel (Ni)	50
İnorganik arsenik (As)	40
Kurşun (Pb)	120
Bakır (Cu)	300
Çinko (Zn)	800

Çizelge 2.7 : Organik toprak düzenleyiciler için sağlanması gerekli kriterler.

Parametre	Kriter
Kuru madde	En az %20
Toplam organik karbon (TOK)	En az %7,5

Çizelge 2.8 : Patojenler için sağlanması gereken kriterler.

Patojen	Kriter
Salmonella	Yok (25g veya ml’de)
<i>Escherichia coli</i>	<1000 kob/g

kob: koloni oluşturan birim



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Atık Karakterizasyonu

Çalışma kapsamında pişmemiş yemek atıkları (yemek hazırlama atıkları), çim atıkları ve budama atıkları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çim ve budama atıkları, İTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığına bağlı Ağaçlandırma ve Çevre Düzenleme Şube Müdürlüğü biriminin İTÜ Ayazağa Kampüsünde yürüttüğü çevre ve peyzaj çalışmaları sonucunda çıkan atıklardan temin edilmiştir. Budama atıkları kompostlaştırma işlemi için uygun hale getirilmek amacıyla öğütülmüştür. Yemek atıklarının bir kısmı İTÜ merkez yemekhanesinde yemek hazırlama aşamasında çıkan pişmemiş yemek atıklarından temin edilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü dönemde Covid-19 salgınının etkileri halen devam ettiği ve yemekhanenin tam kapasite olarak yemek servisi yapmaması sebebiyle yeterli miktarda yemek atığı çıkmadığı dönemler olmuştur. Dolayısıyla yemekhane atıklarına ek olarak İBB Avrupa Yakası Hal Şube Müdürlüğü ve çeşitli pazar yerlerinden hal ve pazar atığı toplanmıştır. Çalışmada kullanılan yemek atıkları ile çim ve budama atıklarına ait fotoğraflar sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Toplanan yemek atıkları.



Şekil 3.2 : Toplanan çim ve budama atıkları.

Çalışmanın ilk kısmında ham atıkların karakterizasyonu için deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Ham atıklara yapılan deneysel analizlerde elde edilen veriler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Nem oranının en fazla $88,2 \pm 2,8$ değeri ile yemek atığında olduğu bulunurken, çim atığı $75,3 \pm 2,4$ ve budama atığının $37,5 \pm 9,3$ nem içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Bu sonuca paralel olarak toplam katı madde (TKM) oranı en fazla $62,5 \pm 9,3$ ile budama atığında bulunurken, çim atığı $24,7 \pm 2,4$ ve yemek atığı $11,8 \pm 2,8$ TKM içermiştir. Toplam uçucu katı madde (TUKM) oranı en yüksek $58,6 \pm 9,2$ ile budama atığında bulunmuştur. Çim atığı $21,6 \pm 2,1$ ve yemek atığı ise $9,8 \pm 2,4$ TUKM içermektedir. TKM ve TUKM değerleri en yüksek budama atığında, daha sonra sırasıyla çim ve yemek atıklarında tespit edilmiştir. Buna karşın TUKM/TKM değerleri karşılaştırıldığında ciddi farklılık görülmemektedir. Buna göre TUKM/TKM oranı budama atığı, çim atığı ve yemek atığı için sırasıyla $93,6 \pm 0,7$, $87,5 \pm 1,6$ ve $82,6 \pm 2,7$ bulunmuştur. pH değerleri ise budama ve çim atığında sırasıyla $5,11 \pm 0,16$ ve $5,14 \pm 0,24$ olmakla birlikte oldukça benzer değerlerdedir. Yemek atığının pH değeri ise $6,12 \pm 0,41$ ’dir. Elektriksel İletkenlik (Eİ) değerleri karşılaştırıldığında yemek atığı $10,36 \pm 1,54$ mS/cm ile en yüksek değere sahiptir. Çim atığı $5,32 \pm 0,80$ mS/cm ve budama atığı $3,38 \pm 0,15$ mS/cm Eİ değerine sahiptir. Toplam fosfor (TP) değerleri ise yemek atığında 1.009 ± 288 mg/kg, çim atığında 988 ± 238 mg/kg ve budama atığında 775 ± 231 mg/kg ölçülmüştür. Yemek atığı en yüksek TP değerine sahipken en yüksek Toplam kjeldahl azotu (TKN) değerine çim atığı sahiptir. Çim atığı TKN değeri $3,25 \pm 0,24$ iken yemek atığı $3,02 \pm 0,44$ TKN değerine

sahiptir. En düşük TKN değeri $1,57 \pm 0,25$ ile budama atığında bulunmuştur. Toplam organik karbon (TOK) değerleri karşılaştırıldığında ise en yüksek TOK değeri budama atığının olup $50,52 \pm 1,92$ 'dir. Çim atığı $44,62 \pm 1,27$ ve yemek atığı $42,66 \pm 1,68$ TOK değerine sahiptir. C/N oranı ise TOK ve TKN arasındaki ilişkiye bağlı olup en yüksek $32,85 \pm 4,52$ değeri ile budama atığındadır. Yemek atığı $14,33 \pm 1,44$ ve çim atığı $13,80 \pm 1,15$ değerleri ile benzer C/N oranına sahiptir.

Çizelge 3.1 : Ham atıkların karakterizasyonu.

Parametre	Birim	Atık Türleri		
		Yemek	Çim	Budama
Nem	%	$88,2 \pm 2,8$	$75,3 \pm 2,4$	$37,5 \pm 9,3$
TKM	%	$11,8 \pm 2,8$	$24,7 \pm 2,4$	$62,5 \pm 9,3$
TUKM	%	$9,8 \pm 2,4$	$21,6 \pm 2,1$	$58,6 \pm 9,2$
TUKM/TKM	%	$82,6 \pm 2,7$	$87,5 \pm 1,6$	$93,6 \pm 0,7$
pH	-	$6,12 \pm 0,41$	$5,14 \pm 0,24$	$5,11 \pm 0,16$
Eİ	mS/cm	$10,36 \pm 1,54$	$5,32 \pm 0,80$	$3,38 \pm 0,15$
TKN	%	$3,02 \pm 0,44$	$3,25 \pm 0,24$	$1,57 \pm 0,25$
TOK	%	$42,66 \pm 1,68$	$44,62 \pm 1,27$	$50,52 \pm 1,92$
C/N	-	$14,33 \pm 1,44$	$13,80 \pm 1,15$	$32,85 \pm 4,52$
TP	mg/kg	1.009 ± 288	988 ± 238	775 ± 231

Ham atıkların suda çözünabilir makro ve mikro element içerikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Suda çözünabilir makro ve mikro elementlerin tespiti için iyon ölçümleri yapılmıştır. Florür konsantrasyonu yemek atığında 1.847 mg/kg iken çim ve budama atıklarının florür konsantrasyonu ölçüm sınırı olan 0,8 mg/kg değerinden düşük bulunmuştur. Klorür konsantrasyonu yemek atığında 2.400 mg/kg, çim atığında 1.660 mg/kg ve budama atığında 499 mg/kg olmuştur. Bromür ve nitrat konsantrasyonu atık türlerinin tümünde 4 mg/kg'ın altında ölçülmüştür. Fosfat konsantrasyonu yemek atığında 1.371 mg/kg, çim atığında 994 mg/kg ve budama atığında 921 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Sülfat konsantrasyonu ise yemek atıkları, çim atıkları ve budama atıkları için sırasıyla 1.048 mg/kg, 765 mg/kg ve 762 mg/kg bulunmuştur. Amonyum konsantrasyonu yemek atığında 116 mg/kg ve çim atığında 70 mg/kg iken budama atığında 2,5 mg/kg'ın altında olmuştur.

Çizelge 3.2 : Ham atıkların suda çözünebilir makro ve mikro element içeriği(mg/kg).

Parametre	Atık Türleri		
	Yemek	Çim	Budama
F ⁻	1.847±150	<0,8	<0,8
Cl ⁻	2.400±325	1.660±459	499±76
Br ⁻	<4	<4	<4
NO ₃ ⁻	<4	<4	<4
PO ₄ ⁻³	1.371±95	994±272	921±7
SO ₄ ⁻²	1.048±276	765±109	762±247
NH ₄ ⁺	116±28	70±3	<2,5

Ham atıkların toplam makro ve mikro element içerikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Sonuçlardan potasyum, sodyum, magnezyum, bakır ve demir konsantrasyonlarının en yüksek yemek atığında, bunun ardından çim atığında ve en düşük budama atığında olduğu görülmektedir. Kalsiyum, çinko ve mangan konsantrasyonları ise en yüksek çim atığında, daha sonra yemek atığında ve en düşük ise budama atığında tespit edilmiştir.

Çizelge 3.3 : Ham atıkların toplam makro ve mikro element içeriği (mg/kg).

Parametre	Atık Türleri		
	Yemek	Çim	Budama
K	53.958±7057	19.633±1967	838±131
Na	4.105±685	1.348±79	466±79
Ca	10.183±696	12.412±472	2.235±328
Mg	3.776±241	2.600±35	297±25
Zn	28,3±1,9	47,9±7,9	6,3±0,6
Cu	114±15	6,4±0,2	<0,025
Fe	951±31	749±234	30,7±13,7
Mn	56,3±5,9	59,4±8,1	2,3±0,9
Cd	<0,025	<0,025	<0,025
Ni	1,9±0,4	<0,025	<0,025
Pb	<0,025	<0,025	<0,025
Cr	8±1,2	<0,025	<0,025
Sn	<0,025	<0,025	<0,025

Yemek atığı 114 mg/kg ve çim atığı 6,4 mg/kg bakır (Cu) konsantrasyonuna sahipken budama atığının bakır konsantrasyonu 0,025 mg/kg'dan küçük ölçülmüştür. Yemek atığı 1,9 mg/kg nikel (Ni) ve 8 mg/kg krom (Cr) konsantrasyonuna sahipken kadmiyum, kurşun ve kalay konsantrasyonları 0,025 mg/kg'ın altında bulunmuştur. Çim ve budama atıklarının ise kadmiyum (Cd), nikel, kurşun (Pb), krom ve kalay (Sn) konsantrasyonları ise ölçüm sınırı olan 0,025 mg/kg'ın altında kalmıştır.

Toplanan atıklar farklı oranlarda karıştırılarak 5 farklı atık karışımı oluşturulmuştur. Oluşturulan atık karışımları, solucanların tüketebileceği hale gelmesi amacıyla 8 haftalık ön kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Oluşturulan atık karışımlarının karışım oranları Çizelge 3.4'te, ön kompostlaştırılmış karışımlara ait fotoğraflar ise Şekil 3.3'te verilmiştir. 8 haftalık ön kompostlaştırma süresi boyunca, farklı atık karışımlarından oluşturulan 5 yığın her dört günde bir karıştırılmıştır. Yığınlar, nem seviyesini %60-70 aralığında tutmak için her gün su ile nemlendirilmiştir.

Çizelge 3.4 : Hazırlanan atık karışımlarının içeriği (%).

Karışım	Atık Türleri		
	Yemek	Çim	Budama
Karışım 1	100	-	-
Karışım 2	50	50	-
Karışım 3	-	80	20
Karışım 4	40	40	20
Karışım 5	80	-	20



Şekil 3.3 : Ön kompostlaştırma işleminden sonra atık karışımlarının görünümü.

Reaktöre yerleştirilen solucanlar, yeni ortamlarına alışabilmeleri amacıyla deney başlangıcında bir süre ön kompostlaştırılmış at ve inek gübresi karışımıyla beslenmiştir. Ön kompostlaştırılmış at ve inek gübresi, vermikompost üretimi yapan yerel bir işletmeden hazır halde temin edilmiştir.

3.2 Kullanılan Solucan Türü ve Gelişiminin Takibi

Yapılan çalışma kapsamında solucan türü olarak *Eisenia Fetida* kullanılmıştır. Bu türün kullanılmasının sebebi yüksek adaptasyon yeteneği olup, ortam şartlarındaki sıcaklık ve pH gibi değişimlerden diğer türlere oranla daha az etkilenmektedirler. Ayrıca daha fazla ve hızlı besin sindirimi yapmaları sebebiyle daha fazla

vermikompost üretimi yapabilmektedirler. Solucanlar 5 bölmeye ayrılan reaktöre her bölmede yaklaşık eşit sayıda solucan bulunacak şekilde homojen olarak eklenmiştir. Kullanılan solucan türüne ait fotoğraf Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Kullanılan *Eisenia Fetida* türü solucan.

Solucan gelişiminin takibinin yapılması amacıyla solucan sayısında gerçekleşen değişim esas alınmıştır. Bu amaçla 2 sayım yapılmıştır. Birinci sayım ön kompostlaştırılmış at ve inek gübresiyle yapılan besleme tamamlandıktan sonra yapılmıştır. İkinci sayım ise hazırlanan ön kompostlaştırılmış atık karışımlarıyla yapılan besleme tamamlandıktan sonra yapılmıştır.

Sayım yapılırken reaktörün 5 farklı bölmesi ayrı ayrı ele alınmıştır. Her bölmeden biri ön, biri orta ve biri arka tarafta olacak şekilde 3 farklı bölge seçilmiştir. Bölgeler aynı doğrultuda olmayacak şekilde seçilmiştir. Bölgeler 20 cm genişliğinde, 20 cm uzunluğunda ve 20 cm derinliğinde alanlar olmuştur. Bu bölgelerden alınan solucanlar içinde bulundukları karışımlarından ayrılarak sayılmıştır. Sayılan 3 bölgedeki solucan sayıların ortalaması alınarak, 400 cm²'lik alana düşen solucan miktarı ortalama olarak hesaplanmıştır. Daha sonra bulunan sayı bölmenin tüm alanına oranlanarak bir bölmedeki solucan sayısı yaklaşık olarak tayin edilmiştir. Yapılan sayımlarda sayım yapılan örnek bir bölgeye ait fotoğraf Şekil 3.5'te sayım için reaktörden alınan solucanlara ait fotoğraflar Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5 : Sayım yapılan bir bölge.



Şekil 3.6 : Sayım için reaktörden alınan solucanlar.

3.3 Deneysel Sistem

3.3.1 Sürekli akış sistemli reaktörün özellikleri

Deneysel sistem olarak bu çalışma için özel olarak imal edilmiş sürekli akış sistemine sahip bir reaktör kullanılmıştır. Bu reaktör konfigürasyonu, solucan kompostu üretiminde kullanılan en teknolojik konfigürasyonlardan biri sayılmaktadır. Reaktör, ayaklarla yerden yükseltilmiş yataktan oluşmaktadır. Yatağın tabanında bulunan ızgara yapı ve yatak tabanı boyunca her iki yönde de hareket edebilen bıçak sayesinde reaktör tabanından vermikompost hasadı yapılabilmektedir. Bıçağın yatak tabanındaki hareketi, makara sistemi ve motorla sağlanmıştır. Reaktör tabanındaki ızgara sistemine ait fotoğraf Şekil 3.7’de ve bıçağa ait fotoğraf Şekil 3.8’de ve bıçağın hareketini sağlayan makara sistemi ve motor Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Reaktör tabanında bulunan ızgara yapı.

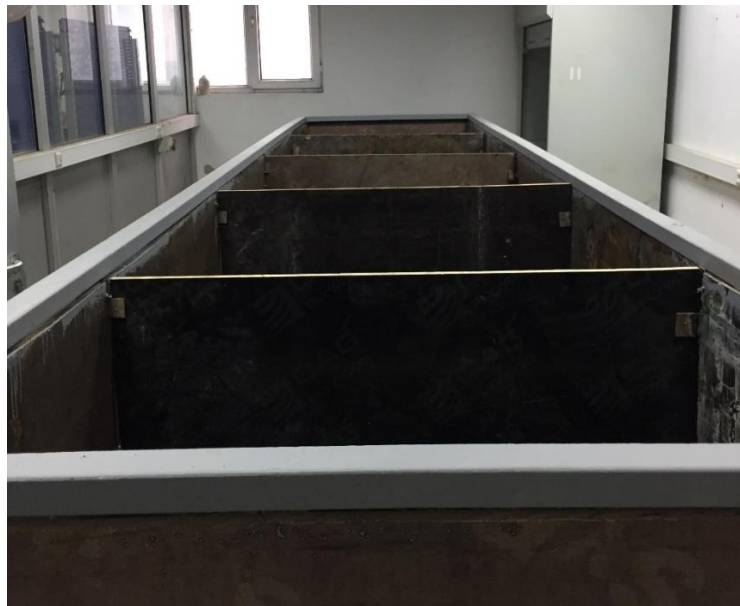
Reaktör yatağının yüksekliği 80 cm iken uzunluğu 6 m ve genişliği 1,25 m’dir. Reaktör 5 farklı atık karışımının aynı anda solucan ile kompostlaştırma işlemine tabi tutulabilmesi amacıyla ahşap levhalarla 5 eşit bölmeye ayrılmıştır. Ahşap levhalar, bölmeler arasında solucan geçişini engelleyecek şekilde yerleştirilmiştir. Ahşap levhaları gösteren, boş reaktöre ait örnek fotoğraf Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.8 : Reaktör sisteminin tabanına yerleştirilen bıçak.



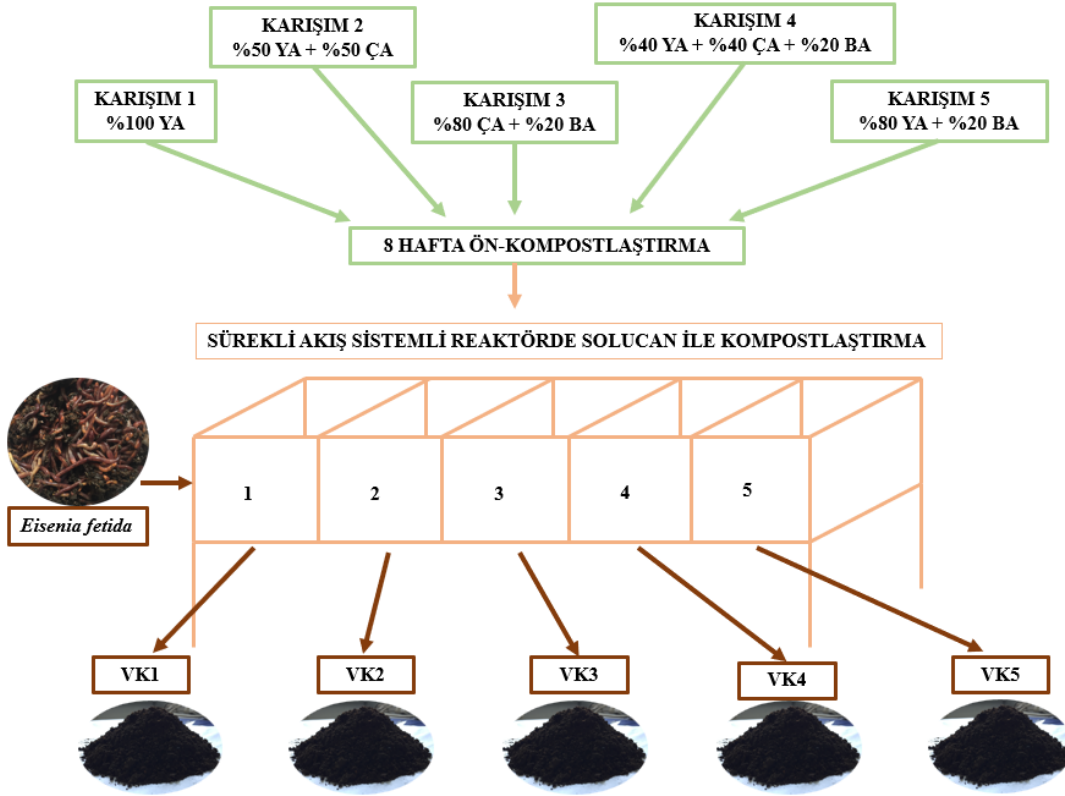
Şekil 3.9 : Bıçağın hareketini sağlayan makara sistemi ve motor.



Şekil 3.10 : Reaktörü bölmelere ayıran ahşap levhalar.

3.3.2 Deney düzeneğinin kurulması ve işletilmesi

Deneyisel çalışmada kullanılan atıkların temin edilmesi, atık karışımlarının 8 hafta boyunca ön-kompostlaştırma işlemine tabi tutulması, sürekli akış sistemli reaktörün kurulumunun tamamlanması ve kullanılan solucan türünün temin edilmesinin ardından deneyel düzenek kurulup işletilmeye başlanmıştır. Deneyel süreç Şekil 3.11’de özetlenmektedir.



YA: Yemek Atığı, ÇA: Çim Atığı, BA: Budama Atığı, VK: Vermikompost

Şekil 3.11 : Deneyel sürecin şematik özeti.

Sürekli akış sistemli reaktörün işletilmesi solucanların reaktöre yerleştirilmesiyle başlamıştır. Solucanlar reaktöre yerleştirilmeden önce reaktörün alt kısmını oluşturan ızgaralı zemine, solucanların ızgara aralıklarından kaçmalarını önlemek amacıyla karton serilmiştir. Serilen kartonun üstüne ise solucanların çevresel koşullara alışmasını (adaptasyonunu) kolaylaştırmak ve kaçmalarını önlemek amacıyla hazır olarak temin edilmiş vermikompost ilave edilmiştir. Böylece solucanların reaktöre yerleştirilmesini kolaylaştıracak yatak hazır hale getirilmiştir. Daha sonra solucanlar, reaktörün her bölümüne, birim alanda yaklaşık olarak eşit sayıda solucan olacak şekilde yerleştirilmiştir. Reaktöre ön kompostlaştırılmış at-inek gübresi eklenerek solucanlar beslenmiştir. Ön kompostlaştırılmış büyükbaş hayvan gübresi, solucanların

en uygun şekilde büyümesini sağlayan ve ortam şartlarına en kolay şekilde alışabilmelerini sağlayan besin kaynakları arasındadır. Bu yüzden solucanların yeni ortama uyum sağlamalarını kolaylaştırmak amacıyla reaktörün işletilmesine ön kompostlaştırılmış at-inek gübresiyle başlanmıştır. Yatağa ait görüntü Şekil 3.12’de, solucanlara ait görüntü Şekil 3.13’te ve reaktöre yerleştirilen solucanlara ait görüntü Şekil 3.14’te verilmiştir.



Şekil 3.12 : Solucanların yerleştirilmesi için hazırlanan yatak.



Şekil 3.13 : Reaktöre yerleştirilen solucanlar.



Şekil 3.14 : Solucanların reaktöre eklendikten sonraki görünümü.

Solucanlar reaktöre yerleştirildikten sonra iki haftada bir olacak şekilde ön kompostlaştırılmış at-inek gübresiyle beslenmeye başlanmıştır. 11. beslemeye kadar reaktörün tüm bölmeleri eşit miktarda ön kompostlaştırılmış at-inek gübresiyle beslenmiştir. Bunun ardından çalışma kapsamında kullanılan atıklardan hazırlanan 5 farklı atık karışımının ön kompostlaştırma işlemi tamamlandığında solucanların yeni besinlerine alışmaları amacıyla 11. beslemede solucanlar %75 at-inek gübresi ve %25 atık karışımıyla, 12. beslemede ise %50 at-inek gübresi ve %50 atık karışımıyla beslenmiştir. Solucanların ön kompostlaştırılan atık karışımlarından oluşturulan mamayı tükettiği ve reaktörde canlılık faaliyetinin devam ettiği gözlenmiştir. Böylece 13. beslemeden itibaren solucanlar haftada bir olmak üzere sadece bu çalışma kapsamındaki ön kompostlaştırılmış atık karışımlarıyla beslenmeye başlanmıştır. Bu çerçevede reaktörün birinci bölümü sadece ön kompostlaştırılmış yemek atığı ile diğer bölmeler ise Çizelge 3.4'te belirtilen atık karışım oranları dahilinde hazırlanan ön kompostlaştırılmış karışımlar çerçevesinde beslenmiştir. Beslemelere ait mama karışım oranları ve miktarları ile yapılan hasatlar Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Reaktör besleme ve hasat planı.

Besleme	Mama karışım oranları (%)		Her bir bölmeye beslenen yaklaşık mama miktarı (kg)	Hasat yapma durumu
	At-İnek gübresi	Atık karışımı		
1. Besleme	100	-	25	Yapılmadı
2. Besleme	100	-	25	Yapılmadı
3. Besleme	100	-	50	Yapılmadı
4. Besleme	100	-	50	Yapılmadı
5. Besleme	100	-	50	Yapılmadı
6. Besleme	100	-	50	Yapılmadı
7. Besleme	100	-	50	Yapılmadı
8. Besleme	100	-	50	Yapılmadı
9. Besleme	100	-	75	Yapılmadı
10. Besleme	100	-	75	Yapılmadı
11. Besleme	75	25	100	Yapılmadı
12. Besleme	50	50	100	Yapılmadı
13. Besleme	-	100	25	Yapılmadı
14. Besleme	-	100	25	Yapılmadı
15. Besleme	-	100	25	Yapılmadı
16. Besleme	-	100	25	Yapılmadı
17. Besleme	-	100	25	Yapıldı
18. Besleme	-	100	25	Yapıldı
19. Besleme	-	100	25	Yapıldı
20. Besleme	-	100	25	Yapıldı
21. Besleme	-	100	25	Yapıldı
22. Besleme	-	100	25	Yapıldı
23. Besleme	-	100	25	Yapıldı
24. Besleme	-	100	25	Yapıldı
25. Besleme	-	100	25	Yapıldı
26. Besleme	-	100	25	Yapıldı
27. Besleme	-	100	25	Yapıldı
28. Besleme	-	100	25	Yapıldı
29. Besleme	100	-	25	Yapıldı

Reaktör yeterli doluluğa ulaştığında ilk vermikompost hasadı yapılmıştır. Reaktörün dolu haline ait fotoğraf Şekil 3.15'te verilmiştir. Reaktörün yeterli doluluğa ulaşmasının beklenmesinin sebebi solucanların hasat yapılırken kesim işlemi yapan bıçaktan etkilenmesini önlemektir. Reaktörde bulunan besinin en üst 20 cm'lik kısmında yaşayan solucanlar, besin ekledikçe taze mamaya doğru yani reaktörün üst kısmına doğru ilerlemektedir. Böylece reaktörün taban kısmına yakın bölgede solucan bulunmamaktadır. Bu durumda hasat yapıldığında reaktörün üst kısmında bulunan solucanlar bıçak hareketiyle yapılan kesimden en az derecede etkilenmektedir. Tüm hasatlar beslemeyi müteakip 2-3 gün içerisinde yapılmıştır. Besleme sonrası 2-3 gün içerisinde solucanların çoğunluğu reaktörün üst kısımlarında yoğunlaştığı için alt

kisimlarda çok daha az miktarda solucan kalmaktadır. İlk hasat reaktörün yeterli doluluğa ulaştığı 17. beslemeden sonra yapılmıştır. Daha sonra her hafta hasat yapılmaya devam edilmiştir. Toplamda 13 defa hasat yapılmıştır. İlk beslemelerde solucanlara ön kompostlaştırılmış at-inek gübresi verildiği için gübreden elde edilen vermikompost reaktörün alt kısmında kalmıştır. Bu sebeple, ilk 9 hasatta elde edilen vermikompost, ön kompostlaştırılmış at-inek gübresinden kaynaklanmıştır. Hasat yapıldıkça ön kompostlaştırılmış atık karışımlarından elde edilen vermikompost reaktör tabanına doğru alçalmaya başlamıştır. Böylece son 4 hasatta, çalışma kapsamındaki ön kompostlaştırılmış atık karışımlarından üretilen vermikompost hasat edilmiştir. Hasattan sonra reaktörün alt kısmına ve elde edilen vermikomposta ait fotoğraf Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.15 : Dolu reaktörün görünümü.



Şekil 3.16 : Hasat sırasında reaktörün alttan görünümü ve hasat edilen vermikompost.

Deney süreci boyunca, solucanların yaşayabildiği uygun nem değerini sağlamak amacıyla reaktör her gün su ile nemlendirilmiştir. Nemlendirme işlemi sulama kabı kullanılarak elle yapılmıştır. Reaktörün her bölmesinin eşit miktarda nemlendirilmesine dikkat edilmiştir. Reaktördeki nem, sıcaklık ve pH değerleri günlük olarak izlenmiştir. Reaktörde nem %80-90 aralığında, sıcaklık 7-36 °C arasında değişiklik göstermiştir. Yapılan ölçümlere ait örnek fotoğraflar Şekil 3.17’de verilmiştir. Deneysel çalışma boyunca reaktörün bulunduğu ortam 24 saat boyunca aydınlatılmıştır. Sürekli aydınlatma yapılmasının sebebi solucanların reaktörden kaçmasını önlemektir. Işık olmadığı zamanlarda solucanlar, bulundukları ortamın (reaktörün) dışına çıkma eğilimi göstermektedir. Işık olduğu zamanlarda ise ışıktan kaçan solucanlar reaktörün içindeki atık karışımlarında saklanmakta ve besin tüketimine devam etmektedir.



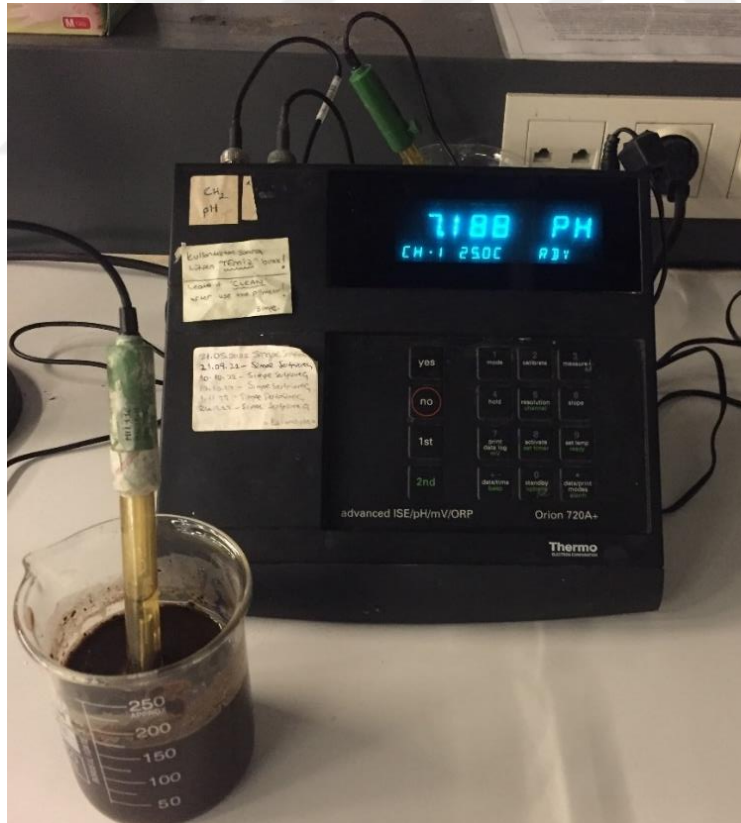
Şekil 3.17 : Reaktördeki sıcaklık, nem ve pH değerlerinin takibi.

Atık karışımlarını oluşturan atık türleri ve ön kompostlaştırılmış atık karışımları fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvarda analiz edilmiştir. Elde edilen verimikompost kalitesinin belirlenmesi amacıyla ise çeşitli kalite parametreleri takip edilmiştir.

3.4 Analitik Yöntemler

3.4.1 pH

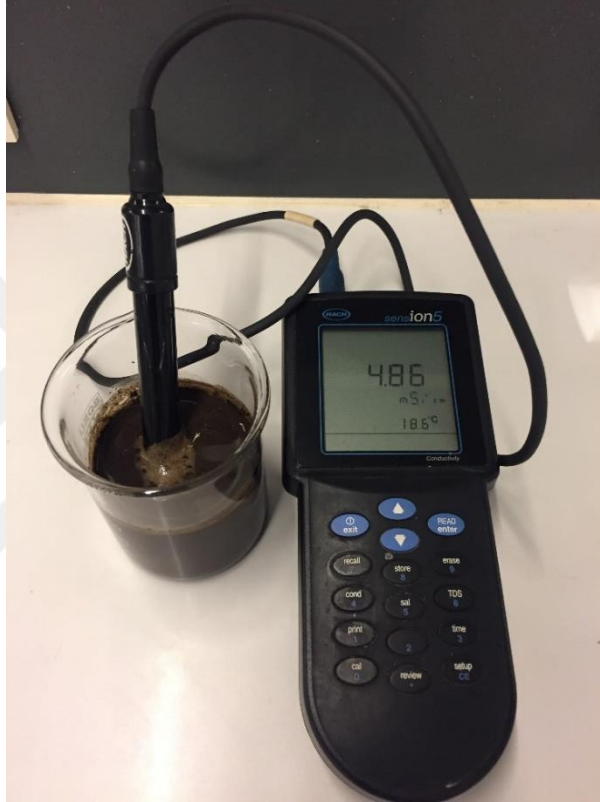
Numunelerin pH ölçümü, Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC) 04.11-A'da açıklanan yöntem doğrultusunda yapılmıştır (TMECC, 2002). Bunun için öğütölüp homojen hale getirilen yaş numunelerden 1:5 sulu çözelti hazırlanıp 20 dk boyunca manyetik karıştırıcıda (Heidolph MR Hei-Standard, Almanya) çalkalanmıştır. Daha sonra pH elektrotu (Thermo Orion 720A+, ABD) kullanılarak doğrudan çözeltiden pH ölçümü yapılmıştır. Kullanılan cihaza ait fotoğraf Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18 : pH ölçümü.

3.4.2 Elektriksel iletkenlik

Numunelerin elektriksel iletkenlikleri TMECC 04.10-A'da açıklanan yöntem doğrultusunda ölçülmüştür (TMECC, 2002). Bunun için öğütülüp homojen hale getirilen yaş numuneden 1:5 sulu çözelti hazırlanıp 20 dk boyunca manyetik karıştırıcıda (Heidolph MR Hei-Standard, Almanya) çalkalanmıştır. Daha sonra bu çözeltinin üst fazında iletkenlik ölçer (Hach Sension 5, ABD) kullanılarak elektriksel iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Kullanılan cihaza ait fotoğraf Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19 : Elektriksel iletkenlik ölçümü.

3.4.3 Toplam katı madde

Toplam katı madde ölçümleri TMECC 03.09-A'de belirtilen yöntem doğrultusunda yapılmıştır. Bunun için öğütülüp homojen hale getirilen numuneler tartılmıştır. Tartılan numuneler etüvde (Nükleon, Türkiye) $105\pm5^{\circ}\text{C}$ 'de 18-24 saat kadar kurutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Bu işlem sonunda kalan kuru katılar, katı maddeyi temsil ederken buharlaşan kısım ise nem oranını temsil etmektedir. Numunelerin toplam katı ve nem oranları denklem 3.1 ve denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$TKM = dw \div A \times 100 \quad (3.1)$$

$$N = 1 - [dw \div A] \times 100 \quad (3.2)$$

TKM: Katı madde yüzdesi, % g/g⁻¹

N: Nem yüzdesi, % g/g⁻¹

Dw: Net kuru ağırlık, 105±5°C'den sonra

A: Başlangıç numune ağırlığı, g

3.4.4 Toplam uçucu katı madde

Toplam uçucu katı madde ölçümleri için öğütölüp homojen hale getirilen numuneler etüvde (Nükleon, Türkiye) 105±5°C'de 18-20 saat kadar kurutulduktan tartılmıştır. Daha sonra aynı numuneler 2 saat boyunca kül fırınında (Carbolite, İngiltere) 550°C'de yakılıp tekrar tartılmıştır. Numunelerin toplam uçucu katı madde ve kül değerleri denklem 3.3 ve denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Kül = (KülW \div dw) \times 100 \quad (3.3)$$

$$TUKM = [1 - (KülW \div dw)] \times 100 \quad (3.4)$$

Kül = Katı yüzdesi, 550°C'den sonra, % g/g⁻¹

TUKM = Toplam uçucu katı madde, % g/g⁻¹

KülW = Numune ağırlığı, 550°C'den sonra, g

dw = Net kuru ağırlık, 105 ± 5°C'den sonra, g

3.4.5 Toplam organik karbon

Toplam organik karbon ölçümleri için numuneler etüvde (Nükleon, Türkiye) 70±5°C'de kurutulup öğütölmüştür. Daha sonra 30-50 mg kuru numune kullanılarak toplam organik karbon analizöründe (Shimadzu TOC VCPN, Japonya) ölçümler yapılmıştır. Kullanılan cihaza ait görüntü Şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.20 : TOK analizörü.

3.4.6 Toplam kjeldahl azotu

TKN analizleri TMECC 04.02-A’da belirtilen yöntem doğrultusunda yapılmıştır. Öncelikle numuneler etüvde (Nükleon, Türkiye) $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulup öğütülerek analize hazırlanmıştır. Daha sonra yaklaşık 0,1 gram numune alınarak üzerine 50 ml hazım ayracı eklenmiş ve parçalama işlemine tabi tutulmuştur. Parçalama işleminden sonra distilasyon ünitesine alınıp distile edilen numunelerin distilasyonundan çıkan amonyak 50 ml borik asit içeren erlenmeyerde toplanmıştır. Daha sonra erlenmeyerde toplanan karışım 0,02 N H_2SO_4 ile titre edilmiştir. Oluşan sarfiyat denklem 3.5’te yerine koyularak TKN miktarı hesaplanmıştır.

$$TKN(\text{mg/kg}) = (280 * A)/N \quad (3.5)$$

A: Titrasyonda sarf edilen 0,02 N H_2SO_4 miktarı (ml)

N: Kullanılan numune miktarı (gr)

3.4.7 Karbon/Azot oranı

C/N oranı TOK ve TKN arasındaki oran üzerinden hesaplanmıştır. Hesaplama denklem 3.6’da belirtildiği şekilde yapılmıştır (Hemidat vd., 2018).

$$C / N = TOK (\%) / TKN (\%) \quad (3.6)$$

3.4.8 Toplam fosfor

Toplam fosfor analizleri için etüvde (Nükleon, Türkiye) $70\pm5^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulup öğütülen kuru numuneler kullanılmıştır. Kuru numunelerden yaklaşık 0,05-0,1 gram alınarak üzerine 1 ml H_2SO_4 ve 5 ml HNO_3 eklenip parçalama işlemine tabi tutulmuştur. Parçalama tamamlandıktan sonra soğuyan balonlara 20 ml distile su ve birkaç damla fenolftalein eklenmiştir. Daha sonra çözeltiler pH 8,3'ün üzerine çıkıncaya kadar 6 N NaOH ile titre edilmiştir. Pembe olan rengin giderilmesi için 1-2 damla kuvvetli asit çözeltisi eklenip nötralizasyon sağlandıktan sonra çözeltiler distile su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Çözeltilere 4 ml amonyum molibdat ve 10 damla kalay klorür eklenmiştir. 10-12 dk bekleme süresinin ardından UV spektrofotometrede 690 nm dalga boyunda okumalar yapılmıştır.

3.4.9 Makro ve mikro elementler

Numunelerdeki suda çözünebilir makro ve mikro elementlerin konsantrasyonları TMECC 04.12-D'de belirtilen yöntem doğrultusunda ölçülmüştür. Bunun için yaşı numuneler kullanılarak 1:20 çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler süzildükten sonra iyon kromatografisi (Dionex, ICS-300, ABD) cihazında okuma yapılarak anyon ve kation ölçümü yapılmıştır.

Toplam makro ve mikro elementlerin miktarı ise TMECC 04.12-B'de belirtilen yöntem doğrultusunda ölçülmüştür. Bunun için etüvde (Nükleon, Türkiye) $70\pm5^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulup öğütülen kuru numunelerden ~1 g alınarak nitrik asitle parçalama yapılmıştır. Parçalama işlemi HCl ve H_2O_2 ile devam ettirilmiştir. Parçalama tamamlandıktan sonra asitle parçalanan numuneler 100 ml'ye tamamlanmıştır. Bu numuneler İndüktif Eşleşmiş Argon Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) (Perkin Elmer Optima 7000 DV, ABD) cihazında okutularak toplam makro ve mikro element miktarları belirlenmiştir.

Elde edilen 5 farklı vermikomposttaki cıva, arsenik ve krom (VI) ölçümleri ise özel bir laboratuvarda yaptırılmıştır. Cıva ve arsenik analizleri TS EN ISO 17294-1.2'de belirtilen yöntemler doğrultusunda yapılırken krom (VI) analizi ise SM 3500-Cr B'de verilen yönteme göre yapılmıştır.

3.4.10 Patojenler

Elde edilen 5 farklı vermikompostta toplam koliform, *Escherichia coli* ve Salmonella analizi yapılmıştır. *Escherichia coli* ve Salmonella analizleri özel bir laboratuvar da yaptırılmıştır. *Escherichia coli* analizi ISO 16649-2’de ve Salmonella analizi 6579-1’de belirtilen yöntemler doğrultusunda yapılmıştır.

Toplam koliform analizi ISO 4832’de belirtilen yöntem doğrultusunda yapılmıştır. Öncelikle 10 gram numune 90 ml peptonlu su ile filtreli stomacher poşetinde çalkalanmıştır. Daha sonra çalkalanan numune poşetin filtreli kısmından alınarak seyreltmeler yapılmıştır. Seyreltilmiş numuneden 1 ml alınarak 90 mm çapında petri kabına aktarılmış üzerine 15 ml VRBL (Crystal violet neutral red bile lactose) agar eklenerek yayılmıştır. Agar soğuyup katılaştığında üzerine 4 ml daha agar eklenerek yayılmıştır. Son eklenen agar da katılaştıkça petriler 35°C’ye ayarlanmış inkübatörde (Termal, Türkiye) 24 saat boyunca bekletilmiştir. 24 saatin sonunda oluşan kırmızı renkteki koloniler sayılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Deneysel Çalışmalar

4.1.1 Ön kompostlaştırılmış atıkların karakterizasyonu

Çalışma kapsamında kullanılan ham atıklar farklı oranlarda karıştırılarak 5 farklı atık karışımı oluşturulmuştur. Oluşturulan atık karışımları solucanlar tarafından daha iyi tüketilebilmeleri amacıyla 8 haftalık ön kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. 8 haftalık ön kompostlaştırma işleminden sonra mama olarak solucanlara verilen karışımların karakterizasyonu Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının karakterizasyonu.

Parametre	Karışımlar				
	K1	K2	K3	K4	K5
Nem (%)	72,3±1,9	70,4±0,4	69,9±0,4	68,6±3,3	68,6±2,1
TKM (%)	27,7±1,9	29,6±0,4	30,1±0,4	31,4±3,3	31,4±2,1
TUKM (%)	18,1±1,0	19,9±1,3	17±0,2	18,5±1,5	18,5±0,9
TUKM/TKM (%)	65,3±1,0	67,4±3,5	56,3±0,1	59,1±1,4	58,9±1,1
pH	7,84±0,01	8,11±0,10	7,90±0,11	7,89±0,09	7,85±0,06
Eİ (mS/cm)	3,95±0,10	4,67±0,18	2,99±0,29	3,76±0,21	4,32±0,14
TKN (%)	2,31±0,25	2,44±0,03	1,48±0,01	1,81±0,15	1,98±0,05
TOK (%)	34,2±4,46	35,01±1,50	26,72±0,46	29,13±0,22	32,96±0,18
C/N	14,74±0,37	14,33±0,04	18,03±0,18	16,20±1,50	16,66±0,48
TP (mg/kg)	1.386±156	1.305±40	529±219	1.002±79	888±281

K: Karışım (Ön kompostlaştırılmış atık karışımı)

Kullanılan yemek, çim ve budama atıklarının nem oranları sırasıyla %88,2, %75,3 ve %37,5 iken ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının nem oranları birbirine oldukça yakın ve %68,6 ile %73,3 aralığında bulunmuştur. Buna bağlı olarak ham atıkların TKM oranları sırasıyla %11,8, %24,7 ve %62,5 iken ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının TKM oranları %27,71 ile %31,44 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının nem oranları %70 civarında değişirken TKM oranları %30 civarında değişmiştir. Farklı atık karışımlarında nem ve TKM oranlarının benzer olmasının sebebinin ön kompostlaştırma işlemi sırasında optimum nem içeriğini sağlamak amacıyla tüm yığınların eşit ve kontrollü bir şekilde suyla nemlendirilmesi olduğu söylenebilir. TUKM/TKM oranları ise yemek, çim ve budama

atıklarında sırasıyla %82,6, %87,5 ve %93,6 iken ön kompostlaştırılmış atık karışımlarında %56,3 ile %67,4 aralığında değişmiştir. Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının TUKM/TKM oranları kendi aralarında kıyaslandığında en düşük TUKM/TKM değerlerinin %20 oranında budama atığı içeren Karışım 3, Karışım 5 ve Karışım 4'te olduğu görülmektedir. Genel olarak ön kompostlaştırma işlemi sonucunda TUKM/TKM oranının azaldığı görülmektedir. Sangamithirai vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuç raporlanmıştır. Söz konusu çalışma kapsamında bahçe atıkları ayrı ayrı çim, sebze, meyve vb. atıklarıyla karıştırılmış 3 ay boyunca kompostlaştırılmıştır. Kompostlaştırmanın 2. haftasında tüm atık karışımlarının organik madde içeriğinin %10-12 azaldığı belirtilmiştir.

Kullanılan ham atıkların pH değerleri 5,11 ile 6,12 arasında değişmişken ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının pH değerleri 7,84 ile 8,11 arasında ölçülmüştür. Elde edilen 5 farklı karışımın pH değerleri birbirine oldukça yakındır. Ön kompostlaştırma işlemi sonunda pH değerleri de artış görülmüştür. 8 haftalık ön kompostlaştırma sonucunda pH'ta meydana gelen değişim, daha önce benzer atıklar kullanılarak yapılan çalışmalarla tutarlılık göstermektedir (Lalremruati & Devi, 2021; Pandey vd., 2016). Eİ değerleri ise ham atıklar 3,38 mS/cm ile 10,36 mS/cm arasında bulunurken ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının Eİ değerleri 2,99 ile 4,67 mS/cm arasında değişmiştir.

Yapılan çalışmada kullanılan yemek atığının %3,02, çim atığının %3,25 ve budama atığının %1,57 TKN değerine sahip olduğu görülmüştür. Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının TKN değerleri ise %1,48-2,44 arasında . Ön kompostlaştırma işlemi neticesinde atık karışımlarının TKN değerinin azalacağı söylenebilir. Rich vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada kaynağında ayrı toplanmış sebze atıkları ve inek gübresine su sümbülü, budama atıkları ve talaş ayrı ayrı eklenerek 3 farklı karışım oluşturulmuştur. 3 farklı karışım sebze atığı 6 birim, inek gübresi 3 birim ve diğer atıklar 1'er birim olacak şekilde hazırlanıp 30 gün boyunca kompostlaştırılmıştır. Talaş eklenen karışım hariç diğer iki karışımın TKN değerlerinin deney süresi boyunca azaldığı raporlanmıştır. Çalışmada atık yığının büyük dane boyutuna sahip olmasının azot kaybını artırabileceği belirtilmiştir. Ayrıca TKN değerindeki düşüşün gaz haline dönüşen amonyağın uzaklaşmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Awasthi vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise kentsel katı atıkların organik kısmı (%75) ile talaş atığı (%25), tarımsal atık (%25) ve bahçe atıkları (%25) ayrı ayrı karıştırılarak 35

günlük kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Kompostlaştırma işleminin ilk 10-15 gününde karışımların azot oranlarının azaldığı belirtilmiştir.

Çalışmada kullanılan ham atıkların TOK değerleri %42,66-50,52 aralığındayken ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının TOK değerleri %26,72-35,01 arasında değişmiştir. Buna göre 8 haftalık ön kompostlaştırma işlemi sonucunda TOK değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. TOK değerlerindeki değişim literatürdeki birçok çalışmayla tutarlılık göstermektedir. Sangamithirai vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada bahçe atıkları sebze, meyve, kahve, çay ve kâğıt atıklarıyla ayrı ayrı karıştırılarak farklı atık karışımları oluşturulmuştur. 3'te 2'sini bahçe atığı oluşturan karışımlar 3 ay boyunca kompostlaştırılmıştır. Çalışma sonucunda tüm karışımların TOK değerlerinin azaldığı bulunmuştur. Goyal vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuç elde edilmiştir. Çalışmada organik atıklardan 5 farklı karışım (şeker kamışı çöpü + sığır gübresi (4:1), şeker kamışı çöpü + sığır gübresi (1:1), şeker kamışı çamuru, kümes hayvanı gübresi, su sümbülü atığı) oluşturularak 90 gün boyunca kompostlaştırılmıştır. Çalışma sonucunda bütün karışımların TOK değerinin azaldığı, en fazla azalmanın su sümbülü atığında ve en az azalmanın şeker kamışı çöpü + sığır gübresi (4:1) karışımında olduğu raporlanmıştır. Bunun şeker kamışı atığında, zor parçalanabilen bir karbon kaynağı olan lignin içeriğinin fazla olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Gerçekleştirilen tez çalışmasında ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının C/N oranı ise 14,33-18,03 arasında değişmektedir. C/N oranı TKN ve TOK değerlerindeki değişimin sonucu olarak azalmıştır (Pandey vd., 2016).

Çalışmada kullanılan yemek, çim ve budama atıklarının TP içerikleri sırasıyla 1.009 mg/kg, 988 mg/kg ve 775 mg/kg olmuştur. Oluşturulan atık karışımlarının ön kompostlaştırılması sonucu elde edilen mamaların TP içeriklerine bakıldığında ise en yüksek değer 1.386 mg/kg ile Karışım 1'de ve daha sonra 1.305 mg/kg ile Karışım 2'dedir. Karışım 4'ün TP içeriği 1.002 mg/kg iken Karışım 5'in 888 mg/kg ve Karışım 3'ün 529 mg/kg bulunmuştur. %80 çim ve %20 budama atığından oluşan Karışım 3'ün TP içeriğinin başlangıçtaki çim ve budama atıklarının TP değerlerinin oldukça altında olduğu görülmektedir.

Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının suda çözünebilir makro ve mikro element içerikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Tüm karışımların florür konsantrasyonu 0,8 mg/kg’dan küçük bulunmuştur. Klorür konsantrasyonu ise 1.099-1.970 mg/kg aralığında değişmektedir. Tüm karışımların bromür konsantrasyonu ham atıklarda olduğu gibi 4 mg/kg’ın altındadır.

Çizelge 4.2 : Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının suda çözünebilir makro ve mikro element içeriği (mg/kg).

Parametre	Karışımlar				
	K1	K2	K3	K4	K5
F ⁻	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Cl ⁻	1.953±20	1.863±22	1.099±1	1.902±14	1.970±6
Br ⁻	<4	<4	<4	<4	<4
NO ₃ ⁻	113±1,4	734±0,3	142±1,2	285±0,9	672±3,4
PO ₄ ⁻³	74±0,6	104±1,0	129±0,4	81±0,8	167±1,8
SO ₄ ⁻²	355±0,5	517±2,6	168±1,4	267±0,4	389±1,8
NH ₄ ⁺	26±0,1	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5

Tüm ham atık türlerinde nitrat konsantrasyonu 4 mg/kg’ın altında olmasına karşın ön kompostlaştırma işlemi sonrasında atık karışımlarının nitrat konsantrasyonlarının arttığı ve 113-734 mg/kg arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Fosfat ve sülfat konsantrasyonları ise ön kompostlaştırma işlemi sonrasında azalmıştır. Yemek atığının amonyum konsantrasyonu 116 mg/kg ve çim atığının 70 mg/kg iken budama atığının amonyum konsantrasyonu 2,5 mg/kg’ın altında olmuştur. Ön kompostlaştırma işlemi sonucunda ise Karışım 1 hariç tüm karışımların amonyum konsantrasyonu 2,5 mg/kg’ın altında kalmıştır. Tamamen yemek atığından oluşan Karışım 1’in amonyum konsantrasyonu ise 26 mg/kg ölçülmüştür. Sonuç olarak ön kompostlaştırma işlemi sonucunda amonyum konsantrasyonlarının düştüğü, buna mukabil nitrat konsantrasyonlarının yükseldiği tespit edilmiştir.

Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının toplam makro ve mikro element içerikleri Çizelge 4.3’te verilmiştir. Ön kompostlaştırma işlemi sonucunda atık karışımlarının K, Na, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, Ni ve Cr konsantrasyonlarının genel olarak artış gösterdiği görülmektedir. Söz konusu elementlerdeki konsantrasyon artışına gerekçe olarak kompostlaştırma işlemindeki kütle kaybının gösterilebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.3 : Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının toplam makro ve mikro element içeriği (mg/kg).

Parametre	Karışımlar				
	K1	K2	K3	K4	K5
K	16.513±80	20.067±753	11.462±102	14.130±1267	16.260±833
Na	3.689±21	3.964±144	2.682±28	3.105±366	3.039±168
Ca	29.372±1.908	37.798±3.171	26.020±1.897	26.813±207	28.367±76
Mg	4893±27	5724±35	4809±7	4836±114	4811±141
Zn	122±0,4	131±12	110±2	130±0,4	113±0,6
Cu	31,7±0,5	28±0,8	27,6±1,3	30,4±1,4	29,7±7,3
Fe	4.181±519	4.269±318	7.016±117	6.721±20	6.335±27
Mn	250±26	244±8	294±1	289±35	298±1
Cd	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Ni	5,4±1,3	9,2±2,8	8,9±0,1	9,2±0,1	9,2±0,1
Pb	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Cr	9,03±0,01	6,85±0,04	6,39±0,11	11,96±0,03	10,64±0,01
Sn	0,80±0,3	<0,025	<0,025	0,64±0,2	<0,025

Tüm ham atıkların Cd ve Pb konsantrasyonu 0,025 mg/kg'dan düşük olmakla birlikte elde edilen ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının da Cd ve Pb konsantrasyonları 0,025 mg/kg'ın altında kalmıştır. Tüm ham atıkların Sn konsantrasyonu 0,025 mg/kg'ın altındayken Karışım 1, 0,8 mg/kg ve Karışım 4, 0,6 mg/kg Sn konsantrasyonuna sahip olmuştur. Karışım 2, Karışım 3 ve Karışım 5'in Sn konsantrasyonları ise 0,025 mg/kg'ın altında kalmıştır.

4.1.2 Elde edilen vermikompostun kalitesi

Çalışma kapsamında 5 farklı atık karışımından elde edilen 5 farklı vermikompostun kalitesini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar çalışması sonuçları daha önce yapılan benzer çalışmaların sonuçlarıyla ve yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerle kıyaslanmıştır. Elde edilen vermikompostun kalitesini belirlemek için yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

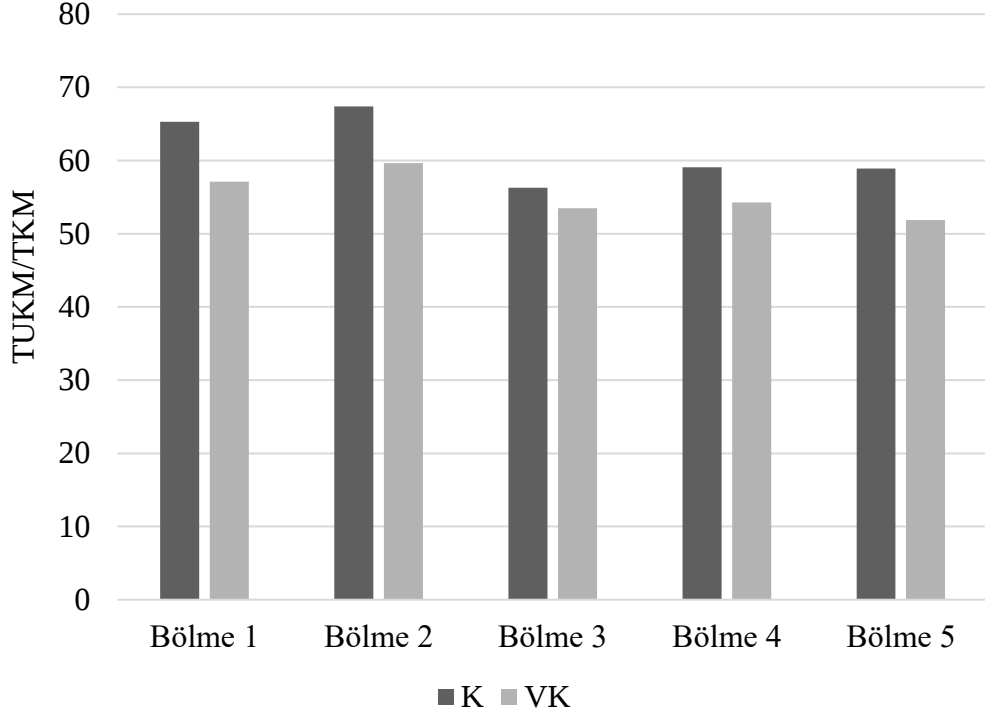
Elde edilen vermikompostların nem oranları %70,7-74,3 ve TKM oranları %25,3-29,7 arasında bulunduğu için söz konusu değerlerin birbirlerine oldukça yakın olduğu söylenebilir. Elde edilen bu sonucun, solucanlar için uygun nem değerini sağlamak için reaktörün her bölmesinin eşit şekilde nemlendirilmesinden kaynaklandığı belirtilebilir. Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmeliğe göre kompostun nem içeriği maksimum %30 olmalıdır. 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliğine göre kompost en az %20 kuru madde içermelidir.

Çizelge 4.4 : Elde edilen vermikompostların içeriği.

Parametre	Vermikompostlar				
	VK1	VK2	VK3	VK4	VK5
Nem (%)	73,7±0,3	74,3±0,6	72,6±0,6	72,5±0,2	70,7±0,8
TKM (%)	26,3±0,3	25,7±0,6	27,4±0,6	27,5±0,2	29,3±0,8
TUKM (%)	15,0±0,2	15,3±0,3	14,6±0,2	14,9±0,2	15,2±0,2
TUKM/TKM (%)	57,1±0,3	59,6±0,5	53,5±1,2	54,3±0,8	51,9±1,7
pH	7,00±0,10	7,38±0,14	7,19±0,12	7,21±0,13	7,23±0,13
Eİ (mS/cm)	5,07±0,19	5,91±0,33	4,35±0,27	4,80±0,25	4,98±0,21
TKN (%)	2,34±0,11	2,48±0,13	2,04±0,07	2,10±0,03	2,22±0,20
TOK (%)	29,34±1,86	32,64±0,55	25,68±0,40	28,69±1,06	30,03±1,55
C/N	12,60±1,41	13,16±0,48	12,63±0,49	13,66±0,34	13,63±1,42
TP (mg/kg)	1.430±261	1.494±286	934±300	1.064±348	952±184

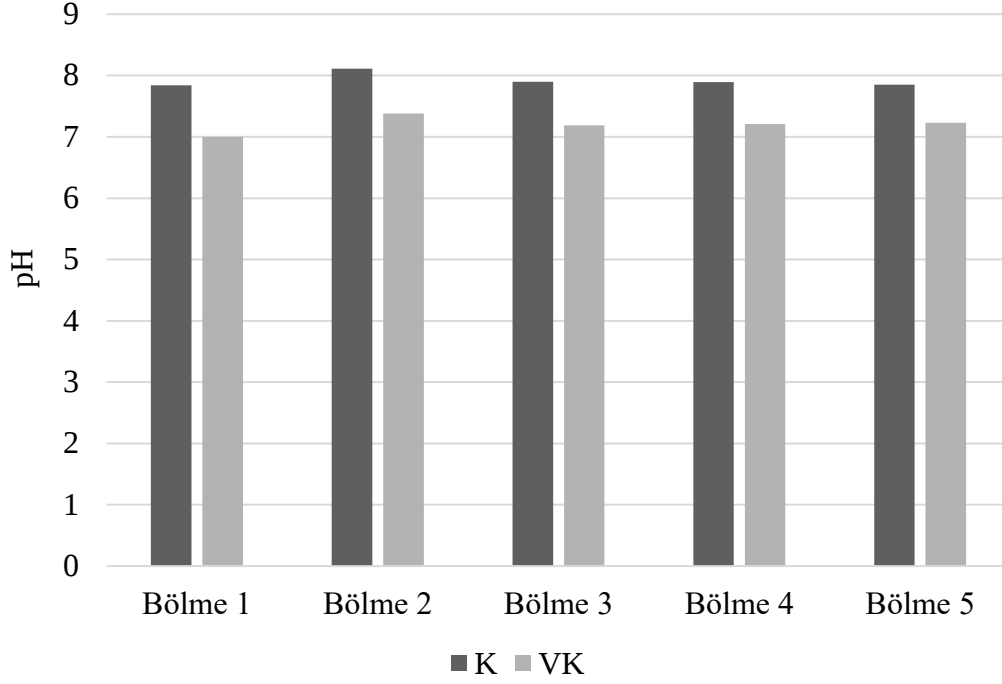
VK: Vermikompost

TUKM biyolojik olarak parçalanabilen organik maddeyi temsil etmektedir (Kumar vd., 2010). Atığın yapısında meydana gelen bozunma organik maddelerin hümit bileşiklere dönüşmesini dolayısıyla OM değerinin azalmasına neden olmaktadır (Pottipati vd., 2022). Solucanlara mama olarak verilen ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının TUKM/TKM oranları %56,3-67,4 arasında değişirken elde edilen vermikompostların TUKM/TKM oranları %51,9-59,6 arasında bulunmuştur. Solucanla kompostlaştırma işlemi sırasında TUKM/TKM oranlarının reaktörün tüm bölmelerinde azaldığı görülmektedir (Şekil 4.1). En fazla azalma sırasıyla %12,6 ile Bölme 1’de, %11,9 ile Bölme 5’te, %11,6 ile Bölme 2’de ve %8,1 ile Bölme 4’te gerçekleşmiştir. Azalma en az %5 ile Bölme 3’te olmuştur. Farklı organik atık türleri kullanılarak yapılan daha önceki benzer solucanla kompostlaştırma çalışmalarında da OM içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Biruntha vd., 2020; Gupta & Garg, 2011). Yapılan çalışmalarda OM içeriğinin azalma yüzdesi genellikle %15-25 aralığında değişmektedir (Biruntha vd., 2020; Fornes vd., 2012; Gómez-Brandón vd., 2013). Literatürdeki OM düşüş oranlarının, bu çalışmada elde edilen düşüş oranlarından daha fazla olmasının sebebinin bu çalışmadaki ön kompostlaştırma süresinin (8 hafta) belirtilen çalışmalardaki ön kompostlaştırma süresinden (Ortalama 4 hafta) daha uzun tutulması olduğu söylenebilir. Solucanla kompostlaştırma öncesindeki ön kompostlaştırma sürecinin OM içeriğinin azalmasına katkı sağladığı unutulmamalıdır. Bununla birlikte, Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmeliğe göre kompostun içerdiği OM en az %35 olmalıdır. Buna göre çalışma sonucunda elde edilen vermikompostların OM içerikleri yönetmeliğe uygundur.



Şekil 4.1 : Atık karışımları ve vermikompostların TUKM/TKM oranları.

Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının pH değerleri 7,84-8,11 arasında değişirken elde edilen vermikompostların pH değerleri 7,00-7,38 arasında ölçülmüştür (Şekil 4.2). Solucanla kompostlaştırma işlemi sırasında pH değerlerinin reaktörün tüm bölmelerinde azaldığı görülmektedir. Solucanla kompostlaştırma işlemi sonrasında pH’ta meydana gelen değişim daha önce yapılan çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Jadia ve Fulekar (2008) tarafından yapılan çalışmada sebze atıkları 10 hafta boyunca solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Söz konusu çalışmada pH değişimi haftalık olarak izlenmiş ve pH 1. Hafta 7,2 iken 10. hafta 6,8 olarak ölçülmüştür. Sharma ve Garg (2017) tarafından yapılan çalışmada ise sebze ve yemek atıkları ile bufalo gübresi farklı oranlarda karıştırılarak solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Başlangıçta atık karışımlarının pH değerleri 7,38-7,57 arasında değişirken solucanla kompostlaştırma sonucunda tüm atık karışımlarının pH değerlerinin 6,55-7,29 arasında değiştiği bulunmuştur.

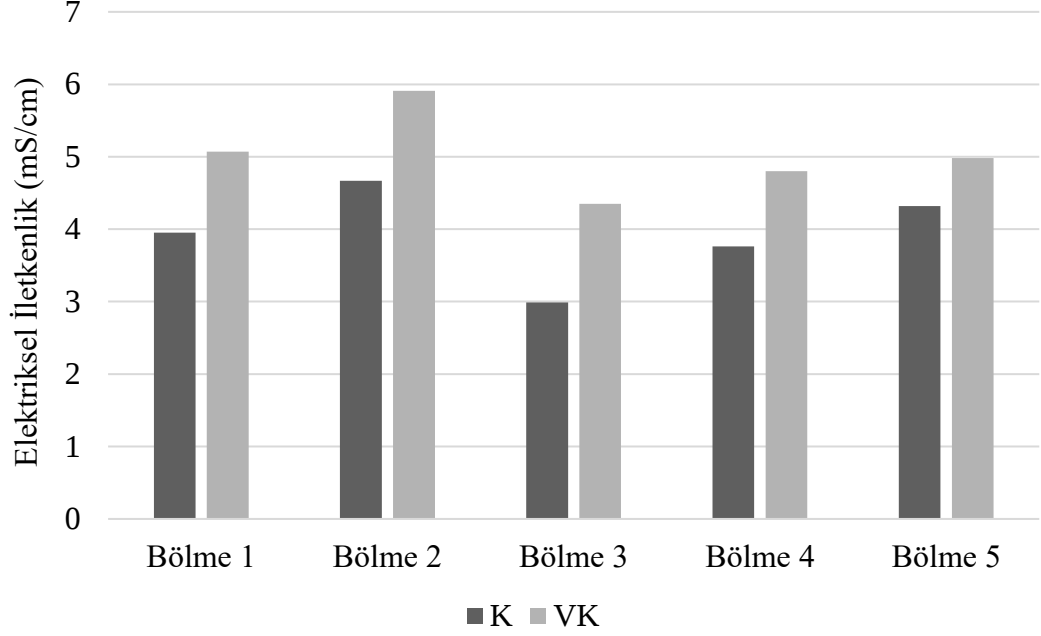


Şekil 4.2 : Atık karışımları ve vermikompostların pH değerleri.

Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının Eİ değerleri 2,99-4,67 mS/cm aralığında değişirken üretilen vermikompostların Eİ değerleri 4,34-5,07 mS/cm aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Solucanla kompostlaştırma işlemi sırasında Eİ değerlerinin reaktörün tüm bölmelerinde arttığı görülmektedir (Şekil 4.3). En fazla artış Bölme 3'te gerçekleşmiştir fakat bu bölmeden elde edilen vermikompostun Eİ değeri diğer bölmelerden düşüktür. Bölme 1, Bölme 2 ve Bölme 5'te benzer oranda artış meydana gelmiştir. En az artış Bölme 5'te meydana gelmiştir. Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelikte kompostun Eİ değeri için sınır değer 10 mS/cm olup üretilen tüm vermikompostlar bu sınır değeri sağlamaktadır.

Solucanla kompostlaştırma işlemi sonrasında Eİ değerlerinde meydana gelen değişim daha önce yapılan çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Katakula vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada sebze atıkları ile keçi gübresi farklı oranlarda kullanılarak 5 farklı karışım oluşturulmuştur. 12 haftalık solucanla kompostlaştırma işlemi sonucunda elde edilen vermikompostların Eİ değerlerinin başlangıç karışımlarından yüksek olduğu belirtilmiştir. Jadia ve Fulekar (2008) tarafından yapılan çalışmada sebze atıkları 10 hafta boyunca solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur.

Çalışmada Eİ değişimi haftalık olarak izlenmiş ve Eİ değeri 1. Hafta 7,75 iken 10. hafta 10,55 mS/cm'ye yükseldiği rapor edilmiştir.

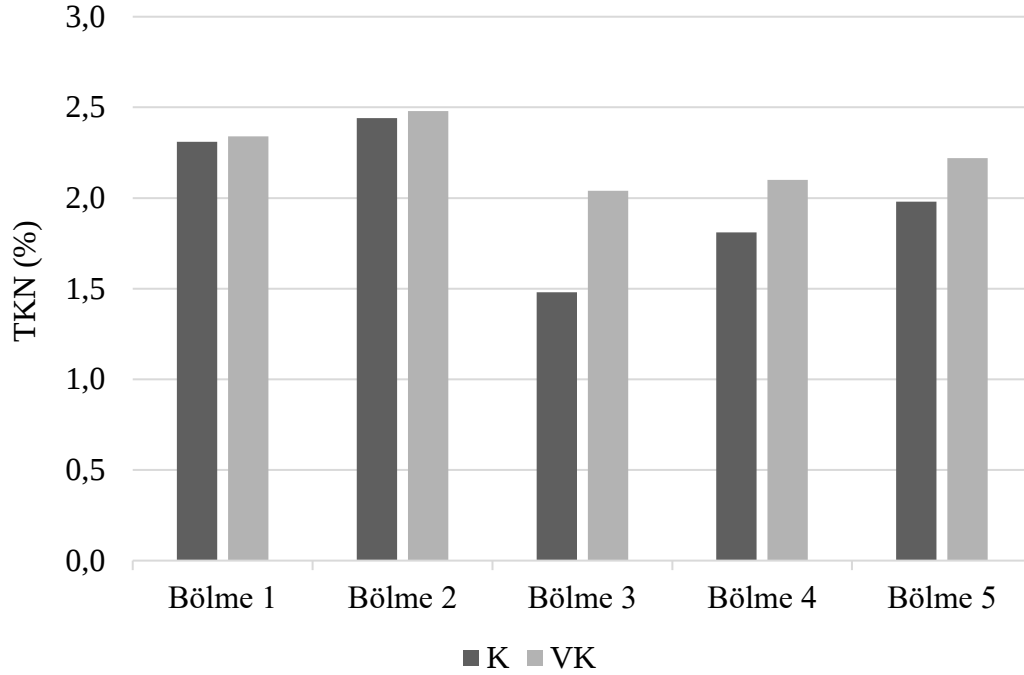


Şekil 4.3 : Atık karışımları ve vermikompostların Eİ değerleri.

Üretilen vermikompostların TKN içeriklerinin %2,04-2,48 aralığında değiştiği bulunmuştur. Solucanla kompostlaştırma işlemi sırasında TKN içeriklerinin reaktörün tüm bölmelerinde arttığı görülmektedir (Şekil 4.4). En fazla artış Bölme 3'te gerçekleşmiştir. Bölme 3'e beslenen atık karışımının TKN içeriği %1,48 iken hasat edilen vermikompostun TKN içeriği %2,04'tür. Bölme 4 ve Bölme 5'te ise TKN içerikleri benzer oranda artış göstermiştir. TKN içeriği en az Bölme 1 ve Bölme 2'de artış göstermiştir fakat başlangıç atık karışımı ve üretilen vermikompost TKN içeriği en yüksek olan bölmeler Bölme 1 ve Bölme 2 olmuştur.

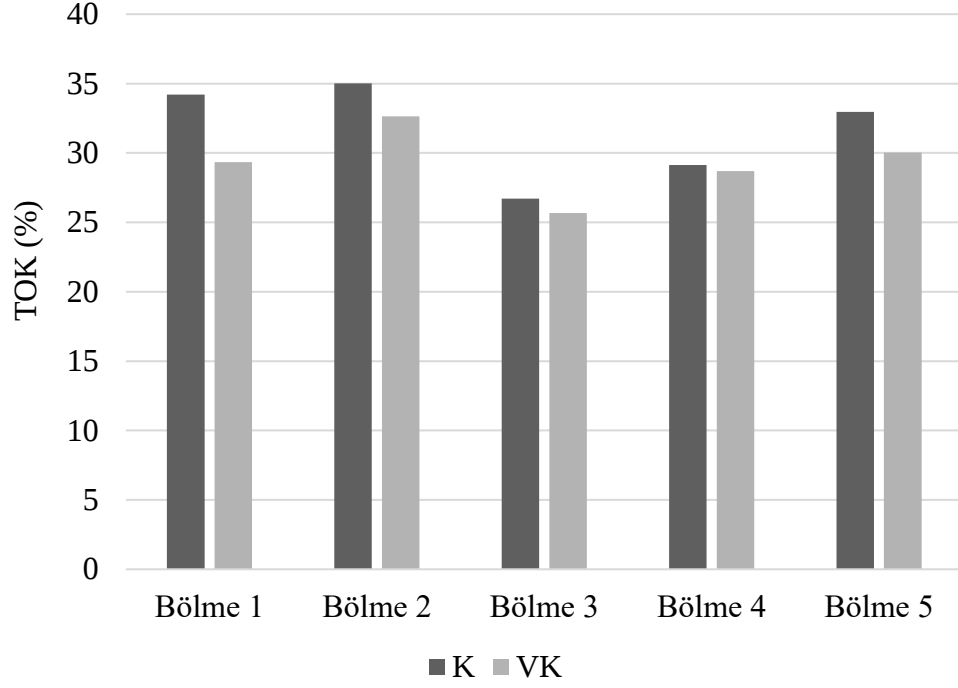
Amouei vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada evsel katı atıklar 8 haftalık solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ham atığın azot içeriği %1,7 iken elde edilen vermikompostun azot içeriğinin %2,2 olduğu raporlanmıştır. Azot içeriğindeki artış, substratın solucanlar tarafından ayrıştırılmasıyla içeriğindeki organik maddenin kuru ağırlığının azalmasına bağlanmıştır. Solucanların yararlı hormonlar ve enzimler içeren vücut sıvıları sindirim ve boşaltım mekanizmalarıyla vermikomposta geçmektedir. Ölü solucanlar da vermikomposta karışmaktadır. Vücut sıvıları ve ölü solucanlar da vermikompostun azot içeriğinin ham atıktan yüksek olmasına sebep

olabilmektedir (Srivastava vd., 2020). Garg vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada mutfak atıkları ve tarımsal atıklar 100 gün boyunca ayrı ayrı solucanla kompostlaştırılmıştır. Mutfak atıklarının başlangıç TKN içeriği %0,25 iken 100 gün sonunda elde edilen vermikompostun TKN içeriği %1,10 ve tarımsal atıkların başlangıç TKN içeriği %0,18 iken 100 gün sonunda elde edilen vermikompostun TKN içeriği %0,88 olarak raporlanmıştır.



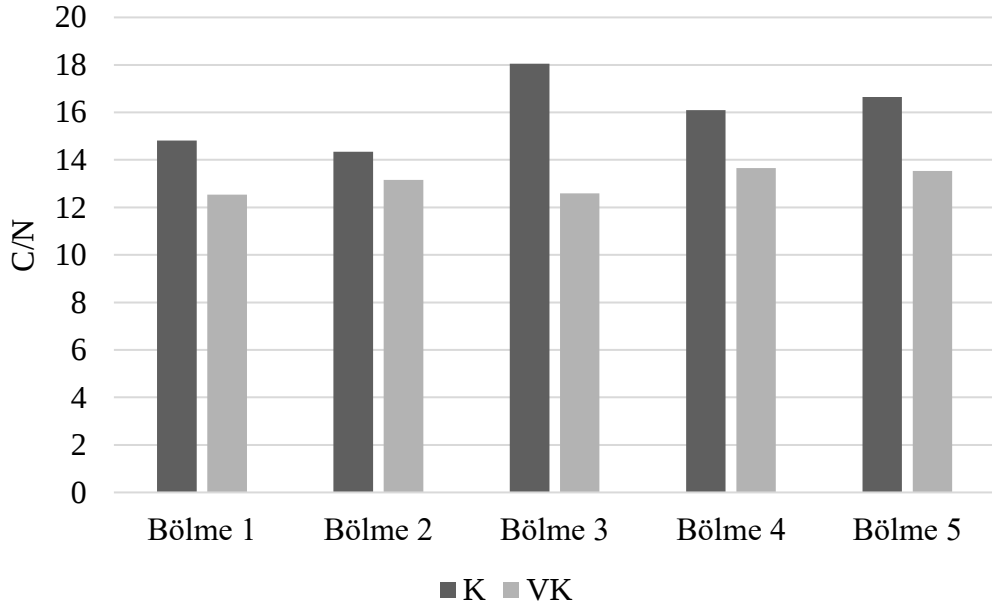
Şekil 4.4 : Atık karışımları ve vermikompostların TKN içerikleri.

Elde edilen vermikompostların TOK içeriklerinin %25,68-32,64 arasında değiştiği bulunmuştur. Solucanla kompostlaştırma işlemi sırasında TOK içeriklerinin reaktörün tüm bölmelerinde azaldığı görülmektedir (Şekil 4.5). Daha önce yapılan benzer çalışmalarda da TOK içeriğinin azaldığı raporlanmıştır (Esmaili vd., 2020; Sharma & Garg, 2017). Srivastava vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada belediye atığının organik kısmı inek gübresi karıştırılarak önce 3 hafta ön kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuş daha sonra solucanla kompostlaştırılmıştır. 84 günlük solucanla kompostlaştırma işlemi sonrasında TOK içeriğinin başlangıca göre %21,7 azaldığı tespit edilmiştir. TOK içeriğindeki azalma organik maddenin bozunması ve mineralizasyonuna bağlıdır.



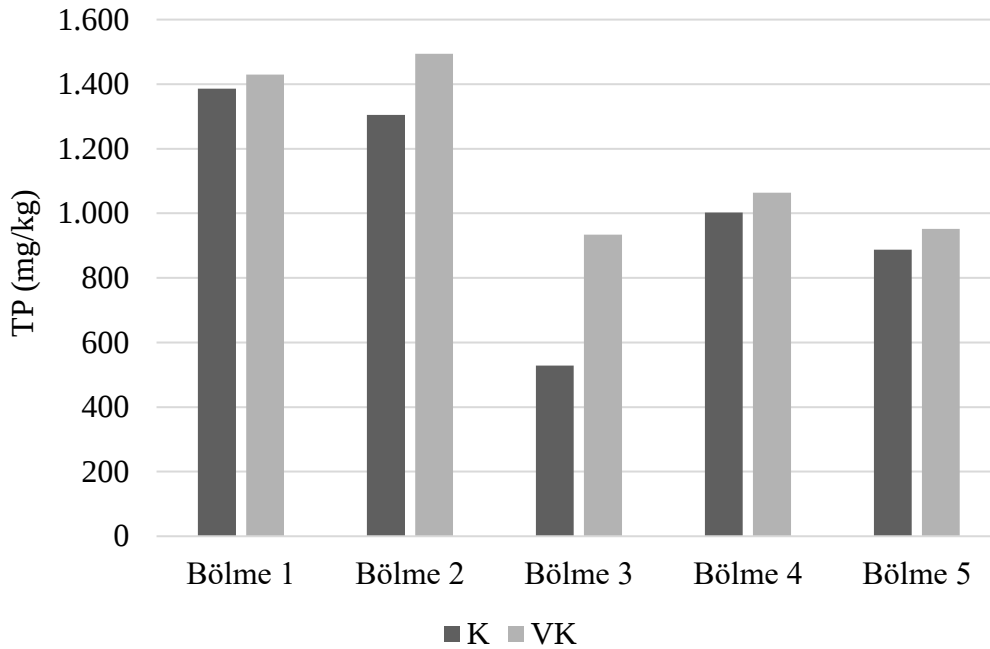
Şekil 4.5 : Atık karışımları ve vermikompostların TOK içerikleri.

Elde edilen vermikompostların C/N oranlarının başlangıç atık karışımlarından düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Elde edilen sonuç literatürdeki benzer çalışmalarla uyum göstermektedir (Majlessi vd., 2012; Yadav & Garg, 2011).



Şekil 4.6 : Atık karışımları ve vermikompostların C/N oranı.

Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının TP içerikleri 529-1.386 mg/kg aralığında değişmekteyken üretilen vermikompostların TP içerikleri 934-1.494 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bütün bölmelerde TP içeriğinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.7). En fazla artış, başlangıçta en düşük TP içeriğine sahip olmasına rağmen Bölme 3'te gerçekleşmiştir. En az artış ise başlangıçta en yüksek TP içeriğine sahip olmasına rağmen Bölme 1'de gerçekleşmiştir. Chauhan vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada da solucanla kompostlaştırma sonrasında TP içeriğinin arttığı belirtilmiştir. Çalışmada sebze atıkları ve inek gübresi karıştırılıp 3 farklı solucan türüne ayrı ayrı verilerek 3 deneme yapılmıştır. Solucanla kompostlaştırma işlemi sonrasında tüm denemelerde TP içeriğinin arttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.7 : Atık karışımları ve vermikompostların TP içerikleri.

Elde edilen vermikompostların suda çözünebilir makro ve mikro element içeriği Çizelge 4.5'te verilmiştir. Vermikompostların florür konsantrasyonları reaktöre beslenen ön kompostlaştırılmış atık karışımları gibi 0,8 mg/kg'dan düşük olmuştur. Klorür konsantrasyonları incelendiğinde tüm bölmelerde azaldığı görülmektedir. Klor, bitkilerin ihtiyaç duyduğu en önemli besin elementlerinden biridir. Klor içeren gübrelerin bitki hastalıklarını gidermede önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Buna karşın topraktaki miktarı olması gerekenin üzerindeyse bitkilerde klor toksisitesi görülebilmektedir (Bolat & Kara, 2017). Bromür konsantrasyonları ise tüm

vermikompostlarda ön kompostlaştırılmış atıklara benzer olarak 4 mg/kg'ın altında kalmıştır.

Nitrat, amonyum, sülfat ve klorür toprağın tuzluluğunu etkileyen en önemli bileşenlerdendir. Düşük değerler bu tuzların eksikliğini gösterirken yüksek değerler topraktaki bitkilerin yaşamsal faaliyetini olumsuz etkileyebilmektedir (Moldes vd., 2007). Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının nitrat konsantrasyonları 142-734 mg/kg aralığında değişmekteyken üretilen vermikompostların nitrat konsantrasyonları 3.557-4.602 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Tüm bölmelerde nitrat konsantrasyonlarının önemli ölçüde arttığı bulunmuştur. Ham atıkların nitrat konsantrasyonlarının 4 mg/kg altında olduğu göz önünde bulundurulursa ön kompostlaştırma ve solucanla kompostlaştırma işlemlerinin nitrat içeriğini arttırdığı görülmektedir. Amonyum konsantrasyonunun tüm karışımlarda 2,5 mg/kg'ın altında kaldığı tespit edilmiştir. Ön kompostlaştırılmış atık karışımlarının da (Bölme 1 hariç) amonyum konsantrasyonu 2,5 mg/kg altında olduğu için solucanla kompostlaştırmanın amonyum içeriğine önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Sülfat konsantrasyonları incelendiğinde Bölme 1, Bölme 2 ve Bölme 3'te üretilen vermikompostların beslenen atık karışımlarından daha yüksek sülfat değerine sahip olduğu görülürken Bölme 4 ve Bölme 5'te sülfat değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ham atıkların sülfat değerleri göz önünde bulundurulduğunda ön kompostlaştırma ve sonrasındaki solucanla kompostlaştırma işleminin sülfat konsantrasyonlarında düşüşe sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5 : Vermikompostların suda çözünebilir makro ve mikro element içeriği (mg/kg).

Parametre	Vermikompostlar				
	VK1	VK2	VK3	VK4	VK5
F ⁻	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Cl ⁻	1.490±31	1.761±114	1.341±49	1.632±52	1.855±87
Br ⁻	<4	<4	<4	<4	<4
NO ₃ ⁻	4.456±98	4.602±166	3.699±135	3.557±237	3654±382
PO ₄ ⁻³	247±15	143±18	147±17	175±7	182±7
SO ₄ ⁻²	370±63	571±33	225±13	348±53	436±99
NH ₄ ⁺	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5

Elde edilen vermikompostların toplam makro ve mikro element konsantrasyonları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bölmelere beslenen ön kompostlaştırılmış atık karışımları ile elde edilen vermikompostlar kıyaslandığında K, Na, Ca ve Mg konsantrasyonlarında genel olarak artış olduğu görülmektedir. En yüksek K, Na, Ca

ve Mg konsantrasyonları %50 yemek ve %50 çim atığı içeren atık karışımından elde edilen VK2'dir. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Yadav ve Garg (2011) tarafından yapılan çalışmada bitki atıkları ve inek gübresi farklı oranlarda karıştırılarak 4 farklı atık karışımı oluşturulup solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda elde edilen vermikompostların K ve Ca konsantrasyonlarının başlangıç atık karışımlarına göre arttığı rapor edilmiştir. Sharma ve Garg (2018a) tarafından yapılan bir çalışmada ise inek gübresi, pirinç samanı ve kâğıt atıkları farklı oranlarda karıştırılarak 9 farklı karışım oluşturulup 3 haftalık ön kompostlaştırma işleminden sonra 105 günlük solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen vermikompostların K konsantrasyonlarının başlangıca göre 1,1-2,6 kat, Na konsantrasyonlarının başlangıca göre %28-191 aralığında arttığı raporlanmıştır. Hanc ve Pliva (2013) tarafından yapılan çalışmada da solucanla kompostlaştırma sonucunda K, Ca ve Mg konsantrasyonlarının arttığı belirtilmiştir.

Çizelge 4.6 : Vermikompostların toplam makro ve mikro element içeriği (mg/kg).

Parametre	Vermikompostlar				
	VK1	VK2	VK3	VK4	VK5
K	18.201±1.238	22.261±840	14.922±967	16.599±333	17.863±229
Na	4.082±29	4.693±136	3.565±180	3.676±89	3.549±6
Ca	31.139±1.024	40.884±1.338	30.979±1.939	31.443±2.265	30.359±129
Mg	5.501±151	6.918±229	5.255±264	5.310±111	5.086±87
Zn	132±5	138±1	125±9	131±7	127±5
Cu	32,7±2,7	31,3±0,4	28,0±1,2	32,3±1,7	30,0±1,4
Fe	6460±361	5742±283	7306±552	7012±291	6597±484
Mn	271±9	267±15	304±35	296±17	273±14
Cd	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Ni	9,3±0,5	9,9±1,0	10,2±1,2	10,5±0,6	9,2±0,4
Pb	0,2±0,1	<0,025	1,6±0,5	1,2±0,4	0,7±0,2
Cr	11,9±0,7	9,5±0,4	12,6±1,1	12,4±2,8	11,8±1,2
Sn	1,9±0,2	1,3±0,1	0,9±0,3	1,8±0,1	0,9±0,3
As	3,4±0,50	2,8±0,42	4±0,59	4,6±0,68	3,4±0,50
Hg	0,1±0,016	0,1±0,016	0,1±0,016	0,1±0,016	0,1±0,016
Cr ⁺⁶	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

Bölmelere beslenen ön kompostlaştırılmış atık karışımları ile elde edilen vermikompostlar kıyaslandığında Zn, Mn, Ni, Pb ve Sn konsantrasyonlarında genel olarak artış olduğu görülmektedir. Cd konsantrasyonu ise ham atıklarda, ön kompostlaştırılmış atık karışımlarında ve elde edilen vermikompostlarda 0,025 mg/kg'ın altında kalmıştır. Garg ve Gupta (2011) tarafından yapılan çalışmada sebze atıkları ve inek gübresi farklı oranlarda karıştırılarak atık karışımları oluşturulmuştur.

Solucanla kompostlaştırma işlemi sonucunda Zn, Mn ve Pb konsantrasyonlarının başlangıca göre arttığı ifade edilmiştir. Sharma ve Garg (2017) tarafından yapılan çalışmada yemek ve sebze atıkları bufalo gübresiyle farklı oranlarda karıştırılarak atık karışımları oluşturulmuş ve solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen vermikompostların Zn ve Ni konsantrasyonlarının arttığı bulunmuştur.

Tüm vermikompostların krom (VI) konsantrasyonu 0,02 mg/kg'dan küçük ve cıva konsantrasyonu 0,1 mg/kg'dır. Arsenik konsantrasyonları ise 2,8-4,6 mg/kg aralığında değişmektedir. Tüm bölmelerden elde edilen vermikompostlardaki nihai ağır metal konsantrasyonları, Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelikte ve 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliğinde belirtilen şartlara uymaktadır.

Elde edilen vermikompostlarda yapılan Toplam koliform, *Escherichia coli* ve Salmonella analizlerinin sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Salmonella kompostun hijyen içeriğinin en önemli göstergelerinden biridir (Soobhany, 2018). Çalışma kapsamında elde edilen hiçbir vermikompostta Salmonella tespit edilmemiştir. Elde edilen vermikompostlarda *Escherichia coli* mevcut olduğu tespit edilmiş olup sayısı 23.000-66.000 kob/g aralığında bulunmuştur. En az *Escherichia coli* yemek atığı içermeyen VK3'te bulunmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen vermikompostların *Escherichia coli* içermesi, solucanla kompostlaştırma işleminin *Escherichia coli* seviyesini azaltmada önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.7 : Vermikompostların patojen içeriği (kob/g).

Vermikompost	Toplam koliform	<i>Escherichia coli</i>	Salmonella
VK1	180.000	50.500	T.E.
VK2	195.000	57.500	T.E.
VK3	280.000	23.000	T.E.
VK4	260.000	49.000	T.E.
VK5	185.000	66.000	T.E.

T.E.: Tespit Edilmedi

Elde edilen vermikompostların kalite parametrelerinin Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelikte ve 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği'nde belirtilen sınır değerler ile karşılaştırılması Çizelge 4.8'de verilmiştir. Tüm vermikompostların OM, nem, C/N oranı, Eİ, TKM, TOK ve ağır metal değerleri yönetmeliklerde belirtilen kriterleri sağlamaktadır. Ayrıca hiçbir vermikompostta Salmonella tespit edilmemiştir. Buna karşın vermikompostlarda toplam koliform ve *Escherichia coli* tespit edilmiştir.

Vermikompostlarda tespit edilen *Escherichia coli* değeri, 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği'nde belirtilen sınır değeri aşmaktadır. Vermikompostlarda *Escherichia coli* bulunmasının nedeninin ön kompostlaştırma aşamasında sıcaklığın yeterli seviyeye çıkmaması veya solucanla kompostlaştırma aşamasında yeterli havalandırmanın sağlanamaması olarak verilebilir. Solucanla kompostlaştırma işlemi sırasında yeterli havalandırmanın mevcut olması solucanların koliform mikroorganizmaları uzaklaştırmasına katkı sağlayabilmektedir (Cao vd., 2016). *Escherichia coli* bulunmasının diğer bir nedeni olarak deneysel çalışmanın başlangıcında solucanların ön kompostlaştırılmış at-inek gübresi ile beslenmesi belirtilebilir. *Escherichia coli*, yemek atığı ve hayvan atığında bulunabilmektedir (Soobhany, 2018).

Elde edilen vermikompostlar, bünyelerinde bulunan *Escherichia coli* ve toplam koliformun giderilmesi amacıyla 70°C'de 1 saat boyunca ısıtılabilir. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın Hayvansal Yan Ürün Kullanan Biyogaz ve Kompost Tesislerinin Çalışma Usul ile Esasları'na ilişkin talimatına göre kompost üretim aşamasında hayvansal yan ürün kullanan tesislerin kullanacakları ham materyali (atık içeriğini) 70°C'de 1 saat boyunca ısıtılmalıdır. 70°C'de 1 saatlik ısıtılma işlemi ile vermikompost bünyesinde bulunan toplam koliform %60-90 oranında azalması mümkündür (Ordu, 2021).

Çizelge 4.8 : Elde edilen vermikompostların mevzuat ile karşılaştırılması.

Parametre	Vermikompostlar					Yönetmelikler	
	VK1	VK2	VK3	VK4	VK5	TKGY	GÜY
OM (%)	57,1±0,3	59,6±0,5	53,5±1,2	54,3±0,8	51,9±1,7	>%35	
Nem (%)	73,7±0,3	74,3±0,6	72,6±0,6	72,5±0,2	70,7±0,8	<%30	
C/N	12,60±1,41	13,16±0,48	12,63±0,49	13,66±0,34	13,63±1,42	8-22	
Eİ (mS/cm)	5,07±0,19	5,91±0,33	4,35±0,27	4,80±0,25	4,98±0,21	<10 (dS/m)	
TKM (%)	26,3±0,3	25,7±0,6	27,4±0,6	27,5±0,2	29,3±0,8		>%20
TOK (%)	29,34±1,86	32,64±0,55	25,68±0,40	28,69±1,06	30,03±1,55		>%7,5
Cd (mg/kg)	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	3	2
Cu (mg/kg)	32,7±2,7	31,3±0,4	28±1,2	32,3±1,7	30±1,4	450	300
Ni (mg/kg)	9,3±0,5	9,9±1,0	10,2±1,2	10,5±0,6	9,2±0,4	120	50
Pb (mg/kg)	0,2±0,1	<0,025	1,6±0,5	1,2±0,4	0,7±0,2	150	120
Zn (mg/kg)	132±5	138±1	125±9	131±7	127±5	1.100	800
Cr (mg/kg)	11,9±0,7	9,5±0,4	12,6±1,1	12,4±2,8	11,8±1,2	350	
Sn (mg/kg)	1,9±0,2	1,3±0,1	0,9±0,3	1,8±0,1	0,9±0,3	10	
As (mg/kg)	3,4±0,50	2,8±0,42	4±0,59	4,6±0,68	3,4±0,50		40
Hg (mg/kg)	0,1±0,016	0,1±0,016	0,1±0,016	0,1±0,016	0,1±0,016	5	1
Cr ⁺⁶ (mg/kg)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		2
Toplam Koliform*	180.000	195.000	280.000	260.000	185.000		
<i>Escherichia coli</i> *	50.500	57.500	23.000	49.000	66.000		<1000 kob/g
<i>Salmonella</i> *	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	Yok (25 g veya ml de)	

T.E.: Tespit Edilmedi

(*): Birimi kob/g

TKGY: Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik

GÜY: 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği

4.1.3 Solucan gelişimi

Farklı atık karışımlarının solucan gelişimi üzerine etkisini incelemek amacıyla solucan sayımı yapılmıştır. 1. sayım solucanlar ön kompostlaştırılmış atık karışımlarıyla beslenmeye başlamadan hemen önce, 2. sayım ön kompostlaştırılmış atık karışımlarıyla beslemeye son verildikten hemen sonra yapılmıştır. Sayım sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Sayım sonuçlarına göre solucan sayısındaki en fazla artış Karışım 4 ile beslenen solucanlarda görülmüştür ve artış oranı %58,5 olmuştur. Karışım 5 ile beslenen solucanlar %51,9 oranında, Karışım 3 ile beslenen solucanlar %48,9 oranında ve Karışım 2 ile beslenen solucanlar %42,3 oranında artış göstermiştir. En düşük artış oranı ise %36,6 ile Karışım 1 ile beslenen solucanlarda görülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde en fazla artış oranının gerçekleştiği bölmelerin %20 budama atığı içeren bölmelerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9 : Bölmelerde solucan sayısının değişimi.

Karışım	1. Sayım	2. Sayım	Artış Miktarı (Adet)	Artış Miktarı (%)
Karışım 1	16.621±1.309	22.708±1.640	6.087	36,6
Karışım 2	17.344±469	24.688±3.159	7.344	42,3
Karışım 3	16.094±2.656	23.958±3.211	7.865	48,9
Karışım 4	16.250±1.719	25.755±1.415	9.505	58,5
Karışım 5	16.234±2.016	23.625±4.859	8.432	51,9

Solucanların büyümesi ve çoğalmasını etkileyen birçok faktör vardır. Kullanılan ham maddenin (atığın) türü, pH, elektriksel iletkenlik, tehlikeli maddelerin varlığı, sıcaklık ve C/N bu faktörlere örnek olarak verilebilir (Hanc & Pliva, 2013). Solucanlar uygun oranda hacim artırıcı madde kullanılan yataklarda daha iyi gelişim göstermektedir (Suthar, 2009). Alipour vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada farklı patates, havuç, sebze atıkları ve talaş kullanılarak 9 farklı atık karışımı oluşturulmuştur. *Eisenia Fetida* türü solucanlar bu atık karışımlarıyla beslenmiş ve solucanların çoğalması üzerine etkisi incelenmiştir. Yumurta oluşturma ve çoğalma miktarının en fazla olduğu atığın talaş atığı olduğu, sebze atıklarının ise solucanların çoğalması için yeterli bir substrat olmadığı kanaatine varılmıştır. Substrat türü solucan çoğalmasını doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmada en yüksek artış oranı %20 budama atığı içeren bölmelerde gerçekleşmiştir. Öğütülmüş budama atığının talaşla benzer özellik gösterdiği göz önünde bulundurulduğunda çalışma sonucunun literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.2 Maliyet Analizi

Yapılan tez çalışması çerçevesinde elde edilen deneysel sonuçlar ışığında İTÜ Ayazağa Kampüsünde oluşan organik atıkların kampüs içerisinde solucanla kompostlaştırılması ve DDT'ye gönderilmesi senaryoları için maliyet analizi yapılmıştır. İlk olarak kampüste oluşan yemek, çim ve budama atıklarının miktarı belirlenmiştir. Kampüste oluşan atıkların haftalık ve aylık miktarı Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Kampüste oluşan atık miktarları.

Atık Türü	Miktar (kg/hafta)	Miktar (kg/ay)
Yemek	313	1.252
Çim	1.134	4.536
Budama	3.403	13.612

Çalışma kapsamında solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulan 5 farklı atık karışımından da elde edilen vermikompostlar yönetmelikte belirtilen standartlara uygundur. Bu sebeple kampüs atıklarının solucanla kompostlaştırılması senaryosu için yemek ve çim atıklarının tamamı hesaba katılmıştır. Budama atığının ise toplam atığın %20'sini oluşturacak miktarı hesaba katılmıştır. Kullanılacak atık miktarları ve toplam atık karışımı içindeki yüzdeleri Çizelge 4.11'de verilmiştir. Kullanılacak toplam atık miktarı 7.235 kg/ay'dır. Hesaplamalar aylık 8.000 kg atık kullanılacağı kabul edilerek yapılmıştır.

Çizelge 4.11 : Kompostlaştırılacak atık miktarları ve yüzdeleri.

Atık Türü	Miktar (kg/ay)	Kompostlaştırılacak Miktar (kg/ay)	Yüzde (%)
Yemek	1.252	1.252	17,3
Çim	4.536	4.536	62,7
Budama	13.612	1.447	20

6 metrelik bir reaktörün verimli bir şekilde işletilmesi için 500.000 adet solucan ve aylık 4 ton atık gereklidir. 4 ton atıktan ön kompostlaştırma işlemi sonrasında yaklaşık 2 ton mama elde edilmektedir. Reaktöre beslenen 2 ton/ay mamadan 1 ton/ay civarında vermikompost elde edilebilmektedir. Kampüste oluşan 8.000 kg/ay miktarındaki organik atık için 2 adet 6 m'lik reaktör ve toplamda yaklaşık 1.000.000 solucana ihtiyaç olacaktır. Reaktörlerin yerleştirilmesi ve işlemlerin yürütülebilmesi için 100 m²'lik bir kapalı alana ihtiyaç duyulacağı öngörülmüştür. Bu amaçla prefabrik bir bina

kullanılması mümkündür. Solucanla kompostlaştırma senaryosu için gerekli tüm ekipmanlar ve ilk yatırım maliyetleri (2023 yılı itibariyle) Çizelge 4.12’de verilmiştir. Buna göre toplam ilk yatırım maliyeti yaklaşık 2.060.000 TL olarak hesaplanmıştır. Kurulacak sistemin 10 yıl boyunca işletileceği kabul edilmiştir.

Çizelge 4.12 : Gerekli ekipmanlar ve fiyatları.

Malzeme-Ekipman	Fiyat (TL)
Solucan (1.000.000 adet)	234.000
6 m reaktör (2 adet)	126.516
Atık öğütücü (1 adet)	180.000
Nemlendirme teçhizatı	4.800
İklimlendirme teçhizatı	70.400
Gübre eleği (1 adet)	33.340
Isıl işlem makinesi (1 adet)	209.640
Paketleme makinesi (1 adet)	1.260
İşletme binası ve ofis (100 m ²)	1.250.000
Toplam	~2.060.000

Solucanla kompostlaştırma işleminin elektrik, su ve bakım maliyetleri toplamı ~1.000 TL/ay’dır. Bu maliyetler İstanbul’da solucan kompostu üretimi yapan bir firmanın aylık giderleri (2023 yılı itibariyle) göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. 2 kişilik işgücüne ihtiyaç duyulacağı öngörülerek 26.828 TL/ay işgücü maliyeti bulunmuştur. Toplam aylık gider yaklaşık 30.000 TL/ay olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla yıllık işletme maliyeti ise 360.000 TL civarında olmaktadır. İşletme maliyetleri Çizelge 4.13’te verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Solucanla kompostlaştırma işletme maliyeti.

Harcama kalemleri	Fiyat (TL/ay)
Elektrik	400
Su	100
Bakım	500
İşgücü (2 işçi)	26.828
Toplam	~30.000

Solucanla kompostlaştırma ile elde edilecek gelire ait hesaplama Çizelge 4.14’te verilmiştir. Gelir hesaplanırken İstanbul’daki 3 farklı solucan gübresi üretim tesisinin vermikompost birim satış fiyatının ortalaması alınarak birim satış fiyatı belirlenmiştir. Bu fiyat, aylık üretilen vermikompost miktarıyla çarpılarak aylık kazanç hesaplanmıştır. Sonuç olarak solucanla kompostlaştırma ile 1 yılda yaklaşık olarak 870.000 TL kazanç sağlanabileceği görülmektedir.

Çizelge 4.14 : Solucanla kompostlaştırma ile sağlanacak kazanç.

Ürün	Üretilen miktar (kg/ay)	Birim satış fiyatı (kg/TL)	Toplam kazanç (TL/ay)	Toplam kazanç (TL/yıl)
Vermikompost	2.000	36,25	72.500	870.000

Elde edilen veriler doğrultusunda solucanla kompostlaştırma senaryosu için yıllık yatırım maliyeti (Denklem 4.1), yıllık toplam maliyet (Denklem 4.2) ve F/M oranı (Denklem 4.3) hesaplanmıştır. Yıllık net fayda ise Denklem 4.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

Ekipman ömrü: $n = 10$ yıl

Faiz + Amortisman: $i = \%15$

Sermaye Geri Ödeme Faktörü: $SÖF = 0,19925$ (Öztürk, 2020)

$$Yıllık yatırım maliyeti = İlk yatırım maliyeti * SÖF \quad (4.1)$$

$$Yıllık yatırım maliyeti = 2.060.000 * 0,19925 \cong 415.000 \text{ ₺/yıl}$$

$$Yıllık toplam maliyet = Yıllık yatırım maliyeti + Yıllık işletme maliyeti$$

$$Yıllık toplam maliyet = 415.000 + 360.000 = 775.000 \text{ ₺/yıl} \quad (4.2)$$

$$Fayda/Maliyet = Toplam Fayda / Toplam Maliyet \quad (4.3)$$

$$F/M = 870.000 / 775.000 = 1,12$$

$$Net Fayda = Toplam Fayda - Toplam Maliyet \quad (4.4)$$

$$Net Fayda = 870.000 - 775.000 = 95.000 \text{ ₺/yıl}$$

Hesaplanan tüm gelir ve giderlere ait özet bilgiler Çizelge 4.15'te verilmiştir. Gelir ve gider durumuna bakıldığında solucanla kompostlaştırma ile yıllık 870.000 TL kazanç sağlanabilecekken toplam yıllık maliyet 775.000 TL olacaktır. F/M oranı 1'den büyük olduğu için yatırım karlıdır.

Çizelge 4.15 : Solucanla kompostlaştırma gelir-gider özet tablosu (TL/yıl).

	Fiyat
İlk yatırım maliyeti	415.000
İşletme maliyeti	360.000
Vermikompost satış kazancı	870.000

Solucanla kompostlaştırma senaryosu için birim atık başına maliyet ve birim atık başına kazanç hesaplanmıştır. Birim atık başına maliyet ve birim atık başına kazanç sırasıyla Denklem 4.5 ve Denklem 4.6 doğrultusunda hesaplanmıştır.

Kompostlaştırılan atık miktarı = 96 ton/yıl

Üretilen vermikompost = 24 ton/yıl

Birim atık başına maliyet = Yıllık toplam maliyet / Yıllık atık miktarı (4.5)

Birim atık başına maliyet = 775.000 ₺/yıl / (96 ton/yıl) $\cong$ 8.000 ₺/ton atık

Birim atık başına kazanç = Yıllık toplam kazanç / Yıllık Atık miktarı (4.6)

Birim atık başına kazanç = 870.000 ₺/yıl / (96 ton/yıl) $\cong$ 9.000 ₺/ton atık

8 ton atığın DDT'ye gönderilmesi senaryosu için toplama-taşıma ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Atıkların halihazırda işletilmekte olan bir DDT'ye gönderileceği kabul edilerek DDT'nin ilk yatırım maliyeti hesaba katılmamıştır. Hesaplamalarda 1 ton atığın toplama-taşıma maliyeti 10 Dolar olarak kabul edilmiştir (Öztürk, 2015). 2015 yılında 10 Dolar olan bu değerin 2023 yılı karşılığı Denklem 4.7 kullanılarak hesaplanmıştır. Yıllık toplama-taşıma maliyeti ise Denklem 4.8 kullanılarak hesaplanmıştır.

n = 8 yıl

Faiz + Amortisman: i = %8

Sermaye Geri Ödeme Faktörü: SÖF = 1,851 (Öztürk, 2020)

1 Dolar = ~27 TL (Ağustos 2023 itibarıyla)

*Toplama ve taşıma maliyeti = 10 \$/ton atık * 1,851 = 18,51 \$ (4.7)*

*18,51 \$/ton atık * 27 $\cong$ 500 ₺/ton atık*

*Yıllık toplama ve taşıma maliyeti = 500 ₺/ton atık * 96 ton atık (4.8)*

Yıllık toplama ve taşıma maliyeti = 48.000 ₺

1 ton atığın DDT'de bertaraf maliyeti yaklaşık olarak 10 Euro olarak kabul edilmiştir (Öztürk, 2015). 2015 yılına ait olan bu değerin 2023 yılı karşılığı 18,51 Euro olup bu miktar 560 TL'ye tekabül etmektedir. Yıllık bertaraf maliyeti ise Denklem 4.9 kullanılarak hesaplanmıştır. Birim atık başına maliyet ise Denklem 4.10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$n = 8$ yıl

Faiz + Amortisman: $i = \%8$

Sermaye Geri Ödeme Faktörü: $SÖF = 1,851$ (Öztürk, 2020)

1 Euro = ~30 TL (Ağustos 2023 itibariyle)

$$Bertaraf\ maliyeti = 10\ \text{€/ton atık} * 1,851 = 18,51\ \text{€}$$

$$18,51\ \text{€/ton atık} * 30 = 560\ \text{₺/ton atık}$$

$$Yıllık\ bertaraf\ maliyeti = 560\ \text{₺/ton atık} * 96\ \text{ton atık} \quad (4.9)$$

$$Yıllık\ bertaraf\ maliyeti = 54.000\ \text{₺}$$

DDT'ye gönderilen atık miktarı = 96 ton/yıl

$$Birim\ atık\ başına\ maliyet = Yıllık\ toplam\ maliyet / Yıllık\ atık\ miktarı \quad (4.10)$$

$$Birim\ atık\ başına\ maliyet = (54.000\ \text{₺/yıl}) / (96\ \text{ton/yıl}) \cong 570\ \text{₺/ton atık}$$

$$Yıllık\ işletme\ maliyeti = 48.000\ \text{₺} + 54.000\ \text{₺} \cong 105.000\ \text{₺}$$

Elde edilen sonuçlara göre atıkların DDT'ye gönderilmesi durumunda, atık toplama-taşıma maliyetleri ve bertaraf maliyetini içeren yıllık işletme maliyeti yaklaşık olarak 105.000 TL olmaktadır. Birim atık başına maliyet ise yaklaşık 570 TL/ton olmaktadır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında İTÜ Ayazağa Kampüsünde oluşan organik atıklar solucanla kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Kampüste oluşan yemek, çim ve budama atıkları önce farklı oranlarda karıştırılarak ön kompostlaştırılmış sonrasında *Eisenia fetida* türü solucanlar kullanılarak solucanla kompostlaştırılmıştır. Çalışmada sürekli akış sistemli bir reaktör 5 farklı bölmeye ayrılarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 5 farklı vermikompost elde edilmiş ve kalitelerinin belirlenmesi amacıyla deneysel analizler yürütülmüştür. Ayrıca kampüste oluşan organik atıkların solucanla kompostlaştırılması ile DDT'ye gönderilmesi maliyet açısından karşılaştırılmıştır.

Elde edilen 5 farklı vermikompostun nem, pH, Eİ, OM, TKN, TOK, C/N, TP, makro ve mikro element içeriği ile patojen mikroorganizma içeriği analiz edilmiştir. Vermikompostların nem içeriklerinin %70,7-74,3 aralığında, pH değerlerinin 7,00-7,38 aralığında, Eİ değerlerinin 4,35-5,91 mS/cm aralığında ve OM içeriklerinin %51,9-59,6 aralığında değiştiği bulunmuştur. Yapılan ölçümlerde vermikompostların TKN ve TOK içeriklerinin sırasıyla %2,04-2,48 ve %25,68-32,64 aralığında değiştiği tespit edilirken TOK ve TKN değerleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak C/N oranının 12,60-13,66 aralığında değiştiği hesaplanmıştır. Vermikompostların TP değerlerinin ise 934-1.494 mg/kg aralığında değiştiği bulunmuştur. Elde edilen tüm vermikompostlar Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelikte ve 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliğinde organik toprak düzenleyiciler için belirtilen standartları sağlamaktadır.

Elde edilen vermikompostlarda suda çözünebilir makro ve mikro elementlerden florür, klorür, bromür, nitrat, fosfat, sülfat ve amonyum ölçümü yapılmıştır. Florür, bromür ve amonyum konsantrasyonları ölçüm sınırlarının altında kalmıştır. Klorür konsantrasyonları 1.341-1.855 mg/kg aralığında, nitrat konsantrasyonları 3.557-4.602 mg/kg aralığında, fosfat konsantrasyonları 143-247 mg/kg aralığında ve sülfat konsantrasyonları 225-571 mg/kg aralığında değişmiştir. Çalışma çerçevesinde vermikompostlarda ölçülen toplam makro ve mikro elementler olan K, Na, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr, Sn, As, Hg ve Cr (VI) için elde edilen tüm

vermikompostların Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelikte ve 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliğinde ağır metaller için belirtilen sınır değerleri sağladığı görülmüştür.

Elde edilen verimikompostların patojenik mikroorganizma içeriğinin özelliğın belirlenmesi açısından toplam koliform, *Escherichia coli* ve Salmonella analizleri gerçekleştirilmiştir. Salmonella hiçbir verimikompostta tespit edilmezken buna karşın verimikompostların *Escherichia coli* ve toplam koliform içerdiği bulunmuştur. Buna göre çalışma sonundaki verimikompostlarda *Escherichia coli* içeriğı 23.000-66.000 kob/g aralığında ve toplam koliform içeriğı 180.000-280.000 kob/g aralığında ölçülmüştür. Ulusal ve uluslararası mevzuatta patojenler için belirlenen sınır değerlerin sağlanması amacıyla *Escherichia coli* ve toplam koliformun giderilmesi için verimikompostlara 70°C’de 1 saat boyunca ısıtıl işlem uygulanması önerilmektedir.

Farklı atık karışımlarıyla beslenen solucanların gelişimi takip etmek amacıyla reaktörün farklı bölmelerindeki solucanlar sayılmıştır. Karışım 4 ile beslenen solucanların sayısı %58,5 oranında artış göstererek en fazla çoğalan grup olmuştur. Karışım 5 ile beslenen solucanların sayısı %51,9 oranında, Karışım 3 ile beslenenler %48,9 oranında ve Karışım 2 ile beslenenler %42,3 oranında artış göstermiştir. Karışım 1 ile beslenen solucanların sayısı ise %36,6 oranında artış göstermiş olup en düşük çoğalma oranına sahip grup olmuştur. Solucan sayısındaki artış en fazla olan bölmeler %20 budama atığı içeren karışımlarla beslenen bölmeler olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamındaki deneysel çalışmaları müteakip, atıkların solucanla kompostlaştırılması ve DDT’ye gönderilmesi maliyet açısından kıyaslanmıştır. Atıkların DDT’ye gönderilmesi senaryosunda birim atık başına maliyet 570 TL/ton olarak hesaplanmıştır. Atıkların solucan ile kompostlaştırılması senaryosunda ise birim atık başına maliyet 8.000 TL/ton olarak hesaplanmışken birim atık başına kazanç 9.000 TL/ton olarak hesaplanmıştır. İki senaryo karşılaştırıldığında, solucanla kompostlaştırmanın sağladığı net bir fayda mevcutken atıkların DDT’ye gönderilmesi durumunda maddi bir kazanç olmadığı görülmektedir.

Çalışmada sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde elde edilen 5 farklı verimikompostun ulusal ve uluslararası mevzuatta belirtilen kriterleri sağladığı görülmektedir. Ayrıca solucanla kompostlaştırma senaryosu için yapılan maliyet

analizi sonucunda F/M oranı 1'den büyük çıkmıştır ve bu durum solucanla kompostlaştırma yatırımının fayda sağlayacağını göstermektedir.

Yapılan tez çalışması neticesinde, İTÜ Ayazağa Kampüsünde oluşan organik atıkların solucan ile kompostlaştırma yöntemiyle bertaraf edilebileceği sonucuna varılmıştır. Üniversite kampüsleri yeni çalışmalar için araştırma ve uygulama merkezi olmaları sebebiyle topluma örnek olabilecek kurumlar arasında en önemlilerden birisidir. Bu nedenle dünya genelinde üniversiteleri sürdürülebilirlik açısından kıyaslayan birçok sıralama vardır. Bu sıralamalar sayesinde üniversiteler sürdürülebilirlik konularında kendilerini geliştirmekte ve sürdürülebilir kampüs uygulamalarına yönelmektedir. İTÜ sürdürülebilir kampüs uygulamalarıyla uluslararası sıralamalarda kendine ön sıralarda yer edinmektedir. Organik atık yönetiminde sürdürülebilir bir yöntem seçmesi İTÜ'nün başarısına katkı sağlayabilecektir. Bunun yanı sıra organik atıkların solucan ile kompostlaştırılması İTÜ'nün sıfır atık yönetimi konusunda çalışmalarına da katkı sağlayabilecektir. Ayrıca İTÜ'nün sürdürülebilir kampüs uygulamaları diğer kamu kurum ve kuruluşları için örnek olabilecektir.



KAYNAKLAR

- 2008/98/AT sayılı Atık Çerçeve Direktifi, (2008).** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098>
- 2019/1009/EU sayılı Gübreleme Ürünleri Yönetmeliği, (2019).** <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1009&from=EN>
- Abacıoğlu, E., Yatgın, S., Tokel, E., & Yücesoy, P. (2020).** Vermikompostun (Solucan Gübresi) Üretimi ve Bitki Beslemesindeki Önemi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 3(1), 1–10.
- Abbasi, T., Gajalakshmi, S., & Abbasi, S. A. (2009).** Towards modeling and design of vermicomposting systems: Mechanisms of composting/vermicomposting and their implications. *Indian Journal of Biotechnology*, 8(2), 177–182.
- Adhikary, S. (2012).** Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*, 03(07), 905–917. <https://doi.org/10.4236/as.2012.37110>
- Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M. M., Syed, J. H., & Malik, R. N. (2015).** A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 34(4), 1050–1062. <https://doi.org/10.1002/EP.12100>
- Alipour, S. M., Fataei, E., Nasehi, F., & Imani, A. (2022).** Evaluating the Changes in Quantities and Types of Substrates Containing Organic Wastes on the Growth and Reproduction of the Earthworm (*Eisenia fetida*). *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 10(1), 39–46. <https://doi.org/10.32598/jaehr.10.1.1230>
- Amouei, A. I., Yousefi, Z., & Khosravi, T. (2017).** Comparison of vermicompost characteristics produced from sewage sludge of wood and paper industry and household solid wastes. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 15(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0269-z>
- Atık Yönetimi Yönetmeliği, (2015).** <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20644&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Bundela, P. S., & Khan, J. (2015).** Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. *Bioresource Technology*, 182, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.104>
- Bajsa, O., Nair, J., Mathew, K., & Ho, G. E. (2004).** Vermiculture as a tool for domestic wastewater management. *Water Science and Technology*,

48(11–12), 125–132. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0821>

- Biruntha, M., Karmegam, N., Archana, J., Karunai Selvi, B., John Paul, J. A., Balamuralikrishnan, B., Chang, S. W., & Ravindran, B.** (2020). Vermiconversion of biowastes with low-to-high C/N ratio into value added vermicompost. *Bioresource Technology*, 297(September 2019), 122398. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122398>
- Bolat, İ., & Kara, Ö.** (2017). *Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları*. 19(1), 218–228. <https://doi.org/10.24011/barofd.251313>
- Cao, W., Vaddella, V., Biswas, S., Perkins, K., Clay, C., Wu, T., Zheng, Y., Ndegwa, P., & Pandey, P.** (2016). Assessing the changes in *E. coli* levels and nutrient dynamics during vermicomposting of food waste under lab and field scale conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(22), 23195–23202. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7528-x>
- Ceritoğlu, M., Şahin, S., & Erman, M.** (2019). Vermikompost Üretim Tekniği ve Üretimde Kullanılan Materyaller. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 230–236. <https://doi.org/10.19159/tutad.440783>
- Chauhan, A., Kumar, S., Singh, A. P., & Gupta, M.** (2010). Vermicomposting of Vegetable Wastes with Cowdung Using Three Earthworm Species *Eisenia foetida*, *Eudrilus eugeniae* and *Perionyx*. 8(1), 33–43.
- Esmaili, A., Khoram, M. R., Gholami, M., & Eslami, H.** (2020). Pistachio waste management using combined composting-vermicomposting technique: Physico-chemical changes and worm growth analysis. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118523>
- Fissi, S., Romolini, A., Gori, E., & Contri, M.** (2021). The path toward a sustainable green university: The case of the University of Florence. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123655>
- Fonseca, L. M., Domingues, J. P., & Dima, A. M.** (2020). Mapping the Sustainable Development Goals Relationships. *Sustainability*, 12(8), 3359. <https://doi.org/10.3390/SU12083359>
- Fornes, F., Mendoza-Hernández, D., García-De-La-Fuente, R., Abad, M., & Belda, R. M.** (2012). *Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.028>
- Gao, A., Tian, Z., Wang, Z., Wennersten, R., & Sun, Q.** (2017). Comparison between the Technologies for Food Waste Treatment. *Energy Procedia*, 105, 3915–3921. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.811>
- Garg, P., Gupta, A., & Satya, S.** (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97(3), 391–395. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.009>
- Garg, V. K., & Gupta, R.** (2011). Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(1), 19–24.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.015>

- Gómez-Brandón, M., Lores, M., & Domínguez, J.** (2013). Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system. *Bioresource Technology*, 128, 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.112>
- Goyal, S., Dhull, S. K., & Kapoor, K. K.** (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96(14), 1584–1591. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.012>
- Gupta, R., & Garg, V. K.** (2011). Potential and possibilities of vermicomposting in sustainable solid waste management: A review. *International Journal of Environment and Waste Management*, 7(3–4), 210–234. <https://doi.org/10.1504/IJEW.2011.039465>
- Hanc, A., & Pliva, P.** (2013). Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15(4), 431–439. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0127-8>
- Hemidat, S., Jaar, M., Nassour, A., & Nelles, M.** (2018). Monitoring of Composting Process Parameters: A Case Study in Jordan. *Waste and Biomass Valorization*, 9(12), 2257–2274. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0197-x>
- İTÜ Atık Yönetimi Yönergesi, (2022).** <https://atikyonetimi.itu.edu.tr/yonetmelik>
- Jadia, C. D., & Fulekar, M. H.** (2008). Vermicomposting of vegetable waste: A biophysicochemical process based on hydro-operating bioreactor. *African Journal of Biotechnology*, 7(20), 3723–3730. <https://doi.org/10.4314/ajb.v7i20.59420>
- Katakula, A. A. N., Handura, B., Gawanab, W., Itanna, F., & Mupambwa, H. A.** (2021). Optimized vermicomposting of a goat manure-vegetable food waste mixture for enhanced nutrient release. *Scientific African*, 12, e00727. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00727>
- Kaur, T.** (2020). Vermicomposting: An Effective Option for Recycling Organic Wastes. İçinde *Organic Agriculture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.91892>
- Kayapınar-Kaya, S., Dal, M., & Aşkın, A.** (2019). Türkiye’deki devlet ve vakıf üniversite kampüslerinin sürdürülebilir-ekolojik parametreleri açısından karşılaştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 1–20. <https://doi.org/10.25092/baunfb.532420>
- Kiyasudeen, K., Ibrahim, M. H., & Ismail, S. A.** (2020). Vermicomposting of organic wastes and the production of vermicompost. İçinde *Biovalorisation of Wastes to Renewable Chemicals and Biofuels* (Sayı 1983). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817951-2.00014-6>
- Kiyasudeen S, K., Ibrahim, M. H., Quaik, S., & Ahmed Ismail, S.** (2016). Vermicomposting: An Earthworm Mediated Waste Treatment

Technique. İçinde *Prospects of Organic Waste Management and the Significance of Earthworms*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24708-3>

Kompost Tebliği, (2015).

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20577&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5>

Kumar, M., Ou, Y. L., & Lin, J. G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management*, 30(4), 602–609. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.023>

Lalremruati, M., & Devi, A. S. (2021). Changes in physico-chemical properties during composting of three common household organic solid wastes amended with garden soil. *Bioresource Technology Reports*, 15(June), 100727. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100727>

Lidstone, L., Wright, T., & Sherren, K. (2015). An analysis of Canadian STARS-rated higher education sustainability policies. *Environment, Development and Sustainability*, 17(2), 259–278. <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9598-6>

Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262–278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>

Majlessi, M., Eslami, A., Najafi Saleh, H., Mirshafieean, S., & Babaii, S. (2012). Vermicomposting of food waste: Assessing the stability and maturity. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 9(25), 1–6. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-25>

Moldes, A., Cendón, Y., & Barral, M. T. (2007). Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Bioresource Technology*, 98(16), 3069–3075. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.021>

Munroe, G. (2007). *Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture*. Organic Agriculture Centre of Canada. https://issuu.com/msiles/docs/vermiculture_farmersmanual_gm

Nair, J., Sekiozoic, V., & Anda, M. (2006). Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology*, 97, 2091–2095. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.020>

Ömürbek, V., Erk, Ç., & Herek, S. (2019). Üniversitelerde Atık Yönetimi Uygulamaları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 35, 124–161. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sbe/issue/49505/599572>

Ordu, G. (2021). *Isıl İşlem Uygulamasının Vermikompostun Bazı Mikrobiyolojik ve Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkileri*. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi.

Öztürk, İ. (2015). *Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları*. İSTAÇ A.Ş.

Öztürk, İ. (2020). *Çevre Ekonomisi ve Tam Maliyet Esaslı Tarife Hesabı*. Türkiye

- Öztürk, İ., Demir, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O. A., Çiftçi, T., Çakmak, İ., Öztürk, L., Yıldız, Ş., & Kiriş, A. (2015). *Kompost El Kitabı*. İSTAÇ A.Ş.
- Pandey, P. K., Cao, W., Biswas, S., & Vaddella, V. (2016). A new closed loop heating system for composting of green and food wastes. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1252–1259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.114>
- Pottipati, S., Kundu, A., & Kalamdhad, A. S. (2022). Process optimization by combining in-vessel composting and vermicomposting of vegetable waste. *Bioresource Technology*, 346(September 2021), 126357. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126357>
- Rich, N., Bharti, A., & Kumar, S. (2018). Effect of bulking agents and cow dung as inoculant on vegetable waste compost quality. *Bioresource Technology*, 252(September 2017), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.080>
- Sangamithirai, K. M., Jayapriya, J., Hema, J., & Manoj, R. (2015). Evaluation of in-vessel co-composting of yard waste and development of kinetic models for co-composting. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 4(3), 157–165. <https://doi.org/10.1007/s40093-015-0095-1>
- Sharma, K., & Garg, V. K. (2017). Management of food and vegetable processing waste spiked with buffalo waste using earthworms (*Eisenia fetida*). *Environmental Science and Pollution Research*, 24(8), 7829–7836. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8438-2>
- Sharma, K., & Garg, V. K. (2018). Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). *Bioresource Technology*, 250(November 2017), 708–715. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101>
- Sıfır Atık Yönetmeliği, (2019). <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=32659&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Soobhany, N. (2018). Preliminary evaluation of pathogenic bacteria loading on organic Municipal Solid Waste compost and vermicompost. *Journal of Environmental Management*, 206, 763–767. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.029>
- Soobhany, N. (2019). Insight into the recovery of nutrients from organic solid waste through biochemical conversion processes for fertilizer production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118413. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118413>
- Srivastava, V., Goel, G., Thakur, V. K., Singh, R. P., Ferreira de Araujo, A. S., & Singh, P. (2020). Analysis and advanced characterization of municipal solid waste vermicompost maturity for a green environment. *Journal of Environmental Management*, 255(December 2019), 109914. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109914>
- Suthar, S. (2009). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia*

fetida: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecological Engineering*, 35(5), 914–920. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.019>

Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik. (2018).

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24410&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

Tiltay, M. A., Öz, M., & Tepe, M. E. (2021). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Bağlamında Kurumsal Sosyal Sorumluluk Uygulamaları: Türkiye’de Mevcut Durum ve Eğilimler. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 8(2), 351–372. <https://doi.org/10.17541/optimum.897786>

TMECC. (2002). *Test Methods for the Examination of Composting and Compost*. <http://soiltestlab.com/wp-content/uploads/2012/10/TMECC-Field-Sampling-Protocol.pdf>

UI GreenMetric Guideline. (2023).

<https://greenmetric.ui.ac.id/publications/guidelines/2023/english>

Urbanski, M., & Filho, W. L. (2015). Measuring sustainability at universities by means of the Sustainability Tracking, Assessment and Rating System (STARS): early findings from STARS data. *Environment, Development and Sustainability*, 17(2), 209–220. <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9564-3>

Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2020). Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. *Bioresource Technology*, 301(November 2019), 122778. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778>

Yadav, A., & Garg, V. K. (2011). Vermicomposting - An effective tool for the management of invasive weed *Parthenium hysterophorus*. *Bioresource Technology*, 102(10), 5891–5895. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.062>

Yatoo, A. M., Ali, M. N., Baba, Z. A., & Hassan, B. (2021). Sustainable management of diseases and pests in crops by vermicompost and vermicompost tea. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00657-w>

Yücel-Işıldar, G. (2012). Sürdürülebilir Kentler için Üniversite Yerleşkelerinin Rolü. *Yerel Politikalar*. <https://dergipark.org.tr/en/pub/yerelpolitikalar/issue/13661/165279>

Url-1 <<https://sdgs.un.org/goals>>, erişim tarihi 01.08.2023.

Url-2 <<https://greenmetric.ui.ac.id>>, erişim tarihi 01.08.2023.

Url-3 <<https://www.timeshighereducation.com>>, erişim tarihi 01.08.2023.

Url-4 <<https://stars.aashe.org/about-stars/>>, erişim tarihi 01.08.2023.

Url-5 <<https://sustainability.itu.edu.tr/>>, erişim tarihi 01.08.2023.

Url-6 <[https://haberler.itu.edu.tr/haberdetay/2023/06/20/itu-dunya-universiteleri-
arasinda-ilk-10-da](https://haberler.itu.edu.tr/haberdetay/2023/06/20/itu-dunya-universiteleri-arasinda-ilk-10-da) >, erişim tarihi 01.08.2023.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ayşe Nur Usta

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER: