



**VERMİKOMPOST ÜRETİMİNDE LEONARDİT KULLANIM
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RASEEN ALTAWHEEL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
ARALIK – 2023**

**VERMİKOMPOST ÜRETİMİNDE LEONARDİT KULLANIM
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RASEEN ALTAWHEEL
ORCID ID: 0009-0001-7199-4191**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN
ORCID ID: 0000-0002-3053-6944**

**İKİNCİ DANIŞMAN
Doç. Dr. Mutlu YALVAÇ
ODCID ID: 0000-0002-1281-5712**

**MERSİN
ARALIK - 2023**

ÖZET

VERMİKOMPOST ÜRETİMİNDE LEONARDİT KULLANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Leonardit organik tarım uygulamalarında halihazırda kullanımı mevcuttur. Dünyanın her yerinde üretimi gerçekleşen linyit, kömüre dönüşüm formunu oluşturan leonarditin tarım sektöründe verimli bir madde olarak değerlendirilmesi ve bitki yetiştiriciliğinde kullanımı doğaya ve ekonomiye katkı sağlamaktadır. Evsel ve sanayi nitelikli olan atıkların azaltılması, organik tarım uygulamalarında organik madde ve gübre kaynağı niteliği ile doğadaki organik kaynakların korunmasını, bunun yerine modern tarımda kullanılan kimyasal maddelere alternatif oluşturacaktır.

Bu çalışma, tarımsal besin bakımından değerli madde leonarditin, vermikompost üretiminde, fiziko-kimyasallar etkiler pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), toplam organik karbon (TOK), yoğunluk ve toplam karazot (TKN) analizler ile farklı organik maddeler (çay posası, meyve posası ve hayvan gübresi) ile %0 (K0), %25 (K1), %50 (K2), %75 (K3), %100 (K4) karıştırma oranlarının arasındaki optimum noktayı ve kullanılabilirliği amaçlanmaktadır. Çalışmanın sürecinde Kırmızı Kaliforniya solucanın (*Esenia fetida*) biyokütle takibi sonucunda leonarditin K4 deney setinde canlı solucan kültürü olmadığı ve K3 deney setinde solucan kültürü sayısında %62 kayıp olduğu tespit edilmiştir. Solucan kültürü gelişimi takibinde K0, K1 deney setleri, solucanın sayısı sırasıyla %27, %10 oranlarında artış gösterirken K2 deney setinde %21 azalma göstermiştir. Çalışmanın 60 gün sonra nihai ürün diğer sonuçları K0, K1, K2, K3 sırasıyla TOK %25,2 – 27,9 – 31 – 34,7, TKN %2,4 – 1,8 – 1,5 – 1,5, pH 9,1 – 7,8 – 7,2 – 6,4, C/N oranı 10,4 – 15,8 – 21,6 – 23,2 olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vermikompost, *Eisenia fetida*, Leonardit, Organik Atık, Meyve Posası

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE USE POTENTIAL OF LEONARDITE IN VERMICOMPOST PRODUCTION

Leonardite is already used in organic farming practices. Lignite, which is produced all over the world and forms the conversion form to coal, is evaluated as a productive substance in the agricultural sector and its use in plant cultivation contributes to nature and economy. Reducing domestic and industrial waste will protect organic resources in nature as a source of organic matter and fertilizer in organic farming practices, and will instead create an alternative to chemicals used in modern agriculture.

This study investigates the effects of physico-chemicals on the production of vermicompost, the valuable agricultural substance leonardite, by analyzing pH, electrical conductivity (EC), total organic carbon (TOC), density and total carbon dioxide (TKN) and different organic substances (tea pulp, fruit pulp). and animal manure) and the optimum point and usability between mixing ratios of 0% (K0), 25% (K1), 50% (K2), 75% (K3), 100% (K4). As a result of the biomass monitoring of the Red California worm (*Eisenia fetida*) during the study, it was determined that there was no live worm culture in the K4 experimental set of leonardit and that there was a 62% loss in the number of worm cultures in the K3 experimental set. In the follow-up of worm culture development, the number of worms increased by 27% and 10% in the K0 and K1 experimental sets, respectively, while the number of worms decreased by 21% in the K2 experimental set. Other results of the final product after 60 days of the study: K0, K1, K2, K3 respectively: TOC 25.2 – 27.9 – 31 – 34.7%, TKN 2.4% – 1.8 – 1.5 – 1.5, respectively. It was determined that the pH was 9.1 – 7.8 – 7.2 – 6.4, and the C/N ratio was 10.4 – 15.8 – 21.6 – 23.2.

Keywords: Vermicompost, *Eisenia fetida*, Leonardite, Organic Waste, Fruit Waste.

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN, Department of Environmental Engineering University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve tez çalışmalarım süresince her zaman destek veren, akademi hayatını sevdiren, güvenen, motive eden, sabır, hoşgörü, güler yüzü, engin bilgileriyle bana doğru yolu gösteren ve inancını ve güvenini esirgemeyen Sayın Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN'a ve yüksek lisansım boyunca çalışmalarım süresince yakın ilgi gösteren, çalışmalarımın her aşamasında sağladığı bilimsel katkılarından, engin bilgi ve tecrübeleri, sabır, hoşgörü ve güler yüzüyle bana destek olan eş danışmanım Sayın Doç. Dr. Mutlu YALVAÇ'a sonsuz teşekkür ederim. Tez savunmamda yer alan ve laboratuvar çalışmalarında önerileri, engin bilgileri, güler yüzü, sabrı ve hoşgörüsüyle çalışmama katkıda bulunan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Habibe Elif GÜLŞEN AKBAY'a, Tez savunmamda yer alan ve bilgi birikimleriyle çalışmama katkıda bulunan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şevket TULUN'a, laboratuvar hayatını bana sevdiren, çalışmalarımda ihtiyaç duyduğum her an görüşüyle bana yardımcı olan Zehra ORDU, Yüksek lisans tez ve laboratuvar çalışmam boyunca beni destekleyen değerli çalışma arkadaşlarım, Aya ALTERKAOUİ, Pınar BELİBAĞLI ve Zeynep BİLİCİ'ye, Hayatımın her anında tartışmasız maddi ve manevi olarak fedakarlıklarda bulunarak bugünlere gelmem de en büyük destekçim olan kıymetli güzel aileme teşekkürlerimi borç bilirim. Bu tez çalışması, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından 2022-2-TP2-4730 numaralı proje ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1 GİRİŞ	1
2 KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1 Vermikompost	3
2.1.1 Vermikompost Avantajları	5
2.1.2 Kompost ve Vermikompost Kombinasyonu	7
2.1.3 Vermikompost Uygulama Alanları	9
2.1.4 Vermikompost Üretimi	10
2.2 Leonardit	11
2.2.1 Leonardit Uygulama Alanları	13
2.3 Solucanlar	15
2.3.1 Toprak Solucanlarının Farklı Malzemelerden Vermikompost Üretiminde Kullanılması	18
3 MATERYAL ve YÖNTEM	21
3.1 Materyal	21
3.2 Yöntem	21
3.2.1 Stok Kompost (SK) ve Leonardit Karışımlarının Hazırlanması	21
3.2.2 Deneysel Kurulum	21
3.2.3 Fizikokimyasal Analizler	22
4 BULGULAR ve TARTIŞMA	26
4.1 Karışımdaki Leonardit Oranının pH'a Etkisi	26
4.2 Karışımdaki Leonardit Oranının Yoğunluğa Etkisi	27
4.3 Karışımdaki Leonardit Oranının TOK Değerine Etkisi	30
4.4 Karışımdaki Leonardit Oranının Eİ Değerine Etkisi	32
4.5 Karışımdaki Leonardit Oranının TKN Değerine Etkisi	33
4.6 Karışımdaki Leonardit Oranının C/N Değerine Etkisi	34
4.7 Karışımdaki Leonardit Oranının Biyokütle Etkisi	35
5 SONUÇ ve ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	59

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Kompost ve vermikompost	9
Tablo 2.2. Leonardit bileşimleri	12
Tablo 3.1. Deneysel Kurulum Oranları	22
Tablo 4.1. Çalışmada biyokütle değişimi	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışma Sistemi	22
Şekil 3.2. Distilasyon Sistemi	24
Şekil 4.1. Çalışma Boyunca pH Değişimleri	26
Şekil 4.2. Çalışma Süresi Boyunca Yoğunluk Değişimi	28
Şekil 4.3. Çalışma Boyunca Yoğunluk Artış Oranı	29
Şekil 4.4. Çalışma Boyunca Toplam Organik Karbon Değişimi	30
Şekil 4.5. Çalışma Boyunca TOK Düşüş Oranı	31
Şekil 4.6. Çalışma Süresi Boyunca İletkenlik Değişimi	32
Şekil 4.7. Çalışma Süresi Boyunca Toplam Azot Oranı Değişimi	33
Şekil 4.8. Çalışma Süresi C/N Oranı Değişimi	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma	Tanım
Eİ	Elektriksel İletkenlik
EETOK	Toplam Organik Karbon
TKN	Toplam Kjeldahl Azot
TOM	Toplam Organik Madde
C/N	Toplam Organik Karbon / Toplam Kjeldahl Azot
K0	%0 Oranında Leonardit İçeren Deneme Seti
K1	%25 Oranında Leonardit İçeren Deneme Seti
K2	%50 Oranında Leonardit İçeren Deneme Seti
K3	%75 Oranında Leonardit İçeren Deneme Seti
K4	%100 Oranında Leonardit İçeren Deneme Seti
KN0	%0 Oranında Leonardit İçeren Kontrol Deneme Seti
KN1	%25 Oranında Leonardit İçeren Kontrol Deneme Seti
KN2	%50 Oranında Leonardit İçeren Kontrol Deneme Seti
KN3	%75 Oranında Leonardit İçeren Kontrol Deneme Seti
K4	%100 Oranında Leonardit İçeren Kontrol Deneme Seti
SK	Stok Kompostun

1 Giriş

Bitkiyi beslemenin ilk adımı toprağı beslemektir. Organik gübreleme, organik ve sürdürülebilir tarımda son yıllarda önemi belirgin bir şekilde artmıştır. Çevre ve insan sağlığına önem veren insanlar, bilim insanları ve ardından çiftçiler organik uygulamalara yönelmiştir (Basay vd., 2021). Ülkemizde organik tarım uygulamaları 1980'li yıllarda başlamıştır. 1994 yılında organik tarım yönetmeliğı yürürlüğe girmiş ve 2018 yılında yenilenmiştir. Vermikompost tesisleri farklı ülkelerde endüstriyel ve yerel pazara girmiştir. Özellikle ABD, Kanada, Japonya ve İtalya. ABD'de solucanlarla ilgili bir şirket 1978-1979'da ayda yaklaşık 500 ton kapasiteli bir çiftlik kurmuştur. Japonya'daki bir şirketin, kâğıt hamuru ve gıda endüstrilerinden kaynaklanan atıkları işleyen, ayda 1000 tonluk üç tesisi bulunmaktadır. Ayrıca Japonya'da aylık 5-50 ton kapasiteye sahip 3000'e yakın solucan gübresi üretim tesisi bulunmaktadır. İtalya ve Filipinler'de de başlamıştır (Aalok vd., 2008). İlk olarak Türkiye'de organik ürün sayısı 313 çiftçi ile sekize çıkmıştır. 1990 yılında organik tarım alanı 1.037 ha. Son verilere göre bu sayı 626.885 ha organik tarım alanında 213 ürün, 73.563 çiftçi ve 2.371.612 ton organik ürüne çıkmıştır (Tıraşçı vd., 2020). Dünyadaki diğer ülkeler gibi Türkiye'de de tarımsal girdilerde gübreleme makineleşmeden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Şahin, 2016). Türk tarım alanlarında 1950'li yıllarda başlayan kimyasal gübreleme, 1970'li yıllardan itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Tüketim oranı başlangıçta bir milyon tonun altında olmuştur. Şimdi beş milyon tonun üzerinde. Üstelik Türkiye'de kimyasal gübre üretimi ve tüketimi birçok sorunu da bünyesinde barındırmaktadır. Böylece gübrelemeyle elde edilen verim beklenen düzeye ulaşamamıştır. Ayrıca yanlış ve aşırı dozda gübreleme ve ilaçlama, tarım arazilerinde yoğun tarım yapılması gibi tarımsal hatalar insan sağlığına faydadan çok zarar vermektedir. Bu faktörler toprağın sürdürülebilir kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle alternatif olarak kimyasallar ve sentetikler yerine uygun doğal gübre kaynaklarının belirlenmesi, önerilmesi ve yaygınlaştırılması önemlidir. Sonuç olarak artık toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik sağlığının iyileştirilmesi, insan sağlığının korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi için organik ürünlerin (biyopestisitler ve mikrobiyal gübreler) kullanılmasına ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir (Ergün, 2020; Gökçe ve Kotan, 2016).

Organik gübreler aynı zamanda topraktaki organik maddelerin de en önemli kaynağıdır ve faydaları nedeniyle kimyasal gübrelerin yerini alabilirler. Topraktaki mikroorganizmaların aktivitesini, toprak verimliliğini ve besin maddeleri ile bitkiyi arttırırlar (Belay vd., 2001). Ancak doğal gübrenin kimyasal gübrelerle birlikte tamamlayıcı bir destek kaynağı olarak kullanılması gübrelerin bağıllığını artıracak ve dolayısıyla verim değişkenliğini azaltacaktır (Yan ve Gong, 2010). Doğal gübreler kompostlaştırılmış hayvan dışkısı, kompost ve evsel atıklardır. Organik gübreler çiftlik gübresi, vermikompost, tavuk gübresi, yeşil gübre, kompost ve mikrobiyal gübreleri içerir. Mikrobiyal gübreler (Bitki Büyümesini Destekleyen Rizobakteriler) son yıllarda en çok araştırılan organik kaynaklardan biridir (Tunç, 2015). Bu mikrobiyal gübreler, kök gelişimi üzerindeki olumlu etkileriyle, hem kök rizosfer koşullarını (yapı, bunalıcılık vb.) iyileştirerek hem de enzimler ve organik asitler üreterek ürün verimini ve bitkinin stresli

çevre koşullarına ve patojenlere karşı direncini artırır. Ek olarak, mikroorganizma popülasyonunun genişletilmesiyle bitki gelişimine enerji verilir (Owen vd., 2015; Shaheen vd., 2007). Mikrobiyal gübreler, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Flavobacterium* vb. gibi bazı cinslerden türler içerebilir. Bunlar topraktaki bitki besin maddelerinin dolaşımını teşvik etmeye hizmet edebilir. Azot ve fosforun ürün verimi, bitki büyümesi ve gelişmesi için gerekli besin maddesi olması nedeniyle tarımsal çalışmalarda özellikle azot sabitleyici ve fosforu çözen bakteriler kullanılmaktadır.



2 KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1 Vermikompost

Vermikompost yaygın bilinen adı ile solucan gübresidir. Vermikompost işlemi solucanların ve mikroorganizmaların birlikte organik atığı gübreye dönüştürüldüğü biyo-oksitatif (Blouin vd., 2013; Garg vd., 2006) çevre dostu bir yöntemdir. Bu yöntem ile ekonomik olarak yüksek kaliteli bir ürün elde edilmektedir (Thakur vd., 2021). Solucan gübresi oluşumu mezofilik şartlarda gerçekleşmektedir. Organik atıkların solucanlar tarafından yutulması, sindirim sistemi yoluyla emilmesi ve sindirim süreci sonunda dışkı olarak atılması sürecini içermektedir. Bu süreç sonunda organik atıklar bitkilerin biyolojik aktivitelerini arttıran solucan gübresine dönüşmektedir. İşlem sırasında, organik atıkta bulunan nitrat veya amonyum, değişebilir fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum gibi besinler basit ve daha kolay emilebilir formlara dönüştürülmektedir (Pattnaik ve Reddy, 2010). Vermikompostlama, solucanların ve mikroorganizmaların ortak eylemiyle organik maddenin biyo oksidasyonunu ve stabilizasyonunu içermektedir (Suthar, 2009). Organik maddeyi biyokimyasal olarak parçalayan mikroorganizmalar olsa da solucanlar, substratı havalandırarak ve şartlandırarak parçaladıkları ve mikrobiyal aktiviteyi büyük ölçüde artırdıkları için sürecin en önemli parçasıdır. Organik maddenin biyokimyasal dönüşümü ile suda çözünür hale gelmesi mikroorganizma faaliyetlerinin bir sonucudur (Dominguez ve Edwards, 2011; Xing vd., 2012). Vermikompostlama sonucu oluşan vermikompost (solucan gübresi) yüksek gözeneklilik, havalandırma, drenaj ve su tutma kapasitesinin yanı sıra zengin mikrobiyal aktivite özelliklerine sahiptir (Atiyeh vd., 2000, 2002; Edwards, 1988). Hem solucan bağırsaklarında hem de besin stoğunda bulunan mikroorganizmalar, organik maddenin biyokimyasal parçalanmasında rol alırken solucanlar, mikroorganizmalara maruz kalan yüzey alanını artıran substratın parçalanmasından sorumludur. Bu nedenle, solucanlar malzemenin fiziksel özelliklerini doğrudan değiştirir ve dolaylı olarak kimyasal özelliğini de değiştirmektedir (Fornes vd., 2012; Veeresh ve Narayana, 2013). Vermikompostlama, solucanların ayrıştırıcı topluluk içindeki mikroorganizmalar ve diğer fauna ile yoğun bir şekilde etkileşime girdiği, organik maddenin stabilizasyonunu hızlandırdığı ve fiziksel ve biyokimyasal özelliklerini değiştirdiği biyo-oksitatif bir süreçtir (Fornes vd., 2012). Solucanların bu süreçteki eylemi fiziksel veya mekaniktir (Yadav vd., 2013). Vermikompost, toprağı iyileştirmek için organik madde kaynağı, toprağı gübrelemek için besin kaynağı olarak veya topraksız yetiştirme ortamı bileşenleri olarak kullanılabilir (González vd., 2010). Vermikompost mikrobiyal popülasyon ve çeşitlilik, özellikle mantarlar, bakteriler ve aktinomisetler açısından zengindir (Tomati vd., 1983). Vermikompostlama, solucanların organik malzemeleri (genellikle atıklar) vermikompost olarak bilinen humus benzeri bir malzemeye dönüştürmek için kullanıldığı süreçtir. Amaç organik malzemeyi mümkün olduğunca hızlı ve verimli bir şekilde işlemektir. Vermikültür, solucan kültürünün yaygın kullanılan adıdır. Amaç, sürdürülebilir bir solucan gübresi hasadı elde etmek ise solucan sayısını artırmak çok önemlidir. Bu iki süreç benzer ancak amaç olarak farklıdır. Amaç

solucan gübresi üretmek ise her zaman maksimum solucan popülasyonu yoğunluğuna sahip olan süreç seçilmelidir. Amaç solucan üretmekse, solucan nüfusu yoğunluğu üreme oranı optimize edecek kadar düşük tutulmalıdır.

Vermikompostlama, organik atıkların solucanlar ile parçalanma hızını artırmak için *Eisenia fetida*, *Eudrilu seugeniae*, *Lampito mauritii*, *Lumbricus rubellus*, *L. terrestris*, *Perionyx excavatus* gibi solucanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu solucanlar arasında kırmızı solucan olarak adlandırılan *Eisenia fetida* endüstriyel olarak yaygın şekilde kullanılır ve bu solucan türü organik atığı, bitki besinine ve toprak düzenleyiciye yüksek dönüştürme imkanına sahiptir (Barik vd., 2010; Ramnarain vd., 2019).

Eisenia fetida, doğal kalıntıları parçalayıp çürüten ve bu artıkları yüksek kaliteli organik komposta dönüştüren solucan türlerinden biri ve günde ağırlığının yarısı kadar besini yiyebilmektedir. Solucanların davranışsal faaliyetleri (beslenme, oyuk açma ve döküm), organik madde ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirerek tarımsal ürünlerin doğal ve güvenli bir şekilde büyümesine katkıda bulunan bir aktivitedir (Kumar vd., 2018).

Solucanların organik katı atık yönetimindeki kullanımı, ilk kez Darwin ve Seward (1903) tarafından vurgulanmıştır. Bu yöntem, vermikompostu biyo-ürün olarak üretmek için organik atıkların kullanımı doğaçlama olarak geliştirilmiştir (Kale vd., 1982). Vermikompost üretimi için kullanılan materyaller aşağıdaki gibi sıralanmıştır. Yapılan çalışmalarda *Lumbricus terrestris* türü solucanın nemli haldeki taze elma posası ile kolayca beslenebildiği bildirilmiştir (Wright, 1972). Yine *Eudrilus eugeniae* ve *Perionyx excavatus*'u türü solucanlara beslenmesi için tarımsal atıklar ve şeker kamışı çöpü karıştırılarak besin malzemesi olarak kullanılarak vermikompostlama süreci incelenmiştir. Bununla birlikte organik atıklarda bulunan selüloz ve ligninin parçalanmasının solucan varlığında arttığı bildirilmiştir (Kale vd., 1982).

Çeşitli türlerdeki tarımsal atıklar, solucanların beslenmesi ve solucan gübresine dönüştürülmesi için substrat olarak kullanılmaktadır. (Wright, 1972), *Lumbricus terrestris*'in taze elma yapraklarıyla çok az beslendiği, ancak yapraklar suyla nemlendirildikten sonra kolayca beslendikleri bildirilmiştir. (Kale vd., 1982), *Eudrilus eugeniae* ve *Perionyx excavatus* adlı iki tür solucana beslenme materyali olarak tarımsal atıklar ve şeker kamışı çöpleri solucan gübresi üretim sürecinde kullanımı incelenmiştir. Solucanların organik atıklarda bulunan selüloz ve ligninin ayrışmasında etkili rol oynadığı bildirmişlerdir. (Lee, 1985), *Eisenia andrei* ve *Lumbricus rubellus* solucanları kullanılarak bahçe atıklarındaki selüloz ve hemiselülozun daha iyi ayrışması rapor edilmiştir. (Manna vd., 1997), soya fasulyesi samanı, buğday samanı, mısır sapları, nohut samanı ve şehir atıklarının, humifikasyonu bir indeksi olarak potansiyel olarak hizmet edebileceği fenolik içeriği daha az olan atıkların solucan gübresi üretiminde kullanımının daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çiftlik atıklarından, mango yaprakları ve yabancı otların solucan gübresi üretimi için *Eisenia fetida* ve *Eudrilus eugeniae* gibi iki farklı solucan türü kullanılmış ve vermikompost olgunluğunu belirleyen çeşitli kimyasal parametreler rapor edilmiştir (Talashilkar vd., 1999). Organik atıklar olan işlenmiş patateslerden kaynaklanan bahçecilik artıkları (Edwards, 1988); mantar artıkları (Tajbakhsh vd., 2008); bira fabrikası atıkları (Butt,

1993); ipekböcekçiliği atıkları (Gunathilagaraj ve Ravignanam, 1996); belediye kanalizasyon çamuru (Domínguez vd., 2000; A. Mitchell, 1997); tarımsal kalıntılar (Bansal ve Kapoor, 2000); yabani otlar (Gajalakshmi vd., 2002), kentsel artıklar ve hayvan atıkları (Edwards, 1988) solucan gübresine dönüştürülebilir (Kiyasudeen S vd., 2016)

Perionyx excavatus'un farklı atıklara (koyun gübresi, inek gübresi, biyogaz çamuru, kümes hayvanı gübresi ve kontrol olarak kum) vermikompost yapma potansiyeli bildirilmiştir (Kale vd., 1982). Solucanların inek ve at artıklarını kolayca tüketebildikleri ancak koyun atıklarını vermikompost sistemine ilave ettikten 3 veya 4 gün sonra tüketebildikleri rapor edilmiştir. Bunun yanında hayvan atıklarından at atıkları (Edwards, 1998; R. Hartenstein vd., 1979); domuz atıkları (Albanell vd., 1988a; Reeh, 1992); sığır gübresi (Gunadi vd., 2002); ve endüstriyel atıklardan kağıt atıkları (Butt, 1993; Elvira vd., 1995; Gajalakshmi vd., 2002); kağıt fabrikalarından ve mandıra tesislerinden kaynaklanan çamur ((Elvira vd., 1997; Rajesh Banu vd., 2001); evsel mutfak atıklarının (Sinha vd., 2002); solucan gübresi haline getirilebildiği rapor edilmiştir (Sharma vd., 2005). Solucanların, inek gübresi, kümes hayvanı gübresi, at gübresi, domuz gübresi ve şeker kamışı çöpü gibi organik atıkların ayrıştırılmasında potansiyel bir kaynak olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Jambhekar, 1992).

Eudrilus eugeniae'nin biyokütle üretimi üzerindeki çeşitli substratların (hayvansal gübreler) etkisi tarafından incelenmiştir. Substrat olarak tavşan gübresi, koyun gübresi, sığır gübresi ve tavuk gübresi kullanılmıştır. Solucanların tavuk gübresi haricinde vermikompost üretkenliği oldukça verimliken tavuk gübresinin uygun bir substrat olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Organik atıkların, hayvansal atıkların, ürün artıklarının, endüstriyel atıkların geri dönüşümünde solucan kompostlamanın faydaları laboratuvar ölçeğinde rapor edilmiştir. *E. fetida*'nın büyümesi, doğurganlığı ve ölüm oranı, (Gunadi ve Edwards, 2003) tarafından farklı atıklarda (sığır gübresi katıları, domuz gübresi katıları ve süpermarket atıkları) incelenmiştir. Solucanlar taze sığır, domuz, meyve ve sebze atıklarında yaşayamadığı sonucuna ulaşılmıştır. (Loh vd., 2005) *Eisenia fetida*'nın biyokütle kazanımı ve koza üretiminin sığır atıklarında keçi atıklarından daha fazla olduğunu bildirmiştir.

Vermikompost teknolojisini kullanarak yedi memeli hayvan atıklarında (inek, manda, at, eşek, koyun, keçi ve deve) *Eisenia fetida*'nın büyümesi ve üremesi araştırılmıştır. Gübre materyalleri *E. fetida*'nın biyolojisini güçlü bir şekilde etkilediği rapor edilmiştir. İnek, at, koyun ve keçi atıklarının *E. fetida*'nın büyümesini ve üremesini desteklediği, dolayısıyla büyük ölçekli solucan gübresi üretim tesislerinde yem malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Manda, eşek ve deve atıkları inek, koyun veya keçi atıklarıyla karıştırılarak yem olarak kullanılabilmektedir (Garg ve Kaushik, 2005).

2.1.1 Vermikompost Avantajları

Vermikompost, geleneksel kompost gibi tarımsal toprağa, artan nem tutma yeteneği, daha iyi besin tutma kapasitesi, daha iyi toprak yapısı ve daha yüksek düzeyde mikrobiyal aktivite dahil olmak

üzere birçok fayda sağlamaktadır. Ancak literatürde yapılan bir araştırma, vermikompostun birçok alanda geleneksel aerobik komposttan daha üstün olabileceğini göstermektedir.

Kompost azot kaynağı açısından amonyum derişimi olarak oldukça zengindir. Vermikompost ise azot kaynağı olarak bitkiler tarafından daha kolay kullanılabilen formu olan nitrat derişimi daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Atiyeh vd., 2000; Hammermeister vd., 2004). Aynı zamanda fosfor, potasyum, kükürt ve magnezyum dahil çeşitli besin maddelerini bulundurma oranı geleneksel kompostlama ile karşılaştırıldığında vermikomposttaki bu değerler daha yüksek derişimlerde olduğu rapor edilmiştir. Bu sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından desteklenmektedir (Bansal ve Kapoor, 2000; Saradha, 1997; Short vd., 1999). Vermikompostlama prosesinden elde edilen ürün ile geleneksel kompostlama prosesinden elde edilen ürünün kullanımı sonucunda çoğu besleyici besin maddesinin bitkilerde daha yüksek seviyelerde bulunması ile sonuçlanma eğiliminde olduğu görülmektedir (Atiyeh vd., 2000).

Literatürde kompost ve vermikomposttaki yararlı mikroorganizma kültürü ile ilgili daha az çalışma vardır. Ancak yaygın olarak vermikompostun faydalı mikrobiyal aktivite seviyeleri açısından geleneksel komposta göre büyük ölçüde yararlı mikroorganizma çeşidi ve sayısının daha fazla olduğu düşünülmektedir. Vermikompostun mikrobiyal açıdan geleneksel komposttan 1000 kat daha fazla aktif olabileceği ancak bu rakamın her zaman elde edilemediği belirtilmiştir. Vermikompost içeriğindeki mikroorganizma kültürü bitki besleyici besinlerin bitkiler tarafından kolayca alınan formlara dönüştürmede komposta göre çok daha etkin olduğu çok sayıda literatürde rapor edilmiştir. Çünkü geleneksel kompost termofilik ortamda faaliyet göstermektedir. Dolayısıyla mikrobiyal spektrum solucan gübresinde oldukça farklı ve aynı zamanda çok daha faydalıdır.

Vermikompost besinsel dönüşümlerden ve bulunabilirliğinden bağımsız olarak bitki büyümesi üzerinde faydalı etkilere sahip olduğu tutarlı bir şekilde göstermiştir. Yapılan bir saksı çalışmasında saksı dolgu malzemesi olarak bahçe toprağı ve vermikompost farklı oranlarda karıştırılarak bitki yetiştirmek üzere hazırlandığı belirtilmiştir. Kullanılan toprak katkı maddesi vermikompost karışımında düşük karışım yüzdesi olarak vermikompost kullanıldığında tohum çimlenmesini iyileştirdiğini, fide büyümesini ve gelişimini arttırması ile birlikte bitki verimliliğini ve mineral besin maddelerinin bitki formuna dönüştürülmesini çok daha fazla artırdığını göstermiştir (Atiyeh vd., 2002). Yapılan bir başka çalışmada solucan gübresinin yetiştirme ortamında %10 – 40 oranında bulunması verimlilik açısından olumlu etkisi olduğunu göstermiştir. Söz konusu kullanım oranı %40'ın üzerinde solucan gübresi kullanım oranının bitkisel üretiminde faydayı arttırmadığı ve hatta büyüme veya verimin azalmasına neden olabileceği rapor edilmiştir (Arancon vd., 2004). Vermikompost tek başına da besin olarak bitkilerin çimlenmesine, çiçek açmasına, büyümesine ve ticari olarak daha iyi verim artışına neden olabilecek biyolojik aktiviteyi sürekli olarak destekleyen bitki besleyici materyaldir. Örneğin, topraksız yataklık bitki saksı karışımına küçük miktarlarda vermikompostun bulunması, gerekli tüm besin maddelerinin mevcut olduğu sera denemelerinde, ortama %5-30 oranında ilave edildiği kadife çiçeğı,

domates ve biberlerin çimlenmesinde ve büyümesinde önemli bir artışla sonuçlandığı rapor edilmiştir (Atiyeh vd., 2000).

Vermikompostun eklem bacaklı haşereleri uzaklaştırma yeteneğini araştıran çalışmalar çok yeni ve bugüne kadar elde edilen sonuçlar tutarsız olmasına rağmen solucan gübresinin sert gövdeli haşereleri de uzaklaştırdığına dair güçlü kanıtlar rapor edilmiştir (Edwards vd., 2004). Bu konuda yapılan son araştırmaların birinde %20 ve %40 vermikompost ilavesi ile domates, biber ve lahana bitkileri üzerine yapılan denemede eklem bacaklı (yaprak biti, unlu böcek, örümcek akarı) popülasyonlarında istatistiksel olarak tutarlı azalmalar ve ardından bitki zararlarında azalmalar olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca biber, domates, çilek ve üzüm ile yapılan saha denemelerinde bitki paraziti nematodların istatistiksel olarak anlamlı düzeyde baskılandığı bulunmuştur. Bununla birlikte, solucan gübresinin pestisitler ile veya toksik olmayan diğer haşereler ile mücadele yöntemlerine alternatif olarak kullanılabilmesi için çok daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu düşünülmektedir (Munroe vd., 2007). Vermikompost uygulanan alanlarda mükemmel havalandırma, gözeneklilik, su drenajı ve su tutma kapasitesine sahip turba benzeri bir maddedir (Ro vd., 2022; Edwards, 1998). Solucan kompostu makro ve mikro besinler elementleri açısından oldukça zengin olup bitkilerin ihtiyaç duyduğu formlarda iz elementler içermektedir. Ayrıca bitki büyüme hormonları, enzimler ve yardımcı mikroorganizmalar da içermektedir. Kahve işleme atıklarından hazırlanan vermikompostta artan makro ve mikro besin konsantrasyonlarına dair bilimsel raporlar bulunmaktadır (Johnson vd., 2020; Raphael ve Velmourougane, 2011).

vermikompostlama genellikle organik maddede kütle azalması diğer kompostlama yöntemlerine göre daha kısa işleme süresi ve kullanıldığı ortamdaki (toprak, saksı vb.) fitotoksisiteyi azaltan yüksek vermikompost özellikleri kazanması ile sonuçlandığı bulgularına ulaşılmıştır. Vermikültür ise bu süreci çevreye duyarlı şekilde yöneten atık yönetimi için uygun maliyetli bir araçtır (Aalok vd., 2008; Rajesh Banu vd., 2001).

2.1.2 Kompost ve Vermikompost Kombinasyonu

Klasik termofilik kompostlama işleminde, aerobik koşulları korumak için organik malzemenin düzenli olarak aktarılması veya başka bir şekilde havalandırılması gerekmektedir. Bu genellikle organik malzemelerin mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde aktarılması/havalandırılmasının büyük ölçekte sürdürülebilmesi için ağır ve pahalı ekipmanı kullanımı gerektiren bir işlemidir. Kompostlamadaki ihtiyaç olan bu pahalı ekipmanların yerine aerobik koşullar altında hayatta kalabilen solucanlar kullanılarak hem malzemeyi aerobik ortamda aktarma hem de muhafaza etme rolleri ile vermikompost üreterek komposta göre avantajlı olmaktadır. Bu bariz avantajın yanı sıra, ürün (solucan gübresi) homojen ve arzu edilen karakteristik bir estetiğe sahip olup kirletici madde seviyeleri de azalmaktadır (Ndegwa ve Thompson, 2001). Vermikompost ve kompostta bulunan mikrobiyal topluluklar arasında belirgin farklılıklar mevcut ve dolayısıyla solucan gübresi ve kompostlama mikrobiyal süreçlerin doğası oldukça farklıdır (Subler vd., 1998).

Vermikompost ve kompost arasındaki farklar araştıran bir çalışmada, kağıt fabrikasından ve süt işleme tesisinden kaynaklanan çamurları vermikompostlama ürünü ile kompostlama kıyaslandığında üretim oranının %40-60 seviyelerinde arttığı rapor edilmiştir (Elvira vd., 1998). C/N oranı açısından kompost ve vermikompostun karşılaştırıldığında vermikompostun daha etkin ayrışmaya uğramasından dolayı önemli ölçüde daha az orana sahip olduğu gösterilmiştir (Lazcano vd., 2008).

Bu yöntemden ortaya çıkan kompost yalnızca yüksek kalitede olmakla kalmayıp tabloda görüldüğü gibi pH, kabul edilebilir patojen öldürme, homojenlik, daha yüksek besin maddelerini daha uygun hale getirerek ve olgunlaşma süresini azaltarak üretim maliyeti daha ucuz olacaktır (Ndegwa ve Thompson, 2001). Bu şekilde bir sonuca ulaşabilmek için entegre bir sistem olarak vermikompostlama ve kompostlamanın kullanıldığı durum planlanabilir. Tablo 1.1’de kompostlaştırma, vermikompostlama ve kompostlama-vermikompostlama kombinasyonuna tabi tutulan sığır gübresinin fizikokimyasal ve biyokimyasal özelliklerini göstermektedir. Ön vermikompostlama, daha tekdüze boyutta olmasının yanı sıra mikrobiyal olarak daha aktif olan dökümler üretmektedir. Bu malzemenin kalan stabilizasyon sürecini daha hızlı geçirmesi ve dolayısıyla genel stabilizasyon süresinin daha kısa olması beklenir. Ön kompostlama, yüksek mikrobiyal biyokütle içeriğine sahip malzemelerle sonuçlanır. Solucanlar bu mikrobiyal biyokütle üzerinde gelişir ve beklenen gelişmiş aktiviteleri, bozulma hızını da aynı şekilde hızlandırabilir. Her iki durumda da malzeme daha düzgün bir boyuta gelinceye kadar öğütülür ve karakteristik dünyevi görünüme sahiptir.

Hem kompostlaştırma hem de vermikompostlama, organik atıklar, mikroorganizmalar, nem ve oksijen içerikleri arasındaki karmaşık etkileşimleri içeren, organik atıkların aerobik biyolojik parçalanma süreçleridir. Kompost ve vermikompost, ham şekildeki organik atıklara göre toprak ekosistemiyle daha hızlı bir şekilde dengeye ulaşır. Bu özelliği kompost ve vermikompostun tarımda bitki besin kaynağı ve toprak iyileştirici olarak kullanımı oldukça değerlidir. Günümüzde bilimsel olarak termofilik kompostlama iyi bilinen ve organik atık yönetiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Beslenme ve mikrobiyal ardışıklıkla ilgili çeşitli hususlar kompostlama sürecini karakterize eder. Bu karakterizasyon sürecinde mikrobiyolojik terminolojide sintrofi veya sinerji yoluyla karışık kültür besin maddelerini ardışık şekilde birbirinin tüketimi için hazırlar. Bu durum elde edilen son ürünün özelliklerine pozitif katkı sağlamaktadır.

Lazcano ve arkadaşları inkübasyon 15 günden sonra elde ettikleri sonuçlar Tablo 2.1’dadır (Lazcano vd., 2008).

Solucan kompostlaması organik atıkların parçalanması için sürdürülebilir bir teknolojik çözüm olmasına rağmen, teknik büyük oranda araziye, emeğe ve sermayeye dayanmaktadır (Devkota vd., 2014). Kanalizasyon çamurunun iki sistem aerobik ve anaerobik paralel şekilde arıtma denenmiştir. Aerobik kanalizasyon çamurunun solucan *E. fetida* tarafından parçalanabileceği ve bu süreçte çamurun, görünüşe göre kalıplardaki mikrobiyal ayrışma oranlarındaki artışlar nedeniyle, parçalanmayan çamura göre yaklaşık üç kat daha hızlı ayrışıp stabilize olmuştur. Solucanı olmayan çamura göre koza hızla

kaybolur ve patojenik mikroorganizmaların popülasyonlarında belirgin bir azalma olmaktadır (Domínguez vd., 2000).

Tablo 2.1. Kompost ve vermikompost

Parametre	Büyükbaş hayvan gübresi	Kontrol	Kompost	Vermikompost	Kompost + vermikompost
pH	7,7 – 8,94	8,89 – 8,78	8,86 – 8,07	7,73 – 7,51	7,85 – 7,14
EC Ds/m	1,25	1,32	2,13	0,78	0,72
C/N	17	15,7	17,5	11,1	11,3
Toplam karbon g/kg	399,2	395,7	384,9	314	309
Toplam azot g/kg	23,6	25,6	22	28,3	27,4

2.1.3 Vermikompost Uygulama Alanları

Hindistan'da solucan gübresi ve bahçe toprağı farklı oranlarda buğday bitkisinin gelişimi üzerine etkisi hakkında yapılan çalışmada yatak malzemesi bahçe toprağı ve solucan gübresi 1:2 oranında karıştırılarak oluşturulduğunda bitki büyüme özelliği %72 – 76 arasında artış gözlemlenmiştir. Yetiştiricilikte yatak malzemesi olarak sadece vermikompost kullanılarak yapılan deneysel çalışma sonucunda %82 – 89 büyüme oranında artış gözlenmiştir (Krishnamoorthy ve Vajranabhaiah, 1986).

Avustralya'da yapılan bir çalışmada, solucan gübresinin üzüm bitkilerin verimini kimyasal gübreler ile kıyasla iki kat artırdığını bulmuşlardır. Solucan gübresi ile muamele edilen asmalarda salkım sayısında %18 verim üzerinde ise %23 oranına yükseliş görüldüğü belirtilmiştir (Adhikary, 2012).

Hindistan'da vermikompostun pirinç yetiştirme üzerindeki etkisi araştırılmış olup solucan gübresi ile kimyasal gübre entegre şekilde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda kimyasal gübre kullanılması ile pirinç ve tane veriminin %15,9 arttığı, pirinç üretiminde azot kaynakları organik N ve sentetik gübrelerden desteklenmiştir. Solucan gübresi yoluyla N'nin %50'si sentetik gübre ve biyogübreler yoluyla %50'sinin entegre uygulaması çalışılmıştır. Çalışmalar, daha yüksek verim elde etmek ve toprak sağlığını sürdürmek için vermikompost, sentetik gübre N ve biyogübrelerden oluşan entegre beslenmenin pirinç yetiştirme sisteminde uygulanabileceği gösterilmiştir (Appavu ve Kuppuswamy, 2001).

Solucanların (yem malzemeleriyle birlikte), solucan gübresi, inek gübresi kompostu ve kimyasal gübrelerin bamya (*Abelmoschus esculentus*) bitkisi büyüme etkisi üzerine yapılan bir çalışmada vermikompostun bitkinin vejetatif gelişimi, çiçek oluşumu, meyve kalitesi ve verim oranı üzerinde mükemmel verim artışı etkisi olduğu ortaya konmuştur. Bununla birlikte en dikkat çekici parametrelerden biri de solucan gübresi uygulanan bitkilerde “Sarı Damar Virüsü”, “Renk Çürüğü” ve “Küllenme” gibi hastalıkların çok az gözlenmesidir (Sinha vd., 2002).

Vermikompost içeren organik gübreler ile kimyasal gübrelerle karşılaştırılarak bezelye (*Pisum sativum*) büyümesi üzerine etkisi çalışılmıştır. Vermikompost, kimyasal gübre ile karşılaştırıldığında daha yüksek yeşil bezelye, bitki başına daha yüksek yeşil tane ağırlığı, daha yüksek protein içeriği, karbonhidrat yüzdesi ve daha yüksek verimi (%24,8 - %91) elde edilmiştir (Meena vd., 2007).

2.1.4 Vermikompost Üretimi

Hindistan'da yapılan bir çalışmada inek gübresi ile *Eichhornia crassipes* karışımından *Eisenia fetidası* türü solucan ile vermikompost üretim imkanı araştırılmıştır. *Eichhornia crassipes*, dünya çapında akan su kütlelerinde yaşayan, su yüzeyini kaplayan yoğun yapısı nedeniyle biyolojik çeşitliliği, balık popülasyonlarını, azaltarak ve nehirleri tıkayarak toprak sulama işlemlerini engellemesine neden olduğu için küresel olarak olumsuz üne sahiptir (Ganorkar vd., 2022; Jawed vd., 2022). Çalışmada 20 günlük bir vermikompostlama süreciyle nitrojen içeriğinin %3,2 oranında arttığı ve karışım hacminin ise %71 oranına düştüğü belirtilmiştir. Bu çalışmada tatlı su kaynaklarında istilacı olarak bilinen bu bitki türünün ekonomiye kazandırabileceğini ortaya konmuştur (Pottipati vd., 2023).

Kumar ve arkadaşları 2022 yılında Hindistan'da bir çalışmada bir göl yosununun vermikomposta dönüştürme imkanını araştırmışlardır. Çalışmada 60 günlük vermikompostlama süreci ardından pH 7,05, elektrik iletkenliği 0,837 dSm⁻¹, azot %1,15, fosfor %0,06, potasyum %1,91, organik karbon %26,2 ve C:N oranı 16,3:1 olarak belirlenmiştir. Çalışma 10 günlük periyodik örneklemelerde mevcut nitrojen, fosfor ve potasyumdaki değişikliğin artışı, 20 günlük periyodik örneklemelerde %4.01, %6.06, %4.94 daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Söz konusu faaliyetin üretim odaklı maliyet hesabı yapıldığında amortisman maliyetini 19 ay olduğu rapor edilmiştir (Kumar vd., 2023).

Hindistan'da meyve endüstrisinden kaynaklanan mango posası ile balık pazarından toplanan artıkların vermikompost üretimine kullanımı ve vermikompostun fiziko-kimyasal indeksleri değerlendirilmiştir. Araştırma, 80 günlük süre boyunca mango posası ve balık atıklarından oluşan beş sette sürdürülmüş olup elde edilen sonuçlar pH değerinde asitlikten alkaliliğe kadar değiştiği, yüksek iletkenliğe, toplam organik karbona, azot fosfora, potasyum, kükürt, çinko ve demir demire sahip olduğu belirtilmiştir (Murugan ve Senthilkumar, 2023).

2022'de Hindistan'da Soumya ve arkadaşları kahve işleme atıklarıyla kirlenmiş topraktaki fitotoksik kimyasalların kompost ve vermikompost üretilerek azaltılmasının kullanma potansiyelini araştırmışlar. Çalışmada üç uygulama denenmiştir. İlk uygulama kahve işleme atıklarıyla kirlenmiş toprağında oluşmaktadır. İkinci yöntemde kahve işleme atıklarıyla kirlenmiş toprak, inek gübresi, yosun ve ezilmiş muz yaprakları ile 6;2;1;1 oranında yerli toprakla arıtılarak doğal kompost oluşturulmuştur. Üçüncü yöntem ise ikinci yöntemdeki hazırlanan homojeni ön arıtma için 15 gün tutularak ve olgunlaşmış *Eudrilus eugienis* solucanı ile aşılansak vermikompost hazırlanmıştır. Çalışma 90 günlük bir periyotta yapılmış olup 15 gün aralıkla kafein, klorojenik asit ve tanenler gibi fitotoksik bileşiklerin konsantrasyonu. Giderim oranı sırasıyla %96, %92,08, %94,29

olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca nihai ürünün uygulamaların nitrojen sabitleyici, fosfat çözücü, nişasta hidrolize edici, pektinolitik ve kitinolitik bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmaların mikrobiyal yükünde ciddi bir artışa sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmanın sonucu olarak, hem kahve posasının hem de kahve kabuğunun, egzotik bir solucan olan *Eudrilus eugienensis* kullanılarak vermikompostlama için optimum olarak çok iyi kullanılabileceği öne sürülmüştür (Soumya vd., 2022).

2023 yılında *Eisenia fetida* solucan türü kullanılarak vermikompost üretimi için kullanılan farklı organik substratlar tropikal amerikan ağacı (Rain tree) samanı (RTS) ve mantar üretimi sonrası oluşan çeltik samanı (MÇS) kompostu kullanılmıştır. Çalışmada beş farklı substrat kombinasyonu; %25 RTS ve %75 MÇS kompostu, %50 RTS ve %50 MÇS kompostu, %75 RTS ve %25 MÇS kompostu, %100 RTS, %100 MÇS kompostu kullanılmıştır. %100 RTS ve %100 MÇS kompostu kullanılarak hazırlanan bu vermikompostların C:N oranı 9.02 ile 14.26 arasında değişmiştir. Diğer oranlar ise C/N oranı açısından birbirine daha yakın ya da eşit (%8,83) şekilde daha düşük olduğu rapor edilmiştir. Azot (%2,23), fosfor (%1,13) ve potasyum (%0,823) gibi makro besinler %100 RTS kullanılarak hazırlanan vermikompostta önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Ancak demir (1150ppm), manganez (276,5ppm), çinko (276ppm) ve bakır (73,25ppm) gibi mikro besinlerin de geri kalanından önemli ölçüde üstün olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak RTS, *Eisenia fetida* türü solucanlar kullanılarak vermikompost hazırlanmasında besin maddeleri içeren iyi bir organik madde kaynağı olabileceği öne sürülmüştür (Jadhav vd., 2023).

Bir başka çalışmada, vermikompost üretiminde nar posası ile inek gübresi kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma elde edilen sonuçlarda *Eisenia fetida* türü solucanların sayısının 90'dan 220'ye çıktığı ve biyokütlesinin yükselmesinin yanı sıra solucan kozası sayısının azaldığı rapor edilmiştir. Bununla birlikte %25 nar posası ve %75 inek gübresi karıştırma oranı en ideal oran olarak gösterilmiş olup nihai ürün özellikleri organik karbon %30,32, C/N oranı %27,87 ve toplam azotun %1,69 olduğu sonucu paylaşılmıştır. Çalışmada, kireçle nötrale edilmiş nar posasının inek gübresi ile %25 oranında kullanarak vermikompost üretim potansiyeline sahip olduğu rapor edilmiştir (Allahyari vd., 2017).

2.2 Leonardit

Leonardit doğal olarak düşük dereceli kömür (linyit) ve benzeri yapılardan ayrışma sonucu oluşan maddedir. Linyit yataklarında oksidasyona maruz kalan yüzey kısmından elde edilmektedir (Olawale ve Ojokoh, 2020). Bir başka deyiş ile leonardit, linyitin yataklarında oksidasyona uğramış olan yüzey kısmından oluşup sızan hümit asitlerce zenginleştirilmiş çökeltileri temsil etmektedir (Simandl vd., 2010).

Leonardit, linyit yataklarının çevresinde oluşan doğal bir organik madde olup linyite benzer bir yapıya sahiptir. Su bazlı sıvılarında linyit ve kömür benzeri malzemelerin kil dispersant olarak kullanıldığı bilinmektedir (Kelessidis vd., 2009; Shen ve Zhang, 2018).

Tablo 2.2. Leonardit bileşimleri (Dolphen ve Thiravetyan, 2019)

Element	%
Hümkik madde	20 - 70
Silisyum (Si)	11.40
Alüminyum (Al)	6.28
Demir (Fe)	5.56
Kükürt (S)	3.51
Potasyum (K)	1.93
Kalsiyum (Ca)	1.70
Titanyum (Ti)	0.42
Magnezyum (Mg)	0.31
Fosfor (P)	0.025

Leonardit, hümkik maddeler ve çeşitli inorganik minerallerdeki fonksiyonel grupların karboksilik ve hidroksilik bölgelerinden kompleks özelliklere sahip yüksek miktarda hümkik madde içermektedir. İnorganik mineraller, kaolin grubu (kaolonit-alüminyum silikat), (Coker vd., 2018). Ayrıca %15-70 kuruluk oranına sahiptir (Santos vd., 2007). Leonarditin %15'ten daha az hümkik asit ve yüksek mineral madde içeriğine sahip olması düşük dereceli olduğunu göstermektedir (Dolphen ve Thiravetyan, 2019). Leonardit ve linyit arasındaki en büyük fark, tamamen daha fazla sayıda karboksi-fenolik gruptan kaynaklanan oksijen içermesidir (Trckova vd., 2018).

Leonarditte karboksil, hümkik asit ve fenolik grupların daha fazla olması, yüksek oksidasyon süreci geçirdiği ve bu özelliği leonarditi linyitten farklı kılmaktadır (Meng vd., 2021; Ricca vd., 1993; Saravanan vd., 2021).

Leonardit, hümkik ve fulvik asitlerin elde edilebildiği oksitlenmiş bir linyit kömürü şeklindedir. Leonarditini ağırlıkça %55'ini karbon oluşturmaktadır. Oldukça karmaşık bir malzemedir ve hidrofobik bileşiğin su ile aşırı rekabet olmaksızın içine kaçabileceği nispeten polar olmayan bir ortam göstermektedir (Schwarzenbach vd., 2003).

Leonardit, linyit türü malzemelere göre çok yüksek oksijen (karboksilik grubu) içeriğine sahiptir. Karbonizasyon işleminde leonarditteki karboksilik asit grubu daha önce serbest kalan karbondioksiti açığa çıkarmaktadır (Chammui vd., 2014).

Leonardit genel olarak tarımda toprak düzenleyici ve gübre, su arıtımında ağır metal iyonları için adsorban, tıpta anti-viral ve antibakteriyel ve UV koruyucu ajan olarak kullanıldığı bilinmektedir (Klocking vd., 2013; Klöcking ve Helbig, 2005).

Maliyetinin düşük olması ve atıksu arıtımındaki önemli potansiyeli nedeniyle, çeşitli uygulamalarda adsorban olarak kullanılmaktadır. Organik madde ve inorganik maddece zengin olan

düşük dereceli kömürler, emici malzeme olarak kullanımı önemli avantajlar göstermektedir (Jo vd., 2021).

Leonardit, birçok sektör ve endüstride kullanılan organik, sürdürülebilir ve verimli bir hammadde sayılmaktadır. Leonardit, topraktaki organik maddenin önemli bir bölümünü oluşturan yüksek konsantrasyonlarda hümitik asit ve fulvik asit içeriği ile toprak verimliliğini artırmaktadır (Chianese vd., 2020). Böylece toprak ve yeraltı sularındaki kirliliğin azalmasına katkı sunmaktadır.

Leonardit, organik, doğal ve düşük maliyetli özellikleri nedeniyle çoğu alanda çalışma imkânı sunmaktadır. Leonardit yapısında çok çeşitli fonksiyonel gruplar barındırmakta olup bu özelliği, yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olma eğilimindedir. Ayrıca leonardit, yüksek aktivitesi, yarı iletken özellikleri, korozyona karşı direnci, yüksek sıcaklıklarda mekanik, fiziksel ve kimyasal kararlılığı nedeniyle fotokatalitik katalizör olarak kullanılmaktadır (Arslan vd., 2022).

Leonardit içindeki demir ve alüminyum gibi elementlerin, arsenik anyonlarının adsorpsiyonu ve/veya çökmesi üzerinde potansiyel etkiye sahip olması mümkünken, mikroplar tarafından siderofor (demir taşıyıcı) üretiminin, kökler tarafından tahıllara demir ve arsenik alımı rekabeti üzerinde etkisi olabilir (Dolphen ve Thiravetyan, 2019). Siderofor özelliği ile demiri bağlayan ve spesifik reseptörler kullanarak demirin çevreden hücreye hücre zarı yoluyla bakteriyel taşınma hızını artıran bakteriyel üründür. Bu özelliği tarımsal faaliyetlerde önemli katkı sağlamaktadır.

Karbonizasyon işlemi sırasında, organik madde aktif karbona dönüştürülebilir. Bu tür aktif karbonun, çok çeşitli pH seviyelerine sahip sulu çözeltiden kirleticilerin uzaklaştırılması için adsorban olarak kullanılabilir. Pratik olarak, kömür bazlı sorbentler, inorganik iyonik türlerden (ağır metal katyonları) iyonik organik bileşikler dahil olmak üzere düşük polariteli organik bileşiklere kadar çeşitli kirleticiler türlerini tutma yeteneğine sahiptir (Janoš vd., 2007).

2.2.1 Leonardit Uygulama Alanları

Polonya’da yapılan bir çalışmada leonarditin Arnika çiçeğinin gelişimine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada leonardit uygulanan toprakta verim, kalite ve enzimatik aktivite (dehidrojenazlar, asit fosfataz , üreaz ve proteaz) ile temel kimyasal özellikler incelenmiştir. Uygulanan leonardit konsantrasyonu ile bitkide çiçekli sap ve çiçek salkımlarının sayısında önemli bir artış gözlemlenmiştir. Leonarditin içerdiği yüksek karbon oranı ile konsantrasyondan bağımsız tüm leonardit uygulamalarında hem mikroorganizmalar, hem enzimler, hem de toprak pH’ındaki olumlu değişiklikler açısından topraktaki organik maddenin dönüşümünü katalize eden enzimlerin aktivitesini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir (Ausavasukhi vd., 2015).

Atık sudan Cr(vi) gidermek fotokatalitik oksidasyonu sürecinde leonardit toz halinde katalizör olarak kullanılmıştır. Çalışmada leonardit kullanımı ile atık sudan Cr(vi) ağır metalinin 100% oranında gideriminin sağlandığı rapor edilmiştir (Arslan vd., 2022).

2021 yılında Kayseri Üniversitesi'nde beton endüstrisinde, karışımların su ve Portland çimentosu içeriğini azaltmak amacı ile leonardit kullanımı üzerine araştırma yapılmıştır. Doğal bir organik madde olarak leonarditten üretilen hümitik asit bazlı bir akışkanlaştırıcı, lignosülfonat ve naftalin ile karşılaştırılarak Portland çimentosunun yanı sıra akışkanlaştırıcı performansı ve hidratasyon üzerindeki etkisi açısından incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, Leonardit ile naftalin karşılaştırıldığında Portland çimentosunun erken hidratasyon kinetiği ve priz süresi üzerine benzer etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Lignosülfonat ise Portland çimentosunun hidratasyon süresi üzerinde gecikmeye neden olmuştur. Leonardit ilavesi Portland çimentosunun hidratasyon derecesini 7. ve 28. günlerde artırdığı ve bu artış 7. günde çok belirgin olduğu tespit edilmiştir. Leonardit, %0,3 eşdeğer katı dozaj ile harçların akışıyla ölçüldüğünde, diğer katkılarla karşılaştırılabilir bir akışkanlaştırıcı performansı göstermiştir. Leonardit katkılı harçların basınç dayanımı test edilen tüm dozajlarda 3,7 ve 28 günlükken kontrol Portland çimentosu harcından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Leonarditin, hidratasyon ve Portland çimentosu özellikleri üzerindeki makul etkileri ile çimentolu sistemlerde akışkanlaştırıcı olarak kullanım için önemli bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir (Özuzun ve Uzal, 2021).

İtalya'daki bir çalışmada leonardit yem katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Çalışma hazırlanan yemlerin sütten kesilmiş domuz yavrularında yem katkısı olarak etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda hazırlanan yemlere %0,25 oranında leonardit katılmasının hayvanda serum lipid profili ve hayvan büyümesi üzerine olumlu etkisi olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, leonarditin sütten kesilmiş domuz yavrularının sağlığını ve performansını iyileştiren yeni bir yem katkı maddesi olarak kabul edilebileceği belirtilmiştir (Dell'Anno vd., 2020)

Tayland'da 2019 yılında, pirinç mahsulündeki arsenik içeriğini azaltmak üzere leonarditin kullanılmasının potansiyeli üzerine araştırma yapılmıştır. Sonuçlar, %1 (w/v) leonarditin (%91,86 ± 2,04) 2 mg/l'lik başlangıç arsenik konsantrasyonunu adsorbe etmede en yüksek etkinliğe sahip olduğunu göstermiştir (Dolphen ve Thiravetyan, 2019)

Arsenik ile kirlenmiş tarımsal topraklarda yapılan pirinç yetiştiriciliğinde elde edilen ürünlerdeki arsenik kalıntısını kabul edilebilir seviyelere indirmek için toprak ıslahı maddesi olarak leonardit ve arseniğe dirençli endofitik bakterilerin bir kombinasyonu kullanılarak araştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar %1'lik (ağırlık/hacim) leonardit (%91,86 ± 2,04) kullanımı ile 2 mg/l başlangıç arsenik konsantrasyonunu adsorbe etmede en yüksek verime sahip aynı koşullar altında küspe uçucu, pirinç kabuğu ve talaş uçucu külünden daha yüksek olduğu göstermiştir. Leonarditin yüksek alüminyum ve demir içeriğinin arsenik anyonlarına güçlü bir şekilde bağlanması ile arsenik gideriminin sağlandığı düşünülmektedir. Bu arada *Bacillus pumilus*, pirinç tanelerindeki arsenik birikimini *Pseudomonas sp.* ve *Bacillus thuringiensis*'in elde ettiği seviyenin altına düşürme yeteneğine sahip olduğu rapor edilmiştir. Bunun nedeni muhtemelen *Bacillus pumilus*'un daha yüksek siderofor üretme yetkinliğine sahip olmasıdır. Çalışmada mikroorganizma kültürü ile leonarditin kombinasyon halinde kullanılması tahıllardaki arsenik birikimini izin verilen sınırın (İnorganik arsenik için 0,2 mgAs/kg) altına düşürebileceği rapor edilmiştir. Aynı zamanda bitkide oksidatif stresi de azaltabilir ve köklerdeki düşük

arsenik ve yüksek silikon birikimiyle bitki gelişimine uygun koşulları oluşturabilir. Bu sonuç, arsenikle kirlenmiş çeltik tarlalarındaki tahıllarda arsenik birikimini azaltmak, pirinç bitkilerinin savunmasını iyileştirmek ve arsenik stresine dayanmak ve pirinç verimliliğini artırmak için kullanılabilir (Dolphen ve Thiravetyan, 2019).

Hüyük maddelerin doğal kaynakları olan leonardit ve linyitin sütten kesilmiş domuz yavrularının sağlık durumu ile ilgili göstergeler üzerindeki etkilerini değerlendirmek için üç haftalık bir deneme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada seçilen hayvanlara 20 gr/kg olarak farklı linyit ve leonardit karışımları besin olarak verilmiştir. Sağlık durumu göstergeleri olarak ishal insidansı ve şiddeti, büyüme performansı, hematolojik ve biyokimyasal durumu, oksidatif stresin biyobelirteçleri, serum yağ asidi profili ve dışkı mikrobiyota bileşimi gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğal hüyük maddelerin sütten kesilen domuz yavrularının sağlığına olumlu fayda sağlayabildiği rapor edilmiştir (Trckova vd., 2018)..

Tayland'da yapılan bir başka çalışmada leonardit adsorban olarak Kongo Kırmızısını sulu çözeltiden uzaklaştırılması için kullanılmıştır. Leonardit farklı sıcaklıklarda karbonizasyon işlemine tabi tutulduktan sonra oksijen içeren karboksilik, laktonik ve fenolik grupların, Kongo Kırmızısı'nın leonardite adsorpsiyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Karbonize edilen leonarditin yüzey kimyasının değişimi ve adsorpsiyon özelliklerini büyük ölçüde etkilediği belirlenmiştir (Ausavasukhi vd., 2015).

Tayland'da yapılan bir çalışmada leonarditin 450 °C'de karbonize edilmiş kömürün 25 °C'deki sulu çözeltiden As(III) ve As(V) iyonlarının uzaklaştırılması çalışılmıştır. Leonardite kömürünün 75 µm boyutu ile yapılan çalışmada maksimum As(III) giderimine sahip olduğu, As(V) giderimi ise %100'e yakın olduğu için olduğu rapor edilmiştir. Buna ilaveten, yeraltı suyundan alınan gerçek örneklerde arsenik gideriminin başarıyla uygulanabildiği ortaya konulmuştur (Chammui vd., 2014)

Amerika'da yapılan bir çalışmada, Leonarditi adsorban olarak kullanılarak Uranyum ile kirlenmiş sulardan uranyumun uzaklaştırılması potansiyeli araştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre leonardit uranyumu adsorbe etmek için yüksek bir eğilime sahip olduğu, bol, ucuz ve güvenli olan leonarditin sulu çözeltiden uranyumu uzaklaştırma potansiyeli sahip olduğu ortaya konulmuştur (Meng vd., 2017)

Linyit Yunanistan'da çok bol. Açık ocaklarda çıkarılır ve yalnızca enerji üretimi için kullanılır ve evsel enerji talebinin yaklaşık %70'ini karşılar. Bugüne kadar enerji dışı kullanıma yönelik özel bir ilgi yoktur. Achlada (Kuzeybatı Yunanistan) ve Zeli'deki (Orta Yunanistan) linyit açık ocaklarında Leonardit sıraları yüzeylenmektedir (Kalaitzidis vd., 2003).

2.3 Solucanlar

Eisenia fetida, *Eudrilus eugeniae* ve *Perionyx excavatus* gibi vermikompostlama sürecinde kullanılan solucan türlerinin organik atık yönetimi sırasında önemli rol aldığı (Elvira vd., 1998; Garg ve

Kaushik, 2005; Kale vd., 1982; Suthar, 2006) bununla birlikte tropikal veya subtropikal koşullarda *Perionyx excavatus* gibi yerel solucan türlerinin de gübrelemede etkili olduğu rapor edilmiştir (Kale, 1998). Epijeik ve anekik solucan türlerinin (*Perionyx excavatus* ve *Lampito mauritii*) bir kombinasyonunu içeren vermikompostlama yöntemine Vermitech adı verilmektedir (Kiyasudeen S vd., 2016).

Dünya çapında yaklaşık 3000 solucan türü bulunmaktadır. Bunlardan Hindistan'da yaklaşık 384 türün bulunduğu rapor edilmiş ve bunların ayrıntılı taksonomik çalışmaları halihazırda yapılmıştır. Her bir solucan yaklaşık 0,5 – 0,6 g ağırlığında olup ağırlığı kadar atık yemektir ve bir günde tükettiği atığın miktarının yaklaşık %50'si kadar atık üretmektedir. Solucanlar çeşitli organik atıkları tüketerek hacmini %40 – 60 oranında azaltmaktadır. 6 haftalıkken solucan üremeye başlar. Uygun gıda ve hava koşullarında bir çift solucan 6 hafta ile 6 ay arasında yaklaşık 100 koza (yumurta) üretebilmektedir (Adhikary, 2012).

Vermikültürün endüstriyel faaliyetlerinde kullanılan ve aerobik kompost veya inek gübresi yığınlarında sıklıkla rastlanan kompost diğer adıyla gübre üreten solucan türleri şunlardır: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Dendrobaena veneta*, *Lumbricus rubellus*, *Perionyx excavatus*. Bunlardan *E. fetida*, *E. andrei*, *D. veneta* türleri ılıman iklim kuşağındaki bölgelere adapte olurken, *L. rubellus* ve *P. excavatus* türler sıcak tropik iklim alanlarına daha kolay adapte olarak gelişimleri daha iyi olmaktadır. Bu beş tür solucan, organik atık ve artıkları azaltmak için yapılan vermikompost çalışmalarında en iyi sonuçları veren solucan türleridir (Edwards ve Bohlen, 1996).

Vermikültür endüstrisi faaliyetlerinde kullanılan ve aerobik kompost veya inek gübresi yığınlarında sıklıkla rastlanan kompost diğer adıyla gübre solucanı türleri şunlardır:

- *Eisenia fetida* (tiger worm)
- *Eisenia andrei* (red tiger worm)
- *Dendrobaena veneta*
- *Lumbricus rubellus* (red worm)
- *Perionyx excavatus* (Indian blue worm)
- *Eudrilus eugeniae* (African nightcrawler)
- *Fletcherodrilus spp*
- *Heteroporodrilus spp*
- *Pheretima excavatus*

E. fetida, *E. andrei*, *D. veneta* türleri ılıman iklim kuşağındaki bölgelere iyi adapte olurlar. Bu sayılan türler içinde, ticari amaçla kurulan vermikompost işletmelerinde en fazla tercih edilen tür *Eisenia fetida* ve ikinci olarak da *Lumbricus rubellus* tur (Ceritoğlu vd., 2019)

Eisenia fetida’nın en fazla tercih edilen tür olmasında rol oynayan birçok sebep mevcuttur. Bunlar:

- 1) Bu tür hızlı besin tüketir ve daha yüksek üreme ve popülasyon artış oranlarına sahiptir.

- 2) Yeterli besin içeriğine sahip ortamda yaşama, mevcut besini tüketme ve popülasyon kapasitesi yüksektir,
- 3) Çok farklı iklim ve çevre koşullarına uyum sağlayabilmektedir.
- 4) Uygun çevre koşulları ve kolay ulaşılan yeterli miktarda besin kaynağı mevcut ise popülasyon artışı çok hızlı olmaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996)

Bu sebeplerden dolayı *Eisenia fetida*, özellikle ılıman iklim kuşağındaki coğrafyalarda olmak üzere tüm dünyada ticari veya ticari özellikte olmayan vermikompost işletmelerinde en fazla tercih edilen ve en fazla kültürü yapılan solucan türüdür.

Solucanlar, Annelida filumu altında Oligochaeta sınıfına ait, metamerik olarak parçalanmış, vermiform, deri soluyan sölomat omurgasızlardır. Hareketlerine, sölomun hidrostatik fonksiyonu ve segmental olarak düzenlenmiş kitinöz kıllar yardımcı olur. Terminal ağzı ve anüsü olan basit, düz bir beslenme kanalına sahiptirler. Dolaşım sistemi kapalı tiptedir. Merkezi sinir sistemi, eşleştirilmiş serebral ganglionlar (Beyin), eşleştirilmiş subözofageal gangliyonlar, serebralleri subözofageal gangliyonlarla birleştiren sirkumözofageal bağlaçlar ve subözofageal ganglionlardan kaynaklanan ventral sinir kordonu ile basittir. Ayrı bir endokrin bezleri yoktur; bunun yerine, yüksek derecede vaskülarize edilmiş merkezi sinir sistemi ve çok sayıda nörosekretuar hücre, nöroendokrin sistem olarak görev yapar. Nörosekretuar hücreler, Oligochaetes'teki büyüme, üreme, koza dökme, yenilenme, termal iklimlendirme, osmoregülasyon vb. gibi tüm fizyolojik olayları kontrol eden hormonların (nörohormon) tek kaynağıdır.

Yer üstündeki yaprak döküntülerinin yok edilmesinde ve bitki artıklarının parçalanmasında solucanın rolünden kullanılmaktadır. Solucan fiziksel olarak bir havalandırıcı, kırıcı, karıştırıcı, kimyasal olarak parçalayıcı ve biyolojik olarak ayrıştırıcı sistemde uyarıcıdır (M. J. Mitchell, 1978). Solucanın kazma faaliyetleri toprağın havalanmasını ve gözenekliliğini artırır, böylece su tutma kapasitesi artar.

Solucan bilim insanları tarafından genellikle solucanlar üç geniş ekolojik grup olmak üzere şu şekilde sınıflandırılır: epigeik, endogeik ve aneik. Epigeik solucanlar (örneğin *Perionyx excavatus*) sıgır gübresi, çöp yığınları gibi organik maddelerde yaşamaktadır. Genellikle küçük ila orta büyüklükte, derin pigmentli, karın kısımları düz ve rahatsızlığa karşı dayanıklıdır. Daha yüksek doğurganlığa ve yenilenme kapasitesine sahiptir (Banik ve Chaudhuri, 2017; Bhattacharjee ve Chaudhuri, 2002). Kansız solucan (*Metaphire houlleti*) topraktaki derin dikey yuvalarda yaşar ve ölü yaprakları ve diğer çürüyen organik maddeleri yuvalarına çekmek için geceleri ortaya çıkmaktadır. Anezikler fitojeofagdır. Genellikle büyük, orta ila ağır pigmentlidirler ve bozulmaya karşı toleranssızdır. Endogeik türler (*Pontoscolex corethrurus*) nadiren yüzeye çıkar. Mineralli toprak katmanlarında yaşarlar, organik maddeden çok toprakla beslenirler ve bazı rahatsızlıklara karşı dayanıklıdır. Hem endojen hem de aneik, sınırlı yenilenme kapasitesiyle uzun bir yaşam döngüsüne sahiptir (Banik ve Chaudhuri, 2017). Ilıman bölgelerin aksine, tropik bölgelerdeki solucan türlerinin çoğunluğu jeofag yani endojendir ve yalnızca birkaçı zararlıdır (Lavelle, 1978). Hem endojen hem de aneik solucanlara toprak ekosistemi

mühendisleri denir ve toprak üstü mahsul gelişimi için toprak sağlığı sağlarlar. Epigeic solucanlar, toprak döküm faaliyetleriyle üst toprağın besin içeriğini artırır.

2.3.1 Toprak Solucanlarının Farklı Malzemelerden Vermikompost Üretiminde Kullanılması

Deri işleme endüstrisi atık suları bertarafı sırasında oluşan çamurunun değerli bir ürüne dönüştürülmesinde *Eisenia fetida* türü solucanın kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deri işleme endüstrisi çamuru solucanlar için toksik bir madde olarak bilinmektedir. Bu nedenle sığır gübresi ile farklı oranlarda karıştırılmış ve çalışmada çamur %0 (T0), %10 (T10), %25 (T25), %50 (T50) ve %75 (T75) oranlarda inek gübresi ile karıştırılmıştır. Solucanların minimum ölüm oranı ve en yüksek popülasyon artışı T0 numunesinde olduğu belirtilmiştir. Azot, sodyum, fosfor ve pH başlangıçtan itibaren sırasıyla %7,3-66,6, %16,90-70,58, %8,57-44,8 ve %2,8-13,65 aralığında artmıştır. Bununla birlikte potasyum, organik karbon ve elektrik iletkenliği sırasıyla %4,34-28,5, %7,54-22,35 ve %32,35-53,12 aralığında düşüş göstermiştir. Nihai ürünlerdeki sonuçlar ise C:N oranı %20,53 - %47,36 aralığında düşmüştür. Geçiş metalleri başlangıç değerinden önemli ölçüde ve izin verilen sınır dahilinde artış sağlamıştır. *Eisenia fetida* ile vermicompostlama, tabakhanenin çamuru kısa sürede besin açısından zengin gübreye dönüştürmek için uygun materyal olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Vig vd., 2011).

Bir başka çalışmada toprak üstündeki yaprak döküntüleri ve bitki artıklarının parçalanmasında solucanın etkin rol aldığı ifade edilmiştir. Solucan fiziksel olarak bir havalandırıcı, kırıcı, karıştırıcı, kimyasal olarak parçalayıcı ve biyolojik olarak ayrıştırıcı görevi üstlenir (Mitchell 1978). Solucanın toprakta hareketi sırasında oluşan kazma faaliyeti toprağın havalandırılmasını ve gözenekliliğini artırır, böylece su tutma kapasitesi artar (Bhat vd., 2020).

Çin’de yapılan bir çalışmada *Metaphire guillelmi* türü solucanın toprak erozyonu etkisi araştırılmıştır. Toprakla doldurulmuş yapay yamaçlar (mezokozmlar) üzerinde yağmur simülasyonu deneyleri yapılmıştır. 15 günlük solucan faaliyeti ve 1 saatlik yağmurdan elde edilen veriler, solucan faaliyetinin yüzey akışını önemli ölçüde azalttığı ancak toprak erozyonunu artırdığını göstermiştir. Akışın başlama süresi 2,7-3,1 kat artmasıyla birlikte su sızmasının artmasına katkıda bulunduğu ve akış miktarları ve oranları, solucan aktivitesi altında kontrollere göre sırasıyla %35,8-61,6 ve %35,1-60,8 daha düştüğü belirtilmiştir. Solucanlar toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini büyük ölçüde etkilemiştir ve bu özellikler, akışın başlama süresi ve kümülatif akışla güçlü bir şekilde ilişkilidir. Solucanların toprak yüzeyinde ürettiği yüzey döküntüleri tamamen dağılarak kümülatif çökeltiyi maksimum %169 oranında artırmıştır (Wen vd., 2022).

Çin’de yapılan bir çalışmada vermifiltrede solucanların varlığı, uçucu askıda katı maddede %20,9 oranında azalmış olup çamurun önemli ölçüde stabilizasyonuna yol açtığı belirtilmiştir. Çamurla beslenen solucanların çoğalması, solucan biyokütlesinde artış gözlemlenmiştir. Bu da solucanların vermifiltre ortamına iyi uyum sağladığını göstermektedir. Vermifiltrede solucanlarının fizyolojik adaptasyonunu ve metabolik özelliklerini belirlemek için spesifik yağ asidi bileşiği kararlı izotop

teknolojileri ile birlikte toplu kararlı izotop kullanılarak daha ileri araştırmalar yapıldığı belirtilmiştir. Kütükülde gözlemlenen hasar ve goblet hücrelerinin yoğunluğu, solucanın çevre stresinden muzdarip olduğunu göstermiştir. Ancak solucanlar antioksidan enzim sistemlerini normal fizyolojik fonksiyonlarını sürdürecektir şekilde ayarlayabilirler. Toplu kararlı izotop ve spesifik yağ asidi bileşiği kararlı izotop analizleri, yavruların fiziksel metabolizmasının olgun solucandan itibaren daha aktif olduğunu gösterdiği belirtilmiştir. Bu da, solucan kuluçkalarının artan oranının, vermifiltrede sistemindeki solucan popülasyon yapısını optimize etmenin etkili bir yolu olabileceği öne sürülmüştür. Vermifiltrasyon yoluyla çamur stabilizasyonunun geliştirilmiş arıtma performansı fark edilmiştir (Xing vd., 2016).

Hindistan'da yapılan bir başka çalışmada belediye katı atıklarının ve kanalizasyonun organik fraksiyonlarının birlikte arıtılmasına yönelik solucan reaktörlerinin performans değerlendirmesi, *Eisenia fetida*, *Perionyx excavatus* ve *Perionyx sansibaricus* üç farklı solucan türü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar 120 gün boyunca kontrol reaktörü ile karşılaştırıldığında kanalizasyon 1 m³/m²/gün hidrolik yükleme oranında uygulanmıştır. Solucan biyokütlesinde önemli bir artış kaydedildiği ve solucanlara bağlı arıtma süreci, toplam organik karbonun %65-75, KOİ %85-86, BOİ %84-87, amonyak nitrojeninin %45-59 ve koliformların %99,9 oranlarında giderim sağlamıştır. Ancak arıtılmış atık sularda daha sonra nitrat nitrojeninde %172,5-186,7 ve toplam fosforda %161-201 artış ve katı atık numunelerinde besin artışı gözlemlenmiştir. Taramalı elektron mikroyrafları, nihai ürünlerin (solucan gübresi), ağırlıklı olarak küresel hücre benzeri yapı ve önemli ölçüde daha az sayıda filamentli bakteri ile karakterize edilen ilk katı atık numunelerinden farklı bir fiziksel görünüm sergilediğini ortaya çıkardı belirtilmiştir. Ayrıca, bu üç solucan türünün ve belediye kanalizasyonunun yerinde ortak arıtımı için uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Rajpal vd., 2014).

2022 yılında Hindistan'da yapılan bir çalışmada *Eisenia fetida* türlü solucanın tekstil firmasından gelen sentetik boya Metilen mavisi ile kirlenmiş sanayi atık su arıtımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada şeker kamışı solucanın yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen nihai ürünün (solucan güresi) kompost parametrelerinin fiziko-kimyasal karakterizasyonu yüksek kalitesini gösterdiği rapor edilmiştir. Boyanın giderimi ise 60 gün sonra %98 giderim olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmadaki solucanların biokütle üreme faaliyeti daha düşük olduğu ve solucanlarda vücut renginde ve doku mikro yapısında değişiklikler olduğu rapor edilmiştir. Ancak solucanlar vermikompostlama işleminden çıkarıldıktan sonra normale döndüğü ve 60 gün içinde üreme etkinliği yeniden kazandığı belirtilmiştir (Dey vd., 2017).

Hindistan'da yapılan bir çalışmada vermikompost üretiminde inek gübresi, kurtulmuş mantar samanı ve yosun (*Ipomoea staphylina*) ham madde olarak kullanımı araştırılmıştır. Nihai üründe organik madde, organik karbon, selüloz, lignin, C/N ve C/P oranlarında azalma gözlemlenmiştir. Elektriksel iletkenlik, toplam NPK, kalsiyum, sodyum ve nitrat-nitrojende ise önemli bir artış rapor edilmiştir. Sonuçlar inek gübresi, kurtulmuş mantar samanı ve yosun ham maddelerinden sırasıyla 1:1:1

oranında oluşan homojen vermikompost üretimi ve besin geri kazanımı için yosun türü *Ipomoea staphylina* biyokütlesinin kullanılması için uygun olduğunu göstermiştir (Balachandar vd., 2021).

Avustralya’da yapılan örtü altı türlü tarımsal bir çalışmada solucanların *Aporrectodea trapezoids* buğday bitkilerinin *Triticum aestivum* büyümesini %39, tane verimini %35, tahılın protein değerini %12 artırdığı ve toprak hastalıklarına karşı dirençli olduğu bulunmuştur (Baker vd., 1997).



3 MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Leonarditin vermikompost üretimindeki etkinliğini belirlemek amacıyla leonardit ve stok kompostun (SK) belirli oranlarda karışımları hazırlanmıştır. Stok kompost, *Eisenia fetida* türü toprak solucanlarının beslenme diyetlerinde yer alan inek gübresi, meyve ve çay posasının belirli oranlarda karışımından elde edilmiştir. Stok kompostta kullanılan inek gübresi yakınlardaki bir büyükbaş hayvan çiftliğinden; meyve posası bölgemizde faaliyet gösteren meyve konsantresi ve suyu üretimi yapan bir fabrikadan ve çay posası ise üniversite kampüsü içerisindeki kafeteryalardan alınmıştır. Leonardit ise Adıyaman'da bulunan bir leonardit yatağından temin edilmiştir. Denemelerde kullanılan *Eisenia fetida* türü toprak solucanları ve standart plastik vermikompost kutuları ticari bir firmadan satın alınmıştır.

3.2 Yöntem

Bu çalışmanın hedefine ulaşmak için aşağıdaki metot kullanılmıştır.

3.2.1 Stok Kompost (SK) ve Leonardit Karışımlarının Hazırlanması

Vermikompostun ticari olarak üretiminde yüksek verim elde etmek amacıyla hayvan gübresi, meyve-sebze artıkları, çay-kahve posasından hazırlanan solucan yemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada da leonardit ile karıştırılmak üzere inek gübresi, çay ve meyve posaları sırasıyla 2:1:1 oranında karıştırılarak stok kompost hazırlanmıştır. Çalışma sırasında kullanılan stok kompost nemi %75-80 oranında sabit tutulmuştur. Ön ayrışma sırasında üretilen ısıyı dağıtmak için haftada bir kez karıştırılarak 1 ay stabilize olması için bekletilmiştir. Daha sonra SK ile %0, %25, %50 ve %75 leonardit karışımları hazırlanarak stabilizasyon için tekrar 1 ay bekletilmiştir.

3.2.2 DeneySEL Kurulum

Mikroorganizmaların vermikompost işlemindeki etkisini belirlemek üzere %0, %25, %50 ve %75 leonardit içeren karışımlar solucan olan ve solucan olmayan şekilde planlanmıştır (Tablo 3.1). K0 iki paralel, K1, K2, K3 üç paralel ve KN0, KN1, KN2, KN3, KN4 tek olarak çalışılmıştır. %100 leonardit içeren vermikompost kutusunda tüm solucanlar 10 gün içerisinde öldüğünden bu kısım çalışmaya dahil edilmemiştir.

Tablo 3.1. Deneysel Kurulum Oranları

Karışım (%)	Solucan olan	Solucan olmayan
%100 SK + %0 Leonardit	K0	KN0
%75 SK + %25 Leonardit	K1	KN1
%50 SK + %50 Leonardit	K2	KN2
%29 SK + %75 Leonardit	K3	KN3
%0 SK +%100 Leonardit*	K4	KN4

Çalışmada solucanlı numuneler için 40 x 40 x 10 boyutunda kutular kullanılmıştır. Her bir vermikompost kutusuna toplam 5 kg olacak şekilde Tablo 3.1’de verilen oranlarda hazırlanan karışım koyulmuştur. Yine her bir kutuya 200 tane ergin *Eisenia fetida* eklenerek inkübasyon başlatılıp 60 gün sürmüştür. İnkübasyon boyunca dışardan besin takviyesi yapılmamıştır. Deney süresince nem %75-80’de ve sıcaklık 25-30 °C’de sabit tutulmuştur. Vermikompost kutuları karanlık bir ortamda muhafaza edilmiş ihtiyaç halinde loş bir aydınlatma yapılmıştır. Deney süresince analiz için 10 gün ara ile 200 g numune alınmıştır.

**Şekil 3.1.** Çalışma Sistemi

3.2.3 Fizikokimyasal Analizler

Çalışmada yapılmış analizler aşağıda belirtilmiştir.

1. pH (dijital pH ölçer-ISOLAB)
2. İletkenlik (dijital iletkenlik ölçer-HACH-HQ440d multi)

(LT NUVE) iki gün 65°C sıcaklıkta kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutulan numuneler havan ile öğütülüp 35 mesh elekten elenerek homojen hale getirilerek analizler yapılmıştır. 1/10 (w/v) sulu çözelti

(saf su) içerisinde 24 saat boyunca numuneler manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak pH ve Elektriksel İletkenlik analizleri yapılmıştır.

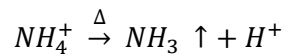
3. Toplam Kjeldahl Azotu (Horwitz, 2000)

Organik azot ve amonyak azotunun birlikte tespit edilebilmekte ve Toplam Kjeldahl Azotu (TKN-N) olarak ifade edilmektedir. Kjeldahl azot tayinin esası, numunenin içindeki organik maddeleri kuvvetli oksitleyici koşullarda parçalama işlemi ile amonyak azotuna dönüştürmek ve amonyak tayininde kullanılan titrasyon yöntemi ile tayin edilir. Sonuçta hem amonyağa dönüştürülen organik azot, hem de suyun içindeki amonyak birlikte ölçülmüş olur. Parçalanma işlemi; kjeldahl parçalanması olarak bilinen reaksiyon; derişik asitli ortamda kaynama balonundaki suyun buharlaşması, sülfürik asitin kaynamaya başladığı beyaz renkli duman çıkarması ile başlar. Organik kısım önce kararır, sonra karbonun kabarcıklar halinde CO₂ olarak ortamdan uzaklaşması gerçekleşir. Su örneği tekrar berraklaştıktan 20 dk sonra reaksiyon sona erer. Böylece tüm organik azotun amonyak azotuna dönüştüğü kabul edilir. Sülfürik asitin fazlası fenolftalein indikatörü kullanılarak nötrale edilir. Daha sonra pH 7 civarında suda kalan NH₃-N azotu normal amonyak azotu tayin yöntemlerinden biri ile ölçülür.

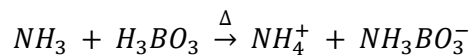
Distilasyon ile Amonyak Tayin Yöntemi; Distilasyon yöntemi amonyağı girişim yapan maddelerden ayırmaya yarar. Amonyum iyonları amonyak ve hidrojen iyonu ile denge halindedir.



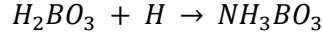
pH>8 değerleri için denge sağa doğru kayar ve numune kaynatıldığında amonyak gaz formunda ortamdan ayrılır.



Amonyağın ortamdan ayrılması ile kalan hidrojen iyonları pH'ın düşmesine neden olur. bu yüzden NaOH ile dengelenir ve borat tamponu ilave edilir. Ayrılan amonyak distilasyon ile içinde borik asit bulunan kaplarda toplanır. Mükemmel bir tamponlayıcı olan borik asit amonyak ile aşağıdaki tepkimeyi verir.



Daha sonra Amonyak kuvvetli bir asitle geri titrasyon yardımıyla ölçülebilir. Bu titrasyonda aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir;



Bu reaksiyon çözeltideki borat iyonlarını bulmaya yarar. Borik asit çözeltisi normal pH'sına düştüğünde, amonyağa denk miktarda kuvvetli asit ilave edilmiş demektir.

Kullanılan araç gereçler

- Buchi (K-350) marka distilasyon sistemi Şekil 3.2
- Distilat toplamak için uygun erlenler.
- Titrasyon düzeneği.



Şekil 3.2. Distilasyon sistemi

Deneyin yapılışı:

1. İlk olarak ısıtma için cihazı çalıştırılır. Çünkü 30-40 dakikada ancak ısınmaktadır.
2. Cihaz için her tüp içerisine 1 g numune, 1 adet kapsül ve 10 ml sülfürik asit eklenmelidir.
3. 420 C'ye gelen cihaz içerisine hazırlanan numuneler eklenir ve kapak ile ağızları kapanır, cihaz için musluk açılır.
4. 80 dakika sonra cihaz kapatılır, musluk kapatılır ve dikkatlice tüpler çıkartılarak 30 dakika soğumaya bırakılır.
5. Soğuyan tüplerin her birinin içerisine 25 ml saf su eklenir.
6. Distilasyon işlemi için; cihazın NaOH (her numune için 20 ml olacak şekilde) ve saf su miktarı kontrol edilir ve cihaz açılır. 3 dakika ısıtma işleminden sonra 1 tüp içerisine 25 ml saf su konur ve boş bir erlen yerleştirilerek, erlenin tamamı dolana kadar Steam alınır.

7. Steam işlemi sonrasında, her bir numune için, her erlenin içine 25 ml Borik asit konulur. Sıra ile numunelerin bulunduğu tüpler ve erlenler yerleştirilerek distilasyon işlemi yapılır. Titrasyon için 150 ml yeterlidir. her bir tüp distilasyondan çıkartılırken yanmaz eldive ile tutulup atık şişesine boşaltılmalıdır.
8. 150 ml alınan distilasyon sonucu numunemizin içerisine 10’ar damla metil red indikatörü damlatılır ve 0,2 M HCl ile titre edilir. Sonuçlar kaydedilir.

$$TKN = \frac{V_t \times M \times 14,01 \times 1000}{V}$$

TKN: Yüzde Azot miktarı

14.01: Azotun Kütlece ağırlığı

M : HCl Molaritesi

V_t : Titrasyon sarfiyatı

V : Numune gramı

4. Toplam organik madde (hazırlanan numune kül fırınında (protherm-furnaces) 550°C’de 4 saat boyunca yakılması sonucu belirlenmiştir)
5. Toplam organik karbon (toplam organik madde ile hesaplanmıştır) (Iglesias Jiménez ve Pérez García, 1992).

$$TOK = TOM / 1,8$$

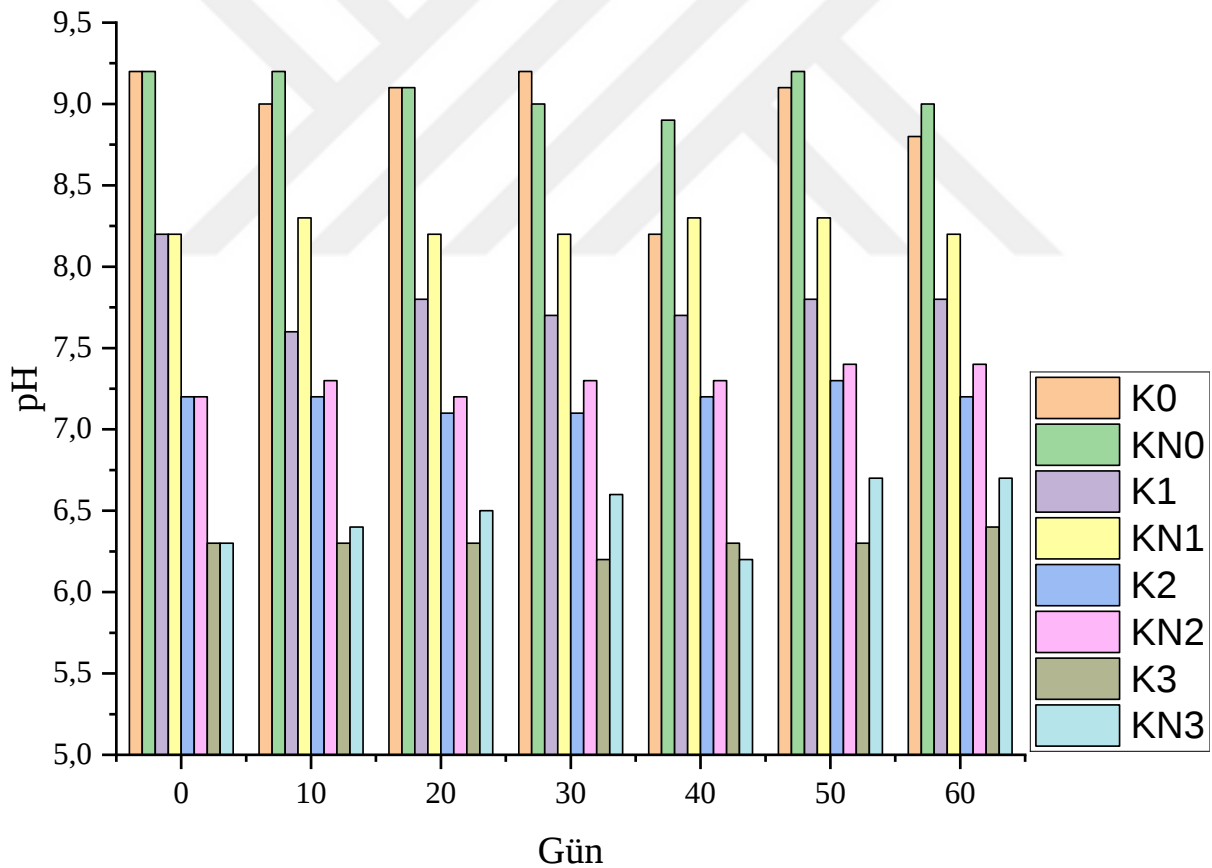
6. Yoğunluk (Shahgholi ve Jnatkhah, 2018)

Numuneler halkalı öğütücü ile öğütüldükten sonra 15 ml’lik tüplerde nemonların yoğunluğu gr/ml biriminde bulunmuştur.

4 BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Karışımdaki Leonardit Oranının pH'a Etkisi

Aşağıda bulunan şekil 4.1'de gibi 60 gün boyunca KN0 deney setindeki pH değeri 8,7 – 9,5 arasında değişmiştir. Fakat leonardit asidik bir yapıya sahip olduğu için numunelerde leonardit kullanım oranı arttıkça pH değeri azalma göstermektedir. Organik materyallerin ayrışması farklı ara bileşiklerin oluşmasına neden olur ve bu da pH'ı düşürmektedir (Yadav vd., 2013). Çalışmada leonardit ilavesi yapılmış örneklerde solucanlı ve solucansız numunelerde pH değişiminin çok fazla olmayıp stabil devam ettiği ancak solucan ilavesi yapılmış numunelerde 10. Günde yapılan pH ölçümlerinde literatürde yapılan çalışmalarda olduğu gibi organik içeriğe sahip leonardit proste ilk on gün içerisinde pH değerinde düşmeye sonrasında ise stabil değeriyle devam ettiği görülmüştür. Farklı organik substratların solucan gübresi üretimi sırasında pH'ın azalması, mevcut çalışma bulgularını desteklemektedir (Devi ve Khwairakpam, 2020; Gong vd., 2019).



Şekil 4.1. Çalışma boyunca pH değişimleri

Solucan gübresindeki azalan pH değerleri geleneksel kompostla karşılaştırıldığında, N ve P mineralizasyonu, organik materyallerin ara organik asitlere, fulvik asitlere, humik asitlere mikrobiyal ayrışması (Albanell vd., 1988; Chan ve Griffiths, 1988; Lazcano vd., 2008; Subler vd., 1998) ve eş

zamanlı olarak da CO₂ üretimine bağlanabilir (Elvira vd., 1997b; Garg vd., 2006). Bunun yanı sıra pH'daki azalma aynı zamanda nitrojen tutulmasında da önemli bir faktördür çünkü bu element daha yüksek pH değerlerinde uçucu amonyak olarak kaybolur (Frances. Hartenstein vd., 1981).

K1 numunelerdeki pH değeri 6,4 – 7,9 değişmesi, solucanların etkisini yansıtip vermikompost özellikleri ortaya çıkmaktadır.

Solucanlar pH'a karşı çok hassastır, dolayısıyla toprağın veya atıkların pH'ı bazen solucanların dağılımını, sayısını ve türünü sınırlayan bir faktör olabilir. Vermikompostlama sırasında substrat pH'ının etkisi hakkında çok az bilgi mevcuttur (Edwards, 1995; Mallappa vd., 2010) geniş bir pH aralığı bildirmesine rağmen (Narayan, 2000; Pagaria ve Totawat, 2007; Panday ve Amalesh, 2009; J. Singh, 1997; Suthar, 2008b), birçok araştırmacı solucan türlerinin çoğunun yaklaşık 7,0 pH'ı tercih ettiğini belirtmiştir.

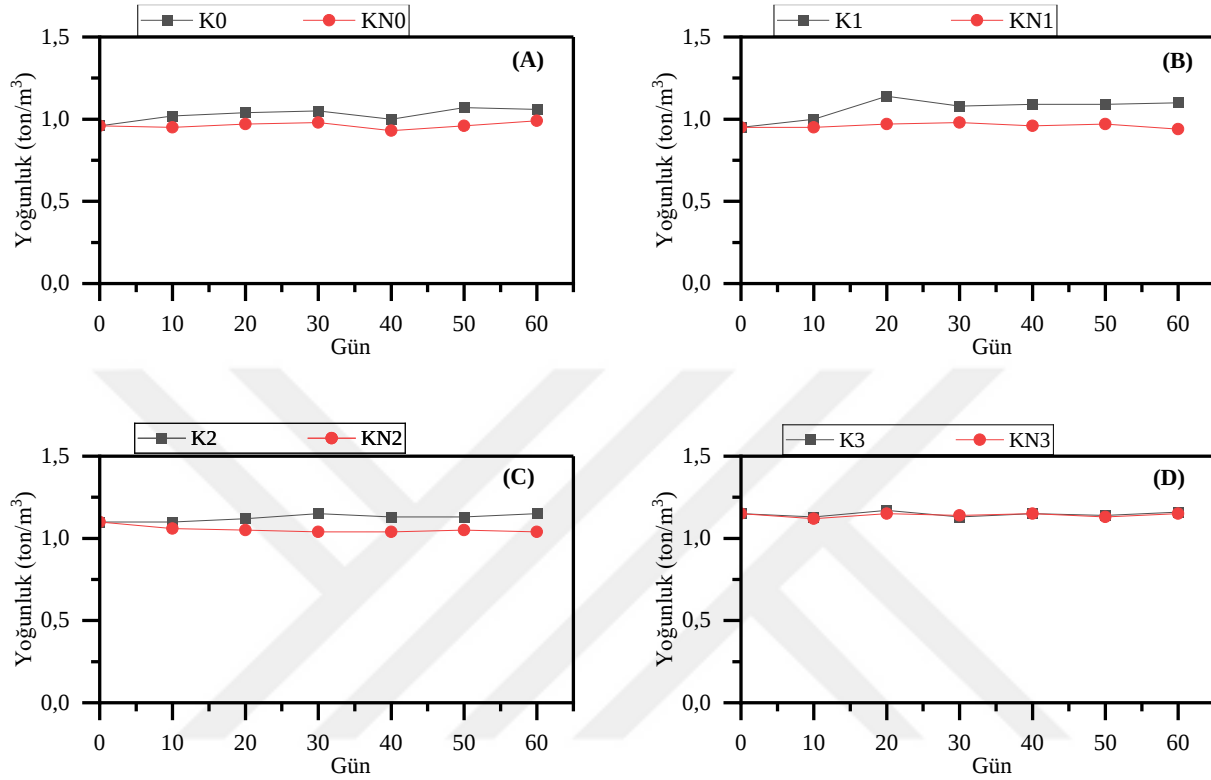
Organik atık yönetiminde solucanların verimliliğini maksimuma çıkarmak için geniş bir pH aralığı (5.0-9.0) bildirmiştir (Dominguez ve Edwards, 2011). *Lumbricus terrestris*, Ohio, ABD'de pH'ı 5.4 olan topraklarda bulunur (Olson, 1928). (Bhawalkar, 1989), derin oyuk türü *Pheritima elongata* kullanılarak vermikompostlama için nötr bir substrat pH'ı önerdi. (Satchell, 1955), *Bimastos eiseni*, *Dendrobaena octaedra* ve *Dendrobaena rubida*'nın asit toleranslı türler olduğunu, *Allolobophora caliginosa*, *Allolobophora nocturna*, *Allolobophora longa*'nın ise asit toleranssız türler olduğunu bildirmiştir (Edwards, 1995). (Satchell, 1955), *Bimastos eiseni*, *Dendrobaena octaedra* ve *Dendrobaena rubida*'nın asit toleranslı türler olduğunu, *Allolobophora caliginosa*, *Allolobophora nocturna*, *Allolobophora longa*'nın ise asit toleranssız türler olduğunu bildirmiştir. Satchell ayrıca *L. terrestris*'in pH'a karşı çok duyarlı olmadığını bildirmiştir ve (Guild, 1951) bu sonuca katılmıştır. (S. Singh vd., 2005), *P. excavatus*'un çok çeşitli substrat pH'larında iyi performans gösterdiğini bildirmiştir. Pres çamurunun *M. megascolex*, *E. eugeniae* ve *E. fetida* ile işlenmesi sırasında pH değerlerinde meydana gelen düşüş, 60 günlük bir süre boyunca solucan işleme sırasında pH'da 8,6'dan 6,7'ye düşme eğilimi göstermiştir (Munnoli, 2007).

Aktif çamurun solucan gübresi üretimi için optimal pH aralığını 5-8 olarak belirlemiştir (Kaplan vd., 1980). Vermikompost üretimi için kullanılan solucan türleri (*E. fetida*, *L. mauritii* ve *Pheritima elongata*) ile yapılan çalışmada elde edilen ürünün pH'ında bir düşüş olduğu rapor edilmiştir (Narayan, 2000; J. Singh, 1997; Suthar, 2008b). Dolayısıyla çalışmada elde edilen sonuçlar literatür tarafından desteklenmektedir.

4.2 Karışımdaki Lonardit Oranının Yoğunluğa Etkisi

Vermikompostlama süreci başlamadan önce ön kompostlama verimi etkileyen parametreler arasındadır. Vermikompostlama öncesinde gerçekleşen kompostlama sürecinde kaliteli bir kompost elde etmek için çeşitli faktörlerin kontrol edilmesi gerekir. Bu süreçte organik maddelerin bozulması yığın yoğunluğu, gözeneklilik, parçacık boyutu, besin içeriği, C/N oranı, sıcaklık, pH, nem ve oksijen

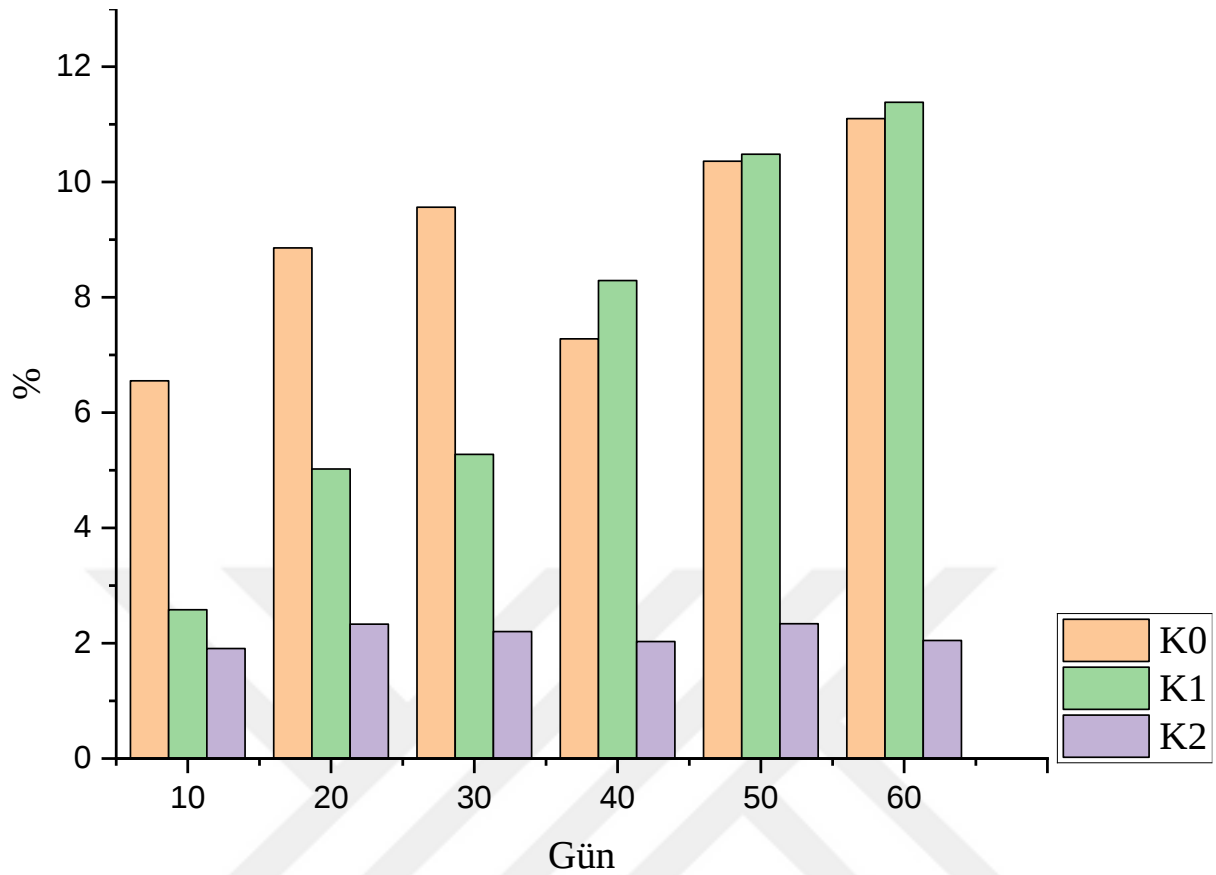
kaynağı gibi parametrelerin kontrolü ile mikrobiyal gelişim için en uygun koşullar belirlenmesi anahtar niteliğinde olduğu rapor edilmiştir. (Bernal vd., 2009). Bu sürecin devamında gerçekleşen vermikompostlama sürecinde de yukarıdaki parametrelerden yoğunluk sürecin takibi açısından kontrol parametrelerinden biridir.



Şekil 4.2. Çalışma süresi boyunca yoğunluk değişimi

Bu parametre vermikültür sürecinde yoğunluk değerinin azalması, ortamda mevcut olan organik maddeler solucan tarafından parçalanıp vermikompost oluşumu anlamını yansıtmaktadır. Vermikompostlama sırasında organik madde ayrışmasının bir fonksiyonu olarak yoğunluktaki benzer bir azalma göstergesi vermikompostlama sürecinin tamamlandığını ifade eden bir çalışma olarak (Goswami vd., 2014) tarafından rapor edilmiştir.

Vermikompost üretiminde yaygın olarak kullanılan yatak malzemeleri hayvan gübresi ve biyolojik katılardır. Khan tarafından yapılan bir çalışmada yatak malzemesi olarak hayvan gübresi, biyolojik katılar ve kâğıt çamuru gibi yoğun olan substratları, havalandırmak ve hacim oluşturmak amacıyla paralanmış kâğıt, saman ve turba yosunu gibi hacim artırıcı malzemeler kullanılmıştır (Khan, 2006a). (Domínguez vd., 2000) tarafından yapılan çalışmada kanalizasyon çamuru ve kâğıt karışımı ile yapılan substrat beslenmesi sadece kanalizasyon çamuru beslemesi ile kıyaslanmış ve kanalizasyon çamuru ile kâğıt karışımı ile beslendiğinde solucanlarda daha yüksek büyüme oranı gösterdiği rapor edilmiştir.



Şekil 4.3. Çalışma boyunca yoğunluk artış oranı

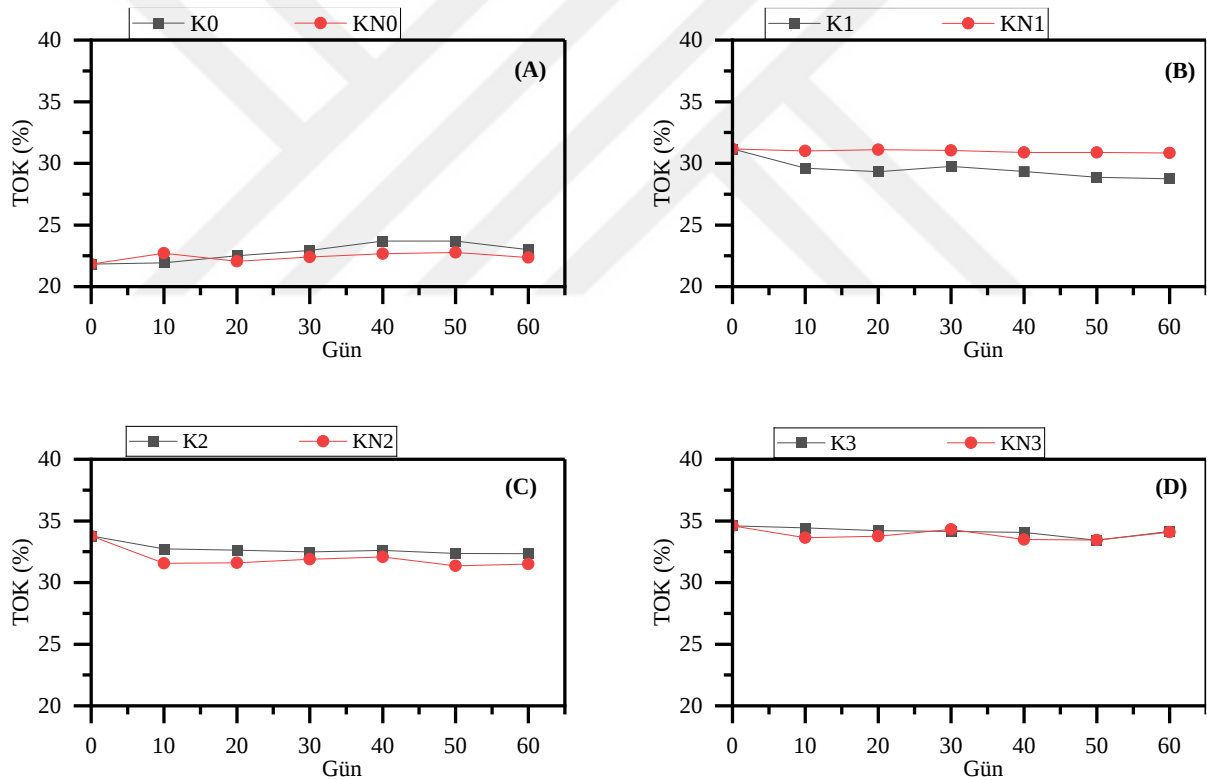
Yukarıdaki çalışmalar besleme substratlarında hacim artırıcı malzeme ilavesinin solucan gelişimi dolayısıyla vermikompost üretim kalitesine önemli pozitif katkısı olduğu açıktır. Bunun yanında parçacık boyutuna ve yoğunluğuna bağlı olarak farklı besleme substratları, farklı miktarlarda hacimlendirici malzeme gerektirebilir. Genel olarak hacimlendirici malzemelerin maliyeti, solucan gübresi üretimi için kullanılan ana besleme malzemelerine göre önemli ölçüde daha yüksektir. Bu durum verimli üretim prosesi geliştirmek için hacim kazandıran malzeme miktarının optimize edilmesini gerektirir. Bu da solucan gübresi üretim ekonomisini geliştirebilir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde %0, %25, ve %50 oranlarında yapılan çalışmalarda solucanlı ve solucansız sonuçlar karşılaştırıldığında belirgin bir şekilde solucanlı sonuçların yoğunluk değişimi görülmektedir. Bu durum söz konusu oranlarda solucan aktivitesinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte %75'lik oran çalışmasında yoğunluk değişiminin olmadığı dolayısıyla vermikompostlama sürecinin olmadığı kanaati oluşmuştur. Yapılan çalışmadaki gözlemlerde tüm oranlarda solucan varlığı gözlemlenmiştir. Ancak %75'lik orandaki yoğunluk değişim sonucu solucanın yaşamsal faaliyetini sürdürdüğünü fakat vermikompost işleminin gerçekleşmediğini ortaya çıkarmıştır.

4.3 Karışımdaki Lonardit Oranının TOK Değerine Etkisi

Solucanlar, ön bağırsaklarının kas hareketi yoluyla yutulan materyali kırar ve homojenleştirir ve ayrıca yutulan materyale mukus ve enzimler ekleyerek mikrobiyal aktivite için yüzey alanını arttırmaktadır. Böylece solucanların ve mikroorganizmaların birleşik etkisi, substratlardan CO₂ formunda TOK kaybına neden olmaktadır (Edwards, 1988) solucanlar ve mikroorganizmalar enerji kaynağı olarak karbonun büyük bir kısmını, organik maddenin ayrışmasına neden olan hücre yapısını oluşturmak için azot kullanırlar (Venkatesh ve Eevera, 2008).

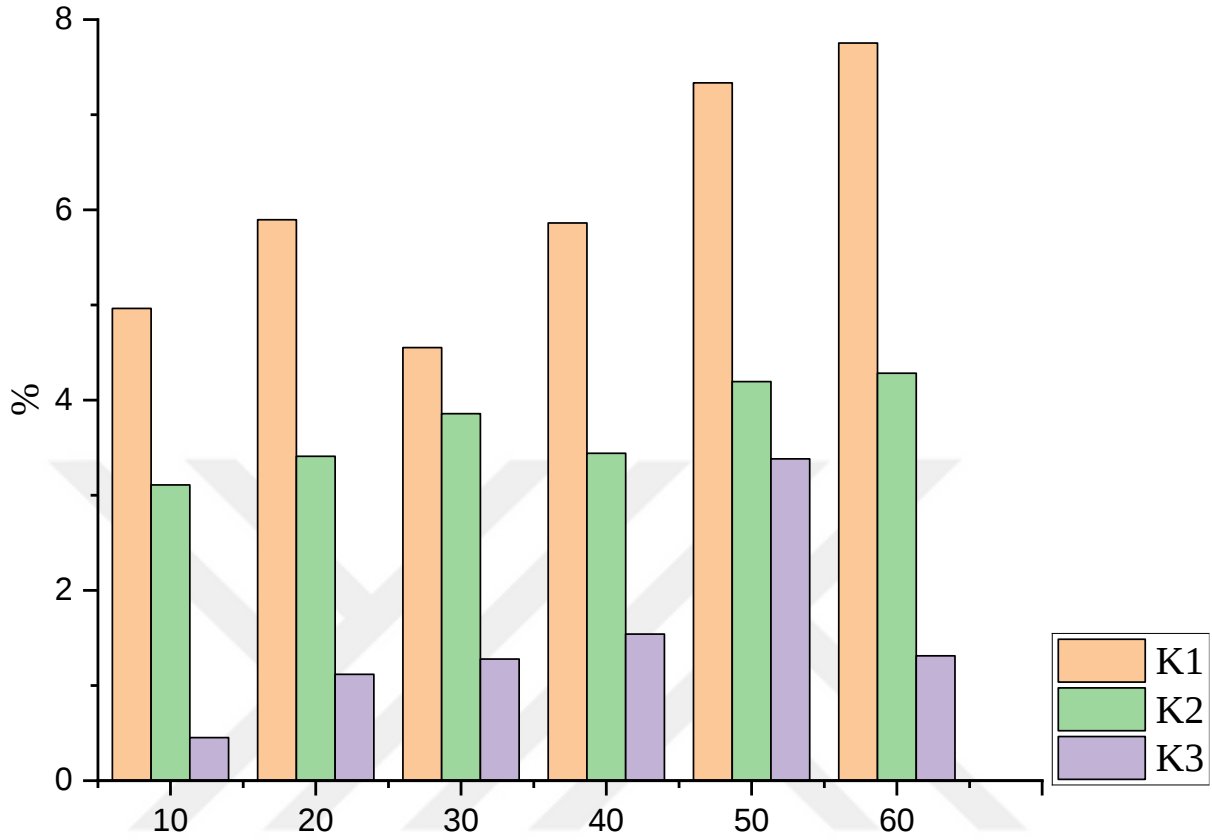
Solucanların doğal yaşam ortamlarındaki dağılımı organik maddenin dağılımı ile büyük ölçüde ilintilidir. Organik madde açısından fakir olan topraklar genellikle solucan çoğalması için uygun ortam değildir (Edwards ve Bohlen, 1996). Solucanlar besin olarak çok çeşitli organik maddeleri kullanır ve olumsuz yaşam koşullarında bile hayatta kalabilmek için doğal ortamda toprakta ihtiyacı olan besine ulaşır (Mallappa vd., 2010).



Şekil 4.4. Çalışma boyunca toplam organik karbon değişimi

(Nayak ve Rath, 1996) tarafından yapılan çalışmada şehir, sanayi, tarım çiftliği, ev ve mutfak atıklarından oluşan organik kalıntıların ölü veya çürüyen malzemelerden oluşan solucan gübresi üretimi için yatak malzemesi olarak kullanılabileceğini rapor edilmiştir. Birçok araştırmacı, solucan sayısı ile biyokütle ve toprağın organik madde içeriği arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu bildirmiştir

(Doube vd., 1997). Vermikompostun TOK'in azalması, organik maddenin parçalanması ve mineralizasyon işlemini yansıtmaktadır (Khawairakpam ve Bhargava, 2009).



Şekil 4.5. Çalışma boyunca TOK düşüş oranı

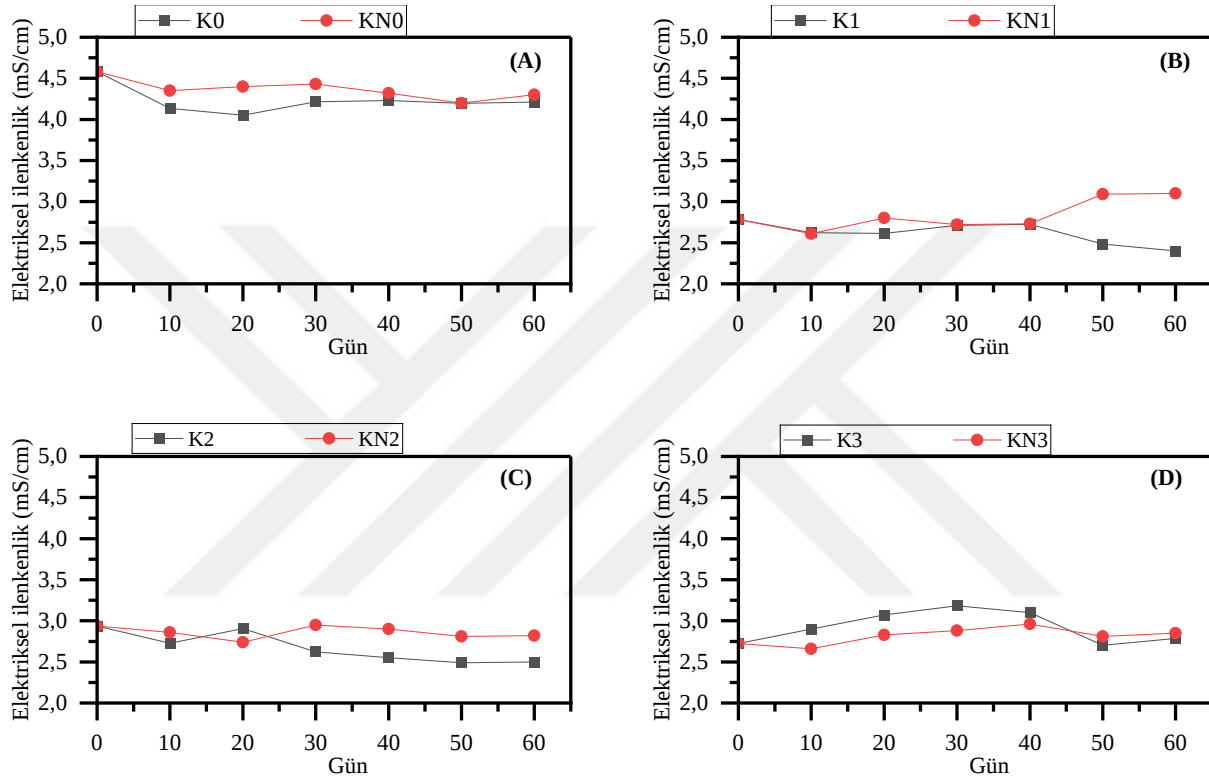
Çalışmada ana materyal olarak leonarditin vermikompostlama potansiyeli araştırılmıştır. Seçilen leonardit organik karbon miktarı yüksek olan oksijenli ortamda fosilleşen malzemedir. Farklı oranlarda leonardit eklenerek hazırlanmış denemelerde toplam organik karbon organik maddelerin değerine bağlı olarak leonardit ile birlikte yükselmesi beklenen bir sonuçtur. Önceki çalışmalar, solucan gübresi üretimi sırasında atığın C içeriğinde önemli bir kayıp olduğunu bildirmiştir (Sangwan vd., 2008; Suthar, 2008a). Çalışmada solucan aktivitesi periyodik olarak gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada %100 leonardit kullanımında eklenen solucan hayatta kalamadı sonucundan yola çıkarak %75, %50, %25 ve %0 (kontrol) oranlarında kontrol için hazırlanan stoğa leonardit eklenerek çalışma solucan ilavesi ile başlatılmıştır.

Kurulan denemelerin sonuçları incelendiğinde %25 karışım oranına sahip denemede organik madde miktarındaki değişim solucan aktivitesinin etkinliğini bariz bir şekilde göstermektedir. Bunu yanı sıra %50 ve %75'lik oranlarda değişimin salımının daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu da aktivitesinin ve sayısının ayırt edici bir şekilde olduğu %25'lik karışım oranı sonuçlarını desteklemiştir.

Çalışmada elde edilen %25'lik karışım sonuçları, solucanlı ve solucansız örnekler karşılaştırıldığında solucanlı örneklerde solucan sayısındaki artış ancak bir miktar azalış olmasına

rağmen aşağıdaki grafikteki görüldüğü gibi bariz bir şekilde TOK miktarında düşüş gözlenmektedir. Bu sonuç literatürde belirtildiği üzere organik maddenin parçalanması ve mineralizasyon işlemi (Khwairakpam ve Bhargava, 2009) yanı sıra mikrobiyal aktivite ve solucanlar yaşamsal faaliyeti sırasında TOK azaldığı (Suthar 2008; Sangwan ve ark. 2008) görülmüş olup bu sonucu literatür bilgisi de desteklemektedir.

4.4 Karışımdaki Lonardit Oranının El Değerine Etkisi

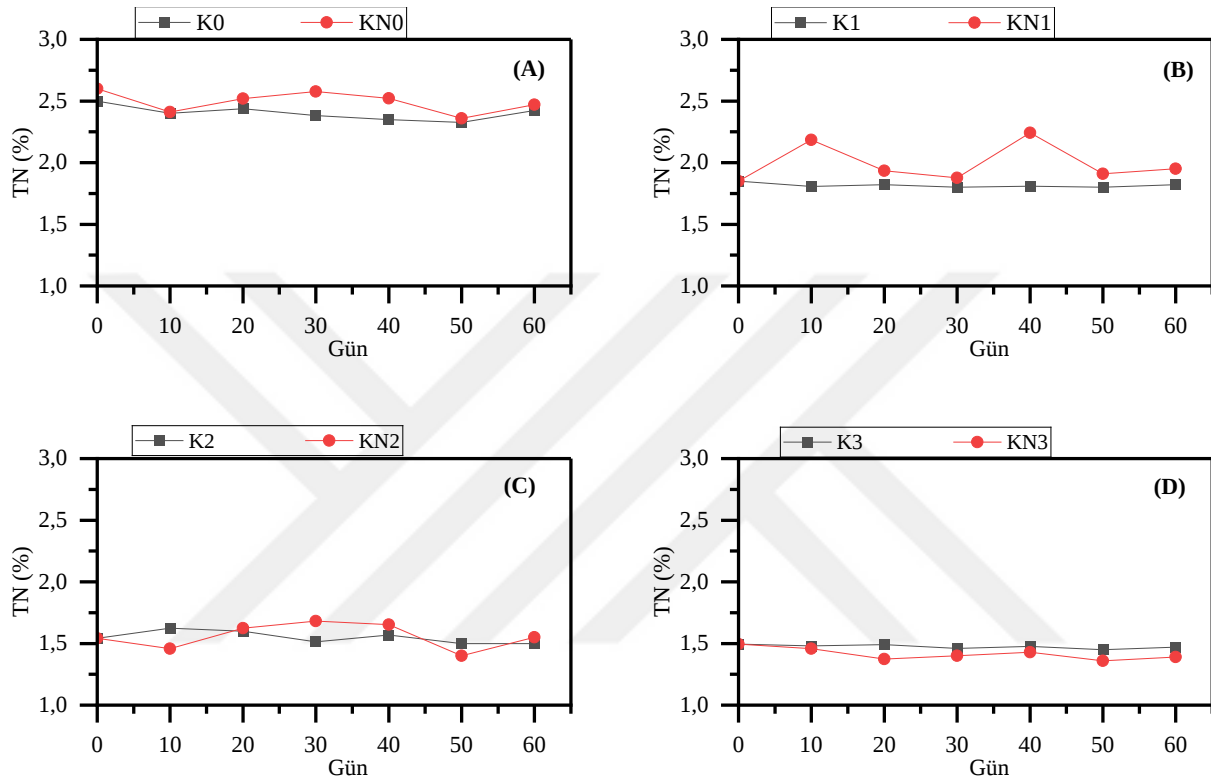


Şekil 4.6. Çalışma süresi boyunca iletkenlik değişimi

Kontrol numunesinde ana materyal olarak hayvan gübresi kullanılmıştır. Solucanlı ve solucansız örneklerde yapılan elektriksel iletkenlik ölçümleri 4 üzerinde ölçülmüştür. Edwards ve Arancon tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi hayvan gübresinin vermikompost üretiminde kullanıldığı durumlarda elektriksel iletkenliğin bitki için tokisk etki oluşturabilecek değerlerde olabileceği rapor edilmiş olup (Edwards vd., 2007) kontrol numunelerinde elde edilen EC sonuçları literatür destekleyerek 4 üzerinde tespit edilmiştir. Vermikültür gelişiminin olduğu %25'lik reaktörde EC değerleri literatürde kabul edilebilir olduğu ifade edilen 4 değerinin altında 2,5 – 2,8 aralığında tespit edilmiştir.

4.5 Karışımdaki Lonardit Oranının TKN Değerine Etkisi

Mikrobiyal kompostlama, organik maddenin bakteri gibi mikroorganizmalar tarafından parçalanmasını içerir. Kompost, karıştırma durdurulduktan sonra yeniden ısıtıldığında stabil kabul edilir ve mikrobiyal aktivite azalır (Khan, 2006). Mikrobiyal ön kompostlama, solucanlar için toksik olabilen amonyak nitrojen konsantrasyonunu azaltabilir.



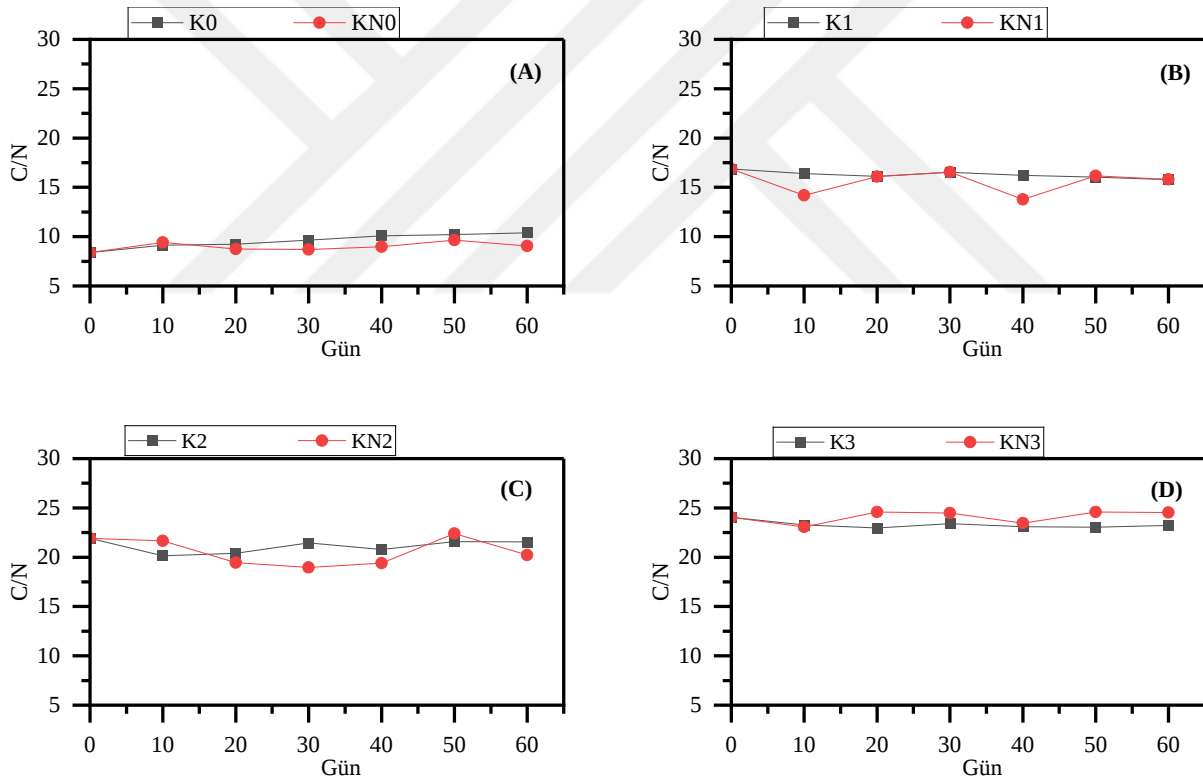
Şekil 4.7. Çalışma süresi boyunca toplam azot oranı değişimi

(Gunadi vd., 2002) tarafından yapılan çalışmada ön kompostlaştırılmasının solucan kompostlaması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ön kompostlama ile amonyak nitrojen konsantrasyonunun %66 oranında düştüğü rapor edilmiştir. Bunun yanı solucan gübresi üretimi sırasında yüksek sıcaklık tehlikesini de ortadan kaldıracabileceği belirtilmiştir. Toplam amonyak olarak da bilinen amonyaklı nitrojenin solucanlar için toksik olduğu belirtilmiştir (Khan, 2006a). Solucanlar için toksik kabul edilen amonyak nitrojen değeri 500 mg/kg olarak belirtilmiştir (Edwards ve Bohlen, 1996; Gunadi vd., 2002; Gunadi ve Edwards, 2003). Solucanların amonyağa karşı çok hassas oldukları yüksek kasyon seviyesi içeren organik atıklarda (taze kümes hayvanı altlığı gibi) hayatta kalamayacakları tartışılmıştır (Dominguez ve Edwards, 2011). Vermikompostlama sürecindeki azot nitrata dönüşümü, solucan biyokütlesine azot alımı ve pH değerine bağlı olarak NH_3 buharlaşması toplam azotun azalması ile sonuçlanmaktadır (Tomati vd., 1983). Solucanların varlığı ve yokluğu nedeniyle inek gübresindeki amonyum nitrojen konsantrasyonunun azalması 8 haftalık çalışma sürecinde solucanlı ve solucansız

numunelerde ortalama %90 oranında azalma olduğu rapor edilmiştir (Atiyeh vd., 2000). Solucan gübresindeki nitrojen içeriği, besleme stoğunda mevcut olan başlangıçtaki nitrojene ve ayrışma derecesine bağlıdır (Crawford, 1983). Vermikompost üretiminde pamuk işleme tesisinden kaynaklanan atıklar kullanılarak yapılan bir çalışmanın sonucunda toplam azot derişiminde madde kaybı %3 – 11 oranında kayıp olduğu belirtilmiştir (Albanell vd., 1988b). Mevcut olan çalışmanın sonucu ise %7 – 32 arasında azalma olduğu göstermiştir.

4.6 Karışımındaki Lonardit Oranının C/N Değerine Etkisi

Karbon ve nitrojen hücre büyümesi için gerekli olan iki temel besindir; bu nedenle başarılı bir solucan gübresi üretimi süreci için optimal bir karbon/azot oranı gereklidir. Optimum C/N oranı, yem substratının türüne, solucanın türüne ve beklenen son ürüne (yemin stabilizasyonu veya solucan üretimi) bağlıdır.



Şekil 4.8. Çalışma süresi C/N oranı değişimi

Solucan gübresi üretimi için sabit bir C/N oranı yoktur (Khan, 2006b). Hem C/N hem de C/P, solucanların ve mikroorganizmaların solunum ve asimilasyon aktivitelerinden dolayı TOK'nin azalmasına bağlı olduğundan düşüş eğilimi gösterdi (Karmegam vd., 2019; Negi ve Suthar, 2018). C/N oranının azaltılmasının solucan biyokütle üretimini arttırdığını, C/N oranının artırılmasının ise daha stabil bir son ürün ürettiğini bulunmuştur (P. Ndegwa ve Thompson, 2000). Stabil solucan gübresi

üretimi için 25'lik bir C/N oranı ve biyokatıların yem substratı olarak kullanıldığı durumda solucan yetiştiriciliği için 10'luk bir C/N oranı önerilmiştir. Yem substratı olarak domuz çamuru kullanıldığında C/N oranı arttıkça solucan biyokütlesinin arttığını göstermiştir. C/N oranı 11'den 19'a çıktıkça solucan sayısının 5,5 kat arttığını göstermiştir (Aira vd., 2006).

Optimum C/N oranı, hücre üretimini ve solucan biyokütlesini artırabilir; ancak farklı yem substratları farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir ve başarılı solucan gübresi üretimi için farklı C/N oranı gerektirir. Karbon veya nitrojen besin kaynaklarının konsantrasyonları üzerinde uygun kontroller uygulanarak etkili C/N oranlarının kontrol edilmesi, nispeten düşük sera gazı emisyonunun yanı sıra nispeten yüksek besin giderme verimliliğiyle sonuçlanmıştır (Huang vd., 2013). C ve N besin seviyelerinin uygun bir dengesinin, solucanların ve mikroorganizmaların düzgün gelişimine ve bunların sinerjik etkileşimlerine katkıda bulunduğu öne sürülmüştür (Zhao vd., 2011).

4.7 Karışımdaki Leonardit Oranının Biyokütle Etkisi

C/N oranının azaltılmasının solucan biyokütle üretimini artırdığı ve C/N oranının artırılması ile daha stabil bir son ürün üretildiği bulunmuştur (P. Ndegwa ve Thompson, 2000). Stabil solucan gübresi üretimi için 25'lik bir C/N oranı ve biyokatıların yem substratı olarak kullanıldığı durumda solucan yetiştiriciliği için 10'luk bir C/N oranı önerilmiştir.

Vermikültürün gelişimi için %10 üzerinde gerekli C/N (Aira vd., 2006) oranına sahip olan yatak malzemesi inek gübresi kontrol numune olarak kullanılmıştır. Kontrol numunesinde olgun solucan sayısında %27 artış, kokon sayısı ise 100 tane kokon tespit edilmiştir. Bu da vermikompostlama süreci için gerekli vermikültür gelişimi için uygun yatak malzemesi olduğunu göstermiştir.

Çalışmada %100 leonardit içeren numune solucanlar hayatta kalamadı. Bu da vermikompost üretimi sürecinde sadece leonardit ve bir başka organik madde kaynağı kullanmadan vermikültür gelişimi için uygun bir ortam olmamıştır ve dolayısıyla vermikompost süreci tamamlanamaz sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmada %75 leonardit karışım oranı olan numune solucanların sayısında %62,5 azalma, kütlelerinde %86,3 azalma ve hiç kokon olmadığı göstermiştir. Bu da solucanlar en büyük kısmı gelişmemiş ve dolayısıyla vermikompost üretiminde leonardit %75 oranında kullanıldığı durumda vermikültür sistemi olmamıştır ve bu pozisyonda vermikompost süreci tamamlanamaz.

Çalışmada %50 leonardit karışım oranı numunede solucanların sayısında %21 azalma, kütlelerinde %56,4 azalma ve 10 tane kokon olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç vermikompost üretiminde leonardit %50 oranında kullanıldığı durumda vermikültür için en uygun koşul olmadığı düşünülmektedir.

Çalışmada %25 leonardit karışım oranı numune solucanların sayısında %34,8 artış, kütlelerinde %34,8 azalma ve 40 tane kokon sayısı tespit edilmiştir. Bu da vermikompost üretiminde leonardit %25 oranında vermikompost ve solucan yetiştiriciliğinde uygun karışım oran olduğu tespit edilmiştir.

Stok malzeme seçiminde vermikültür ve vermikompost oluşumun daha etkin olduğu materyaller kullanılarak daha verimli sonuçlar ulaşılabileceği düşünülmektedir.

Tablo 4.1. Çalışmada biyokütle değişimi

Karışım	0. gün		60. gün		
	Solucan miktarı (adet)	solucan kütlesi (g)	Solucan miktarı (adet)	solucan kütlesi (g)	numune kokon sayısı
%100 organik madde	200	89,9	254	65,6	100
%75 Leonardit, 25 organik madde	200	42,4	75	5,8	0
%50 Leonardit, 50 organik madde	200	46,4	158	20,2	10
%25 Leonardit, 75 organik madde	200	59,4	219	38,7	40

5 SONUÇ ve ÖNERİLER

Tüm dünyada yenilenebilir doğal kaynaklar kullanılarak gerek N, organik madde ve diğer doğal kaynakların dönüşümü ve bunların tarımsal alanlarda kullanım olanak ve alternatifleri hakkında akademik çalışmanın yanında uygulama denemeleri oldukça yaygın şekilde araştırılmaktadır. Bu çalışmalardan geleneksel olanlar arasındaki kompostun tarımsal alanlarda kullanım olanakları, verim artışı kıyaslamaları ve sentetik gübre tüketimini azaltacak çalışmalar yapılmaktadır. Kompost üretimi ve kullanımı ile ilgili bu çalışmaların dışında son dönemlerde vermikompost üretimi, üretim için alternatif yenilenebilir doğal kaynak arayışları ile ilgili çalışmalar hızla artmaktadır. Artan bu çalışma trendi elde edilen vermikompost ile ilgili uygulama çalışmalarında artırmaktadır. Bu alandaki çalışma artışı modern tarım uygulamalarıyla birlikte endüstrileşen ve her geçen gün artan gıda ihtiyacının baskısı altında artmaktadır. Ülkemizdeki vermikompost kullanımı ve üretimi diğer tarımsal alanda gelişmiş ülkelerin arkasından takip edilmektedir. Bunun nedeni geleneksel tarımsal üretim metotlarının halen kullanılıyor olması, sektördeki bilgi ve bilinç eksikliğinin olması, iyi tarım uygulamaları ile elde edilen ürün ve organik ürün talebinin gelişmiş ülkelere göre daha az olması, bu üretim metodolojisinin halen yeni ve geliştiriliyor olması sebebi ile yeterli bilgiye sahip olunmamak gibi nedenlere bağlı olduğu düşünülmektedir. Vermikompost uygulamaları hem tarımsal üretimi ihtiyacı olan besleyici makro ve mikro elementleri karşıladığı gibi içerdiği zengin mikroorganizma kültürü varlığı ile ülkemizdeki tarım uygulama alanlarında çoraklaşan ya da verimsiz tarımsal arazilerimizin canlılığını artıracaktır. Çalışmanın kullandığı üretim metodolojisi ile leonardite tarımsal alanlarda alternatif bir kullanım etkinliği kazandırılacaktır. Leonardit katkısı ile üretilmiş vermikompostun içerdiği toprak yarayışlı yüksek mikroflora ile birlikte canlılığını yitirmiş toprak örtüsünün canlandırılması, birim alanda daha fazla ürün üretiminin artırılması, daha yüksek katma değerli ürün elde edilmesi ile birlikte endüstriyel olarak sürdürülebilir vermikompost üretimi sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara dayanarak leonarditin vermikompost üretiminde organik madde kaynağı olarak %50 oranına kadar karışım oranı olarak kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak Vermikültür gelişimi için %25 oranının en doğru seçenek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Leonarditin solucan gübresi üretiminde kullanım seçenekleri arasında mikroorganizma gelişimi için uygun ve zengin besleyici içeriğe sahip olan substratlar ile kullanımı vermikültür gelişimi ve solucan gübresi üretimi için daha yoğun bir popülasyon ortamı olacağından sürdürülebilir bir organik madde kaynağı ve zengin organik madde içeriğe sahip vermikompost üretimine olanak sağlayacak bir ham madde niteliği taşıdığı sonucu değerlendirilmiştir.

Vermikompost üretiminde Leonardit kullanımı için önemli parametrelerden bir tanesi Vermikültürün sürekliliğini sağlamaktadır. Yapılan çalışmada vermikültür gelişiminin %25 ve %50 karışım oranlarında hazırlanan denemelerde vermikompost üretimi için yeterli popülasyonda olduğu sonucu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan vermikültür gelişim için literatüre uygun olan pH 5 – 8 (Dominguez ve Edwards, 2011), elektriksel iletkenlik değerinin 4 mS/cm altında olması gerektiği (Dede

ve Ozdemir, 2015), C/N oranının 10 değerinin üzerinde olması gerektiği (Aira vd., 2006) değerler sağlanmıştır. Aşağıda verilen Araştırma, vermikompost üretiminde kullanılan leonarditin özellikleri: pH'ı 6-7, Organik madde miktarı %42, nem içeriği %30 olup, piyasada Pazar oluşturmuş vermikompostun özellikleri; pH 5-8.5; toplam azot: %0,7-2.4; C/N oranı: %15-25 (Orozco vd., 1996) . Yapılan çalışmada leonarditin yüksek organik karbon içeriği değerlendirilerek organik maddece daha zengin vermikompost üretim potansiyeli araştırılmıştır. Aşağıda elde edilen sonuçlar her bir parametre için değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, solucanların pH'a etkisi vermikompostlama süreci başlayıp solucan ilavesi yapıldıktan 10 gün sonra ortaya çıkacak olduğu göstermektedir. Bununla birlikte daha önce yapılan vermikompost üretimi çalışmalarda elde edilen sonuçların gösterdiği gibi solucanlar pH'ın düşmesine neden olmaktadır. Bu da çalışmayı destekleyip solucanların aktivitesinin sebep olduğu organik materyallerin ayrışması sonucunda oluşmaktadır (Yadav vd., 2013). Çalışmada elde edilen pH sonuçlarında solucanlar yatak malzemesinde eklendikten sonra başlangıçta her on gün ara ile örneklem yapılarak pH izlemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullandığımız ana stoğun pH başlangıç 8,9 ve leonarditin pH değeri ise 5,7 olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada %0 deney setinde solucan varlığında pH 9,2 – 8,7 aralığında, solucansız pH değeri ise 9,2 – 9 arasında değişmiştir. Bir diğer deney seti olan %25'lik karışım oranında solucan varlığında pH 8,2 – 7,8 arasında, solucansız pH değeri 8,2 – 8,2 arasında değişmiştir. Diğer diğer deney seti olan %50'lik karışım oranında solucan varlığında pH 7,2 – 7,1 arasında, solucansız pH değeri 7,4 – 7,2 arasında değişmiştir. Çalışmada %75 leonardit karışım oranında kullanıldığında vermikültür gelişimi olmadığı için değerlendirilmemiştir. Solucan gübresi üretiminde kullanılan solucanların tolerans değeri 5 – 9 aralığı arasındadır (Dominguez ve Edwards, 2011) vermikompost üretimi ile vermikültür gelişimi paralel bir süreç olduğundan yukarıdaki aralığın sağlanması önem arz etmektedir. Bunun yanında en iyi vermikültür gelişimi ve üretilen vermikompostun nötr veya nötre yakın değer ihtiva etmesi hem üretim prosesinin verimli yürütülmesi hem de lede edilen ürünün kullanım alanında uygun pH değerinde sahip olması önemlidir. Elde edilen sonuçlar solucan varlığında üretilen vermikompostın nötr pH aralığında kalması leonarditin vermikompost üretiminde maksimum %50 oranında kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Kompost ve vermikompostlama sırasında organik madde ayrışmasının bir fonksiyonu olarak yoğunluktaki azalma göstergesi rapor edilmiştir (Goswami vd., 2014). Bir diğer taraftan vermikültür varlığında solucan gübresi üretimi sürecinde yoğunluk değerinin azalması, ortamda mevcut olan organik maddelerin solucanlar tarafından parçalanıp vermikompostun oluşturduğunu göstermektedir. Çalışmadaki yoğunluk sonuçları değerlendirildiğinde solucansız olan deney düzeneklerinde anlamlı olabilecek değerlerde yoğunluk değişimi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Öte yandan diğer denemelerde 60 gün sonra %0, %25, %50 deney setlerinde solucan varlığı ile numunelerde vermikültür yardımı ile mevcut organik maddelerin parçalanması ile yoğunluğun %7,3, %14,5, %9,2 sırasıyla arttığı tespit edilmiştir. Söz konusu parçalanma substratın solucan sindirim sisteminden geçerken gerek sindirim sistemini içindeki mikroorganizmaların yardımı gerekse sindirim mekanizması ile organik maddelerin

mikronize düzeye parçalanması ile yoğunluğun arttığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar da vermikültür gelişiminin ve substratı besin olarak kullandığını yansıtmaktadır. Elde edilen sonuçlara kaliteli vermikompost üretiminin yoğunluk sonuçlarına göre değerlendirildiğinde %25 karışım oranındaki deney karışım oranının optimum karışım oranı olduğunu göstermektedir.

Vermikompost üretimi solucan sindirim sistemi ile mikrobiyal aktivite substratın parçalanarak hem mikroorganizma hem de solucanlar için yaşamsal faaliyetin devam ettiği birlikte yaşama sistemidir. Bu sistemde solucanların ön bağırsaklarının kas hareketi yoluyla yutulan substratı kırma – parçalama faaliyeti ile homojenleştirir ve ayrıca yutulan materyale mukus ve enzimler ekleyerek mikrobiyal aktivite için yüzey alanını arttırmaktadır. Böylece solucanların ve mikroorganizmaların bu birlikte çalışma etkisi substratın enerji kaynağı olarak kullanımı sonunda TOK'dan CO₂ formunda karbon kaybına neden olmaktadır (Edwards, 1988). Literatürde birçok çalışmada yapılmış olduğu gibi vermikompostlama sürecinde meydana gelen TOK azalması, organik maddenin parçalanması ve mineralizasyon işlemi gerçekleşmesi sonucu bu kaybın olduğunu rapor etmiştir. (Khawairakpam ve Bhargava, 2009). Çalışmadaki toplam organik karbon sonuçları ise 60 gün sonra leonardit karışım oranı %25 deney setinde solucan varlığında %10,4 ve solucansız %1,1 azalma oranı tespit edilmiştir. Solucan varlığındaki belirgin karbon kaybı solucan aktivitesi dolayısıyla vermikompostlama sürecini bu karışım oranında açık bir şekilde doğrulamaktadır. Leonardit karışım oranı %50 olan deney setinde ise solucan varlığında %8,2 ve solucansız %1,6 azalma oranı tespit edilmiştir. %50 karışım oranında da TOK kaybı aynı oranın solucansız olan seti ile karşılaştırıldığında yine solucan aktivitesi ile vermikompostlama sürecinin bu sette de olduğunu göstermekte olup %25'lik sonuç ile karşılaştırıldığında daha düşük bir verim ile çalışan oranı olduğu sonucuna ulaştırmıştır. Bu sonuç %50 oranlarındaki vermikültür verileri %25'lik verilere göre daha düşük solucan sayısı ve kütlesi sonuçlarının elde edilmesi bu değerlendirmeyi doğrulamaktadır. Leonardit diğer karışım oranlarında TOK kaybı açısından belirgin bir azalma olmamıştır. Bunun nedeni ise %0 deney setinde yeteri kadar karbon kaynağı olmaması, bu sette solucan ve mikrobiyal aktivitenin sadece yaşamsal faaliyetinin devam ettiğini ve %75'lik deney setinde ise vermikültür gelişiminin olmaması verileri TOK kaybının belirgin bir şekilde azalma göstermemesini doğrulamaktadır.

Kontrol numunesinde ana materyal olarak hayvan gübresi ve diğer organik madde desteği kullanılmıştır. Solucanlı ve solucansız kontrol örneklerinde yapılan elektriksel iletkenlik ölçümleri 4 mS/cm üzerinde ölçülmüştür. Edwards ve Arancon tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi hayvan gübresinin vermikompost üretiminde kullanıldığı durumlarda elektriksel iletkenliğin bitki için toksik etki oluşturabilecek değerlerde olabileceği rapor edilmiş olup yapılan kontrol numunelerinde elde edilen EC sonuçları literatür destekleyerek 4 mS/cm üzerinde tespit edilmiştir. Çalışmada %25 – 50 oranında leonarditin eklendiği deney setlerinde elektriksel iletkenliğin en yüksek 2,9 mS/cm değeri olduğu bu değer vermikültür varlığı dolayısıyla vermikompostlama sürecinde en düşük iletkenlik değerinin 2,5 (mS/cm) olduğu tespit edilmiştir. Bitkilerin elektriksel iletkenlik istekleri farklılık göstermek ile birlikte en düşük 0,6 mS/cm ve en yüksek 5 mS/cm olduğu ve optimum koşulların 1,6 – 1,8 aralığında olduğu

rapor edilmiştir. Leonardit eklemesi ile elde edilecek verimkompostun klasik şekilde hayvan gübresi ile elde edilecek verimkomposta göre bitki için daha optimal isteğe yakın olduğu sonucu elde edilmiş olup bu da verimkompost üretiminde leonardit eklenerek solucan gübresi üretilebileceğini ortaya koymuştur.

Mikrobiyal kompostlama, organik maddenin bakteri gibi mikroorganizmalar tarafından parçalanmasını içerir. Mikrobiyal ön kompostlama, vermikültür için toksik olduğu bilinen amonyum azotu konsantrasyonunu azaltabilir. Solucanlar için toksik kabul edilen amonyum azotu değeri 500 mg/kg olarak (Edwards ve Bohlen, 1996; Gunadi vd., 2002; Gunadi ve Edwards, 2003). Yapılan bir çalışmada ön kompostlaştırılmasının solucan kompostlaması üzerindeki etkisi araştırılmış, ön kompostlama ile amonyum azotu derişiminin %66 oranında düştüğü rapor edilmiştir (Gunadi vd., 2002). Bu süreç solucan gübresi üretimi sırasında oluşabilecek yüksek sıcaklık tehlikesini de ortadan kaldıracabileceği rapor edilmiştir (Khan, 2006a). Solucanlar ve mikroorganizmalar enerji kaynağı olarak karbonun büyük bir kısmını, organik maddenin ayrışmasına neden olan hücre yapısını oluşturmak için azot kullanırlar (Edwards, 1988). Vermikompostlama sürecindeki azot nitrata dönüşümü, solucan biyokütlesine azot alımı ve pH değerine bağlı olarak NH_3 buharlaşması toplam azotun azalması ile sonuçlanmaktadır (Tomati vd., 1983). (Crawford, 1983) göre solucan gübresindeki nitrojen içeriği, besleme stoğunda mevcut olan başlangıçtaki nitrojene ve ayrışma derecesine bağlı olarak değişir. Vermikompostun toplam azot değeri %1,5 – 2,2 aralığındadır. Çalışmada elde edilen nihai ürünün toplam azot oranı %25, %50 karışım oranlarında sırasıyla %1,8, %1,5 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, toplam azot açısından verimkompost üretiminde leonarditin kullanılabileceği sonucuna ulaştırmaktadır.

Karbon ve nitrojen hücre büyümesi için gerekli olan iki temel besindir; bu nedenle başarılı bir solucan gübresi üretimi süreci için optimal bir karbon/azot oranı gereklidir. Optimum C/N oranı, substratının türüne, solucanın türüne ve beklenen son ürüne (yemin stabilizasyonu veya solucan üretimi) bağlıdır. Solucan gübresi üretimi için sabit bir C/N oranı yoktur (Khan, 2006b). Hem C/N hem de C/P, solucanların ve mikroorganizmaların solunum ve asimilasyon aktivitelerinden dolayı TOK'nın azalmasına bağlı olduğundan düşüş eğilimi göster (Karmegam vd., 2019; Negi ve Suthar, 2018) ir. C/N oranının azalmasının solucan biyokütle üretimini arttırdığını, C/N oranının artırılmasının ise daha stabil bir son ürün ürettiğini bulunmuştur (P. Ndegwa ve Thompson, 2000). Stabil solucan gübresi üretimi için 25'lik bir C/N oranı, biyokatıların yem substratı olarak kullanıldığı durumda solucan yetiştiriciliği için 10'luk bir C/N oran önerilmiştir. Domuz çamurunun substrat olarak kullanıldığında C/N oranı arttıkça solucan biyokütlesinin arttığı (Albanell vd., 1988a; Reeh, 1992), bir başka çalışmada ise C/N oranı 11'den 19'a çıktıkça solucan sayısının 5,5 kat arttığını göstermiştir (Aira ve ark. 2006). Literatür verileri, optimum C/N oranı, hücre üretimini ve solucan biyokütlesini artırabileceğini, ancak farklı yem substratları farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğu ve başarılı solucan gübresi üretimi için farklı C/N oranı gerektiği rapor edilmiştir (Huang vd., 2013). C ve N besin seviyelerinin uygun bir dengesinin, solucanların ve mikroorganizmaların düzgün gelişimine ve bunların sinerjik etkileşimlerine katkıda bulunduğu da öne sürülmüştür (Zhao vd., 2011).

Vermikompost üretiminde C/N oranı yüksek derecede önemli olup oranın yüksek olması mikrobiyal faaliyetlerin azalmasına sebep olabilirken (Ökmen, 2000) ve düşük olduğu durumda ise yüksek amonyak derişimi dolayısıyla solucanlar zehirlenerek ölüm ile sonuçlanacağı belirtilmiştir (Tchobanoglous vd., 1993). 20'den düşük bir C/N oranı, kompostun olgunluğunu gösteren organik atık mineralizasyonunu da göstermektedir; ancak tarımsal amaçlı olarak C/N oranının 12'nin altında olması da tercih edilmektedir (Shak vd., 2014). C/N oranının <20'de olması, ileri derecede organik madde stabilizasyonunu gösterdiği ve organik atıkların tatmin edici bir olgunluk derecesini yansıttığı dikkate alınmalıdır (Senesi, 1989). C/N oranının 20'nin altında olması kabul edilebilir olgunluğun göstergesi olduğuna inanılırken, 15 veya daha düşük bir oran da tercih edilir (Morais ve Queda, 2003).

Çalışmada yapılan kontrol deneyleri vermikompostlama sürecinin literatür ve uygulamada klasik solucan gübresi üretiminin gerçekleşip gerçekleşmediğini, stok substratta vermikültür gelişiminin olup olmadığını ve vermikompostun olgunlaşma parametreleri izlenmiş olup bu parametrelerden C/N oranındaki artış (Karmegam vd., 2019; Negi ve Suthar, 2018) değerinin olgunlaşma göstergesi olduğu bilinmektedir. Kontrol deney setlerinde başlangıç ve nihai ürün 9,1 – 10,6 arasında 1,5'lik artış gözlemlenmiş olup bu sonuç sürecin sonlandığını (olgunlaştığını) göstermiş olup diğer karışım oranları da aynı alıkonma zamanı paralelinde sonlanmıştır.

Karbon içeriği leonarditin eklenmesiyle birlikte c/n oranı %25, %50 oranlarında kontrol numunesine göre sırasıyla 7,7'lik ve 12,8'lik artış olduğu tespit edilmiştir. Literatürde elde edilen vermikompostun c/n oranı 8 – 30 arasında olup çalışmada leonardit ile birlikte vermikompostlama sürecinin nihai ürünün c/n oranı %25 – 50 leonardit karışım oranları numunelerinde sırasıyla 15,3 ve 20,7 c/n oranı uygundur. Dolayısıyla leonarditin c/n oranı açısından vermikompostun üretiminde maksimum %50 kullanılabilirliğini göstermektedir.

Bu çalışma vermikompost üretiminde leonardit kullanma potansiyeli ve optimum karışım oranını belirtmek amacı ile yapılmıştır. Söz konusu çalışma için leonardit karışımı olan substrat içerisine eklenen solucanlar ile ön deneme seti kurulmuş bu deneme setinde vermikültürün yaşam faaliyeti sürdürebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç çalışmanın hangi karışım oranlarında leonardit eklenmesi gerektiğini tespit etmek amacı ile %25, %50, %75 ve %100 karışım oranlarında havan gübresi, çay posası ve meyve posasından oluşan temel karışıma (kontrol numunesi için besleme maması) eklenerek çalışma yapılmıştır. Bu karışım oranlarındaki çalışmada %100 leonardit içeren deneme setinde vermikültür gelişimi sona erdiği için bu oranda vermikompost üretiminde yapılamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada %75 leonardit içeren deneme seti vermikültür sayısında %62 kayıp görülmüştür. Dolayısıyla bu karışım oranında vermikültür gelişiminin olmaması, TOK değerinin vermikültür tarafından kullanılmaması ile bu değerde azalma görülmemesi ile birlikte nihai üründe yoğunluk değerinde beklenen artışın gözlenememesi vermikompostlama sürecinin gerçekleşmediği sonucuna götürülmüştür. Bununla birlikte çalışmadaki %50 karışım oranındaki deney setinde vermikültür kaybı çok cüzi olmuş ancak vermikompostlama gerçekleşme göstergelerinden olan TOK değerindeki düşme ve yoğunluk değerindeki artış sonuçlarına ulaşamamıştır. Bu yüzden %50 leonardit

karışım oranında vermikompost üretimi gerçekleşmediği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmadaki %25 karışım oranında ise elde edilen nihai ürünün parametreleri TOK %28,8, TKN %1,8, c/n oranı 16 vermikompostun standart şartlarına uygun olmak ile birlikte vermikültür gelişmektedir.

Çalışmadaki %25 karışımı oranında ise vermikompost olgunlaşma koşulları ve parametreleri açısından vermikültür gelişiminin olduğu, TOK değerinin düştüğü, bununla birlikte yoğunluğun değerinin belirgin bir şekilde arttığı ve diğer fiziksel parametreler de vermikompost olgunlaşma göstergeleridir.



KAYNAKLAR

- Aalok, A., Tripathi, A. K., ve Soni, P. (2008). Vermicomposting: A Better Option for Organic Solid Waste Management. *Journal of Human Ecology*, Vol. 24, No. 1, pp. 59-64.
- Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*, Vol. 03, No. 7, pp. 905-917.
- Aira, M., Monroy, F., ve Domínguez, J. (2006). C to N ratio strongly affects population structure of *Eisenia fetida* in vermicomposting systems. *European journal of soil biology*, Vol. 42, pp. 127-131.
- Albanell, E., Plaixats, J., ve Cabrero, T. (1988). Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 6, No. 3.
- Allahyari, H., Ahangar, A. G., Shirmohammadi, A., ve Hadad, T. (2017). The effect of neutralized and non-neutralized pomegranate pulp on features of *Eisenia fetida* and vermicompost. Vol. 36, pp. 81-90.
- Appavu, J., ve Kuppaswamy, G. (2001). Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice-legume cropping system and soil fertility. *European Journal of Agronomy*, Vol. 15, pp. 153-170.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Atiyeh, R., ve Metzger, J. D. (2004). Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology*, Vol. 93, No. 2.
- Arslan, H., Eskikaya, O., Bilici, Z., Dizge, N., ve Balakrishnan, D. (2022). Comparison of Cr(VI) adsorption and photocatalytic reduction efficiency using leonardite powder. *Chemosphere*, Vol. 300, p. 134492.
- Atiyeh, R. M., Domínguez, J., Subler, S., ve Edwards, C. A. (2000). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouche) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, Vol. 44, No. 6.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., ve Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, Vol. 84, No. 1.

- Ausavasukhi, A., Kamposoen, C., ve Kengnok, O. (2015). Adsorption characteristics of Congo red on carbonized leonardite. *Journal of Cleaner Production*, p. 134.
- Baker, G. H., Williams, P. M. L., Carter, P. J., ve Long, N. R. (1997). Influence of lumbricid earthworms on yield and quality of wheat and clover in glasshouse trials. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 29, No. 3-4, pp. 599-602.
- Balachandar, R., Biruntha, M., Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Subbaiya, R., Govarthanan, M., Kumar, P., ve Karmegam, N. (2021). Earthworm intervened nutrient recovery and greener production of vermicompost from *Ipomoea staphylina* – An invasive weed with emerging environmental challenges. *Chemosphere*, Vol. 263, p. 128080.
- Banik, D., ve Chaudhuri, P. S. (2017). Regeneration ability in seventeen top soil and sub soil earthworm species. *Journal of Environmental Biology*, Vol. 38, No. 3, pp. 393.
- Bansal, S., ve Kapoor, K. K. (2000). Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, Vol. 73, No. 2.
- Barik, T., Gulati, J., Garnayak, L., ve Bastia, D. (2010). Production of Vermicompost From Agricultural Wastes- A Review. *Agricultural Reviews*, Vol. 31, No. 3.
- Basay, S., Cimen, A., Baba, Y., Yildirim, A. B., ve Turker, A. U. (2021). Organic and conventional solanaceous vegetables: Comparison of phenolic constituents, antioxidant and antibacterial potentials. *Acta Alimentaria*, Vol. 50, No. 3.
- Belay, A., Claassens, A. S., Wehner, F. C., ve de Beer, J. M. (2001). Influence of residual manure on selected nutrient elements and microbial composition of soil under long-term crop rotation. *South African Journal of Plant and Soil*, Vol. 18, No. 1.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., ve Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology*, Vol. 100, No. 22, pp. 5444-5453.
- Bhat, S. A., Vig, A. P., Li, F., ve Ravindran, B. (2020). Earthworm Assisted Remediation of Effluents and Wastes. *Earthworm Assisted Remediation of Effluents and Wastes*, July, pp. 1-363.

- Bhattacharjee, G., ve Chaudhuri, P. S. (2002). Cocoon production, morphology, hatching pattern and fecundity in seven tropical earthworm species—a laboratory-based investigation. *Journal of biosciences*, Vol. 27, No. 3, pp. 283-294.
- Bhawalkar, S. V. (1989). A promising source of biofertilizers. *Nat Semin on Agricultural Biotechnology*.
- Blouin, M., Hodson, M., Delgado, E. A., baker, G., Brussard, L., Butt, K., Dai, J., Dendooven, L., epres, G., Tondoh, E., Cluzeau, D., ve Brun, J.-J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, Vol. 64, pp. 161-182.
- Butt, K. R. (1993). Utilisation of solid paper-mill sludge and spent brewery yeast as a feed for soil-dwelling earthworms. *Bioresource Technology*, Vol. 44, No. 2.
- CERİTOĞLU, M., ŞAHİN, S., ve ERMAN, M. (2019). Vermikompost Üretim Tekniği ve Üretimde Kullanılan Materyaller. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, Vol. 6, No. 2, pp. 230-236.
- Chammui, Y., Sooksamiti, P., Naksata, W., Thiansem, S., ve Arqueropanyo, O. anong. (2014). Removal of arsenic from aqueous solution by adsorption on Leonardite. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 240, pp. 202-210.
- Chan, P. L. S., ve Griffiths, D. A. (1988). The vermicomposting of pre-treated pig manure. *Biological Wastes*, Vol. 24, No. 1.
- Chianese, S., Fenti, A., Iovino, P., Musmarra, D., ve Salvestrini, S. (2020). Sorption of organic pollutants by humic acids: A review. Vol. 25, No. 4.
- Qu, X., ... Tang, S. (2018). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Transcommunication*, Vol. 53, No. 1, pp. 1-8.
- Crawford, J. H. (1983). Composting of agricultural wastes-a review.
- Dede, O. H., ve Ozdemir, S. (2015). Comparison of composted biosolid substrate for containerized turfgrass production. *Environmental Technology*, Vol. 36, No. 13, pp. 1651-1656.
- Dell'Anno, M., Hejna, M., Sotira, S., Caprarulo, V., Reggi, S., Pilu, R., Miragoli, F., Callegari, M. L., Panseri, S., ve Rossi, L. (2020). Evaluation of leonardite as a feed additive on lipid metabolism and growth of weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, p. 266.

- Devi, C., ve Khwairakpam, M. (2020). Bioconversion of *Lantana camara* by vermicomposting with two different earthworm species in monoculture. *Bioresource Technology*, p. 296.
- Devkota, D., Dhakal, S. C., Dhakal, D., Dhakal PhD, D. D., ve Ojha, R. B. (2014). Economics of Production and Marketing of Vermicompost in Chitwan, Nepal. *International Journal of Agricultural and Soil Science*, Vol. 2, No. 7.
- Dey, M. D., Das, S., Kumar, R., Doley, R., Bhattacharya, S. S., ve Mukhopadhyay, R. (2017). Vermiremoval of methylene blue using *Eisenia fetida*: A potential strategy for bioremediation of synthetic dye-containing effluents. *Ecological Engineering*, Vol. 106, pp. 200-208.
- Dolphen, R., ve Thiravetyan, P. (2019). Reducing arsenic in rice grains by leonardite and arsenic-resistant endophytic bacteria. *Chemosphere*, pp. 223.
- Dominguez, J., ve Edwards, C. A. (2011). Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. *Vermiculture technology: earthworms, organic waste and environmental management*. CRC Press, Boca Raton, pp. 27-40.
- Domínguez, J., Edwards, C. A., ve Webster, M. (2000). Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei*. *Pedobiologia*, Vol. 44, No. 1, pp. 24-32.
- Doube, B. M., Schmidt, O., Killham, K., ve Correll, R. (1997). Influence of mineral soil on the palatability of organic matter for lumbricid earthworms: A simple food preference study. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 29, No. 3-4.
- Edwards, C. A. (1988). Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:82900979>
- Edwards, C. A. (1995). Commercial and environmental potential of vermicomposting: A historical overview. *BioCycle*, June, pp. 62, 63.
- Edwards, C. A. (1998). The use of earthworms in processing organic wastes into plant growth media and animal feed protein. CRC press: Boca Raton, Florida, *Earthworm Ecol*, pp. 327-354.
- Edwards, C. A., Arancon, N. Q., Emerson, E., ve Pulliam, R. (2007). Suppressing plant parasitic nematodes and arthropod pests with vermicompost teas. *BioCycle*, Vol. 48, No. 12.

- Edwards, C. a, Arancon, N. Q., Kai, T. C., ve Ellery, D. (2004). the Conversion of Organic Wastes Into Vermicomposts and. Growth (Lakeland), pp. 1-8.
- Edwards, C. A., ve Bohlen, P. J. (1996). Biology and ecology of earthworms. Third edition. Biology and ecology of earthworms. Third edition.
- Elvira, C., Mato, S., ve Nogales, R. (1995). Changes in heavy metal extractability and organic matter fractions after vermicomposting of sludges from a paper mill industry and wastewater treatment plant. Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 4, No. 8.
- Elvira, C., Sampedro, L., Benítez, E., ve Nogales, R. (1998). Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot-scale study. Bioresource Technology, Vol. 63, No. 3, pp. 205-211.
- Elvira, C., Sampedro, L., Dominguez, J., ve Mato, S. (1997). Vermicomposting of wastewater sludge from paper-pulp industry with nitrogen rich materials. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 29, No. 3-4, pp. 759-762.
- Ergün, R. (2020). Bitki gelişimini uyarıcı rizobakteri ((PGPR) ve sıvı vermikompost uygulamalarının marul bitkisinin (*Lactuca sativa* L.) verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fornes, F., Mendoza-Hernández, D., García-de-la-Fuente, R., Abad, M., ve Belda, R. M. (2012). Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. Bioresource Technology, p. 118.
- Gajalakshmi, S., Ramasamy, E. V., ve Abbasi, S. A. (2002). Vermicomposting of different forms of water hyacinth by the earthworm *Eudrilus eugeniae*, Kinberg. Bioresource Technology, Vol. 82, No. 2, pp. 165-169.
- Ganorkar, P. V., Jadeja, G. C., ve Desai, M. A. (2022). Extraction of shikimic acid from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) using sonication: An approach towards waste valorization. Journal of Environmental Management, Vol. 305, p. 114419.
- Garg, V. K., ve Kaushik, P. (2005). Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. Bioresource Technology, Vol. 96, No. 9.

- Garg, V. K., Yadav, Y. K., Sheoran, A., Chand, S., ve Kaushik, P. (2006). Livestock excreta management through vermicomposting using an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Environmentalist*, Vol. 26, No. 4.
- Gong, X., Li, S., Chang, S. X., Wu, Q., Cai, L., ve Sun, X. (2019). Alkyl polyglycoside and earthworm (*Eisenia fetida*) enhance biodegradation of green waste and its use for growing vegetables. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 167, pp. 459-466.
- González, M., Gomez, E., Comese, R., Quesada, M., ve Conti, M. (2010). Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. *Bioresource Technology*, Vol. 101, No. 22.
- Goswami, L., Sarkar, S., Mukherjee, S., Das, S., Barman, S., Raul, P., Bhattacharyya, P., Mandal, N. C., Bhattacharya, S., ve Bhattacharya, S. S. (2014). Vermicomposting of Tea Factory Coal Ash: Metal accumulation and metallothionein response in *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). *Bioresource Technology*, p. 166.
- Gökçe, A. Y., ve Kotan, R. (2016). Buğday kök çürüklüğüne neden olan *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.)'ya karşı PGPR ve biyoajan bakterileri kullanılarak kontrollü koşullarda biyolojik mücadele imkanlarının araştırılması. *Bitki Koruma Bülteni*, Vol. 56, No. 1, pp. 49-75.
- Guild, W. J. L. (1951). Earthworm in agriculture. *Scott. Agric*, Vol. 30, pp. 220-230.
- Gunadi, B., Blount, C., ve Edwards, C. A. (2002). The growth and fecundity of *Eisenia fetida* (Savigny) in cattle solids pre-composted for different periods. *Pedobiologia*, Vol. 46, No. 1, pp. 15-23.
- Gunadi, B., ve Edwards, C. A. (2003). The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiologia*, Vol. 47, No. (4).
- Gunathilagaraj, K., ve Ravignanam, T. (1996). Vermicomposting of sericultural wastes. *Madras Agricultural Journal*, Vol. 83, No. 7.
- Hammermeister, A. M., Warman, P. R., Jeliakova, E. A., ve Martin, R. C. (2004). Nutrient supply and lettuce growth in response to vermicomposted and composted cattle manure. *J. of Bioresource Technology*, (Quoted in Munroe, 2007).

- Hartenstein, Frances., Hartenstein, Elizabeth., ve Hartenstein, Roy. (1981). Gut load and transit time in the earthworm *Eisenia foetida*. *Pedobiologia*, Vol. 22, No. 1.
- Hartenstein, R., Neuhauser, E. F., ve Kaplan, D. L. (1979). Reproductive potential of the earthworm *Eisenia foetida*. *Oecologia*, Vol. 43, No. 3.
- Horwitz, W., ve -, A. of O. A. C. T. A.-T. T. (2000). Official methods of analysis of AOAC International (17th ed NV). Association of Official Analytical Chemists Gaithersburg
- Huang, K., Li, F., Wei, Y., Chen, X., ve Fu, X. (2013). Changes of bacterial and fungal community compositions during vermicomposting of vegetable wastes by *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, Vol. 150, pp. 235-241.
- Iglesias Jiménez, E., ve Pérez García, V. (1992). Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts. *Bioresource Technology*, Vol. 41, No. 3, pp. 265-272.
- Jadhav, A. B., Gosavi, A. B., Majik, S. T., Deshmukh, S. U., Patil, A. V., Sawale, D. D., ve Ahire, S. G. (2023). Nutrient composition of vermicompost as influenced by rain tree litter (*Samanea saman*) and paddy spent mushroom compost. Vol. 12, No. 1, pp. 2622-2626.
- Jambhekar, H. A. (1992). Use of earthworm as a potential source of decompose organic wastes. Proceeding of the National Seminar on Organic Farming, Mahatama Phule Krishi Vidyapeeth, Pune, pp. 52-53.
- Janoš, P., Michálek, P., ve Turek, L. (2007). Sorption of ionic dyes onto untreated low-rank coal - oxihumolite: A kinetic study. *Dyes and Pigments*, Vol. 74, No. 2.
- Jawed, A., Kar, P., Verma, R., Shukla, K., Hemanth, P., Thakur, V. K., Pandey, L. M., ve Gupta, R. K. (2022). Integration of biological control with engineered heterojunction nano-photocatalysts for sustainable and effective management of water hyacinth weed. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 10, No. 1, p. 106976.
- Jo, J. Y., Kim, J. G., Tsang, Y. F., ve Baek, K. (2021). Removal of ammonium, phosphate, and sulfonamide antibiotics using alum sludge and low-grade charcoal pellets. *Chemosphere*, Vol. 281.

- Johnson, L. S., Poovathingal, K. R., ve Kuttykandy, S. (2020). Evaluation of the physio-chemical properties and microbial load of the soil polluted with coffee processing wastes. *Malaysian Journal of Microbiology*, Vol. 16, No. 2.
- Kalaitzidis, S., Papazisimou, S., Giannouli, A., Bouzinos, A., ve Christanis, K. (2003). Preliminary comparative analyses of two Greek leonardites. *Fuel*, Vol. 82, No. 7.
- Kale, R. D. (1998). Earthworms: nature's gift for utilization of organic wastes.
- Kale, R. D., Bano, K., ve Krishnamoorthy, R. V. (1982). Potential of *Perionyx excavatus* for utilizing organic wastes. *Pedobiologia*, Vol. 23, No. 6.
- Kaplan, D. L., Hartenstein, R., Neuhauser, E. F., ve Malecki, M. R. (1980). Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 12, No. 4, pp. 347-352.
- Karmegam, N., Vijayan, P., Prakash, M., ve John Paul, J. A. (2019). Vermicomposting of paper industry sludge with cowdung and green manure plants using *Eisenia fetida*: A viable option for cleaner and enriched vermicompost production. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 228, pp. 718-728.
- Kelessidis, V. C., Papanicolaou, C., ve Foscolos, A. (2009). Application of Greek lignite as an additive for controlling rheological and filtration properties of water-bentonite suspensions at high temperatures: A review. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 77, No. 3-4.
- Khan, A. A. (2006a). Vermicomposting of Poultry Litter.
- Khan, A. A. (2006b). Vermicomposting of poultry litter using *Eisenia foetida*. Oklahoma State University.
- Khwairakpam, M., ve Bhargava, R. (2009). Vermitechnology for sewage sludge recycling. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 161, No. 2-3, pp. 948-954.
- Kiyasudeen S, K., Ibrahim, M. H., Quaik, S., ve Ahmed Ismail, S. (2016). Prospects of Organic Waste Management and the Significance of Earthworms. *İçinde Prospects of Organic Waste Management and the Significance of Earthworms*.

- Klocking, R., Felber, Y., Guhr, M., Meyer, G., Schubert, R., ve Schoenherr, J. I. (2013). Development of an innovative peat lipstick based on the UV-B protective effect of humic substances. *Mires and Peat*, Vol. 11.
- Klöcking, R., ve Helbig, B. (2005). Medical Aspects and Applications of Humic Substances. İçinde *Biopolymers Lignin, Humic Substances and Coal*.
- Krishnamoorthy, R. V, ve Vajranabhaiah, S. N. (1986). Biological activity of earthworm casts: An assessment of plant growth promotor levels in the casts. *Proceedings: Animal Sciences*, Vol. 95, No. 3, pp. 341-351.
- Kumar, A., Muzamil, M., ve Dixit, J. (2023). Smart vermicomposting bin for rapid transformation of Dal lake aquatic weed into fortified vermicompost. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, Vol. 12, No. 2, pp. 221-233
- Kumar, A., Prakash, C. H. B., Brar, N. S., ve Kumar, B. (2018). Potential of Vermicompost for Sustainable Crop Production and Soil Health Improvement in Different Cropping Systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 7, No. 10.
- Lavelle, P. (1978). Les Vers de Terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire): peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème (C. 6). École normale supérieure, Laboratoire de zoologie.
- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., ve Domínguez, J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, Vol. 72, No. 7, pp. 1013-1019.
- Lee, K. E. (1985). *Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press Inc.
- Loh, T. C., Lee, Y. C., Liang, J. B., ve Tan, D. (2005). Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology*, Vol. 96, No. 1.
- Mallappa, P., Jaime, M., Teixeira, a, ve Saroj, S. (2010). Dynamics of the Soil-Earthworm-Plant Relationship : A Review. *Dynamic Soils,Dynamic Plant*, 4(Special Issue 1).

- Manna, M. C., Singh, M., Kundu, S., Tripathi, A. K., ve Takkar, P. N. (1997). Growth and reproduction of the vermicomposting earthworm *Perionyx excavatus* as influenced by food materials. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 24, No. 1.
- Meena, R. N., Singh, Y., Singh, S. P., Singh, J. P., ve Singh, K. K. (2007). Effect of Sources and Level of Organic manures on Yield, Quality and Economics of Graden Pea (*Pisum Sativum* L) in Eastern Uttar Pradesh. *Vegetable Science*, Vol. 34, pp. 60-63.
- Meng, F., Huang, Q., Larson, S. L., ve Han, F. X. (2021). The Adsorption Characteristics of Uranium(VI) from Aqueous Solution on Leonardite and Leonardite-Derived Humic Acid: A Comparative Study. *Langmuir*, Vol. 37, No. 43.
- Meng, F., Yuan, G., Larson, S. L., Ballard, J. H., Waggoner, C. A., Arslan, Z., ve Han, F. X. (2017). Removing uranium (VI) from aqueous solution with insoluble humic acid derived from leonardite. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 180.
- Mitchell, A. (1997). Production of *Eisenia fetida* and vermicompost from feed-lot cattle manure. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 29, No. 3-4, pp. 763-766.
- Mitchell, M. J. (1978). Role of invertebrates and microorganisms in sludge decomposition. *Utilization of Soil Organisms in Sludge Management*. Natl. Tech. Inf. Services, PB286932, Springfield, Virginia, pp. 35-50.
- Morais, F. M. C., ve Queda, C. A. C. (2003). Study of storage influence on evolution of stability and maturity properties of MSW composts. *Proceedings of the fourth International Conference of ORBIT association on Biological Processing of Organics: Advances for a sustainable Society Part II*, Perth, Australia.
- Munnoli, P. M. (2007). *Management of Industrial Organic Solid Waste through Vermi-Culture Biotechnology with Special Reference to Microorganisms*. Goa University.
- Munroe, G., Scott, J., Burlington, C., Scotia, N., Holsteins, K., ve Pre, G. (2007). *Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture* Organic Agriculture Centre of Canada. Organic Agriculture Centre of Canada, January 2007, pp. 1-56.
- Murugan, V. C., ve Senthilkumar, D. (2023). Physico-chemical evaluation of vermicompost formulated by the wastes of mango pulp and fish waste with different biofertilizers. *Journal of Mycopathological research*, Vol. 61, No. 1.

- Narayan, J. (2000). Vermicomposting of biodegradable wastes collected from Kuvempu University campus using local and exotic species of earthworm. Proceedings of a national conference on industry and environment, pp. 417-419.
- Nayak, A. K., ve Rath, L. K. (1996). Vermiculture and its application. Kisan World, Vol. 21, No. 1, pp. 61-62.
- Ndegwa, P. M., ve Thompson, S. A. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. Bioresource Technology, Vol. 76, No. 2, pp. 107-112.
- Ndegwa, P., ve Thompson, S. (2000). Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. Bioresource Technology, Vol 75, pp. 7-12.
- Negi, R., ve Suthar, S. (2018). Degradation of paper mill wastewater sludge and cow dung by brown-rot fungi *Oligoporus placenta* and earthworm (*Eisenia fetida*) during vermicomposting. Journal of Cleaner Production, Vol. 201, pp. 842-852.
- Nugroho, D. S. (2015). No Title空間像再生型立体映像の研究動向. Nhk技研, Vol. 151, pp. 10-17.
- Olawale, K., ve Ojokoh, A. (2020). Effects of Fermentation and Extrusion on the Proximate Compositions and Organoleptic Properties of Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) and Beniseed (*Sesamum indicum*) Blends. South Asian Journal of Research in Microbiology, pp. 1-12.
- Olson, H. W. (1928). The earthworms of Ohio. Ohio Biol. Survey Bull.
- Orozco, F. H., Cegarra, J., Trujillo, L. M., ve Roig, A. (1996). Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. Biology and fertility of soils, Vol. 22, pp. 162-166.
- Owen, D., Williams, A. P., Griffith, G. W., ve Withers, P. J. A. (2015). Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. İçinde Applied Soil Ecology Vol. 86.
- Ozuzun, S., ve Uzal, B. (2021). Performance of leonardite humic acid as a novel superplasticizer in Portland cement systems. Journal of Building Engineering, Vol. 42.

- Ökmen, G. K. (2000). Farklı Karbon Kaynaklarının ve C / N Oranlarının Mikrobiyal Denitrifikasyon Üzerine Etkileri * The Effects of Different Carbon Sources and C / N Ratio on Microbial. Vol. 24, No. 3, pp. 533-542.
- Pagaria, P., ve Totawat, K. L. (2007). Effects of pressmud and spentwash in integration with phosphogypsum on metallic cations build-up in the calcareous sodic soil. Journal of the Indian Society of Soil Science, Vol. 55, No. 1, pp.52-57.
- Panday, S. N., ve Amalesh, Y. (2009). Effect of vermicompost amended alluvial soil on growth and metabolic responses of rice (*Oryza sativa* L.) plants. Journal of Eco-friendly Agriculture, Vol. 4, No. 1, pp. 35-37.
- Pattnaik, S., ve Reddy, M. V. (2010). Nutrient Status of Vermicompost of Urban Green Waste Processed by Three Earthworm Species— *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae*, and *Perionyx excavatus* . Applied and Environmental Soil Science, 2010.
- Pottipati, S., Jat, N., ve Kalamdhad, A. S. (2023). Bioconversion of *Eichhornia crassipes* into vermicompost on a large scale through improving operational aspects of in-vessel biodegradation process: Microbial dynamics. Bioresource Technology, Vol. 374, pp. 128767.
- Rajesh Banu, J., Logakanthi, S., ve Vijayalakshmi, G. S. (2001). Biomanagement of paper mill sludge using an indigenous (*Lampito mauritii*) and two exotic (*Eudrilus eugeniae* and *Eisenia foetida*) earthworms. Journal of environmental biology, Vol. 22, No. 3, pp. 181-185.
- Rajpal, A., Arora, S., Bhatia, A., Kumar, T., Bhargava, R., Chopra, A. K., ve Kazmi, A. A. (2014). Co-treatment of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and sewage by vermireactor. Ecological Engineering, Vol. 73, pp. 154-161.
- Ramnarain, Y. I., Ansari, A. A., ve Ori, L. (2019). Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, Vol. 8, No. 1, pp. 23-36.
- Raphael, K., ve Velmourougane, K. (2011). Chemical and microbiological changes during vermicomposting of coffee pulp using exotic (*Eudrilus eugeniae*) and native earthworm (*Perionyx ceylanesis*) species. Biodegradation, Vol. 22, No. 3.
- Reeh, U. (1992). Influence of population densities on growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei* on pig manure. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 24, No. 12.

- Ricca, G., Federico, L., Astori, C., ve Gallo, R. (1993). Structural investigations of humic acid from leonardite by spectroscopic methods and thermal analysis. *Geoderma*, Vol. 57, No. 3.
- Ro, S., Long, V., Sor, R., Pheap, S., Nget, R., ve William, J. (2022). Alternative Feed Sources for Vermicompost Production. *Environment and Natural Resources Journal*, Vol. 20, No. 4, pp. 393-399.
- Sangwan, P., Kaushik, C. P., ve Garg, V. K. (2008). Vermiconversion of industrial sludge for recycling the nutrients. *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 18.
- Santos, A., Wander, A., Botero, G., Rocha, J., Gustavo, A., Mendonça, R., ve Godinho, A. (2007). Interaction between humic substances and metallic ions: a selectivity study of humic substances and their possible therapeutic application. *J. Braz. Chem. Soc*, Vol. 18, pp. 824-830.
- Saradha, T. (1997). The culture of earthworms in the mixture of pond soil and leaf litter and analysis of vermi fertilizer. *Journal of Ecobiology*, Vol. 9, pp. 185-188.
- Saravanan, A., Kumar, P. S., Vo, D. V. N., Yaashikaa, P. R., Karishma, S., Jeevanantham, S., Gayathri, B., ve Bharathi, V. D. (2021). Photocatalysis for removal of environmental pollutants and fuel production: a review. *Içinde Environmental Chemistry Letters (C. 19, Sayı 1)*.
- Satchell, J. E. (1955). Some aspects of earthworm ecology. *Soil zoology*, pp. 180-201.
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., ve Imboden, D. M. T. A.-T. T.-. (2003). *Environmental organic chemistry (2nd editio)*. Wiley Hoboken, N.J.
- Senesi, N. (1989). Composted materials as organic fertilizers. *Science of the Total Environment*, pp. 81-82
- Shaheen, A., Rizk, F., ve Singer, S. (2007). Growing onion plants without chemical fertilization. *Research J. Agric. Bio. Sci*, Vol. 3, No. 2.
- Shahgholi, G., ve Jnatkhah, J. (2018). Investigation of the effects of organic matter application on soil compaction. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 28, No. 2, pp. 175-185.
- Shak, K. P. Y., Wu, T. Y., Lim, S. L., ve Lee, C. A. (2014). Sustainable reuse of rice residues as feedstocks in vermicomposting for organic fertilizer production. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 21, No. 2, pp. 1349-1359.

- Sharma, S., Pradhan, K., Satya, S., ve Vasudevan, P. (2005). Potentiality of Earthworms for Waste Management and in Other Uses – A Review. *The American Journal of Science*, Vol. 1, No. 1.
- Shen, H., ve Zhang, W. (2018). Synthesis of Lignite Graft Polycondensate as Drilling Fluid Additive and its Influence on the Properties of Water-Bentonite Suspensions. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, Vol. 53, No. 6.
- Short, J. C. P., Frederickson, J., ve Morris, R. M. (1999). Evaluation of traditional windrow-composting and vermicomposting for the stabilization of waste paper sludge (WPS). *Pedobiologia*, Vol. 43, No. 6.
- Simandl, G., Simandl, J., ve Aylen, P. (2010). Leonardite-Type Material at Red Lake Diatomite Deposit, Kamloops Area, British Columbia.
- Singh, J. (1997). Habitat preferences of selected Indian earthworm species and their efficiency in reduction of organic materials. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 29, No. 3-4, pp. 585-588.
- Singh, S., Kate, B. N., ve Banerjee, U. C. (2005). Bioactive Compounds from Cyanobacteria and Microalgae: An Overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, Vol. 25, No. 3, pp. 73-95.
- Sinha, R. K., Herat, S. ;, Agarwal, S., Asadi, R. ;, ve Carretero, E. (2002). Vermiculture and waste management: study of action of earthworms. *The Environmentalist*, Vol. 22, No. 3.
- Soumya, L., Poovathingal, K. R., Williams, G. P., Naveen Chandra, D., ve Kunnummal, S. V. (2022). Evaluation of the Concentration of Phytotoxic Chemicals and Microbial Load of the Vermicompost Prepared from Coffee Processing Waste. *Universal Journal of Agricultural Research*, Vol. 10, No. 6, pp. 731-748.
- Subler, S., Edwards, C., ve Metzger, J. (1998). Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle*, Vol. 39, No. 7.
- Suthar, S. (2006). Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompost production. *Bioresource Technology*, Vol. 97, No. 18.
- Suthar, S. (2008a). Bioconversion of post harvest crop residues and cattle shed manure into value-added products using earthworm *Eudrilus eugeniae* Kinberg. *Ecological Engineering*, Vol. 32, No. 3.

- Suthar, S. (2008b). Microbial and decomposition efficiencies of monoculture and polyculture vermireactors, based on epigeic and anecic earthworms. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Vol. 24, pp. 1471-1479.
- Suthar, S. (2009). Potential of *Allolobophora parva* (Oligochaeta) in vermicomposting. *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 24.
- ŞAHİN, G. (2016). Türkiye’de gübre kullanım durumu ve gübreleme konusunda yaşanan problemler. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, Vol. 22, No. 1, pp. 19-32.
- Tajbakhsh, J., Abdoli, M. A., Mohammadi Goltapeh, E., Alahdadi, I., Malakouti, M. J., Goltapeh, M., Alahdadi, E., ve Malakouti, I. (2008). Trend of physico-chemical properties change in recycling spent mushroom compost through vermicomposting by epigeic earthworms *Eisenia foetida* and *E.andrei*. *İçinde Journal of Agricultural Technology* (Sayı 2).
- Talashilkar, S. C., Bhangerath, P. P., ve Mehta, V. B. (1999). Changes in chemical properties during composting of organic residues as influenced by earthworm activity. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, Vol. 47, No. 1.
- Tchobanoglous, G., Kreith, F., ve Williams, M. E. (1993). *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues*. *İçinde Environmental Pollutants and Their Bioremediation Approaches*.
- Thakur, A., Kumar, A., Kumar, C. V., Kiran, B. S., Kumar, S., ve Athokpam, V. (2021). A review on vermicomposting: by-products and its importance. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, Vol. 22, pp. 11-12.
- Tıraşçı, S., Erdoğan, Ü., ve Aksakal, V. (2020). Türkiye’de Organik Tarım. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, Vol. 8, No. 11.
- Tomati, U., Grapelli, A., Galli, E., ve Rossi, W. (1983). Fertilizers from vermiculture as an option for organic wastes recovery. *Agrochimica*, Vol. 27, pp. 2-3.
- Trckova, M., Lorencova, A., Babak, V., Neca, J., ve Ciganek, M. (2018). The effect of leonardite and lignite on the health of weaned piglets. *Research in Veterinary Science*, Vol. 119.

- Venkatesh, R. M., ve Eevera, T. (2008). Mass reduction and recovery of nutrients through vermicomposting of fly ash. *Applied Ecology and Environmental Research*, Vol. 6, No.1, pp. 77-84.
- Vig, A. P., Singh, J., Wani, S. H., ve Singh Dhaliwal, S. (2011). Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). *Bioresource Technology*, Vol. 102, No.17, pp. 7941-7945.
- Wen, S., Wang, J., Li, Y., ve Shao, M. (2022). Effects of anecic earthworms on runoff and erosion on the slope with soil from the Loess Plateau under a rainfall simulation experiment. *Agricultural Water Management*, Vol. 259.
- Wright, M. A. E. (1972). Factors' governing ingestion by the earthworm *Lumbricus terrestris* (L.), with special reference to apple leaves. *Annals of Applied Biology*, Vol. 70, pp. 175-188.
- Xing, M., Zhao, C., Yang, J., Li, X., ve Lv, B. (2016). Physiological adaptation and metabolic property of earthworms in vermifiltration for liquid-state sludge stabilization using bulk stable isotope and specific fatty acid compound stable isotope values. *Ecological Engineering*, Vol. 91, pp. 1-6.
- Yadav, A., Gupta, R., ve Garg, V. K. (2013). Organic manure production from cow dung and biogas plant slurry by vermicomposting under field conditions. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, Vol. 2, No. 1.
- Yan, X., ve Gong, W. (2010). The role of chemical and organic fertilizers on yield, yield variability and carbon sequestration- results of a 19-year experiment. *Plant and Soil*, Vol. 331, No. 1.
- Zhao, Y. J., Hui, Z., Chao, X., Nie, E., Li, H. J., He, J., ve Zheng, Z. (2011). Efficiency of two-stage combinations of subsurface vertical down-flow and up-flow constructed wetland systems for treating variation in influent C/N ratios of domestic wastewater. *Ecological Engineering*, Vol. 37, No.10, pp. 1546-1554.

