T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FARKLI İNEK GÜBRESİNDEN ELDE EDİLEN VERMİKOMPOSTUN TOPRAĞIN ve BİTKİNİN BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Sulaimon Ayobami ELESHIN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FARKLI İNEK GÜBRESİNDEN ELDE EDİLEN VERMİKOMPOSTUN TOPRAĞIN ve BİTKİNİN BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Sulaimon Ayobami ELESHIN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İNEK GÜBRESİNDEN ELDE EDİLEN VERMİKOMPOSTUN TOPRAĞIN ve BİTKİNİN BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Sulaimon Ayobami ELESHIN

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İNEK GÜBRESİNDEN ELDE EDİLEN VERMİKOMPOSTUN TOPRAĞIN ve BİTKİNİN BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Sulaimon Ayobami ELESHIN

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 14/07/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İlker UZ (Danışman)

Doç. Dr. Çağdaş AKPINAR

Doç. Dr. İsmail Emrah TAVALI

ÖZET
FARKLI İNEK GÜBRESİNDEN ELDE EDİLEN VERMİKOMPOSTUN TOPRAĞIN ve BİTKİNİN BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Sulaimon Ayobami ELESHIN
Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. İlker UZ
Temmuz 2023; 89 sayfa

Bu çalışma, yoğun besicilik faaliyetleri sonucu elde edilen olgunlaştırılmış inek gübresi (OİG) ile hayvanların daha rahat hareket edebildikleri geleneksel hayvan yetiştiriciliği yapılan bir çiftlikten elde edilen olgunlaşmamış doğal inek gübresinden (DİG) elde edilen vermikompostların karşılaştırmalı etkileri konusundaki bilgi boşluğunu doldurmak amacıyla yapılmıştır. Bu tez çalışmasının birinci aşamasında bu gübrelerin vermikomposta dönüştürülmesi sürecinde vermikompost yataklarındaki enzim aktiviteleri (alkali fosfataz, β-glikosidaz ve üreaz) ve mezofilik bakteri sayılarındaki değişimler yaklaşık 8 ay boyunca belirli aralıklarla belirlenmiştir. Vermikompostlama denemesi 2 farklı hammadde ve 4 tekerrülü olacak şekilde 8 vermikompostlama yığınından oluşmuştur. Bu süreç sonunda elde edilen vermikompostların (OİG-V ve DİG-V) biyolojik analizleri yanı sıra kimyasal analizleri yapılarak aradaki farklılık ve değişimler belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise, OİG-V ile DİG kullanılarak elde edilen vermikompostun toprak ve bitki üzerindeki etkilerini incelemek üzere sera koşullarında bir saksı denemesi yürütülmüştür. Saksı denemesi 2 farklı vermikompost (OİG-V ve DİG-V) ve bunlara ait 2 farklı uygulama dozu, pozitif kontrol olarak NPK uygulaması ve negatif kontrol uygulaması olacak şekilde ve 4 tekerrülü olarak toplam 24 saksıdan oluşmuştur. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş olup test bitkisi olarak kıvırcık marul kullanılmıştır. Denemenin 7. haftasında ve hasat sırasında (9. hafta) normal toprak örnekleri ve ayrıca yine hasat sırasında rizosfer toprağı örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde biyolojik parametreler olarak alkali fosfataz, β-glikosidaz ve üreaz aktiviteleri ile mezofilik bakteri sayıları belirlenmiştir. Hasat sırasında alınan normal toprak örneklerinde ayrıca makro ve mikro besin elementi analizleri yapılmıştır. Hasat edilen bitkilerde ise makro ve mikro besin elemen içeriklerinin yanı sıra agronomik parametreler ölçülmüştür.

Organik atık tipinin vermikompostlama süreci üzerinde etkili olduğu ancak vermikompostlama sonunda elde edilen her iki vermikompostun kalitesinin genel olarak benzer olduğu görülmüştür. OİG-V nin P, Ca, Mg, Mn ve Zn içeriğinin DİG-V ye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Genel olarak enzim aktivite değerleri her iki vermikompostta da benzer ölçülmüş, sadece β-glikosidaz aktivitesi açısından OİG-V daha yüksek değer vermiştir. Saksı denemesi sonunda her iki vermikompost da mikrobiyal aktiviteyi teşvik etmiş ve pH, organik madde, P ve Zn değerlerini artırmıştır. Bununla birlikte, DİG-V toprakta organik madde ve P konsantrasyonunu daha fazla artırmıştır. Her iki vermikompostun toprak enzim aktiviteleri üzerine etkisi genel olarak rizosfer toprağında daha belirgin olmuştur. β-glikosidaz ve mezofilik bakteri sayıları her iki vermikompost uygulamasında benzer olmuş ancak DİG-V toprağın alkali fosfataz ve üreaz aktivitesini önemli oranda etkilemiştir. Her iki vermikompostun bitkinin besin maddesi içeriğine etkileri benzer olmuştur. Ancak, DİG-V bitkinin P kapsamını önemli düzeyde artırmıştır. DİG-V, ayrıca, bitkide ölçülen agronomik

parametrelerden bitki boyu, yaprak alanı, yaş ve kuru bitki ağırlığı üzerinde önemli pozitif etki göstermiştir. Yaş ve kuru kök ağırlı açısından ise her iki vermikompost benzer etkiler göstermiştir. Sonuç olarak, elde edilen vermikompostlardan OİG-V nin özellikle bazı besin elementleri açısından DİG-V den daha zengin olmasına rağmen, DİG-V nin toprak ve bitki üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Vermikompost, inek gübresi, hayvancılık, geleneksel yetiştiricilik, enzim aktiviteleri, mezofilik bakteri sayıları, rizosfer, organik madde.

JÜRİ: Doç. Dr. İlker UZ

Doç. Dr. Çağdaş AKPINAR

Doç. Dr. İsmail Emrah TAVALI

ABSTRACT

The Effect of Vermicompost Obtained from Different Cattle Manures on Some Properties of Soil and Plant

Sulaimon Ayobami ELESHIN
Master Thesis, Soil Science and Plant Nutrition Department
Advisor: Assoc. Dr. Ilker UZ
July 2023; 89 pages

This study was conducted to fill the knowledge gap regarding the comparative effects of vermicomposts derived from matured cow dung obtained from intensive livestock farming activities (OİG) and immature natural cow dung obtained from a farm practicing traditional animal husbandry, where animals have more freedom of movement (DİG). In the first phase of this thesis work, changes in enzyme activities (alkaline phosphatase, β-glucosidase, and urease) and mesophilic bacterial counts in vermicompost beds during the vermicomposting process of these manures were determined at regular intervals over approximately 8 months. The vermicomposting experiment consisted of 8 vermicomposting piles with 2 different feedstocks and 4 replicates. After this process, the biological and chemical analyses of the resulting vermicomposts (OİG-V and DİG-V) were performed to determine the differences and variations between them.

In the second phase of the study, a pot experiment was conducted under greenhouse conditions to investigate the effects of vermicomposts produced using matured cow dung obtained from intensive livestock farming and immature natural cow dung obtained from a farm practicing traditional animal husbandry on soil and plants. The pot experiment consisted of a total of 24 pots, including 2 different vermicomposts (OİG-V and DİG-V), 2 different application rates for each vermicompost, a positive control with NPK application, and a negative control. The experiment was arranged in a completely randomized design, with curly lettuce used as the test crop. Bulk soil samples were taken in the 7th week and during harvest (9th week) of the experiment. Rhizosphere soil samples were also collected at the harvest (9th week). Biological parameters such as alkaline phosphatase, β-glucosidase, urease activities, and mesophilic bacterial counts were determined in these samples. In addition, macro and micronutrient analyses were performed on bulk soil samples taken during harvest. Macro and micronutrient contents, as well as agronomic parameters, were measured in the harvested plants.

The type of organic waste was found to have an effect on the vermicomposting process, but the overall quality of the two vermicomposts obtained was similar. The OİG-V vermicompost was found to have higher levels of P, Ca, Mg, Mn, and Zn compared to the DİG-V vermicompost. In general, enzyme activity values were measured to be similar in both vermicomposts, with only β-glucosidase activity being higher in the DİG-V. The pot experiment showed that both vermicomposts stimulated microbial activity and increased pH, organic matter, P, and Zn values in the soil. However, the DİG-V vermicompost increased organic matter and P concentration in the soil to a greater extent. The impact of both vermicomposts on soil enzyme activities was generally more pronounced in the rhizosphere

soil. β-glucosidase activity and mesophilic bacterial counts were similar in both vermicompost applications, but the DİG-V significantly affected alkaline phosphatase and urease activities in the soil. The effects of both vermicomposts on plant nutrient content were generally similar. However, the DİG-V significantly increased the plant's P content. Additionally, the DİG-V had a significant positive effect on agronomic parameters such as plant height, leaf area, and fresh and dry plant weight. In terms of fresh and dry root weight, both vermicomposts showed similar effects. In conclusion, although the OİG-V vermicompost was richer in certain nutrient elements compared to the DİG-V, it was found that the DİG-V was more effective on soil and plants.

KEYWORDS: Vermicompost, cow dung, livestock farming, traditional husbandry, enzyme activities, mesophilic bacterial counts, rhizosphere, organic matter.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Ilker UZ

Assoc. Prof. Dr. Çağdaş AKPINAR

Assoc. Prof. Dr. İsmail Emrah TAVALI

ÖNSÖZ

Bu tez projesini başarılı bir şekilde tamamlamamı sağlayan merhametli lütfu ve ilahi rehberliği için Yüce Allah'a hamdolsun.

Bu tez projesini gerçekleştirmemde kararlı desteği, dikkate değer yardımı ve yorulmak bilmez çabaları için danışmanım, Doç. Dr. İlker UZ'a içten şükranlarımı sunmak isterim. Yönlendirmesi ve mentorluğu bu çalışmanın yönünü ve içeriğini şekillendirmede paha biçilmez olmuştur.

Ayrıca, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde görev yapan öğretim üyelerine, araştırma görevlilerine ve teknik personele içtenlikle teşekkür etmek isterim. Bu kişiler, bu projenin tamamlanması için gerekli olan akademik bilgi ve pratik becerileri sağlamada olağanüstü katkılarda bulunmuşlardır.

Ayrıca, Doç.Dr. Emrah İsmail TAVALI'ya araştırma süreci boyunca sağladığı öneriler ve paha biçilmez yardımlar için derin bir minnettarlık duyuyorum. Mühendis Aylin ZAMBAK ÖZGÜR'e laboratuvar analizlerini yürütmedeki titiz çalışması ve teknik uzmanlığı için özel olarak teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu çalışmanın doğruluğu ve güvenilirliğine büyük katkıda bulunan bölüm araştırma görevlileri Büşra ÇALIK ve Merve ÇELEBİ ile birlikte Raziye YILDIZ ve Elif YANIK ALKAN gibi şu an mezun durumda olan yüksek lisans öğrencilerine mükemmel destekleri ve işbirlikleri için içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan doğak inek gübresi vermikompostunu cömertçe bağışlayan, çiftliklerinde vermikompost denememi kurma fırsatı başta olmak üzere gerekli tüm teknik ve pratik destekleri sağlayan Ali İhsan ÇİFTCİ, Tufan ÇİFTCİ ve Gamer TEMİZSOY'a son derece minnettarım. Çiftliklerinin gelişerek bereketli ürünler vermesini diliyorum.

Akademik yolculuğum boyunca desteğini, teşvikini ve motivasyonunu eksik etmeyen tüm arkadaşlarıma, Edafe'ye, Chisom'a, Idrissa'ya, Bilal'e, Sawssen'e, Fahad'a ve Afroantalya Derneği'nin tüm üyelerine teşekkürlerimi sunmak isterim. Ruhsal rehberliği ve desteği için de Antalya Muratpaşa ilçesi Güvenlik Mahallesi'ndeki Yüce Camii İmamı Hasan KOÇ'a özel teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak, YTB Bursiyeri olarak Türkiye Cumhuriyeti'nde öğrenim görme fırsatı veren Türkiye Bursları'na minnettarlığımı ifade etmek isterim. Bu paha biçilmez fırsat, yüksek lisans eğitimi almamı sağladığı gibi, Türkiye'nin zengin kültürü ve sevgi dolu insanlarına özgün bir maruziyet de sağlamıştır. Bu hayatımda bir kez yaşanacak fırsat için sonsuza kadar minnettar olacağım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ v
AKADEMİK BEYAN ix
SIMGELER VE KISALTMALAR x
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
1. GİRİŞ 1
1.1. Kapsam 2
1.2. Amaç 2
2. KAYNAK TARAMASI 4
2.1. Çalışmanın Arka Planı 4
2.2. Vermikompost ve Vermikompostlama Süreci 4
2.3. Vermikompostlama Sırasında Solucanı Etkileyen Faktörler 5
2.4. Vermikompostlamada Organik Malzemeler ve Etkileri 6
2.5. Vermikompostun Toprak Kalitesine Etkisi 6
2.5.1. Vermikompost ve toprak mikrobiyolojisi 7
2.6. Vermikompostun bitki gelişimi ve verime etkisi 7
3. MATERYAL VE METOT 23
3.1. Materyal 23
3.1.1. Vermikompostlama denemesi 23
3.1.1.1. Deneme yeri ve süresi 23
3.1.1.2. Hammaddeler ve solucanlar 23
3.1.1.3. Vermikompostlama denemesi konuları ve yürütülmesi 24
3.1.1.4. Vermikompost örneklemesi ve analizleri 26
3.1.2. Saksı denemesi 26
3.1.2.1. Deneme yeri, süresi ve test bitkisi 26
3.1.2.2. Toprak ve vermikompost 26
3.1.2.3. Deneme deseni ve uygulama dozları 27
3.1.2.4. Toprak örnekleme 27
3.2. Metot 29

3.2.1. Mikrobiyolojik analizler 29
3.2.1.1. Alkali fosfataz aktivitesi 29
3.2.1.2. β-glikosidaz aktivitesi 29
3.2.1.3. Üreaz aktivitesi 29
3.2.1.4. Bakteri sayısı 29
3.2.2. Fiziksel ve kimyasal analizler 30
3.2.2.1. Rutin toprak analizleri 30
3.2.2.2. Vermikompost ile bitkide mikro ve makro element analizleri 30
3.2.3. Marul verim ve kalite parametreleri 30
3.2.4. İstatiksel analizler 30
4. BULGULAR 31
4.1. Vermikompostlama Sürecindeki Enzim Aktiviteleri ve Bakteri Sayısı 31
4.1.1. Alkali fosfataz aktivitesi 32
4.1.2. β-glikosidaz aktivitesi 32
4.1.3. Üreaz aktivitesi 32
4.1.4. Bakteri sayısı (Toplam aerobik mezofilik bakteriler) 33
4.2. Oluşan vermikompostların fiziksel-kimyasal özellikleri 33
4.2.1. pH ve Elektriksel İletkenlik (EC) Değişiklikleri 34
4.2.2. Organik karbon, N ve C:N oranında meydana gelen değişimler 35
4.2.3. P, K, Ca, Mg ve Na kapsamında meydana gelen değişimler 35
4.2.4. Fe, Mn, Zn ve Cu kapsamında meydana gelen değişimler 36
4.2.5. Enzim aktiviteleri ve bakteri sayısındaki değişimler 36
4.3. Vermikompost uygulamalarının toprağın mikrobiyal özellikleri üzerine etkileri 37
4.3.1. Alkali fosfataz aktivitesi 37
4.3.2. β-glikosidaz aktivitesi 39
4.3.3. Üreaz aktivitesi 39
4.3.4. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı 41
4.4. Vermikompost uygulamalarının toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkisi 42
4.4.1. Toprakta pH, EC ve organik madde değerlerindeki değişimler 42
4.4.2. Toprak makro besin element kapsamındaki değişimler 44
4.4.3. Toprak mikro besin element kapsamındaki değişimler 44

4.5. Vermikompost uygulamalarının bitkinin besin içeriği üzerine etkileri 44
4.5.1. Bitkinin makro besin içeriğindeki değişimler 44
4.5.2. Bitkinin mikrobesin içeriğindeki değişimler 45
4.6. Vermikompost uygulamalarının bitki agronomik parametreleri üzerine etkisi 47
4.7. Toprak mikrobiyal ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkiler 48
5. TARTIŞMA 52
5.1. Vermikompostlama sırasında enzim aktivitesi ve bakteri sayısındaki değişimler 52
5.1.1. Alkali fosfataz aktivitesi 52
5.1.2. β-glikosidaz aktivitesi 52
5.1.3. Üreaz aktivitesi 53
5.1.4. Bakteri sayısı 53
5.2. Oluşan vermikompostlarda meydana gelen değişimler 54
5.2.1. pH ve EC 54
5.2.2. Organik karbon, N, ve C:N 54
5.2.3. P, K, Ca, Mg ve Na 55
5.2.4. Mikrobesin elementleri 56
5.3. Enzim aktiviteleri ve mikrobiyal popülasyon 57
5.4. Vermikompost uygulamalarının toprak mikrobiyal aktiviteleri üzerindeki etkisi 57
5.4.1. Alkali fosfataz aktivitesi 57
5.4.2. β-glikosidaz aktivitesi 58
5.4.3. Üreaz aktivitesi 58
5.4.4. Bakteri sayısı 59
5.5. Vermikompost uygulamalarının toprak verimlilik parmetreleri üzerindeki etkisi 59
5.6. Vermikompost uygulamalarının bitkinin besin içeriği üzerine etkileri 61
5.7. Vermikompost uygulamalarının bitki agronomik parametreleri üzerine etkisi 62
6. SONUÇLAR 65
7. KAYNAKLAR 67
8. EKLER 83

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Farklı İnek Gübresinden Elde Edilen Vermikompostun Toprağın ve Bitkinin Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi" adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

14/07/2023

Sulaimon Ayobami ELESHIN

SIMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

% : Yüzde

µl : mikrolitre

µS cm^{-1} : Mikrosimens $santimetre^{-1}$

mS cm^{-1} : Milisimens $santimetre^{-1}$

µg g^{-1} : Mikrogram $gram^{-1}$

kob g^{-1} : Koloni oluşturan birim $gram^{-1}$

mg kg^{-1} : Miligram $kilogram^{-1}$

kg : Kilogram

g cm^{-3} :Gram $santimetreküp^{-1}$

mm :Milimetre

cm :Santimetre

cm^2 : Santimetrekare

t da^{-1} : Ton $dekar^{-1}$

mg l^{-1} : miligram $litre^{-1}$

ppm : Milyonda kısım (part per million)

NH_4^+ -N : Amonyum azotu

Kısaltmalar

DİG : Doğal inek gübresi

DİG-V : Doğal inek gübresi Vermikompostu

DTPA : Dietilentriaminpentaasetikasit ICP: İndüktif eşleşmiş plazma (Inductively Coupled Plasma)

dw : kuru ağırlık

EC : Elektriksel İletkenlik

OİG : Olgunlaştırılmış inek gübresi

OİG-V : Olgunlaştırılmış inek gübresi Vermikompostu

pH : Hidrojen iyonu konsantrasyonu eksi logaritması

PNG : ρ-nitrofenil-β-D-glikosit

PNP : p-Nitrofenil fosfat disodyum hexahidrat

SD : Serbestlik derecesi

TN : Toplam azotu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Vermikompostlama sürecinde kullanılan solucanlar (A). Deneme başlangıcında hazırlanmış vermikompostlama yığınları (B). Deneme başlangıcında hazırlanmış yığınlara solucanların eklenmesi (C). Denemenin ileri evrelerinde yığınlar üzerine çıkmış solucanlar (D). 25

Şekil 3.2. Denemede kullanılan marul fideleri (A). Fide dikimi sonrasında saksılar(B). Olgun marul bitkileri (C). Hasat sırasında yapılan normal toprak ve rizosfer toprağı örneklemesi (D). 28

Şekil 4.1. Vermikompostlama sırasında uygulamaların alkalin fozfataz aktivitesi (A) ve β-glikosidaz (B) aktivitesi üzerindeki etkisi 32

Şekil 4.2. Vermikompostlama sırasında uygulamaların üreaz aktivitesi (A) ve bakteri sayısı (B) üzerindeki etkisi..... 33

Şekil 4.3. Vermikompost uygulamalarının toprak alkalin fosfataz aktivitesi (A) ve β-glikosidaz (B) aktivitesi üzerindeki etkileri 38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Vermikompostlama için önemli abiyotik parametreler ve önerilen aralıklar 5

Çizelge 3.1. *Eisenia foetida*'nın yaşam döngüsü özellikleri ve bazı gelişim gereksinimleri 23

Çizelge 3.2. Vermikompostlamada kullanılan inek gübrelerinin kimyasal ve biyolojik özellikleri 24

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan toprağın ve vermikompostların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri 27

Çizelge 4.1. Vermikompostlama sürecinde enzim aktiviteleri ve bakteri sayısındaki değişimler 31

Çizelge 4.2. Oluşan vermikompostların biyokimyasal özellikleri 34

Çizelge 4.3. Vermikompost uygulamalarının toprak alkali fosfataz aktivitesi ve β-glikosidaz aktivitesi üzerindeki etkileri 38

Çizelge 4.4. Vermikompost uygulamalarının toprak üreaz aktivitesi ve bakteri sayısı üzerindeki etkileri 40

Çizelge 4.5. Vermikompost uygulamalarının toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkisi 43

Çizelge 4.6. Vermikompost uygulamalarının bitkinin besin içeriği üzerine etkileri 46

Çizelge 4.7. Vermikompost uygulamalarının marul bitkisinin agronomik parametreleri üzerine etkisi 49

Çizelge 4.8. Normal toprakta mikrobiyal ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkiler 50

Çizelge 4.9. Rizosfer toprağında mikrobiyal ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkiler 51

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artan gıda talebini karşılamak için tarımsal faaliyetlerin yani bitkisel ve hayvansal üretimin geliştirilmesi ve güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu durum, önemli miktarda organik atık üretimine yol açmaktadır. Artan nüfusun yanı sıra yükselen yaşam standartları ve beslenme alışkanlıklarındaki değişiklikler, küresel ölçekte hayvancılık endüstrisinin genişlemesine neden olmuş ve bu da artan hayvansal atık miktarına bağlı olarak önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir (Bluemling ve Wang 2018). FAO 2019'a göre, yüzyılın başından beri dünya genelinde yıllık olarak üretilen hayvan gübresi (N içeriği) miktarı 30 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Bu organik atıklardan havaya, toprağa, yüzey ve yeraltı sularına salınan maddeler ekosisteme ciddi şekilde zarar vermektedir (Rahman vd. 2008; Lee vd. 2009; Sarker vd. 2009; Ahsan vd. 2013, 2014; Won vd. 2016). Hayvan gübresi, küresel ısınmaya katkıda bulunan sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır, bu nedenle ileri ve verimli çevre dostu hayvan gübresi yönetimi, küresel gıda güvenliği ve sürdürülebilirliği için kritik bir öneme sahiptir.

Hayvansal üretinden kaynaklanan atıklar yüksek oranda temel besin maddeleri içerdiklerinden dolayı organik gübre olarak kullanılmaktadırlar. Ancak bu gübrelerin taşınma maliyetlerinin ekonomik olmaması (St-Pierre ve Wright 2013) ve ağır metal, pestisit kalıntıları ve çeşitli patojenleri içermesi nedeniyle kirletici haline gelme eğilimi bulunmakta ve bu nedenle tarımda kullanım potansiyeli düşebilmektedir (Pindozzi vd. 2013). Geleneksel kompost ve vermikompost, hayvan gübresine alternatif olarak görülen organik materyallerdir. Vermikompost, vermikompostlama sürecindeki yüksek mineralizasyon ve humifikasyon oranı nedeniyle, fiziksel yapısı, besin içeriği ve biyokimyasal değeri açısından geleneksel kompostlama ürünlerine göre birçok avantaja sahiptir (Lim vd. 2016). Vermikompost, toprak solucanları ve mikroorganizmaların organik atıkları hızlı ve verimli bir şekilde parçalayarak bir humus benzeri maddeye dönüştürdüğü çevre dostu bir kompostlama ürünüdür (Lim vd. 2014).

İnek, koyun, keçi ve at gübresi, kâğıt fabrikası atıkları, biçilmiş çim, budama atıkları, orman ürünleri talaşı, çeltik atıkları, çay atıkları ve diğer tarımsal atıklar çeşitli epigeik solucan türleri tarafından vermikomposta dönüştürülebilir (Bellitürk vd. 2015; Bellitürk, 2016). Vermikompost üretiminde kullanılan bu materyaller arasında içeriği ve işlenebilirliği açısından inek gübresi, solucanlar tarafından en çok tercih edilen materyaldir. Ek olarak, inek gübresi, sindirilebilirliği ve uygun C:N oranı nedeniyle vermikompost üretimi için özellikle tercih edilen bir altlık malzemesidir (Lim vd. 2016). Makro ve mikro besin maddelerinin yanı sıra, vermikompost, önemli oranlarda vitaminler, büyüme hormonları, proteazlar, amilazlar, lipazlar, selülaz ve kitinaz gibi enzimler üreten bir mikrofloraya sahiptir (Barik vd. 2011). Vermikompost uygulamasının bitki gelişimini ve besin içeriğini artırmak gibi olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, Özkan ve Müftüoğlu (2016) vermikompost dozlarının arttırılmasının marul büyümesi üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve vermikompost'un marul yaprak sayısını önemli ölçüde arttırdığını bulmuşlardır. Vermikompost uygulamalarının bitki gelişimi ve verim üzerindeki olumlu etkileri çeşitli çalışmalar tarafından bildirilmiş olsa da, vermikompostun toprağın mikrobiyal aktivitesi üzerindeki etkisi hakkında sınırlı çalışmalar yapılmıştır. Şaşırtıcı bir şekilde, inek gübresi hammaddesi kaynaklarının vermikompost

kalitesi ve topraktaki mikrobiyal aktivite ile bitki özellikleri üzerindeki etkisi hakkında nispeten az bilgi bulunmaktadır.

1.1. Kapsam

Hayvancılık faaliyetleri sonucunda önemli miktarda atık ortaya çıkmaktadır ve bu atıklar uygun bir şekilde değerlendirilmezlerse ciddi bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Bu faaliyetler sonucunda açığa çıkan atıklar normal koşullarda bitkisel üretimde doğrudan gübre olarak veya vermikompost gibi daha değerli organik gübre formlarına çevrilerek kullanılabilmektedir. Vermikompost üretmek amacıyla kullanılan materyaller içerisinde inek gübresi içerik ve solucanlar tarafından işlenebilirlik açısından en tercih edilen materyaldir. Türkiye'de de özellikle ticari olarak vermikompost üreten işletmeler hammadde olarak inek gübresi kullanmaktadırlar. Bu işletmeler tarafından kullanılan inek gübreleri de genel olarak yoğun besicilik yapılan, dolayısıyla hayvanların hareket alanlarının kısıtlı olduğu besi çiftliklerinden elde edilmektedir. Bunun bir sonucu olarak bu çiftliklerden elde edilen ham inek gübreleri aslında inek dışkısı ve idrarının karışımından oluşmaktadır. Bu materyalin yüksek amonyak içeriği nedeniyle genelde vermikompost üretimi için olgunlaştırılmış (yanmış) inek gübresi kullanılmaktadır. Vermikompost üreten birçok işletme, kaynağı ne olursa olsun satın aldıkları inek gübrelerini önlem olarak belli bir süre bekleterek olgunlaştırmaktadırlar. Bununla birlikte, hayvanların hareket alanlarının daha geniş olduğu geleneksel hayvan yetiştiriciliği yapan ve aynı zamanda öncelikle kendi kullanımları için vermikompost üreten bazı çiftlik sahipleri ise elde ettikleri inek gübrelerini herhangi bir olgunlaştırma yapmadan kullandıklarını, vermikompostlama sırasında herhangi bir koku vb. olumsuzluk yaşamadıklarını, solucanların bu gübreleri çok daha hızlı bir şekilde vermikomposta dönüştürdüklerini ve elde edilen vermikompostun diğer vermikompostlara göre bitki yetiştiriciliğinde bariz fark yarattığını belirtmektedirler. Ancak bu tür gözlemler herhangi bir sayısal değer içermediğinden ve dolayısıyla akademik ve istatistiksel kurallara göre objektif incelenemediğinden subjektif değerlendirme olarak kalmaktadır. Bilimsel literatüre bakıldığında ise genel olarak vermikompost üretiminde hammadde olarak olgunlaştırılmış inek gübresinin kullanılmakta olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte, vermikompost ile yapılmış birçok çalışmada hammadde olarak kullanılan gübrenin kaynağı ve vermikompostlama öncesi hangi işlemlerden geçtiği belirtilmemektedir. Dolayısıyla literatürde bu konu ile ilgili bir bilgi eksikliği vardır. Bu çalışma bu eksikliği gidermeye yönelik olarak hazırlanmış bir çalışmadır. Bu çalışma vermikompost gibi önemli bir organik gübrenin etkinliğinin artırılması konusuna da katkı sağlayacaktır.

1.2. Amaç

Genel olarak, bu araştırma, ineklerin hareketleri sınırlı olan yoğun yetiştirme tesislerinden elde edilen ve separatörden geçirilen veya olgunlaştırılan hayvan gübresi ile hayvanların hareket alanlarının daha geniş olduğu geleneksel hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan ve olgunlaştırma sürecine tabi tutulmayan hayvan gübresi kullanılarak elde edilen vermikompostların bazı toprak ve bitki özellikleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmak üzere yapılmıştır.

Bu araştırmanın özel amaçları şunlardır:

- Enzim aktiviteleri ve mikrobiyal varlık göstergelerini kullanarak yoğun besicilik faaliyetleri sonucu elde edilen ve olgunlaştırılan hayvan gübresi ile geleneksel hayvancılık faaliyeti soncun elde edilen ve olgunlaşmamış hayvan gübresinin vermikompostlama hızını belirlemek.
- Elde edilen bu vermikompostların marul rizosferindeki enzim ve mikrobiyal aktivite üzerindeki etkisini incelemek.
- Bu vermikompostların bitki büyümesi ve verim üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemek.
- Vermikompost uygulanan topraktaki toprak kalitesi parametrelerini ilişkilendirmek.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Çalışmanın Arka Planı

Tarımsal faaliyetler, artan nüfusun nedeniyle oluşan gıda ihtiyacını karşılamak için yoğunlaştırılmakta ve genişletilmektedir. Bu durum büyük miktarlarda organik atık üretimine yol açmaktadır. İneklerden insanların birçok amaç için (et, süt ve bazı yerlerde hayvan gücü vb.) faydalanması nedeniyle oluşan inek gübresi miktarı insan nüfusu ile birlikte artmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2022 itibariyle Türkiye'nin büyük baş varlığının 17.875.672 adet olduğunu bildirmiştir (TÜİK 2022). Tufaner ve Avşar (2019) tarafından yapılan bir tahmine göre, her ineğin günlük 10 ile 20 kg ıslak gübre ürettiği varsayıldığında, Türkiye'de günlük olarak 186.000-372.000 ton hayvan dışkısı üretilmektedir. Tüketicilerin gıda kalitesi, ekolojik sürdürülebilirlik ve toprak koruması gibi sorunlara daha fazla duyarlı hale gelmesi nedeniyle, sürdürülebilir tarım yöntemlerinin kullanımı son yıllarda önemli ölçüde genişlemiştir. Dolayısıyla hayvan gübresinin toprak düzenleyici olarak kullanılması, sadece atık yönetimine yardımcı olmakla kalmamakta, aynı zamanda daha istikrarlı, çevre dostu ve ekonomik olabilecek alternatifler oluşturarak kimyasal girdilerin azaltılmasına, toprak bozulmasının önlenmesine ve verimliliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Vermikompostlama, çeşitli organik atıkları kompostlamak için solucanları kullanan çevresel açıdan faydalı bir organik gübre üretim teknolojisi örneğidir (Blouin vd. 2019). Birçok araştırma, inek dışkısının vermikompostlama için kullanımının faydalarını ve uygunluğunu incelemiştir (Hand vd. 1988; Belliturk 2016; Lim vd. 2016). Ancak ilginçtir ki vermikompost üretiminde kullanılan inek gübresinin kaynağı ve çeşitinin, üretilen vermikompostun kalitesi ile toprak ve bitki üzerindeki son etkilerine ilişkin bir bilgi eksikliği bulunmaktadır. Aşağıdaki literatür taraması, vermikompostlama ve vermikompost uygulamasının toprak kalitesi ve bitki üzerindeki etkileriyle ilgili çalışmaları genel bir özet olarak sunmaktadır.

2.2. Vermikompost ve Vermikompostlama Süreci

Vermikompost kelimesinde bulunan "vermi" eki Latincede "solucan" anlamına gelen bir kelimeden gelmektedir (Edwards vd. 2010). Vermikompostlama, geleneksel kompostlama ile benzerlik göstermekle birlikte, solucanların kullanımını içermekte olup, solucanlar ayrıca havalandırıcılar, öğütücüler, kırıcılar, kimyasal parçalayıcılar ve biyostimülanlar olarak da işlev görebilmektedirler. Bu nedenle, bu işleme maruz kalan organik materyaller hızlı bir şekilde fiziksel ve biyokimyasal değişimlere uğramaktadırlar (Sinha vd. 2010). Solucanlar, organik bileşenleri sindirerek ve parçalayarak organik materyalin yüzey alanını arttırdıklarından vermikompostlama süreci sırasında mikroorganizmalara daha fazla maruz kalınmasını sağlamaktadırlar (Arora ve Kaur 2019). Süreç, mikrobiyal toplulukların bileşimini değiştirip, materyalleri parçalayan organizmaların gelişimini teşvik edebilmektedir (Chen vd. 2015). Ancak, vermikompostlama normal komposttan hem fiziksel hem de biyolojik yapı açısından farklı bir ürün olan vermikompost veya vermikast üretmektedir (Edwards vd. 2011).

Vermikompostlama işlemi, solucan aktivitesine bağlı olarak iki farklı aşamadan oluşmaktadır. Solucanlar, ilk aşamada organik materyali işleyerek fiziksel özelliklerini ve mikrobiyal yapısını değiştirirler. Bu aşama aktif bir aşamadır (Lores vd. 2006). İkinci aşama, olgunlaşma aşaması olarak bilinir ve solucanlar işlemiş oldukları organik materyal yığınının daha genç katmanlarına geçerken mikroorganizmalar solucanların işlediği materyali parçalamaya devam ederler (Aira vd. 2007; Gómez-Brandón vd. 2011). Vermikompost üretmek için, belirli solucan türleri tercih edilmektedir. Şimşek ve Erşahin (2007)'e göre en popüler türler *Eisenia foetida* ve *Lumbricus spp*.'dir. Güçlü üreme potansiyeli, hızlı metabolizma, geniş adaptasyon aralığı ve daha yüksek organik madde içeriği ile vermikompost üretebilme kabiliyeti, bu türlerin seçiminde göz önüne alınan kritik özellikler arasındadır (Edwards ve Bohlen 1996).

2.3. Vermikompostlama Sırasında Solucanı Etkileyen Faktörler

Vermikompostlamanın ana motoru olan toprak solucanlarının performansını, büyüme ve üreme başarısını olumsuz etkileyebilecek faktörlerin kontrol altında tutulmasıyla başarılı bir vermikompost üretimi sağlanabilir. Yadav ve Garg (2011), bu faktörleri biyotik faktörler ve abiyotik faktörler olarak iki gruba ayırmıştır. Abiyotik değişkenler arasında nem, pH, sıcaklık, havalanma, yem miktarı, ışık ve C: N oranı örnek gösterilebilir. Biotik faktörler ise stok yoğunluğu, mikroorganizmalar ve enzimlerdir. En uygun solucan performansına ulaşmak ve iyi kalitede vermikompost elde etmek için takip edilecek parametreler ve en uygun değerler aralıklarını belirlemek üzere birçok çalışma yapılmıştır.

Çizelge 2.1, solucan gelişimi için ideal koşulları inceleyen çeşitli araştırmalara dayanarak vermikompostlama için önemli abiyotik parametrelerin ve önerilen aralıklarının bir listesini sunmaktadır (Yadav ve Garg 2011).

Çizelge 2.1. Vermikompostlama için önemli abiyotik parametreler ve önerilen aralıklar

Abiyotik Faktörler	Optimum Koşullar
Nem	%60-%80
Sıcaklılık	12-28°C
pH	5.5-8.5
Havalandırma	Yeterli
Işık	Karanlık
Besleme Miktarı	100 -300 mg/g vücüt ağırlığı/gün
C:N Oranı	20-25

.

2.4. Vermikompostlamada Organik Malzemeler ve Etkileri

Vermikompostlama işleminin başarılı olabilmesi için solucanlara doğru organik atıkların veya besin kaynaklarının verilmesi gerekmektedir (Yadav ve Garg 2011). Vermikompost üretimi için çeşitli organik materyaller kullanılabilmektedir ancak organik materyallerin solucanlar üzerindeki etkisi, vermikompost üretiminin etkinliği ve nihai olarak üretilen vermikompostun kalitesinde farklılıklar yaratabilmektedir. Vermikompost üretimi için hammadde olarak kullanılabilecek organik atıklar arasında inek gübresi (Lim vd. 2016), ekmek endüstrisi atıkları (Yadav ve Garg 2019), çeşitli bitki artıkları (Chen vd. 2018) ve çeltik atıkları (Das vd. 2016) sayılabilir. İnek gübresinin, içeriği ve özellikle C:N oranı nedeniyle, vermikompost üretiminde ideal bir yem materyali olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Lim vd. 2016). Vermikompost sisteminde, bu hammaddeler solucanların ana besin kaynağı olarak hizmet ettiklerinden dolayı bu materyallerin miktarı ve kalitesi solucanların büyümesi ve faaliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Hammaddeler solucanlar için uygun olmadığında ve yavaş kompostlama hızında yüksek ölüm oranları görülebilmektedir. Solucanların hayatta kalması için hayvan gübresi, domuz gübresi ve meyve-sebze atıkları gibi yem materyallerine ihtiyaçları vardır (Katheem vd. 2015). Suthar (2008) tarafından yapılan bir çalışmada kötü koşullar ve zararlı ham maddeler ölümlerin sorumlusu olmuştur. Sinha vd. (2010) tarafından yapılan çalışmalar farklı solucan türlerinin tuzlu besin kaynaklarına toleransının farklı olduğunu göstermektedir. Gunadi ve Edwards (2003) tarafından yapılan bir çalışmaya göre yüksek tuz, yüksek NH_4^+ konsantrasyonu, yüksek nem içeriği veya düşük pH'ya sahip materyaller *Eisenia foetida*'yı olumsuz etkilemektedir.

Hammaddenin özellikleri solucan aktivitesi üzerinde etkili olmanın yanı sıra ayrışma hızını da etkilemektedir. Farklı materyaller doğada farklı hızlarda ayrışır. Örneğin, selüloz proteinden ve karbonhidrattan daha yavaş ayrışır (Warman ve Anglopez 2010). Genel olarak, bir materyal, mikroorganizmalar ve solucanlar tarafından kolayca parçalanabilmesi halinde daha hızlı bozulur (daha iyi vermikompost verimliliği elde edilir). Nedgwa vd. (2000) tarafından yapılan çalışmaya göre mikrobiyal ayrışma hızı C:N oranı 25 olduğunda zirve yapmaktadır. Ancak, vermikompostlama sürecinin verimliliği belirli bir atık türü için sabit değildir ve takviyeler eklenerek önemli ölçüde değiştirilebilir. Edwards vd. (2011) tarafından yapılan çalışmaya göre kireç, zeolit ve enzimlerin eklenmesi, vermikompostlama sürecini hızlandırmaktadır. Vermikompost kalitesi ve başlangıç materyali arasında yakın bir ilişki vardır. Katı madde miktarı, hacim yoğunluğu, nem, asitlik, bitki besin maddeleri, enzim aktivitesi ve mikrobiyal popülasyon gibi bir dizi fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler vermikompost kalitesini etkiler (Edwards vd. 2011). Başlangıç materyalinin nereden geldiğine bağlı olarak, bu özelliklerdeki farklılıklar daha belirgin olabilir. Örneğin, kâğıt atıkları ve mutfak atıklarından yapılan vermikompost, bahçe atıkları ve inek gübresinden yapılan vermikomposta göre daha ince ve kalındır (Warman ve Anglopez 2010). Birçok araştırmaya göre, farklı atıklar vermikompostta farklı otokton mikrobiyal popülasyonlara neden olmaktadır (Fernandez-Gomez vd. 2011).

2.5. Vermikompostun Toprak Kalitesine Etkisi

Vermikompost, toprağa organik madde ekleyerek, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirir (Ansari ve Jaikishun 2011; Chauhan ve Singh 2013). Ayrıca,

zararlı böcek ve patojenlerin yayılmasını önleyerek, mikrobiyal aktiviteyi artırarak toprak verimliliği ve kalitesini artırır (Arancon ve Edwards 2005). Vermikompostun toprak organik karbonunu artırdığı yaygın bir şekilde kabul edilir (Parthasarathi vd. 2008; Ramesh vd. 2009). Birçok araştırma, vermikompostun toprağın fosfor (P) ve potasyum (K) kapsamını artırdığını göstermiştir (Arancon vd. 2006; Parthasarathi vd. 2008; Ramesh vd. 2009; Lazcano vd. 2012; Islas-Espinoza vd. 2013; Rathod vd. 2013). Tillman vd. (1996) tarafından belirtildiği gibi, bitki büyümesini sınırlandıran temel besin maddesi azotudur (N). Vermikompostun toprak azotunu nasıl etkilediğine dair bilgiler nispeten daha azdır. Singh vd. (2008) tarafından yapılan bazı araştırmalar vermikompost uygulaması ile toprak azotunda bir artış olduğunu göstermiş iken Ansari (2008) ve Chamani vd. (2008) gibi diğer bazı araştırmacılar toprağın azot kapsamında bir değişiklik olmadığını rapor etmişlerdir.

2.5.1. Vermikompost ve toprak mikrobiyolojisi

Solucanlar yem materyalini değiştirerek belirli bakterilere yeni bir ev sağlarlar ve diğerlerini yok ederler (Doan vd. 2013; Gholipoor vd. 2014; Yang vd. 2014). Sonuç olarak, nihai mikrobiyal topluluk solucanlı yem materyalinden büyük ölçüde farklıdır (Yasir vd. 2009; Huang vd. 2013). Vermikompost, toprağa yeni tür bakteriler ekleyerek toprak organizmalarının çeşitliliğini artırır (Lazcano vd. 2012; Doan vd. 2013). Vermikompostun bitki büyümesine yardımcı hormonlar üreten, fosforu çözen, çeşitli karbon kaynaklarını kullanan, mantar hastalıklarını baskılayan ve hatta bitki verimini arttıran bakteriler içerdiği kanıtlanmıştır (Pathma ve Sakthivel 2013; Gopalakrishnan vd. 2014). Topraktaki ve rizosferdeki mikrobiyal popülasyon organik materyaller tarafından etkilenir ve bu materyallerden açığa çıkan organik karbon rizosferde baskın bakterilerin ortaya çıkmasından büyük ölçüde sorumludur (Lazcano vd. 2012).

Vermikomposttaki organik karbonun kalitesi ve miktarı vermikompostlama için kullanılan yem materyalinin tipine doğrudan bağlı olabilir ve bu da dolaylı olarak rizosfer popülasyonuna etki edebilir. Bitki gelişimindeki ve toprak verimliliğindeki değişimlerin nasıl işlev gördüğünü açıklamak için rizosferdeki değişimlerin daha detaylı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Jack vd. (2011) tarafından belirtildiğine göre, mikroorganizmalar rizosfer topluluklarının sürecini değiştirebilirler. Vermikompostla yeniden doldurulduktan sonra rizosfer populasyonu birçok değişikliğe uğrar ve nihayetinde yeni bir topluluğa kararlılık kazanır. Rizosferdeki bu yeni tanıtılan türlerin popülasyonu, bu türler ile rizosfer ortamı arasındaki erken etkileşimlerin bir sonucu olabilir (Jack vd. 2011). Vermikompost mikrobiyal topluluğunun rhizosferdeki kısa ömrüne rağmen, yabancı türlerin varlığı doğal rizosfer populasyonunu değiştirmiştir (Jack vd. 2011).

2.6. Vermikompostun bitki gelişimi ve verime etkisi

Vermikompost uygulamasının bitki üzerinde artan büyüme ölçütleri ve daha yüksek besin içeriği gibi çeşitli olumlu etkileri olduğu keşfedilmiştir. Ayrıca, ideal koşullar altında vermikompost ile beslenen bitkilerin kimyasal gübrelerle işlem görmüş bitkilere göre üstün gelişme özellikleri sergilediğini gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Uma ve Malathi (2009) vermikompost'un çimlenmeden 30 gün sonra uygulanmasıyla horoz ibiği

bitkisinin ortalama yüksekliğinin ve dal sayısının arttığını bildirmişlerdir. Özkan ve Müftüoğlu'nun (2016) marul gelişimini nasıl etkilediğini belirlemek için yaptıkları bir çalışmada yüksek vermikompost dozlarının marul yaprak sayısını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Yapılan birçok çalışma vermikompost uygulamasının sera koşullarında sebze verimini artırabileceğini göstermiştir (Arancon vd. 2005, 2006; Khan ve Ishaq 2011; Doan vd. 2013; Manh ve Wang 2014; Yang vd. 2015; Hosseinzadeh vd. 2017).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Vermikompostlama denemesi

3.1.1.1. Deneme yeri ve süresi

Bu çalışma kapsamındaki vermikompostlama denemesi, Burdur İli Bucak İlçesi sınırları içerisinde bulunan bir çiftlikte gerçekleştirilmiştir. Vermikompost üretimi, 28 Ekim 2021 tarihinde başlayıp 30 Haziran 2022 tarihinde sona eren sekiz aylık bir süreyi kapsamıştır. Bu süre boyunca vermikompostlama süreci titizlikle izlenmiş ve elde edilen verimikompost kapsamlı bir kalite değerlendirmesinden geçirilmiştir.

3.1.1.2. Hammaddeler ve solucanlar

Denemede, vermikompost üretim süreci *Eisenia foetida* türü solucanlar (California kırmızı solucanları olarak da bilinir) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu solucan türüne ait bazı özellikler Çizelge 3.1 de verilmiştir (Lowe vd. 2014). Vermikompost üretimi için iki farklı türde inek gübresi hammadde olarak kullanılmıştır. İlk inek gübresi hayvanların doğal çayırlar ve otlar üzerinde serbestçe otlatıldığı, ahır içerisinde de geniş bir hareket serbestisinin bulunduğu geleneksel bir çiftlikten elde edilmiştir ve gübre herhangi bir olgunlaştırma işleminden geçirilmemiştir (Doğal inek gübresi-DİG). Denemede kullanılan diğer inek gübresi ise hayvanların sınırlı alanlarda tutulduğu ve ticari yemlerle beslendiği yoğun bir besicilik faaliyetinin yürütüldüğü bir çiftlikten elde edilmiştir ve gübre belirli bir süre olgunlaştırılmıştır (olgunlaştırılmış inek gübresi-OİG). Kullanılan inek gübrelerinin bazı kimyasal ve biyolojik özellikleri Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. *Eisenia foetida*'nın yaşam döngüsü özellikleri ve bazı gelişim gereksinimleri

	Eisenia foetida
Üreme şekli	Partenogenetik
Büyüme hızı (gün)	28-30
Koza kuluçka (gün)	18-26
Koza canlılığı (%)	73-80
Günlük koza sayısı	0.35-0.5
Optimum nem içeriği (%)	80-85
Optimum sıcaklık (°C)	25

Çizelge 3.2. Vermikompostlamada kullanılan inek gübrelerinin kimyasal ve biyolojik özellikleri

Parametre	DİG	OİG
pH (1:10 su)	8.01	7.98
EC (1:10 su) mS cm^{-1}	1.31	1.68
Organik karbon (%)	46.02	44.58
Organik madde (%)	79.34	76.86
C:N	17.24	14.81
TN (%)	2.67	3.01
P (%)	0.16	0.52
K (%)	0.42	0.79
Ca (%)	2.26	4.56
Mg (%)	0.46	0.60
Na (%)	0.14	0.14
Fe (ppm)	2405	3332
Mn (ppm)	132.9	239.7
Zn (ppm)	54.3	502.5
Cu (ppm)	21.66	251.1
Alkali fosfataz aktivitesi (µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$)	489.60	778.87
β-glikosidaz aktivitesi (µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$)	303.63	287.15
Üreaz aktivitesi (µg NH4+-N g^{-1} dw $saat^{-1}$)	375.28	198.41
Bakteri sayısı (kob g^{-1})	1.06×10^7	3.08×10^7

3.1.1.3. Vermikompostlama denemesi konuları ve yürütülmesi

Denemede vermikompostlama için yığın sıraları sistemi kullanılmıştır. Yığınlar, kapalı bir tesis içerisinde naylon örtü ile kaplı beton bir yüzey üzerinde dikdörtgen şekilli olacak şekilde hazırlanmıştır. Her bir yığın ilk başlangıçta 5 kg inek gübresi ve 150 gr solucan içermiştir. Sekiz aylık vermikompostlama süreci boyunca solucanlar yüzeye yaklaştığında ve vermikompost yataklarında görünüm, renk ve boyut değişiklikleri meydana geldiğinde 10 cm'den kalın olmayacak şekilde yeni yem malzemesi yığın üzerine eklenmiştir. Deneme, doğal inek gübresi (DİG) ve olgunlaştırılmış inek gübresi (OİG) olmak üzere iki yem materyali ile 4 tekerrürlü olarak toplam 8 yığından (parselden) oluşmuştur (Şekil 3.1).

Solucanlar için ideal bir kompostlama ortamı oluşturmak için çevresel aydınlatma uygun şekilde yönetilmiş ve yığınların nemliliği %65 ile %80 arasında tutulmuştur.



Şekil 3.1. Vermikompostlama sürecinde kullanılan solucanlar (A). Deneme başlangıcında hazırlanmış vermikompostlama yığınları (B). Deneme başlangıcında hazırlanmış yığınlara solucanların eklenmesi (C). Denemenin ileri evrelerinde yığınlar üzerine çıkmış solucanlar (D).

3.1.1.4. Vermikompost örneklemesi ve analizleri

Vermikompost üretiminin ilk iki ayında, erken mikrobiyal aktivite değişikliklerini izlemek için iki haftada bir örnekler alınmıştır. Bundan sonra, vermikompostlama işlemi tamamlanana kadar aylık olarak örnekler alınmıştır. Enzim aktiviteleri ve toplam mezofilik bakteri sayıları vermikompostlamanın hızını ve ilerleyişini değerlendirmek için kullanılmıştır. Vermikompostlama sürecinde yığınlardan belirli aralıklarla alınan örnekler genelde bekletilmeden analiz edilmiştir. Ancak, analizlerin hemen yapılamadığı durumlarda örnekler buzdolabında +4°C'de saklanmıştır. Deneme sonunda elde edilen vermikompostlar biyolojik parametrelerin yanı sıra makro ve mikro besin maddesi kapsamları açısından da analiz edilmiştir.

3.1.2. Saksı denemesi

3.1.2.1. Deneme yeri, süresi ve test bitkisi

Saksı denemesi Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait eğitim ve uygulama arazisindeki bir serada gerçekleştirilmiştir. Deneme yaklaşık iki ay sürmüş ve 24 Kasım 2021 tarihinde başlayıp 26 Ocak 2022 tarihinde sona ermiştir. Denemede test bitkisi olarak kıvırcık marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin Caipira çeşidi kullanılmıştır. Bu bitkinin seçilmesinin sebebi Akdeniz bölgesinde yaygın olarak yetiştiriliyor olması ve yetişricilik ve bakım işlemlerinin kolay olmasıdır.

3.1.2.2. Toprak ve vermikompost

Bu çalışma kapsamındaki saksı denemesinde kullanılan toprak ticari bir firmadan elde edilmiştir. Yaklaşık 200 kg toprak sabit bir ağırlık elde edilinceye kadar kurutulmuş ve 4 mm elekten elendikten sonra her bir saksıya 5 kg toprak gelecek şekilde saksılara aktarılmıştır. Deneme öncesinde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan toprak, killi tın tekstüre sahip olup, nötr pH aralığında (Soil Survey Division Staff 1993), çok kireçli (Kellog 1952) ve tuzluluk bakımından düşük (Evliya 1960) sınıfta yer alır. Toprak, toplam azot açısından fakir (Loue 1968), organik madde bakımından yetersiz (Thun vd. 1955), alınabilir fosfor bakımından düşük (Olsen ve Sommers 1982), değişebilir kalsiyum ve magnezyum bakımından iyi ve değişebilir potasyum bakımından orta düzeyde (Pizer 1967; Loue 1968) bulunmuştur. Deneme toprağının ayrıca, yeterli düzeyde mangan ve bakır, iyi düzeyde demir (Lindsay ve Norvell 1978) ve düşük düzeyde çinko (Lindsay ve Norvell 1978) kapsadığı belirlenmiştir (Çizelge 3.3).

Bu deneme için iki farklı vermikompost türü kullanılmıştır. Bunlar, yoğun besicilik faaliyeti yapılan çiftliklerden elde edilen ve seperatörden geçirilip olgunlaştırılmış inek gübresinden üretilmiş vermikompost (OİG-V) ile geleneksel hayvan yetiştiriciliği yapılan bir çiftlikten elde edilen ve herhangi bir olgunlaştırma işlemi yapılmamış doğal inek gübresinden üretilmiş vermikomposttur (DİG-V). Denemede kullanılan vermikompostlara ait analiz sonuçları Çizelge 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan toprağın ve vermikompostların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri

Parametre	Toprak	Parametre	DİG-V	OİG-V
pH (1:2.5 su)	7.02	pH (1:10 su)	7.23	6.49
EC (1:2.5 su) µS cm^{-1}	360	EC (1:10 su) mS cm^{-1}	2.31	1.06
Kum(%)	30.3		-	-
Kil(%)	37.41		-	-
Silt (%)	32.29		-	-
Tekstür	killi tınlı		-	-
Organik madde(%)	0.73	Organik madde(%)	52.71	33.5
TN (%)	0.0812	TN (%)	1.55	2.08
P (mg kg^{-1})	8.8	P (%)	0.33	1.01
K (mg kg^{-1})	172	K (%)	2.22	3.03
Ca (mg kg^{-1})	4032	Ca (%)	2.34	2.97
Mg (mg kg^{-1})	538.1	Mg (%)	0.45	0.91
Na (mg kg^{-1})	946.7	Na (%)	0.61	0.93
Fe (ppm)	10.95	Fe (%)	0.275	0.144
Mn (ppm)	18.58	Mn (%)	0.019	0.032
Zn (ppm)	0.35	Zn (%)	0.005	0.028
Cu (ppm)	3.034	Cu (%)	0.001	0.005
Alkali fosfataz aktivitesi (µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$)	8.199	Alkali fosfataz aktivitesi (µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$)	699.853	366.646
β-glikosidaz aktivitesi (µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$)	2.755	β-glikosidaz aktivitesi (µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$)	75.238	135.464
Üreaz aktivitesi (µg NH_4^+-N g^{-1} dw $saat^{-1}$)	11.904	Üreaz aktivitesi (µg NH_4^+-N g^{-1} dw $saat^{-1}$)	138.53	244.045
Bakteri sayısı (kob g^{-1})	2.9×10^{-4}	Bakteri sayısı (kob g^{-1})	7.9×10^{-5}	2.3×10^{-6}

3.1.2.3. Deneme deseni ve uygulama dozları

Deneme iki vermikompost uygulaması (DİG-V ve OİG-V) ve bu uygulamalara ait iki farklı doz (0.5 ve 1.0 t da^{-1}), kimyasal gübre uygulaması ve kontrol olmak üzere 6 konudan oluşmuştur. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olacak şekilde toplamda 24 saksı ile yürütülmüştür. Denemede marul bitkisinin ihtiyaç duyduğu besin elementlerinin karşılanması amacıyla 65 kg da^{-1} NPK 20:20:20 gübresi dikimden önce saksılara uygulanmıştır (Kurubas vd. 2019). Kontrol uygulamasına ise herhangi bir organik yada kimyasal gübreleme uygulaması yapılmamıştır. Deneme boyunca toprak nem içeriği tarla kapasitesinin %60'ı düzeyinde olacak şekilde sulama yapılmıştır.

3.1.2.4. Toprak örnekleme

Fide dikiminden önce rurtin analizler için deneme toprağında örnek alınmıştır. Deneme sırasında 7. haftada normal topraktan ve hasat sırasında ise hem normal topraktan hem de rizosfer toprağından örnekler alınmıştır. Bu örneklerde pH, EC, organik madde, enzim aktivitesi ve bakteri sayım analizler yapılmıtır. Ayrıca hasat sırasında alınan toprak örneklerinin makro ve mikro element kapsamları belirlenmiştir. Toprak örnekleri alındıktan

sonra enzim aktivitesi ve mikrobiyal sayım analizleri hızla yapılmış ve toprak örnekleri +4°C'de saklanmıştır. Kimyasal analizler için kullanılacak toprak örnekleri ise hava kuru hale getirilmiş ve oda sıcaklığında saklanmıştır.



Şekil 3.2. Denemede kullanılan marul fideleri (A). Fide dikimi sonrasında saksılar(B). Olgun marul bitkileri (C). Hasat sırasında yapılan normal toprak ve rizosfer toprağı örneklemesi (D).

3.2. Metot

3.2.1. Mikrobiyolojik analizler

3.2.1.1. Alkali fosfataz aktivitesi

Alkali fosfataz aktivitesi Eivazi ve Tabatabi (1977) tarafından açıklandığı şekilde belirlenmiştir. Toplamda 0.2 ml toluen, 4 ml MUB (12.1 g Tris, 11.6 g maleik asit, 14.0 sitrik asit, 6.3 g borik asit L^{-1}, pH 11) ve 1 ml PNP fosfat (0.835 g PNP fosfat 50 ml^{-1} MUB)) 1 g toprağa eklenmiştir. Karışım 37°C'de 1 saat boyunca inkübe edilmiş ve ardından 1 ml 0.5 M $CaCl_2$ ve 4 ml 0.5 M NaOH eklenmiştir. Reaksiyon durdurulduktan sonra elde edilen karışım filtre kâğıdı ile filtre edilmiş ve oluşan sarı renk yoğunluğu 410 nm dalga boyunda spektrofotometre yardımıyla ölçülmüştür. Filtre edilmiş sıvının PNP içeriği, kalibre edilmiş saf PNP serisi ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. Alkali fosfataz enzim aktivitesi, Tabatabai ve Bremner (1969) tarafından verilen formüle göre "µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$" olarak hesaplanmıştır.

3.2.1.2. β-glikosidaz aktivitesi

β-glikosidaz aktivite analizi Eivazi ve Tabatabai (1988) tarafından açıklanan yöntem izlenerek gerçekleştirilmiştir. Bir miktar toluen (0.2 ml), 4 ml MUB tamponu (12.1 g Tris, 11.6 g maleik asit, 14.0 sitrik asit, 6.3 g borik asit L^{-1}, pH 6) ve 1 ml p-nitrofenol-P-D-glikozit çözeltisi (0.654 g p-D glikozit 50 ml^{-1} MUB) çözeltisi, 1 g toprak örneğine eklenmiştir. Karışım, 37°C'de 1 saat inkübe edildikten sonra, 1 ml 0.5 M $CaCl_2$ (1 ml) ve 0.1 M THAM tamponu (4 ml) eklenmiştir. Süzülen örneklerden elde edilen solüsyonun sarı renk yoğunlu 410 nm dalga boyuna ayarlanan spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Filtrattaki ρ-nitrofenol içeriği (PNP) hazırlanan saf p-nitrofenol (1 g p-nitrofenol L^{-1}) kalibrasyon serisi ile karşılaştırılarak miktarı belirlenmiştir. β-glikosidaz aktivitesi "µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$" olarak ifade edilmiştir (Eivazi ve Tabatabai, 1988).

3.2.1.3. Üreaz aktivitesi

Üreaz aktivite analizi, Hoffman ve Teicher (1961) tarafından tarif edilen yöntem izlenerek gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, 5 g toprak örneği, 0.02 ml toluen, 7.5 ml sitrat tampon çözeltisi (368 g sitrik asit ve 295 g potasyum hidroksit L^{-1}, pH 6.7) ve 10 ml üre çözeltisi (10%) ile karıştırılmış ve sonra, 37°C'de 3 saat boyunca inkübe edilmiştir. Son hacim distile su ile 100 ml'ye tamamlanmış ve Whatman no. 42 filtre kâğıdı kullanılarak süzülmüştür. Bu süzükten 1 ml alınarak üzerine 10 ml distile su, 4 ml sodyum fenolat (625 g fenol L^{-1}) ve 3 ml sodyum hipoklorit (0.9%) eklenmiştir. Elde edilen çözeltinin amonyum içeriği, 578 nm dalga boyunda kalibre edilmiş bir spektrofotometre kullanılarak ölçülmüş ve üreaz aktivitesi "µg NH_4^+-N g^{-1} dw $saat^{-1}$" olarak ifade edilmiştir.

3.2.1.4. Bakteri sayısı

Toplam bakteri sayısı Parkinson vd. (1971) tarafından tarif edildiği şekilde seyreltme plak sayım yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Seyreltme işlemi sonrasında her bir seyreltme tüpünden 100 µL süspansiyon alınarak antifungal bir madde olan 50 mg L^{-1} sikloheksimid

içeren nutrient agar besiyerine yayılmıştır. Petri kapları daha sonra 3 gün boyunca 28 °C'de inkübe edilmiş ve 30-300 aralığındaki koloniler sayılmıştır.

$$Bakteri\ Sayısı\ (kob\ g-1\ dw)\ =\ KS\ x\ SOx\ PAÇM$$

KS; Koloni sayısı, SO; Seyreltme oranı PAÇM; Petriye aktarılan çözelti miktarı

3.2.2. Fiziksel ve kimyasal analizler

3.2.2.1. Rutin toprak analizleri

Toprak tekstürünü belirlemek için Bouyoucos hidrometre yöntemi (Bouyoucos, 1951) kullanılmıştır. Organik madde modifiye edilmiş Walkey-Black yöntemi (Walkley ve Balck, 1934) kullanılarak, pH ve EC ise Jackson (1967) yöntemine uygun olarak 1:2.5 karışım kullanılarak belirlenmiştir. Toplam azot modifiye edilmiş Kjeldahl yöntemi (Kacar, 1995) kullanılarak analiz edilirken, alınabilir fosfor Olsen yöntemi (Olsen ve Sommers, 1982) kullanılarak belirlenmiştir. Değişebilir K, Ca, Na ve Mg 1N amonyum asetat yöntemi kullanılarak analiz edilmiş (Kacar, 1995). Fe, Zn, Cu ve Mn kapsamları ise DTPA ekstraksiyon yöntemi (Lindsay ve Norvell, 1978) kullanılarak belirlenmiştir. Makro ve mikro besin elementlerin belirlenmesinde ICP-OES kullanılmıştır.

3.2.2.2. Vermikompost ile bitkide mikro ve makro element analizleri

Vermikompost örnekleri ve deneme sonunda elde edilen bitki örnekleri saf su ile yıkanmış ve sabit bir ağırlığa gelinceye kadar hava sirkülasyonlu kurutma fırınında 70°C'de kurutulmuştur. Kurutulan örnekler öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Bu örneklerin toplam azot kapsamları modifiye Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, mangan, çinko ve bakır konsantrasyonları ise yaş yakma ile elde edilen süzük kullanılarak ICP-OES ile belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

3.2.3. Marul verim ve kalite parametreleri

Deneme sonunda hasat edilen bitkilerde verim ve kalite parametreleri belirlenmiştir. Kalite parametreleri olarak bitki boyu ve kök uzunluğu, gövde çapı, yaprak alanı, yaş ve kuru ağırlık ve yaprak sayısı ölçümleri yapılmıştır.

3.2.4. İstatiksel analizler

Verilerin istatistiksel analizi SPSS 26.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar arasındaki anlamlı farkları belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmış (%5 düzeyinde) ve Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak önemli çıkan sonuçlar derecelendirilmiştir. Doğal (olgunlaşmamış) inek gübresi vermikompostları ile olgunlaşmış inek gübresi vermikompostları arasındaki kimyasal parametrelerin farklarını değerlendirmek için eşleştirilmiş örneklem t-testi yapılmıştır. Ölçülen değişkenler arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Pearson korelasyon testi kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Vermikompostlama Sürecindeki Enzim Aktiviteleri ve Bakteri Sayısı

Vermikompostlama sürecinde enzim aktiviteleri ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı üzerindeki değişimler, doğal inek gübresi (DİG) ve olgunlaştırılmış inek gübresi (OİG) kullanılarak yapılan vermikompostlama sürecinde 29 hafta boyunca enzim aktiviteleri ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısındaki değişimler Çizelge 4.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Vermikompostlama sürecinde enzim aktiviteleri ve bakteri sayısındaki değişimler

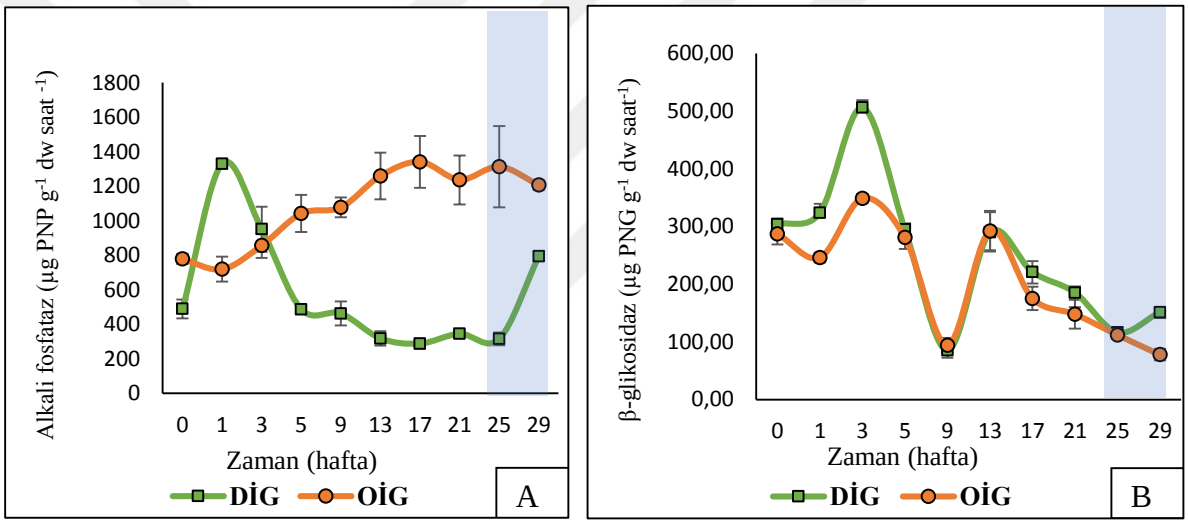
Hafta	Alkali fosfataz (µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$)		β-glikosidaz (µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$)		Üreaz (µg $NH4^{+}$-N g^{-1} dw $saat^{-1}$)		Bakteri sayısı (10^5 kob g^{-1})	
	DİG	OİG	DİG	OİG	DİG	OİG	DİG	OİG
0	489.60 c	778.87 c	303.63 b	287.15 b	375.28 bc	198.41 c	105.84 a	307.80 a
1	1330.51 a	719.84 c	323.54 b	246.15 bc	230.15 ef	253.17 bc	7.80 c	50.36 b
3	951.05 b	856.92 bc	505.90 a	348.51 a	410.05 b	288.57 b	4.45 c	9.95 c
5	487.24 c	1042.38 abc	294.61 b	280.85 b	509.79 a	322.97 b	5.93 c	16.35 c
9	463.00 cd	1077.63 abc	84.91 e	94.21 g	276.96 de	315.78 b	9.21 c	11.84 c
13	318.46 cd	1259.56 a	289.53 b	220.83 cd	291.06 de	447.49 a	4.79 c	10.40 c
17	288.92 d	1341.26 a	291.78 b	175.21 de	330.88 cd	390.31 a	9.81 c	9.00 c
21	345.29 cd	1236.96ab	185.22 c	147.82 ef	373.87bc	302.55 b	7.04 c	7.77 c
25	315.51 cd	1313.40 a	116.01 de	112.01 fg	226.83 ef	296.21 b	5.61 c	9.60 c
29	794.12 b	1207.15 ab	151.26 cd	77.70 g	195.00 f	282.71 b	27.09 b	12.28 c
ANOVA ($p<0.001$)	***[2]	***[2]	***[2]	***[2]	***[2]	***[2]	***[2]	***[2]

DİG – Doğal inek gübresi, OİG - Olgunlaştırılmış inek gübresi.

1. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir.
2. ***; %0.1 düzeyinde önemlidir.

4.1.1. Alkali fosfataz aktivitesi

Vermikompostlama sürecinde alkali fosfataz aktivitesindeki değişimler Çizelge 4.1. ve Şekil 4.1.'de sunulmuştur. Alkali fosfataz aktivitesi DİG uygulamasında 288.92 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$ ile 1330.51 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$, OİG uygulamasında ise 719.84 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$ ile 1341.26 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$ arasında değişiklik göstermiştir. DİG uygulamasında vermikompostlamanın ilk haftasında alkali fosfataz aktivitesi keskin bir artış göstermiş, ardından 5. haftaya kadar hızlı bir şekilde düşmüş, 17. haftaya kadar bu düşüş yavaş bir şekilde devam etmiştir, olgunlaşma aşamasında ise bir miktar yükselmiştir. Buna karşılık, OİG uygulamasında ilk haftada hafif bir azalma olmuş ardından on yedinci haftaya kadar hafif bir artış görülmüştür. Bu aşamadan sonra genel olarak kararlı bir hale bir gelmiştir.



Şekil 4.1. Vermikompostlama sırasında uygulamaların alkali fozfataz aktivitesi (A) ve β-glikosidaz (B) aktivitesi üzerindeki etkisi

4.1.2. β-glikosidaz aktivitesi

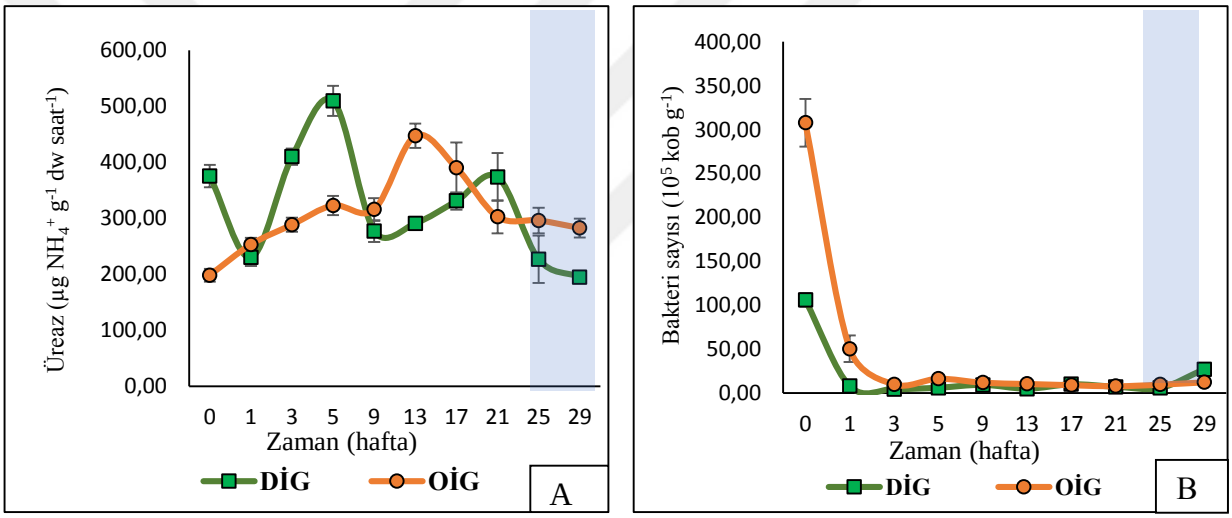
Vermikompostlama sürecinde β-glikosidaz aktivitesindeki değişimler Çizelge 4.1. ve Şekil 4.1.'de sunulmuştur. DİG ve OİG uygulamalarında β-glikosidaz aktivitesi sırasıyla 84.91 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$ ile 505.90 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$ ve 77.70 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$ ile 348.51 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$ arasında değişmiştir. Değerler 3. haftada zirveye ulaştıktan sonra 9. haftaya kadar düşüş göstermiş ama hemen arkasından 13. haftada tekrar yükselerek deneme sonuna kadar sabit bir düşüş göstermiştir.

4.1.3. Üreaz aktivitesi

Vermikompostlama sürecinde üreaz aktivitesindeki değişimler Çizelge 4.1. ve Şekil 4.2.'de sunulmuştur. Üreaz aktivitesi DİG vermikompost yataklarında 195.00 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$ ile 509.79 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$ arasında değişmiş ve deneme boyunca dalgalı bir seyir

izlemiştir. Deneme başlangıcında üreaz aktivitesi yüksek (375.28 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) olmasına rağmen vermikompostlamanın ilk haftasında hızla düşmüş, ancak ardından hızla yükselerek 5. haftada 509.79 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$ ile zirveye ulaşmıştır. Daha sonra tekrar keskin bir şekilde 9. haftaya kadar düşmüş, 21. haftaya kadar tekrar artmış ve ardından deneyin sonuna kadar azalan bir eğilim göstermiştir.

OİG vermikompost yataklarında üreaz aktivitesi 198.41 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$ ile 447.49 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$ arasında değişmiştir. DİG'ye göre, başlangıçtaki üreaz aktivitesi daha düşük (198.41 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) bulunmuştur. Denemenin başından itibaren üreaz aktivitesi genel olarak yavaş ama istikrarlı bir şekilde yükselmiş ve 13. haftada zirveye (447.49 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) ulaşmıştır. Ardından 21. haftaya kadar yavaş bir şekilde düşmüş ve sonrasında genel olarak sabit kalmıştır.



Şekil 4.2. Vermikompostlama sırasında uygulamaların üreaz aktivitesi (A) ve bakteri sayısı (B) üzerindeki etkisi

4.1.4. Bakteri sayısı (Toplam aerobik mezofilik bakteriler)

Vermikompostlama sürecinde bakteri sayısındaki değişiklikler Çizelge 4.1. ve Şekil 4.2.'de sunulmuştur. DİG vermikompostlama işleminde, toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı 4.45×10^5 kob g^{-1} ile 105.84×10^5 kob g^{-1} arasında değişmiştir. Bakteri sayısı denemenin başlangıcında keskin bir düşüş yaşamış ancak 29. haftada hafif bir artış gözlenmiştir. Öte yandan, OİG vermikompostlama yataklarında bakteri sayısı genellikle daha yüksek olmuş ve 7.77×10^5 kob g^{-1} ile 307.80×10^5 kob g^{-1} arasında değişmiştir. Ancak, bakteri sayısı deneme boyunca DİG uygulamasına benzer bir davranış izlemiş olmakla birlikte deneme sonunda düşük kalmıştır.

4.2. Oluşan vermikompostların fiziksel-kimyasal özellikleri

Esenia foetida solucanı kullanılarak sürekli besleme sisteminin kullanıldığı vermikompostlama denemesi sonunda doğal inek gübresi ve olgunlaştırılmış inek gübresi kullanılarak üretilen vermikompostların (DİG-V ve OİG-V) kimyasal ve biyolojik özellikleri

Çizelge 4.2.'de sunulmuştur. DİG-V'nin EC değeri 4.71 mS cm^{-1} iken OİG-V'nin EC değeri 5.93 mS cm^{-1} olarak belirlenmiştir ve arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmuştur. Elde edilen vermikompostların P, Ca, Mg, Mn ve Zn kapsamları arasında da istatistiksel olarak önemli farklar tespit edilmiş iken diğer kimyasal paramaterlere ait elde edilen değerler her iki vermikompostta benzer bulunmuştur. Analizi yapılan biyolojik parametreler içerisinde vermikompostlar arasında sadece β-glikosidaz aktivitesi açısından istatistiksel olarak önemli bir fark oluşmuştur.

Çizelge 4.2. Oluşan vermikompostların biyokimyasal özellikleri

Parametre	DİG-V	OİG-V	t-Test[a]
pH (1:10 su)	8.28	8.16	0.196 ÖD[1]
EC (1:10 su) mS cm^{-1}	4.71	5.93	0.017*[2]
Organik karbon (%)	41.34	39.66	0.057 ÖD[1]
Organik madde (%)	71.27	68.37	0.242 ÖD[1]
C: N	13.42	11.80	0.801 ÖD[1]
TN (%)	3.08	3.36	0.206 ÖD[1]
P (%)	0.45	0.99	0.003 **[3]
K (%)	0.39	0.52	0.629 ÖD[1]
Ca (%)	0.99	2.78	0.050 *[2]
Mg (%)	0.26	0.60	0.026 *[2]
Na (%)	0.25	0.29	0.716 ÖD[1]
Fe (ppm)	1643.4	1784.7	0.600 ÖD[1]
Mn (ppm)	144.85	273.7	0.039 *[2]
Zn (ppm)	49	173.05	0.014 *[2]
Cu (ppm)	11.8	40.4	0.086 ÖD[1]
Alkali fosfataz aktivitesi (μg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$)	820.84	893.25	0.745 ÖD[1]
β-glikosidaz aktivitesi (μg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$)	125.80	65.38	0.019 *[2]
Üreaz activitesi (μg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$)	184.80	182.35	0.954 ÖD[1]
Bakteri sayısı (kob g^{-1})	2.11×10^6	5.94×10^6	0.407 ÖD[1]

Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını temsil eder.
a İki örneklem eşit olmayan varyanslı (heteroskedastik) t-testi
1. ÖD.: Önemli değildir.
2. *; %5 düzeyinde önemlidir.
3. **; %1 düzeyinde önemlidir.

4.2.1. pH ve Elektriksel İletkenlik (EC) Değişiklikleri

Bu çalışmadaki vermikompostların pH ve elektriksel iletkenliği üzerine bulgular Çizelge 4.2.'de özetlenmiştir. Elde edilen vermikompostların pH değerleri kullanılan yem

materyaline kıyasla artmıştır. DİG ve OİG'in pH değerleri sırasıyla 8.01 ve 7.98 iken vermikompost pH'ları 8.28 ve 8.16'ya yükselmiş olup, bu da sırasıyla yaklaşık %3 ve %2 artışa karşılık gelmektedir. İki vermikompost arasındaki fark ise önemsiz olmuştur. Benzer şekilde, üretilen vermikompostlarda EC kullanılan yem materyaline göre artmıştır. DİG ve OİG'in EC değerleri sırasıyla 1.31 mS cm^{-1} ve 1.68 mS cm^{-1} iken vermikompost EC'leri 4.71 mS cm^{-1} ve 5.93 mS cm^{-1} değerlerine yükselmiş olup bu da sırasıyla yaklaşık %260 ve %253 artışa anlamına gelmiştir. Ec açısından vermikompostlar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

4.2.2. Organik karbon, N ve C:N oranında meydana gelen değişimler

Vermikompostlama sonrası organik karbon, N ve C:N oranındaki değişimler Çizelge 4.2'de özetlenmiştir. Bu çalışmada üretilen iki vermikompostun organik karbon içeriği azalmıştır. DİG ve OİG için başlangıçtaki organik karbon değerleri sırasıyla %46.02 ve %44.58'dir. Ancak bu hammaddelerden elde edilen vermikompostların organik karbon değerleri sırasıyla %41.34 ve %39.66'ya düşmüş, bu da yaklaşık %10 ve %11 azalışa karşılık gelmiştir. Ancak her iki vermikompost arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Bu çalışmada elde edilen vermikompostların toplam N seviyeleri artmıştır. DİG ve OİG'nin N değerleri sırasıyla %1.55 ve %2.08 iken, elde edilen vermikompostlarda sırasıyla %3.08 ve %3.36'ya yükselmiştir. Bu, yaklaşık %99 ve %62 artışa karşılık gelmektedir. Ancak vermikompostlar arasındaki fark önemli olmamıştır.

İki vermikompostun C:N oranı çalışma boyunca azalmıştır. DİG ve OİG'nin C:N değerleri başlangıçta sırasıyla 17.24 ve 14.81 iken elde edilen vermikompostların C:N oranları sırasıyla 13.42 ve 11.80 olmuş ve yaklaşık %22 ve %26 azalışa karşılık gelmiştir. Ancak, iki vermikompost arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

4.2.3. P, K, Ca, Mg ve Na kapsamında meydana gelen değişimler

Vermikompostlama sonrası P, K, Ca, Mg ve Na kapsamındaki değişimler Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Vermikompostlama süreci, P seviyelerinde önemli bir artışa neden olmuştur. Başlangıçta fosfor seviyeleri DİG ve OİG için sırasıyla %0.16 ve %0.52'dir. Ancak vermikompostlama sonrasında, fosfor içeriği sırasıyla %0.45 ve %0.99'a yükselmiştir. Bu, sırasıyla %181 ve %90 oranında anlamlı bir artışa karşılık gelirmiştir. İki vermikompost arasındaki farklılık da istatistiksel olarak önemli olmuştur ($p<0.01$).

Elde edilen vermikompostların K içeriklerinde kullanılan hammaddelere göre bir azalma tespit edilmiştir. DİG ve OİG ait K içerikleri sırasıyla %0.42 ve %0.80 iken vermikompostlara ait K içerikleri %0.39 ve %0.52'ye düşmüştür, bu da sırasıyla %7 ve %35 oranında bir düşüşü işaret etmiştir. Ancak, K içeriği açısından iki vermikompost arasındaki fark önemli bulunmamıştır.

Ca açısından bakıldığında, DİG ve OİG sırasıyla %2.26 ve %4.56 oranında Ca kapsamakta iken, bu hammaddelerden üretilen vermikompostların Ca seviyeleri sırasıyla %0.99 ve %2.78'e düşmüştür. Bu, %56 ve %39 oranında bir azalmaya karşılık gelmiştir.

Buna ek olarak, vermikompostlar arasındaki fark da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

DİG'den üretilen vermikompostun Mg içeriğinde bir azalma, OİG'den üretilen vermikompostta ise bir artış gözlemlenmiştir. DİG'nin Mg içeriği %0.46 iken deneme sonunda elde edilen vermikompostta %0.26'ya düşmüştür. Bu fark yaklaşık %43 oranında bir azalma anlamına gelmiştir. OİG'nin Mg içeriği %0.60 iken, üretilen vermikompostta %0.61'e yükselmiştir, bu da yaklaşık %2 bir artışa tekabül etmiştir.

Bu çalışmada üretilen her iki vermikompostun Na içeriği de artmıştır. DİG ve OİG'nin Na içeriği %0.14 iken, bu gübrelerden üretilen vermikompostların Na içerikleri sırasıyla %0.25 ve %0.29 olarak bulunmuştur ve yaklaşık %79 ve %107'lik bir artış meydana gelmiştir. Ancak, her iki vermikompost arasındaki fark istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır.

4.2.4. Fe, Mn, Zn ve Cu kapsamında meydana gelen değişimler

Vermikompostlama sonrası Fe, Mn, Zn ve Cu değişimleri Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Bu çalışmada üretilen vermikompostların Fe, Zn ve Cu içeriklerinde kullanılan hammaddelerle karşılaştırıldıklarında düşüşler görülmüştür. DİG ve OİG Fe içeriği sırasıyla 2405 ppm ve 3332 ppm iken vermikompostlarda bu oran 1643 ppm ve 1784 ppm olmuştur ki bu da yaklaşık %32 ve %46 oranında bir azalma anlamına gelmiştir. Ancak, istatistiksel olarak vermikompostlar arasında önemli bir fark oluşmamıştır. Benzer şekilde, DİG ve OİG Zn kapsamı sırasıyla 54.30 ppm ve 502.50 ppm iken, vermikompostların Zn içeriği sırasıyla 49 ppm ve 173.05 ppm olarak ölçülmüş, diğer bir ifade ile %10 ve %66 oranında bir düşüş gerçekleşmiştir. Vermikompostlar arasındaki fark da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). DİG ve OİG'e ait Cu içerikleri sırasıyla 12.65 ppm ve 48.70 ppm olarak ölçülmüştür. Elde edilen vermikompostların Cu içerikleri ise sırasıyla 11.88 ppm ve 40.40 ppm olarak belirlenmiştir. Oluşan bu fark yaklaşık %8 ve %17 oranında bir düşüşe tekabül etmiştir. Ancak, vermikompostlar arasındaki Cu içeriği farkı istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Buna karşılık, elde edilen her iki vermikompostun Mn seviyelerinin kullanılan hammaddelere oranla önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. DİG ve OİG'nin Mn içerikleri sırasıyla 132.90 ppm ve 239.70 ppm olarak ölçülmüştür. Deneme sonunda ise vermikompostların Mn içerikleri sırasıyla 144.85 ppm ve 273.70 ppm düzeylerine yükselerek yaklaşık %9 ve %14'lük bir artış göstermiştir. Ayrıca, vermikompostlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

4.2.5. Enzim aktiviteleri ve bakteri sayısındaki değişimler

Vermikompostlama sonrası enzim aktiviteleri ve bakteri sayısındaki değişimler Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Deneme sonunda üretilen her iki vermikompostta da, kullanılan hammaddeye nazaran, alkali fosfataz aktivitesinde bir artış gözlemlenmiştir. DİG ve OİG için alkali fosfataz değerleri sırasıyla 489.60 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$ ve 778.87 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Ancak, elde edilen vermikompostlardaki alkali fosfataz aktivitesi sırasıyla 820.84 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$ ve 893.25 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$ seviyelerinde olmuş yani %68

ve %15'lik bir artış meydana gelmiştir. Bununla birlikte, vermikompostlar arasındaki aktivite farkı istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Deneme sonunda üretilen her iki vermikompostun β-glikosidaz aktivitesi kullanılan hammaddelere oranla bir düşüş göstermiştir. DİG ve OİG β-glikosidaz aktivitesi değerleri sırasıyla 303.63 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$ ve 278.15 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Ancak, bu hammaddelerden üretilen vermikompostlardaki β-glikosidaz aktiviteleri sırasıyla 125.50 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$ ve 65.38 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$ olmuştur ve yaklaşık %59 ve %76 oranında bir düşüş gerçekleşmiştir. Vermikompostlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

DİG ve OİG'deki üreaz aktivitesi sırasıyla 375.28 µg $NH4^+$ g^{-1} dw $saat^{-1}$ ve 198.41 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$ olarak ölçülmüş iken bu gübrelerden üretilen vermikompostlarda sırasıyla 184.50 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$ ve 182.35 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$ olarak tespit edilmiştir ve sırasıyla yaklaşık %51 ve %8 oranında bir düşüşü işaret etmiştir. Ancak, vermikompostlar arasındaki fark önemli olmamıştır.

Deneme sonunda elde edilen her iki vermikompostun bakteri sayısında, kullanılan hammaddelere kıyasla, bir düşüş gerçekleşmiştir. DİG ve OİG'in başlangıç ölçülen bakteri sayısı sırasıyla 1.06×10^7 kob g^{-1} ve 3.08×10^7 kob g^{-1}'dir. Elde edilen vermikompostlar için bu değerler 2.11×10^6 kob g^{-1} ve 5.94×10^6 kob g^{-1} olarak belirlenmiştir ve yaklaşık %80 ve %81 oranında bir düşüşü işaret etmiştir. Ancak, elde edilen vermikompostlar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşmamıştır.

4.3. Vermikompost uygulamalarının toprağın mikrobiyal özellikleri üzerine etkileri

4.3.1. Alkali fosfataz aktivitesi

Vermikompost uygulamalarının toprağın alkali fosfotaz aktivitesi üzerindeki etkileri Çizelge ve Şekil 4.3 de verilmiştir. Saksı denemesinde fide dikimden 7 hafta sonra vermikompost uygulamaları kontrol grubuna göre daha pozitif bir performans sergilemiştir. Uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmuştur ($p<0.05$). DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması en yüksek değeri (15.03 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$) vermiştir ve kontrol uygulamasına göre %40 artış kaydetmiştir. DİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamalarında ise kontrole göre sırasıyla %31, %35 ve %28 artış gözlenmiştir. Ayrıca, NPK uygulaması (%18 artışla) kontrol ve vermikompost uygulamaları arasında bir seviyede yer almıştır (12.68 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$).

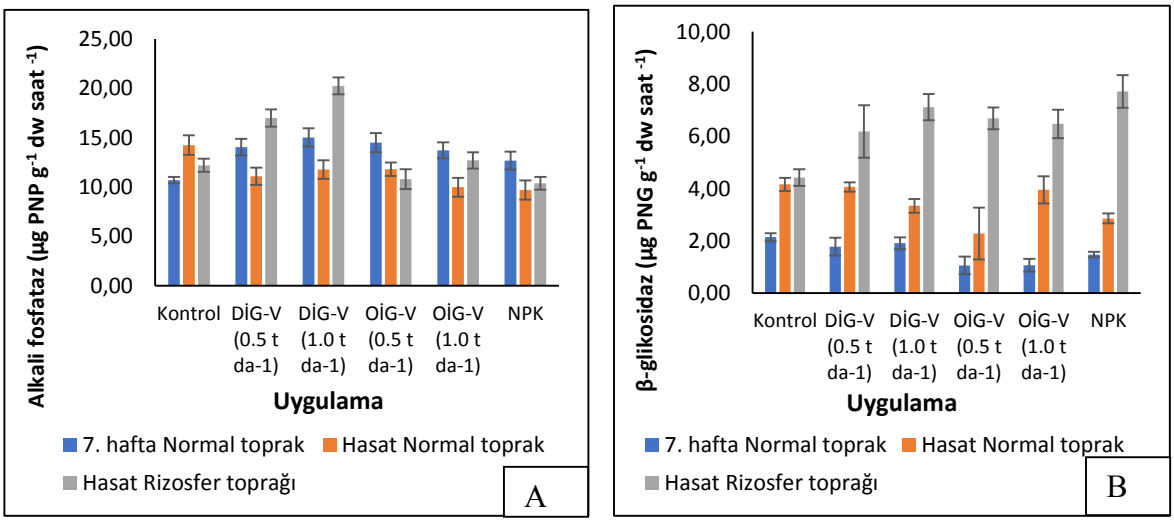
Saksı denemesi sonunda hasat sırasında alınan toprak örneklerinden elde edilen sonuçlara göre uygulamalar arasında önemli farklılıklar ($p<0.05$) görülmüş, kontrol grubunun en yüksek değere (14.25 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$) sahip olduğu ve NPK uygulamasının en düşük değere (9.67 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$) sahip olduğu belirlenmiştir. DİG-V (1.0 t da^{-1}) değeri (11.77 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$) ve OİG-V (0.5 t da^{-1}) değeri (11.79 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$), kontrol ve NPK değerlerine benzerlik göstermiştir. Hasat sonunda rizosfer toprağında ise uygulamalar arasında önemli farklılıklar ($p<0.001$) görülmüş, DİG-V (1.0 t da^{-1}) en yüksek değere (20.25 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$) sahip olurken, bu değer kontrol değerine göre (%65 artışla) yüksek, NPK değeri (10.38 µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$) ise düşük olmuştur. Vermikompost uygulamalarında ise DİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamalarında sırasıyla %39 ve %4 artış gözlenmiştir.

Topraktaki ve rizosferdeki alkali fosfataz aktivitelerindeki değişimler karşılaştırıldığında, rizosfer toprağına göre normal toprakta kontrol ve OİG-V (0.5 t da^{-1}) uygulamalarında sırasıyla %14 ve %8 düşüş görülmüşken, DİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (1.0 t da^{-1}), OİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamalarında sırasıyla %53, %72, %27 ve %7 artış gözlenmiştir.

Çizelge 4.3. Vermikompost uygulamalarının toprak alkali fosfataz aktivitesi ve β-glikosidaz aktivitesi üzerindeki etkileri

Uygulama	Alkali fosfataz aktivitesi (µg PNP g^{-1} dw $saat^{-1}$)			β-glikosidaz aktivitesi (µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$)		
	7. hafta Normal toprak	Hasat Normal toprak	Hasat Rizosfer toprağı	7. hafta Normal toprak	Hasat Normal toprak	Hasat Rizosfer toprağı
Kontrol	10.71 b[1]	14.25 a	12.20 c	2.14 a	4.16 a	4.42 b
DİG-V (0.5 t da^{-1})	14.04 a	11.09 b	17.00 b	1.78 ab	4.06 a	6.18 ab
DİG-V (1.0 t da^{-1})	15.03 a	11.77 ab	20.25 a	1.91 a	3.34 a	7.11 a
OİG-V (0.5t da^{-1})	14.50 a	11.79 ab	10.81 c	1.06 b	2.28 a	6.69 a
OİG-V (1.0 t da^{-1})	13.72 ab	9.97 b	12.70 c	1.07 b	3.95 a	6.48 a
NPK	12.68 ab	9.69 b	10.38 c	1.47 ab	2.86 a	7.72 a
ANOVA (Tek yön; LSD%5)	*[2]	*[2]	***[3]	*[2]	ÖD[4]	*[2]

1. Aynı sütunda aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir.
2. *; %5 düzeyinde önemlidir.
3. ***; %0.1 düzeyinde önemlidir.
4. Ö.D.: Önemli değil.



Şekil 4.3. Vermikompost uygulamalarının toprak alkali fosfataz aktivitesi (A) ve β-glikosidaz (B) aktivitesi üzerindeki etkileri

4.3.2. β-glikosidaz aktivitesi

Çizelge ve Şekil 4.3, vermikompost uygulamalarının topraktaki β-glikosidaz aktivitesi üzerindeki etkilerini göstermektedir. Saksı denemesinin 7. haftasında kontrol uygulaması en yüksek değeri (2.14 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) sergilerken, OİG-V (0.5 t da^{-1}) en düşük değeri (1.06 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) vermiş ve uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar ($p<0.05$) bulunmuştur. DİG-V (1.0 t da^{-1}) (1.91 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) ve kontrol (2.14 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) istatistiksel olarak birbirine benzer olmuş, OİG-V uygulamaları ise ayrı bir grup olarak öne cıkmıştır. DİG-V (0.5 t da^{-1}) (1.78 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) ve NPK (1.47 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) değerleri ise her iki grupla benzer bulunmuştur.

Deneme sonunda hasat sırasında normal toprakta uygulamalar arasında önemli bir fark oluşmamış ($p<0.05$) ancak kontrol uygulaması en yüksek değeri (4.16 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$), OİG-V (0.5 t da^{-1}) uygulaması ise en düşük değeri (2.28) vermiştir. Bununla birlikte, rizosfer toprağında anlamlı farklılıklar görülmüştür ($p<0.05$) ve NPK uygulaması kontrol uygulamasına (4.42 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) göre %75 artış ile en yüksek değere (7.72 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) sahip olmuştur. Vermikompost uygulamaları arasında DİG-V (1.0 t da^{-1}) en yüksek değeri (7.11 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) vererek kontrol uygulamasına göre %61 artış göstermiştir. DİG-V (0.5 t da^{-1}) en düşük değere (6.18 µg PNG g^{-1} dw $saat^{-1}$) sahipken, bu değer NPK (en yüksek) ve kontrol (en düşük) değerlerinin her ikisine de istatistiksel olarak benzer olmuştur. Kontrole göre vermikompost uygulamalarında görülen artış oranları ise DİG-V (0.5 t da^{-1}) için %40, OİG-V (0.5 t da^{-1}) için %51 ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) için %46 olarak belirlenmiştir.

Normal topraktaki ve rizosfer toprağındaki β-glikosidaz aktivitelerindeki değişimler karşılaştırıldığında, sırasıyla kontrol, DİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (1.0 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamaları %6, %52, %112, %193, %64 ve %169 artış göstermiştir.

4.3.3. Üreaz aktivitesi

Çizelge ve Şekil 4.4 vermikompost uygulamalarının topraktaki üreaz aktivitesi üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Saksı denemesinin 7. haftasında uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark ($p<0.05$) bulunmuştur. DİG-V (1.0 t da^{-1}) en yüksek (6.84 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) ve kontrol ise en düşük değere (2.50 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) sahip olmuştur. OİG-V (1.0 t da^{-1}) ve DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamalarından elde edilen değerler diğer vermikompost uygulamalarının değerlerinden oldukça yüksek çıkmıştır. OİG-V (0.5 t da^{-1}) değerleri (5.56 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) diğer vermikompost uygulamalarına ait değerlerle benzer bulunmuştur. DİG-V (0.5 t da^{-1}) değeri (3.01 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$), OİG-V (0.5 t da^{-1}) (5.56 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) ve kontrol değeri (2.50 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) ile benzer olmuş, NPK değeri (5.22 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) ise diğer tüm uygulamalarla istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. DİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (1.0 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamalarında kontrolle karşılaştırıldığında sırasıyla %20, %174, %122, %150 ve %108 artış gözlenmiştir.

Saksı denemesi sonunda hasat sırasında uygulamalar arasında önemli bir fark ($p<0.01$) gözlenmiş ve NPK en yüksek değeri (7.73 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) ve kontrol en

düşük değeri (2.82 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) göstermiştir. Vermikompost uygulamaları arasında NPK değerine en yakın değer, OİG-V (0.5 t da^{-1}) (6.27 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) olarak belirlenmiştir. DİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (1.0 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamalarında, kontrolle karşılaştırıldığında sırasıyla %18, %32, %122, %90 ve %174 artış gözlenmiştir.

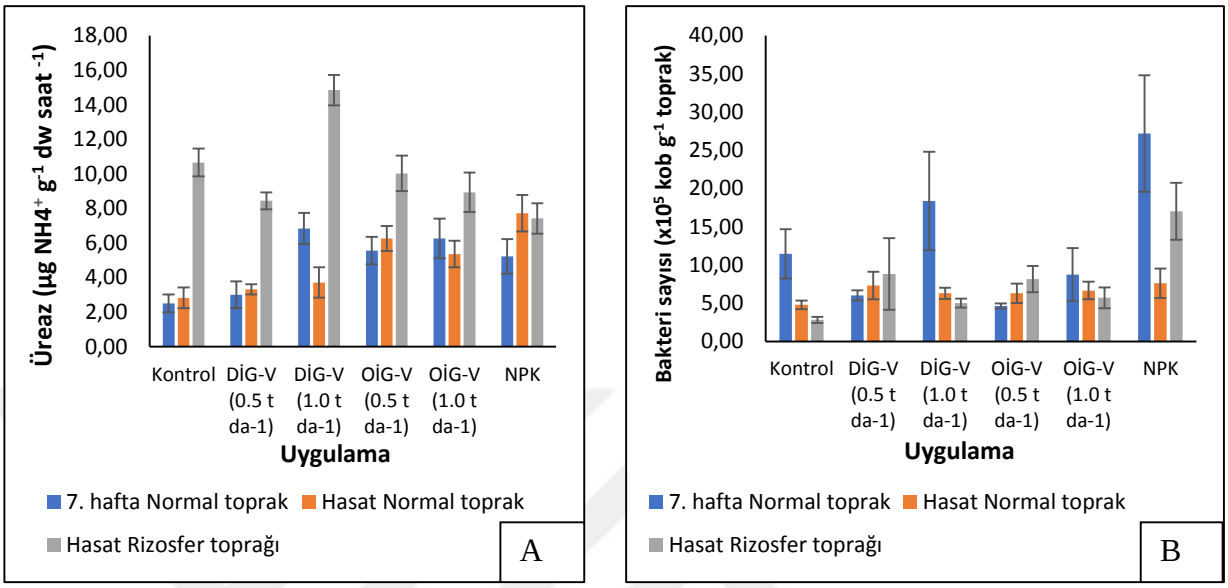
Rizosfer toprağında uygulamalar arasında önemli bir fark ($p<0.001$) gözlenmiş ve DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması en yüksek değeri (14.84 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) göstermiştir, bu değer kontrol değerine (10.65 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) göre %39 artış gösterirken, NPK uygulaması en düşük değeri (7.42 µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$) vermiştir.

Normal toprakta ve rizosfer toprağında üreaz aktivitelerindeki değişimler karşılaştırıldığında, sırasıyla kontrol, DİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (1.0 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamaları, kontrol değerine göre sırasıyla %278, %154, %300, %60 ve %67 artış göstermiştir.

Çizelge 4.4. Vermikompost uygulamalarının toprak üreaz aktivitesi ve bakteri sayısı üzerindeki etkileri

Uygulama	**Üreaz aktivitesi (µg NH_4^+ g^{-1} dw $saat^{-1}$)**			**Bakteri sayısı (×10^5 kob g^{-1} toprak)**		
	7. hafta Normal toprak	Hasat Normal toprak	Hasat Rizosfer toprağı	7. hafta Normal toprak	Hasat Normal toprak	Hasat Rizosfer toprağı
Kontrol	2.50 c	2.82 d	10.65 b	11.4 b	4.79 a	2.82 b
DİG-V (0.5 t da^{-1})	3.01 bc	3.32 cd	8.44 bc	6.01 b	7.31 a	8.83 b
DİG-V (1.0 t da^{-1})	6.84 a	3.71 cd	14.84 a	18.4 ab	6.29 a	5.02 b
OİG-V (0.5 da^{-1})	5.56 ab	6.27 ab	10.03 b	4.63 b	6.29 a	8.14 b
OİG-V (1.0 t da^{-1})	6.26 a	5.36 bc	8.93 bc	8.74 b	6.64 a	5.7 b
NPK	5.22 abc	7.73 a	7.42 c	27.2 a	7.61 a	17.03 a
ANOVA (Tek yön; LSD%5)	*[3]	*[3]	***[2]	*[3]	ÖD[4]	*[3]

1. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir.
2. ***; %0.1 düzeyinde önemlidir.
3. *; %5 düzeyinde önemlidir.
4. Ö.D.: Önemli değil.



Şekil 4.4. Vermikompost uygulamalarının toprak üreaz aktivitesi (A) ve bakteri sayısı (B) üzerindeki etkisi

4.3.4. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı

Çizelge ve Şekil 4.4, vermikompost uygulamalarının toprak aerobik mezofilik bakteri sayısı üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Uygulamalar arasında, denemenin 7. haftasında normal toprakta istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($p<0.05$) gözlemlenmiştir ve NPK uygulaması en yüksek değere (27.2×10^5 kob g^{-1}) sahipken, OİG-V (0.5 t da^{-1}) uygulaması en düşük değeri (4.63×10^5 kob g^{-1}) göstermiştir. Vermikompost uygulamaları arasından özellikle DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması en yüksek değeri (18.4×10^5 kob g^{-1}) vermiştir ve bu da kontrol uygulaması (11.4×10^5 kob g^{-1} toprak) ile karşılaştırıldığında %61'lik bir artışa işaret etmiştir.

Saksı denemesi sonunda hasat zamanında normal toprakta uygulamalar arasında fark görülmemiştir ($p<0.05$) ancak NPK uygulaması en yüksek (7.61×10^5 kob g^{-1}) ve kontrol uygulaması ise en düşük değere (2.28×10^5 kob g^{-1}) sahiptir.

Rizosfer toprağında ise uygulamalar arasında önemli bir fark ($p<0.05$) gözlemlenmiştir ve NPK uygulaması en yüksek değeri (17.03×10^5 kob g^{-1}) vererek kontrole (2.82×10^5 kob g^{-1}) göre %503'lük bir artış göstermiştir. Vermikompost uygulamaları arasında DİG-V (0.5 t da^{-1}) en yüksek değerle (8.83×10^5 kob g^{-1}) kontrole göre yaklaşık %213'lık bir artış kaydetmiştir. DİG-V (1.0 t da^{-1}) ise vermikompost uygulamaları arasında en düşük değeri (5.02×10^5 kob g^{-1}) vermiştir. Kontrol uygulamasına kıyasla DİG-V (1.0 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamalarında görülen artış oranları sırasıyla %78, %189 ve %102 olmuştur.

Normal toprak ile karşılaştırıldığında rizosfer toprağında kontrol, DİG-V (1.0 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamaları sırasıyla %52, %20 ve %14 düşüş göstermiş, DİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}) ve NPK uygulamaları ise %20, %29 ve %124 oranında yükselmiştir.

4.4. Vermikompost uygulamalarının toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Çizelge 4.5 vermikompost uygulamalarının toprakta makro ve mikro besin maddeleri üzerindeki etkilerini göstermektedir.

4.4.1. Toprakta pH, EC ve organik madde değerlerindeki değişimler

Çizelge 4.5'te, vermikompost uygulamalarının toprak pH, EC ve OM değerleri üzerindeki etkisi özetlenmiştir

pH

Deneme sonunda uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($p<0.01$) görülmüş olup gübre uygulamalarında kontrol uygulamasına göre daha yüksek değerler saptanmıştır. Gübre uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmasa da OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması en yüksek pH değerine (7.04) sahip olmuştur ve bu değer kontrol uygulamasına göre yaklaşık %4'lük bir artışı işaret etmiştir. DİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (1.0 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}) ve NPK uygulamaları ise kontrol grubuyla karşılaştırıldığında sırasıyla %4, %3, %4 ve %4 artış göstermiştir (Çizelge 4.5).

EC

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi denemede kullanılan uygulamalar farklı EC değerlerine neden olmuştur. Kontrol uygulaması 483.81 µS/cm ile en yüksek EC değerini, OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması ise en düşük EC değerini (457.64 µS cm^{-1}) vermiştir. Bununla birlikte, uygulamalar arasında görülen farklar istatistiksel olarak önemli olmamıştır ($p<0.05$).

Organik madde

Deneme sonrası toprağın organik madde içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir fark ($p<0.001$) gözlemlenmiş ve vermikompost uygulamaları kontrol grubunu geride bırakmıştır. Özellikle DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında en yüksek değer (%1.06) ölçülmüş ve kontrol uygulamasına göre %56'lık bir artışa karşılık gelmiştir. DİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamaları için bu artış oranları sırasıyla %50, %22 ve %38 olmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Vermikompost uygulamalarının toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Uygulama	**pH**	**EC**	**Organik madde (%)**	**N (%)**	**P (mg kg^{-1})**	**K (mg kg^{-1})**	**Ca (mg kg^{-1})**	**Mg (mg kg^{-1})**	**Na (mg kg^{-1})**	**Fe (mg kg^{-1})**	**Mn (mg kg^{-1})**	**Cu (mg kg^{-1})**	**Zn (mg kg^{-1})**
Kontrol	6.75 b	483.81 a	0.68 d	0.10 a	24.65 bc	98.67 a	3951.00 a	542.80 a	936.90 a	8.23 a	5.67 a	2.51 a	0.77 ab
DİG-V (0.5 t da^{-1})	7.02 a	468.98 a	1.02 a	0.11 a	21.90 c	102.68 a	4013.50 a	562.38 a	943.60 a	8.38 a	6.43 a	2.56 a	0.62 b
DİG-V (1.0 t da^{-1})	6.94 a	460.55 a	1.06 a	0.12 a	46.35 a	96.84 a	3885.25 a	551.80 a	951.85 a	8.59 a	6.32 a	2.73 a	1.15 a
OİG-V (0.5 t da^{-1})	7.00 a	477.99 a	0.83 bc	0.11 a	16.59 c	97.40 a	3969.75 a	560.70 a	934.58 a	8.57 a	6.14 a	2.61 a	0.57 b
OİG-V (1.0 t da^{-1})	7.04 a	457.64 a	0.94 ab	0.11 a	15.99 c	98.62 a	3975.75 a	557.00 a	949.55 a	9.35 a	7.00 a	3.10 a	1.05 a
NPK	7.01 a	465.49 a	0.71 cd	0.11 a	37.17 ab	96.03 a	3919.50 a	551.43 a	947.05 a	8.82 a	6.48 a	2.66 a	0.60 b
ANOVA (Tek yön; LSD%5)	**[3]	ÖD[5]	***[2]	ÖD[5]	**[3]	ÖD[5]	ÖD[5]	ÖD[5]	ÖD[5]	ÖD[5]	ÖD[5]	ÖD[5]	*[4]

1. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir.
2. ***; %0.1 düzeyinde önemlidir.
3. **; %1 düzeyinde önemlidir.
4. *; %5 düzeyinde önemlidir.
5. Ö.D.: Önemli değildir

4.4.2. Toprak makro besin element kapsamındaki değişimler

Çizelge 4.5'te vermikompost uygulamalarının toprağın makro besin element içeriği üzerindeki etkisi özetlenmiştir.

N ve P

N içerikleri %0.10 ile %0.12 arasında değişkenlik göstermiştir. Ancak, uygulamalar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadı görülmüştür.

Sonuçlar farklı uygulamaların P içeriği üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir. En yüksek P içeriği DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında bulunmuştur ve ortalama değer 46.35 mg kg^{-1} olup diğer tüm uygulamalardan önemli ölçüde yüksek olmuştur. NPK uygulamasından elde edilen P içeriği de 37.17 mg kg^{-1} ile oldukça yüksek bulunmuştur ve kontrol grubu ile OİG-V uygulamalarından önemli ölçüde yüksek olmuştur. Öte yandan, OİG-V uygulamaları tüm uygulamalar arasında en düşük P içeriğine sahip olup 1.0 t da^{-1} ve 0.5 t da^{-1} uygulamaları için sırasıyla ortalama değerler 15.99 mg kg^{-1} ve 16.59 mg kg^{-1} olmuştur. Kontrol uygulamasının ortalama fosfor içeriği 24.65 mg kg^{-1} olarak belirlenmiş ve OİG-V uygulamalarından önemli ölçüde yüksek ancak DİG-V ve NPK uygulamalarından önemli ölçüde düşük çıkmıştır (Çizelge 4.5).

K, Ca, Mg ve Na

Çizelge 4.5 farklı uygulamaların toprak K, Ca, Mg ve Na içerikleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Sonuçlar, K, Ca, Mg ve Na için uygulamalar arasında önemli farklılıklar olmadığını göstermiştir. Bu elementlerin değerleri, kontrol grubu dahil olmak üzere tüm uygulamalar arasında benzer olmuştur.

4.4.3. Toprak mikro besin element kapsamındaki değişimler

Çizelge 4.5'te vermikompost uygulamalarının toprak mikro besin element içeriği üzerindeki etkisi özetlenmiştir

Saksı denemesi sonunda, toprağın Fe, Mn ve Cu içerikleri uygulamalardan önemli ölçüde etkilenmezken, Zn içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmiştir ($p<0.05$). Zn açısından, DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması en yüksek değeri (1.15 ppm) vermiş ve kontrol uygulamasına göre %49'luk bir artış göstermiştir. OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında se bu artış %36 seviyesinde olmuştur.

4.5. Vermikompost uygulamalarının bitkinin besin içeriği üzerine etkileri

4.5.1. Bitkinin makro besin içeriğindeki değişimler

Çizelge 4.6 vermikompost uygulamalarının marul bitkisinin makro ve mikro besin elementi içeriği üzerindeki etkisini göstermektedir.

N ve P

Çizelge 4.6 vermikompost uygulamalarına yanıt olarak kıvırcık marul bitkisine ait N içeriğini göstermektedir. Sonuçlar, NPK uygulamasının (%2.16) kıvırcık marul bitkisinin N

kapsamını vermikompost ve kontrol uygulamasına kıyasla önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Vermikompost uygulamaları arasında DİG-V (0.5 t da^{-1}) bitkide en düşük N içeriğine sahip olmakla birlikte vermikompost uygulamaları istatistiksel olarak aynı benzerlik grubunda yer almıştır.

Kıvırcık marul bitkisinin P kapsamına ait en yüksek değer DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması ile elde edilmiştir (%0.31). Bu değer, diğer uygulamaların yanı sıra P değeri %0.31 olan NPK uygulamasından da daha yüksektir. Bununla birlikte DİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamaları istatistiksel olarak aynı benzerlik grubu içerisinde yer almıştır. DİG-V (0.5 t da^{-1}) uygulaması, OİG-V uygulamaları ve kontrol uygulaması arasında da istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiş ve bu uygulamalar da ayrı bir benzerlik grubunda birlikte yer almışlardır (Çizelge 4.6).

K, Ca, Mg ve Na

Uygulamalar arasında potasyum (K) alımında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. En yüksek K konsantrasyonu NPK uygulamasında (%4.06) bulunurken, en düşük değer DİG-V (0.5 t da^{-1}) uygulamasında (%3.60) tespit edilmiştir (Çizelge 4.6).

Bulgular, farklı uygulamalar arasında marul bitkilerinin kalsiyum (Ca) içeriğinde önemli bir farklılık olduğunu ortaya koymuştur ($p<0.001$). NPK uygulaması en yüksek kalsiyum içeriğini, %1.31 olarak ölçülmüştür. Öte yandan, OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması ise en düşük kalsiyum içeriğini, %0.97 olarak ölçülmüştür.

DİG-V (0.5 t da^{-1}) uygulaması ise bitkide en düşük Mg konsantrasyonunu (%0.25) vermiştir. Mg açısından uygulamalar arasında görülen farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.001$).

Bitkinin Na içeriği açısından, NPK uygulaması en yüksek değeri (%0.47) vermiştir ve istatistiksel olarak diğer uygulamalardan ayrılmıştır ($p<0.001$). NPK uygulaması haricindeki diğer uygulamalar arasındaki fark ise önemsiz olmuştur (Çizelge 4.6).

4.5.2. Bitkinin mikrobesin içeriğindeki değişimler

Çizelge 4.6 vermikompost uygulamalarının marul bitkisinin Fe, Mn, Cu ve Zn içerikleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Sonuçlar, marul bitkilerinde Fe içeriğinin en yüksek DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında olduğunu, bunu sırasıyla OİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (0.5 t da^{-1}), NPK, kontrol ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamalarının izlediğini göstermiştir. Ancak, bitkinin Fe içeriği açısından uygulamalar arasındaki farkı istatistiksel olarak önemli olmamıştır.

Benzer şekilde, marul bitkisinin Mn içeriği uygulamalardan önemli ölçüde etkilenmemiştir. En yüksek Mn içeriği kontrol uygulamasında gözlenirken bunu OİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (1.0 t da^{-1}), NPK ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamaları izlemiştir.

Çizelge 4.6. Vermikompost uygulamalarının bitkinin besin içeriği üzerine etkileri

Uygulama	**N (%)**	**P (%)**	**K (%)**	**Ca (%)**	**Mg (%)**	**Na (%)**	**Fe (ppm)**	**Mn (ppm)**	**Cu (ppm)**	**Zn (ppm)**
Kontrol	1.92 ab	0.18 b	3.70 a	1.12 ab	0.33 b	0.19 b	271.60 a	60.31 a	3.11 ab	20.73 a
DİG-V (0.5 t da^{-1})	1.06 c	0.17 b	3.60 a	0.98 b	0.25 c	0.15 b	183.33 a	51.48 a	2.96 bc	20.67 a
DİG-V (1.0 t da^{-1})	1.45 bc	0.31 a	4.21 a	1.00 b	0.29 bc	0.21 b	278.35 a	50.78 a	3.19 ab	21.78 a
OİG-V (0.5 t da^{-1})	1.14 c	0.16 b	3.73 a	1.12 ab	0.34 b	0.19 b	235.13 a	52.48 a	3.31 ab	17.27 a
OİG-V (1.0 t da^{-1})	1.13 c	0.13 b	3.57 a	0.97 b	0.28 bc	0.16 b	122.50 a	45.28 a	2.62 c	14.39 a
NPK	2.16 a	0.31 a	4.06 a	1.31 a	0.54 a	0.47 a	191.80 a	50.70 a	3.66 a	15.35 a
ANOVA (Tek yön; LSD%5)	***[2]	***[2]	ÖD[4]	***[2]	***[2]	***[2]	ÖD[4]	ÖD[4]	*[3]	ÖD[4]

1. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir.
2. ***; %0.1 düzeyinde önemlidir.
3. *; %5 düzeyinde önemlidir.
4. Ö.D.: Önemli değildir

Bitkinin Zn içeriği açısından, DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması en yüksek konsantrasyona sahipken, bunu sırasıyla kontrol, DİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}), NPK ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamaları izlemiştir. Ancak, bitkinin Zn içeriği açısından uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmamıştır (Çizelge 4.6).

Elde edilen sonuçlar NPK uygulamasının en yüksek bitki Cu içeriğini verdiği (3.66 ppm) görülmüştür. Bunu sırasıyla OİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (1.0 t da^{-1}), kontrol, DİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamaları takip etmiştir. Uygulamalar arasında görülen farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (($p<0.05$).

4.6. Vermikompost uygulamalarının bitki agronomik parametreleri üzerine etkisi

Bitki boyu

Çizelge 4.7 vermikompost ve NPK uygulamaların marulun bitki boyuna olan etkisini göstermektedir. Bitki boyu 10.05 cm ile 16.43 cm arasında değişmiştir. En yüksek bitki boyu, 16.43 cm ile NPK uygulamasında gözlemlenmiş ve bunu 14.88 cm ile DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması izlemiştir. Kontrol uygulaması 10.63 cm ile en düşük bitki boyuna sahip olmuştur. Bitki boyu açısından uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.001$).

Yaprak sayısı

Saksı denemesi sonucunda uygulamaların marul bitkisi yaprak sayısı üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir farklılık yaratmadıkları görülmüştür (Çizelge 4.7).

Yaprak alanı

Deneme kapsamındaki uygulamaların marul bitkisi yaprak alanını etkiledikleri ve uygulamalar arasında oluşan faklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0.001$) (Çizelge 4.7). DİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamalarından sırasıyla 201.58 cm^2 ve 223.92 cm^2 ile en yüksek yaprak alanı değerleri elde edilmiştir. Öte yandan kontrol uygulaması 65.54 cm^2 ile en düşük yaprak alanı değerini vermiştir (Çizelge 4.7).

Gövde çapı

Bitki gövde çapı açısından uygulamalar arasında elde edilen farkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.7). Uygulamalar arasında, NPK en yüksek gövde çapını (1.64 cm) veren uygulama olmuştur.

Yaş bitki ağırlığı

Sonuçlar, kontrol uygulamasında marul bitkilerinin ortalama yaş ağırlığının 44.43 g ile elde edilen en düşük değer olduğunu, en yüksek yaş ağırlığın ise NPK uygulamasında 173.64 g olarak tespit edildiğini göstermektedir. Yaş bitki ağirlığı açısından uygulamalar arasında tespit edilen farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.001$) (Çizelge 4.7).

Kuru bitki ağırlığı

En yüksek bitki kuru ağırlığı NPK uygulamasında 11.23 g olarak belirlenmiştir. En düşük kuru ağırlık değeri ise kontrol uygulamasında 3.94 g olarak kaydedilmiştir. Kuru bitki

ağırlığı açısından uygulamalar arasında görülen farklılıklar istatistiksel olarak önemli olmuştur ($p<0.001$) (Çizelge 4.7).

Kök uzunluğu

Ölçülen kök uzunluğu değerleri 9.88 cm ile 15.13 cm arasında değişkenlik göstermiştir. Ancak, uygulamalar arasında görülen farklılıklar istatiski açıdan anlamlı olmamıştır (Çizelge 4.7).

Yaş ve kuru kök ağırlığı

Yaş kök ağırlığı için en yüksek ortalama değer OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında 7.65 g olarak gözlemlenmiştir. Bunu 6.10 g ortalama değer ile NPK uygulaması takip etmiştir. En düşük ortalama değer ise Kontrol uygulamasında 3.74 g olarak tespit edilmiştir. Yaş kök ağırlığı açısından uygulamalar arasında oluşan farkların istatitiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.7).

Kuru kök ağırlığı değerlerine bakıldığında ise yine OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında 1.40 g ile en yüksek değer elde edilmiştir. Bunu 1.13 g ile DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması takip etmiştir. Kontrol uygulaması ise en düşük kuru kök ağırlığı olarak 0.66 g değerini vermiştir. Uygulamalar arasında görülen farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı olmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.7).

4.7. Toprak mikrobiyal ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkiler

Normal toprak ve rizosfer toprağında ölçülen mikrobiyal ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkiler Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9 da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Vermikompost uygulamalarının marul bitkisinin agronomik parametreleri üzerine etkisi

Uygulama	Bitki boyu (cm)	Yaprak sayısı	Yaprak alanı (cm^2)	Gövde çapı (cm)	Yaş bitki ağırlıgı (g)	Kuru bitki ağırlırı (g)	Kök uzunluğu (cm)	Yaş kök ağırlığı (g)	Kuru kök ağırlığı (g)
Kontrol	10.63 b	23.75 a	65.54 b	1.13 b	44.43 c	3.94 d	11.38 a	3.74 c	0.66 c
DİG-V (0.5 t da^{-1})	10.75 b	25.25 a	86.54 b	1.26 b	58.80 c	5.50 c	10.93 a	4.56 bc	0.96 bc
DİG-V (1.0 t da^{-1})	14.88 a	27.25 a	201.58 a	1.41 ab	113.84 b	8.55 b	12.45 a	6.01 ab	1.13 ab
OİG-V (0.5 t da^{-1})	10.48 b	24.00 a	91.19 b	1.12 b	50.84 c	4.60 cd	12.20 a	4.01 bc	0.78 bc
OİG-V (1.0 t da^{-1})	10.05 b	24.25 a	93.5 b	1.39 ab	56.49 c	5.67 c	15.13 a	7.65 a	1.40 a
NPK	16.43 a	29.00 a	223.92 a	1.64 a	173.64 a	11.23 a	9.88 a	6.10 ab	1.06 ab
ANOVA (Tek yön; LSD%5)	***[2]	ÖD[4]	***[2]	*[3]	***[2]	***[2]	ÖD[4]	*[3]	*[3]

1. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasındaki fark %5 düzeyinde önemlidir.
2. ***; %0.1 düzeyinde önemlidir.
3. *; %5 düzeyinde önemlidir.
4. Ö.D.: Önemli değildir

Çizelge 4.8. Normal toprakta mikrobiyal ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkiler

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Fe	Mn	Cu	pH	EC	O.M.	Alkali Fosfataz	β-glikosidaz	Üreaz	Bakteri sayısı
N	1.00																
P	0.25	1.00															
K	0.15	-0.30	1.00														
Ca	0.14	-0.22	0.76**	1.00													
Mg	0.19	-0.19	0.75**	0.91**	1.00												
Na	0.30	0.45*	0.12	0.27	0.34	1.00											
Zn	0.56**	0.24	0.08	-0.14	-0.08	0.20	1.00										
Fe	-0.26	-0.02	-0.16	0.06	0.08	0.14	0.02	1.00									
Mn	-0.18	0.01	-0.19	-0.01	0.09	0.18	-0.12	0.84**	1.00								
Cu	-0.19	-0.04	-0.20	-0.02	0.00	0.10	0.09	0.93**	0.87**	1.00							
pH	-0.03	-0.25	-0.10	-0.16	0.04	0.09	-0.06	0.32	0.41*	0.25	1.00						
EC	-0.01	0.12	0.08	0.30	0.15	0.19	-0.30	-0.22	-0.21	-0.25	-0.49*	1.00					
O.M.	0.36	0.12	0.18	0.06	0.17	0.30	0.32	0.15	0.23	0.24	0.39	-0.32	1.00				
Alkali Fosfataz	0.03	0.08	-0.10	-0.18	-0.32	-0.27	0.00	-0.10	-0.18	-0.09	-0.42*	0.09	-0.17	1.00			
β-glikosidaz	0.34	-0.05	0.18	0.18	0.08	0.24	0.23	-0.12	0.01	-0.01	-0.27	0.08	0.21	-0.09	1.00		
Üreaz	-0.07	-0.10	-0.33	-0.30	-0.13	0.02	-0.13	-0.03	-0.09	-0.14	0.45*	-0.19	-0.35	-0.27	-0.33	1.00	
Bakteri sayısı	-0.12	-0.08	-0.33	-0.17	-0.09	0.25	-0.30	-0.06	0.09	-0.11	0.38	0.23	0.00	-0.45*	0.07	0.29	1.00

** Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır (iki yönlü).

*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır (iki yönlü).

Çizelge 4.9. Rizosfer toprağında mikrobiyal ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkiler

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Fe	Mn	Cu	pH	EC	O.M.	Alkali Fosfataz	β-glikosidaz	Üreaz	Bakteri sayısı
N	1.00																
P	0.25	1.00															
K	0.15	-0.30	1.00														
Ca	0.14	-0.22	0.76 **	1.00													
Mg	0.19	-0.19	0.752 **	0.91	1.00												
Na	0.30	0.45 *	0.12	0.27	0.34	1.00											
Zn	0.56 **	0.24	0.08	-0.14	-0.08	0.20	1.00										
Fe	-0.26	-0.02	-0.16	0.06	0.08	0.14	0.02	1.00									
Mn	-0.18	0.01	-0.19	-0.01	0.09	0.18	-0.12	0.84 **	1.00								
Cu	-0.19	-0.04	-0.20	-0.02	0.00	0.10	0.09	0.93 **	0.87 *	1.00							
pH	-0.03	-0.25	-0.10	-0.16	0.04	0.09	-0.06	0.32	0.41 *	0.25	1.00						
EC	-0.01	0.12	0.08	0.30	0.15	0.19	-0.30	-0.22	-0.21	-0.25	-0.49*	1.00					
O.M.	0.36	0.12	0.18	0.06	0.17	0.30	0.32	0.15	0.23	0.24	0.39	-0.32	1.00				
Alkali Fosfataz	0.33	0.44 *	0.00	-0.14	-0.08	0.33	0.29	-0.14	0.05	-0.02	0.07	-0.09	0.73 **	1.00			
β-glikosidaz	0.19	0.18	-0.05	0.09	0.16	0.08	-0.03	0.18	0.11	0.14	0.38	-0.38	0.22	-0.01	1.00		
Üreaz	0.29	0.35	-0.14	-0.25	-0.18	-0.05	0.54 **	-0.22	-0.23	-0.08	-0.21	-0.19	0.45 *	0.56 **	-0.01	1.00	
Bkteri sayısı	-0.12	0.13	-0.26	-0.14	-0.11	0.23	-0.34	0.06	-0.01	-0.11	0.25	0.13	-0.29	-0.30	0.25	-0.46*	1.00

** Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır (iki yönlü).

*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır (iki yönlü).

5. TARTIŞMA

5.1. Vermikompostlama sırasında enzim aktivitesi ve bakteri sayısındaki değişimler

5.1.1. Alkali fosfataz aktivitesi

Başlangıçta DİG ile vermikompostlama işleminde alkali fosfataz aktivitesindeki önemli artış, fermantasyona uğramamış inek gübresinde bulunan karmaşık organik fosfat bileşiklerine atfedilebilir. Bu bileşikler defragmentasyona uğrar, solucanlar tarafından kısmen sindirilir ve solucan bağırsağı ile ilişkili mikroorganizmalar tarafından sağlanan ekzojen hidrolitik enzimler tarafından daha da sindirilir (Suthar 2010). Bu bulgu, Kızılkaya vd. (2010) tarafından yapılan çalışmayla uyumludur ve kullanılan hammaddede yüksek miktarda organik fosfor bileşikleri bulunduğundan dolayı vermikompostlamanın ilk aşamasında yüksek alkali fosfataz aktivitesi rapor edilmiştir. DİG yatağındaki keskin artıştan sonra alkali fosfataz aktivitesinde görülen düşüş, mikrobiyal aktiviteyi besleyen biyolojik olarak parçalanabilir organik madde fraksiyonlarının tükenmesine atfedilebilir. Shanthi (2018), hammaddelerde bulunan organik fosfat bileşiklerinin varlığı ile ilişkili olarak vermikompostlamanın ilk aşamasında yüksek alkali fosfataz aktivitesi bildirmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuç, Shanthi (2018) tarafından yürütülen araştırma sonuçlarıyla da uyumlu olarak, vermikompostlamanın ilk aşaması ile yüksek alkali fosfataz aktivitesi arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir. DİG vermikompostunun olgunlaşması sırasında hafif yükseliş gösteren alkali fosfataz aktivitesi, solucan dışkısında alkali fosfataz aktivitesini uyarabilen organik fosfor bileşiklerinin varlığını işaret edebilir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1).

Bu çalışmanın sonuçları, vermikompostlama yataklarındaki alkali fosfataz aktivitesinin kullanılan hammadde türü ve vermikompostlama aşamalarından etkilendiğini göstermektedir. OİG vermikompostlama yatakları, özellikle işlemin başlangıç aşamalarında, DİG yataklarına göre daha yüksek alkali fosfataz aktivitesi göstermiştir. Bu sonuç OİGde mikroorganizmalar tarafından kolayca kullanılabilir organik fosfor bileşiklerinin daha yüksek bir konsantrasyonda bulunduğunu ve dolayısıyla daha yüksek alkali fosfataz aktivitesine yol açtığını düşündürmektedir.

5.1.2. β-glikosidaz aktivitesi

Elde edilen sonuçlar, vermikompostlama yataklarındaki β-glikosidaz aktivitesinin besin kaynağı türü ve vermikompostlama aşamaları tarafından etkilendiğini göstermektedir. Vermikompostlama işleminde birinci haftadan üçüncü haftaya kadar β-glikosidaz aktivitesindeki artış, vermikompostlamanın ilk fazında glukozitlerin salınımına bağlı olabilir. Sonraki haftalarda β-glikozidaz aktivitesindeki azalma, besin kaynağında bulunan en kolay metabolize edilebilir organik madde tüketimine atfedilebilir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1). Bu desen, zeytinyağı endüstrisinden elde edilen lignoselülozik atıkların vermikompostlaması sırasında diğer araştırmacılar tarafından yapılan gözlemlerle uyumludur (Benitez vd. 2002). Benzer şekilde, Jurado vd. (2014), bitki atıklarının kompostlanması sırasında enzimatik aktivitelerin ve karbon fraksiyonlarının evrimini incelemiş ve β-glikosidaz aktivitesinin vermikompostlama sürecinin başında en yüksek artışı gösterdiğini, ardından sürekli bir azalma ile olgunlaşma aşamasının sonunda stabil en düşük değere ulaştığını bildirmişlerdir.

Vermikompostlama sürecinin olgunlaşma fazında, DİG yatağında yirmi dokuzuncu haftada β-glikosidaz aktivitesinde hafif bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, yirmi dokuz haftalık vermikompostlama sonrası tespit edilen mikrobiyal popülasyondaki artışla ilişkilendirilebilir ve vermikompost olgunlaşması sırasında organik madde stabilizasyonunda mikroorganizmaların güçlü bir şekilde yer aldığı anlamına gelebilir.

Başlangıçta hammadde olarak kullanılan materyalin türünden bağımsız olarak, DİG ve OİG vermikompostlaması sırasında β-glikosidaz aktivitesi benzer bir desen takip etmiş ve benzer son değerlere yaklaşmıştır. Ancak DİG ve OİG vermikompostlaması arasında bazı önemli farklılıklar vardır. DİG vermikompostlaması sırasında β-glikosidaz aktivitesi sürekli olarak OİG vermikompostlamasından daha yüksek olmuştur ve bu, DİG'nin vermikompostlama için daha uygun bir materyal olduğu anlamına gelebilir. Çünkü DİG mikroorganizmaların metabolize edebileceği kullanılabilir formda organik maddeyi daha yüksek oranda sağlayarak, daha yüksek β-glikosidaz aktivitesine ve daha kararlı bir vermikompost oluşmasına neden olabilir.

5.1.3. Üreaz aktivitesi

DİG vermikompostlaması sürecinde üreaz aktivitesindeki azalma, farklı organik atıklar kullanılarak yapılan kompostlama ve vermikompostlama çalışmasıyla tutarlı olmuştur (Solanki ve Prateek 2015). Azalmanın ardından yaşanan artış, DİG'nin elementel bileşimine bağlanabilir. DİG, vermikompostlama için hammadde olarak kullanılmadan önce herhangi bir olgunlaşma sürecine tabi tutulmadığından dolayı üreaz gibi enzimlerin sentezini ve aktivitesini engelleyebilecek polifenol ve amonyum gibi enzim inhibitörü kimyasallar ve toksik bileşikler içerebilir. Ros vd. (2005) amonyumun inhibitör olarak işlev görebileceğini belirtmiştir. Amonyum, üreaz tarafından katalizlenen hidrolitik reaksiyonun ürünüdür ve dolayısıyla üreaz aktivitesi amonyumun varlığına tepki olarak dalgalanmalar gösterebilir. OİG yataklarında üreaz aktivitesindeki yavaş ama istikrarlı artış, denemenin ilk on üç haftasında başlangıçta yüksel olan amonyum konsantrasyonunun azalmasına ve vermikompostlama sürecinin başlangıcında solucanların yoğun beslenme isteklerine ve organik maddenin parçalanması faaliyetlerine bağlanabilir. Vermikompostlamanın ileri aşamalarında üreaz aktivitesindeki sürekli azalma biyolojik olarak parçalanabilir organik maddenin hızla tükenmesine ve üre-tipi substratların mineralizasyonuna bağlanabilir(Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2).

Sonuçlar, DİG yataklarının OİG yataklarına göre daha yüksek başlangıç üreaz aktivitesine sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, DİG yataklarında üreaz aktivitesi deneme boyunca dalgalanırken, OİG yataklarında aktivite 13. haftada zirve yapana kadar düzenli olarak artmış ve daha sonra düşümeye başlamıştır. Bu bulgular vermikompostlama sırasında substratın doğasının üreaz aktivitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Genel olarak, bu çalışma, vermikompostlama sırasında üreaz aktivitesinin dinamikleri hakkında önemli bilgiler sağlamakta ve vermikompostlama işlemini optimize etmek için hammadde seçiminin önemini vurgulamaktadır.

5.1.4. Bakteri sayısı

Her iki vermikompostlama uygulamasında da gözlenen mezofilik bakteri popülasyonundaki keskin düşüş, aerobik mezofilik bakterilerin diğer mikroorganizmalar

tarafından rekabetle dışlanması nedeniyle olabilir. Bununla birlikte, OİG vermikompostlama yataklarının, kullanılan organik substratların bileşimindeki farklılıklara atfedilebilecek şekilde, DİG vermikompostlama yataklarına göre daha yüksek bir mezofilik bakteri popülasyonunu sürdürebildiği düşünülebilir. Elde edilen sonuçlar vermikompostlama sürecinde bakteri sayısının azaldığına dair daha önceki çalışmalarla tutarlılık göstermektedir (Domínguez vd. 2017). Villar vd. (2016), taze ve kompostlanmış kanalizasyon çamurunun vermikompostlanması sırasında mikrobiyal dinamiklerdeki değişiklikleri incelediklerinde benzer sonuçlar bildirmişler ve fosfolipid yağ asidi analizine (PLFA) göre solucan aktivitesinin bakteriyal bolluk üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu belirtmişler ve aynı zamanda vermikompostlama sırasında hem gram-pozitif hem de gram-negatif bakteriler ve mantarlar açısından önemli bir azalma gözlemişlerdir. Denemenin 29. haftasında DİG yataklarında gözlenen bakteri popülasyonundaki artış bakteri büyümesi için daha uygun substratların mevcudiyetine bağlı olabilirken, OİG yataklarında sürdürülen yüksek bakteri popülasyonu kullanılan organik substratların uygun bileşimine atfedilebilir (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2).

5.2. Oluşan vermikompostlarda meydana gelen değişimler

5.2.1. pH ve EC

pH değeri, vermikompost kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir abiyotik göstergedir. Ancak, hammadde bileşiminin yanı sıra, bazı elementler vermikompostlama sırasında pH üzerinde etkiye sahip olabilir. Vermikompostlama sırasında organik bileşikler ayrışıp karbondioksit ve organik asitler üretildiğinde pH düşebilir veya amonyum üretildiğinde yükselebilir. Bu çalışmada gözlemlenen pH değişimi farklı atık materyallerin vermikompostlanması sonrası pH değerinin arttığını gösteren önceki araştırmalarla tutarlıdır. Yüksek pH değerleri DİG ve OİG daha ileri bir derecede parçalandığında organik asitlerin yok olması veya amonyum salan mikroorganizmalar tarafından gereksiz görülen organik azotun mineralizasyonunun sonucu olabilir (García-Sánchez vd. 2017). Bu bulgu, domates meyve atıkları ve koyun gübresinin vermikompostlanması sonrası pH değerinin arttığını gösteren önceki araştırmalarla uyumludur (Fernández-Gómez 2010). DİG ve OİG pH değerleri, tarımsal uygulamalar için uygun aralıkta (7.0-8.5) olmuştur (Aulinas-Maso ve Bonmati-Blasi 2008) (Çizelge 4.2).

EC'deki artış, DİG ve OİG'nin degrade olmasından kaynaklanan amonyum gibi çözünür tuzların salınmasına atfedilebilir. Vermikompostlama sırasında farklı iyonların salınması sonucunda EC elde edilen vermikompostta önemli ölçüde artmıştır (Gusain ve Suthar, 2020). Bu sonuç, organik bileşiklerin yüksek oranda mineralizasyonunun tuzların salınmasına neden olabileceğini gösteren Fernández-Gómez vd. (2010) tarafından yapılan önceki çalışmalarla uyumludur. Balachandar vd. (2020) ve Karmegam vd. (2019) de benzer sonuçlar rapor etmişlerdir (Çizelge 4.2).

5.2.2. Organik karbon, N, ve C:N

Vermikompostlama denemesi sonucunda elde edilen vermikompostların organik karbon içeriğindeki azalma vermikompostlama sırasında organik maddenin daha da parçalandığını göstermektedir. Solucanların ve mikroorganizmaların solunum ve asimilasyon aktivitelerine bağlı olarak, vermikompostlama sırasında organik karbonda bir

düşüşün meydana geldiği bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Pramanik vd. (2016), çay budama artıklarının vermikompostlama sonrasında organik karbon kapsamında %32.2-52.8 oranında bir düşüş bildirmişlerdir. Taeporamaysamai ve Ratanatamskul (2016) ise prototip vermikompostlama reaktörü kullanarak çeşitli organik atıklardan oluşan organik substratların kullanıldığı bir çalışmada organik karbon ve organik madde içeriklerinde düşüş rapor etmişlerdir. Karmegam vd. (2019), kağıt endüstrisi çamuru, inek gübresi ve yeşil bitkilerle solucan gübrelemesi sonrasında tüm uygulamalarda organik karbon kapsamında belirgin bir azalma gözlemlemişlerdir. Ranjan vd. (2022) de elde edilen vermikompostlarda organik karbon içeriğinde %18.3-38.7 oranında düşüşler bildirmişlerdir (Çizelge 4.2).

Vermikomposttaki N seviyesindeki artış, solucanların dokularının ve diğer organik maddelerin degrade olması yoluyla vermikompostun azot içeriğine katkıda bulunmalarında ve vermikompostlama sırasında N içeriğini daha da artıran mikrobiyal süreçlere atfedilebilir (Bhat vd. 2015). İnek gübresi vermikompostlaması sonrasında azot konsantrasyonunda önemli bir artış gözlemlediklerini ve bu sonucun, daha önce yapılan bazı araştırmalarla uyumlu olduğunu belirtmişlerdir (Bhat vd. 2015; Yadav vd. 2015). Jjagwe vd. (2019), inek gübresinin vermikompostlanmasını materyal akış analizi kullanarak değerlendirdiklerinde, elde edilen vermikomposttaki toplam N kapsamının başlangıçtaki substrattan yaklaşık %48 daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Bu artış, mukus eklenmesi, büyüme-stimüle edici hormonlar, N içeren atık maddeler ve mikroorganizmalar aracılığıyla gerçekleşen dönüşümler gibi çeşitli faaliyetlere atfedilmiştir. Benzer şekilde, Karmegam vd. (2019), *Eisenia foetida* kullanarak kağıt endüstrisi atıkları, inek gübresi ve yeşil bitkilerin vermikompostlaması sonrasında N kapsamında bir artış gözlemlediklerini ve bu artışın, organik substratların mineralizasyonu ve inek gübresi ve yeşil gübre bitkilerinin eklenmesine bağlı olarak yüksek seviyelerde gerçekleştiğini öne sürmüşlerdir (Çizelge 4.2).

C:N oranındaki düşüş, karbon içeriğine göre azot içeriğinde bir artış olduğunu gösterir ve bu, kompostlama sürecinde karbonun enerji kaynağı olarak kullanılmasından kaynaklanabilir (Ansari ve Rajpersaud, 2012; Ramnarain vd. 2019). Bu durum, son üründe düşük C içeriği ve düşük bir C:N oranı ile sonuçlanır. Bu çalışma sonunda C:N değerinde görülen düşüş önceki çalışmalarla uyumluluk göstermektedir (Bhat vd. 2015; Yadav vd. 2013; Sharma ve Garg 2018). Jjagwe vd. (2019), malzeme akış analizi kullanarak inek gübresi ile yapılan vermikompostlama sırasında C:N oranında yaklaşık %60'lık bir düşüş bildirmiştir. Benzer şekilde, Ranjan vd. (2022), inek gübresi katkılı organik atıklardan üretilen kompost ve vermikompostta C:N oranında bir düşüş bildirmişler ve bunu organik madde oksidasyonu nedeniyle karbon içeriğindeki azalmaya bağlamışlardır. Sharma ve Garg (2018), C:N oranı 20 nin altındaysa organik gübrenin kabul edilebilir olgunluğa eriştiğini, 15 in altındaki bir oranın ise tarımsal amaçlar için uygun kabul edilebileceğini bildirmişlerdir. Bu tez çalışması kapsamında elde edilen her iki vermikompostun C:N oranları 15 in altındadır ve dolayısıyla tarımsal kullanım için uygundurlar (Çizelge 4.2).

5.2.3. P, K, Ca, Mg ve Na

P, vermikompostlama sürecinde, organik atıklarından kısmen salınır ve bu salınımın bir kısmı ise bağırsak fosfatazları tarafından gerçekleştirilir. İlave P salınımı ise solucan gübresinde bulunan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Bu mikroorganizmalar P u bitkiler için daha alınabilir formlara dönüştürürler (Ramnarain vd. 2019). Le Bayon ve

Binet (2006), vermikompostun fosfor içeriğindeki artışı, vermikomposttaki alkali fosfatazların varlığına bağlamıştır. Bu tez çalışması sırasında elde edilen sonuçlar, P un vermikompostta arttığını göstermiş olup Hussain vd. (2018) ve Devi ve Khwairakpam (2020) tarafından elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Jjagwe vd. (2019), malzeme akış analizi kullanarak inek gübresi ile yapılan vermikompostlama sonunda elde edilen üründe P oranının yaklaşık %120 artış gösterdiğini kaydetmiştir. Gusain ve Suthar (2020) da bitki ve inek gübresi karışımlarından elde edilen vermikompostta fosfor düzeyinin, başlangıç düzeylerine göre artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, vermikompostta artan P seviyelerinden sorumlu olan enzimler, mikrobiyal aktiviteyle ilişkilendirilmiş fosfatazlar gibi enzimlerdir (Ghosh vd. 2018; Karmegam vd. 2019) (Çizelge 4.2).

Deneme sonunda gözlemlenen K içeriğindeki düşüş, daha önce yapılmış çalışmaların sonuçlarına benzer olmuştur (Ramnarain vd. 2019; Ro vd. 2022). Tahir ve Hamid (2012) vermikompostta K içeriğinin azaldığını belirtmişler ve bu durumun vermikompostlama sırasında fazla suyun vermikompost yığını içinden geçmesi sonucunda çözünür elementlerin ortamdan uzaklaşması olduğunu savunmuşlardır. Benzer şekilde, Iresha vd. (2021), solucanlar kullanılarak hayvan atıklarının vermikompostlanması sırasında potasyum içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir (Çizelge 4.2).

Bu çalışma kapsamında elde edilen vermikompostların Ca içeriklerinin kullanılan hammaddelerin Ca içeriklerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, Fernández-Gómez vd. (2010) de vermikompostun olgunlaşmış halinde Ca içeriğinin kullanılan orijinal organik materyale göre düşüş gösterdiğini rapor etmişlerdir. Dolayısı ile bilimsel literatürdeki bazı çalışmalar bu tez projesi kapsamında Ca ile ilgili elde edilen sonuçları destekler mahiyettedir (Çizelge 4.2).

Bu çalışmada DİGden elde edilen vermikompostun Mg içeriği DİGnin Mg içeriğinden daha düşük bulunmuştur. Fernández-Gómez vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada da benzer bir sonuç alınmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmada OİGden elde edilen vermikomposta ait Mg içeriği ise OİG'den daha yüksek çıkmıştır. Bilimsel literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar da mevcuttur (Nayak vd. 2013; Paul vd. 2020; Raza vd. 2020) (Çizelge 4.2).

Kullanılan hammaddelere oranla elde edilen vermikompostlarda gözlenen Na içeriğindeki artış önceki çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Bhat vd. (2015) ve Hanc ve Pliva (2013) vermikompostlarda sodyum içeriğinde bir artış bildirmişlerdir. Sharma ve Garg (2018) ise *Eisenia fetida* türü solucan kullanarak pirinç samanı ve kağıt atıklarından üretilen vermikompostlarda başlangıç materyaline göre %28-191 arasında bir Na artışı bildirmişlerdir (Çizelge 4.2).

5.2.4. Mikrobesin elementleri

Bu çalışmada kullanılan hammaddelere kıyasla elde edilen vermikompostlarda ölçülen daha düşük mikro besin maddesi konsantrasyonları daha önceden yapılmış bazı araştırma sonuçları ile uyumlu gözükmektedir. Örneğin, Fernández-Gómez vd. (2010), olgunlaşmış vermikomposttaki Fe içeriğinin vermikompostlama için kullanılan materyalin Fe içeriğine göre düştüğünü bildirmiştir. Benzer şekilde, Shahmansouri vd. (2005), uzayan vermikompostlama süreleriyle birlikte Zn ve Cu gibi ağır metal konsantrasyonlarında bir

azalma gözlemlemişlerdir. Hobbelen vd. (2006) tarafından yürütülen bir çalışmada, yüksek ağır metal konsantrasyonlarına rağmen 54 günlük vermikompostlama sonrasında vermikomposttaki Cu ve Zn konsantrasyonlarında bir düşüş rapor edilmiştir. Ölçülen diğer mikro elementlerin aksine elde edilen vermikompostların her ikisinde de Mn içeriğinde bir artış meydana gelmiştir. Bu artış, mineralizasyon ve organik maddenin ayrışması gibi kullanılan hammaddenin hacmini azaltan ve besin maddelerinin konsantrasyonunu artıran proseslere atfedilebilir (Sharma ve Garg 2017). Raza vd. (2020) de inek gübresi, domuz gübresi ve biyokömürün tarımda geri kazanılması sürecinde Mn içeriğinde bir artış olduğunu belirtmişlerdir (Çizelge 4.2).

5.3. Enzim aktiviteleri ve mikrobiyal popülasyon

Bu çalışmanın sonucu, son ürün olarak elde edilen vermikomposttaki mikrobiyal popülasyon ve enzim aktivitelerinin kullanılan hammaddeye kıyasla önemli şekilde farklılaştığını göstermiştir. Alkali fosfataz aktivitesi her iki vermikompostta da yükselmiştir ve DİG vermikompostunda daha yüksek bir artış gözlenmiştir. Bununla birlikte, β-glikosidaz aktivitesi ve üreaz aktivitesi her iki vermikompostta da düşük olmuştur ve OİG vermikompostunda daha yüksek bir düşüş gözlenmiştir. Bakteri sayısı da her iki vermikompostta önemli ölçüde azalmıştır. Vermikompostlamanın sonunda β-glikosidaz ve üreaz aktivitesindeki azalma, bu enzimlerin mikroorganizmalar tarafından sentezlenmesi için gereken karbon ve azotun sınırlı mevcudiyetine bağlı olarak enzim sentezinin kısıtlanması nedeniyle olabilir (Allison ve Vitousek 2005). Bununla birlikte, alkali fosfataz aktivitesindeki artış, son vermikompostlarda fosforun daha iyi kullanılabilir durumda olduğunu işaret etmektedir (Çizelge 4.2).

5.4. Vermikompost uygulamalarının toprak mikrobiyal aktiviteleri üzerindeki etkisi

5.4.1. Alkali fosfataz aktivitesi

Alkali fosfataz aktivitesi toprakta P döngüsü açısından önemli bir toprak mikrobiyal aktivite göstergesidir. Yüksek alkali fosfataz aktivitesi değerleri topraktaki mikrobiyal aktivitenin yüksek olduğunu gösterir. Sonuçlar, vermikompost uygulamalarının genellikle, kontrol uygulamasına göre, alkali fosfataz aktivitesini artırdığını ve bunun hasat sırasında rizosfer toprağında daha belirgin olduğunu göstermektedir. Bu, vermikompost uygulamasının özellikle bitki kökleri etrafındaki mikrobiyal aktiviteyi teşvik ettiğini göstermektedir. Gözlemlenen toprak alkali fosfataz aktivitesindeki artış, vermikompostun organik formda fosfor sağlaması sonucunda alkali fosfataz üretimi ve aktivitesinin uyarılması ile açıklanabilir (Kanchikerimath ve Singh 2001; Uz vd. 2016). Ayrıca, rizosfer bölgesindeki yüksek mikrobiyal çeşitlilik ve aktivitenin bu artışa katkıda bulunduğu da düşünülmektedir (Lu vd. 2022). İlginçtir ki, daha yüksek vermikompost uygulama oranı (1.0 t da^{-1}), daha düşük orana (0.5 t da^{-1}) göre her zaman daha yüksek alkali fosfataz aktivitesi değerlerine neden olmamıştır. Bazı durumlarda, 1.0 t da^{-1} oranı, 0.5 t da^{-1} oranına benzer veya hatta daha düşük alkali fosfataz aktivitesi değerleri göstermiştir. Bu, toprak mikrobiyal aktivitesini maksimize etmek için bir optimum vermikompost uygulama oranı olabileceğini düşündürmektedir. Wang vd. (2021), farklı gübre uygulamalarının topraktaki alkali fosfataz aktivitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini ve organik madde varlığında aktivite düzeylerinin artabileceğini belirtmiştir. Bu gözlem, Zhang vd. (2014), Nannipieri vd. (2011)

ve Saha vd. (2008) tarafından da bildirilmiştir. NPK uygulamasına ait alkali fosfataz aktivite değerleri, vermikompost uygulamaları ve kontrol uygulamasına kıyasla daha düşük ölçülmüştür. Bu bulgu kimyasal gübrelerin toprak mikrobiyal aktivitesi üzerindeki bilinen olumsuz etkisiyle uyumludur (Saha vd. 2008; Spohn vd. 2015, Wang vd. 2021) (Çizelge 4.3. ve Şekil 4.3.).

5.4.2. β-glikosidaz aktivitesi

Sonuçlar, β-glikosidaz aktivitesinin uygulamalara ve zamana göre değiştiğini göstermektedir. Uz vd. (2016) tarafından belirtildiği gibi selülozun parçalanması toprak organizmaları için birincil enerji kaynağı olan glikoz üreten önemli bir süreçtir. Bu nedenle, selülozun parçalanmasında rol alan β-glikosidaz, karbon dönüşümü ve toprak verimliliğinin bir göstergesi olarak kullanılabilir. Denemenin 7. haftasından sonra, kontrol grubu en yüksek β-glikozidaz aktivitesine sahip olup, onu NPK uygulaması takip etmektedir. Bu aşamada, vermikompost uygulamalarının β-glikosidaz aktivitesi daha düşüktür. Ancak hasatta vermikompost uygulamaları kontrol ve NPK uygulamalarından daha yüksek β-glikosidaz aktivitesi göstermiştir. En yüksek aktivite, kontrol ve NPK uygulamalarından önemli ölçüde farklı olan DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasına ait rizosfer toprağında gözlemlenmiştir. Bu sonuç, organik gübrelemenin topraklarda β-glikozidaz aktivitesini artırdığı sonucuna varan birçok önceki çalışmayla uyumludur (Uz vd. 2016; Zhao ve Zhang, 2018; Mdlambuzi vd. 2021). Sonuçlar, uygulamaya bağlı olmaksızın rizosferde β-glikosidaz aktivitesinin genellikle toprak kütlesinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, rizosferde besin maddesi kullanılabilirliği ve bitki-mikroorganizma etkileşimlerindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Ek olarak, bu sonuç, DİG-V ve OİG-V uygulamalarının, bu organik gübrelerin uygulanması nedeniyle topraktaki organik madde kullanılabilirliğinin daha yüksek olması sebebiyle kontrol grubuna göre rizosferde daha yüksek β-glikosidaz aktivitesine neden olduğunu göstermektedir. Genel olarak, sonuçlar, vermikompost uygulamasının özellikle rizosferde toprak β-glikosidaz aktivitesini artırabileceğini ve bu durumun bitkiler için besin maddesi kullanılabilirliğini artırabileceğini göstermektedir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3).

5.4.3. Üreaz aktivitesi

Üreaz aktivitesi, bitki büyümesi için önemli bir azot kaynağı olan ürenin hidrolizinden sorumlu olduğu için topraktaki azot döngüsünü ölçmek için önemli bir parametredir. Sonuçlar, DİG-V ve OİG-V uygulamalarının daha yüksek oranlarda (1.0 t da^{-1}) uygulanmasının topraktaki üreaz aktivitesini artırdığını göstermektedir (Çizelge 4.4. ve Şekil 4.4.). Özellikle, DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması, 7. haftada normal toprakta ve hasat aşamasında rizosferde en yüksek üreaz aktivitesini göstermiştir. Benzer şekilde, OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması da hasat aşamasında normal toprakta yüksek üreaz aktivitesi göstermiştir. Bu bulgular, DİG-V ve OİG-V'nin daha yüksek oranlarda (1.0 t da^{-1}) uygulanmasının topraktaki üreaz aktivitesini artırabileceğini ve böylece bitki büyümesi için azotun kullanılabilirliğini artırabileceğini göstermektedir. Wu vd. (2023), yapılan diğer çalışmalara (El-Bassi vd. 2021; Lopes vd. 2021; Wang G. vd. 2022) atıfta bulunarak üreaz aktivitesinin arttırılmasının kullanılan organik madde miktarına bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. Bu da mikrobiyal kolonizasyon için uygun bir ortam yaratarak toprağın fizikokimyasal özelliklerini artırır. Benzer sonuçlar önceki araştırmalarda da bildirilmiştir (Uz vd. 2016).

5.4.4. Bakteri sayısı

Sonuçlar, NPK uygulamasının üç örnekleme zamanında da en yüksek bakteri sayısına sahip olduğunu göstermektedir. Bu, NPK gübresinin eklenmesinin topraktaki bakteri büyümesine olumlu bir etkisi olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında özellikle 7. hafta normal toprakta ve hasat sırasında rizosferde relatif yüksek bir bakteri sayısının belirlenmiş olması bu uygulamanın topraktaki bakteri büyümesini teşvik edebileceğini göstermektedir. Öte yandan, kontrol uygulamasının her üç örnekte en düşük bakteri sayısını vermiş olması herhangi bir gübre veya toprak iyileştiricinin ortamda bulunmamasının topraktaki bakteri büyümesini sınırlayabileceğini göstermektedir. Jack vd. (2011), yüksek oranlarda kompost ve diğer organik madde ilavelerinin hem toprak (Saison vd. 2006) hem de rizosfer (Benitez vd. 2007) bakteri toplulukları üzerindeki etkisini gösteren önceki çalışmalara atıfta bulunmuştur. Topraktaki NPK uygulamasının, vermikomposta kıyasla daha yüksek bakteri sayısına sahip olmasının nedeni, vermikompost ile toprağa tanıtılan bakteri türlerinin çevreye (henüz) iyi uyum sağlamamış olması olabilir. Jack vd. (2011) tarafından belirtildiği gibi, vermikompost uygulaması doğal rizosfer popülasyonunu değiştirebilir, ancak yeni topluluk ortama iyi uyum sağlayamayabilir. NPK uygulaması, rizosfer ortamına zaten iyi uyum sağlamış bakteri türlerinin büyümesini teşvik etmiş ve dolayısıyla daha yüksek bir bakteri sayısına yol açmış olabilir. Ayrıca, NPK uygulamasıyla sağlanan besin maddelerinin, vermikomposta göre belirli bakteri türlerinin büyümesini daha yüksek oranda teşvik etmesi mümkündür (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4).

5.5. Vermikompost uygulamalarının toprak verimlilik parmetreleri üzerindeki etkisi

DİG-V uygulamaları her iki dozda da (0.5 t da^{-1} ve 1.0 t da^{-1}) benzer pH seviyelerine sahip olmuş ve kontrol grubundan daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.5). OİG-V uygulamaları da kendi arasında benzer pH seviyelerinde olup DİG-V ve kontrol grubundan daha yüksek olmuştur. NPK uygulamasının pH seviyesi 7.01 olarak ölçülmüş ve DİG-V uygulamalarından biraz daha yüksek ancak OİG-V uygulamalarından daha düşük çıkmıştır. Bu verilere göre, DİG-V, OİG-V ve NPK uygulamalarının toprak pH seviyesini artırabileceği ve bu durumun bitki büyümesi ve verim üzerinde etkilerinin olabileceği öngörülebilir. Bu sonuç, vermikompost ve diğer organik materyallerin toprak pH'sını artırdığını gösteren önceki çalışmalarla uyumludur (Uz ve Tavali 2014; Tolera ve Wakgari 2021; Wu vd. 2022). Ancak, bu bulgular, organik gübrelerin aslında toprak pH'sını düşürebileceğini öne süren bazı önceki raporlarla çelişmektedir (Atiyeh vd. 2001; Uz vd. 2016). Örneğin, Manivannan vd. (2009), vermikompost uygulanan toprakta hafif bir pH düşüşü olduğunu belirtmişler ve bu durumu organik gübrelerin ayrışması sırasında oluşan organik asitlerin etkisine ve potansiyel olarak artan geçirgenliğe ve tuzların yıkanmasına bağlamışlardır. Farklı çalışmalarda gözlenen pH değişimlerinin farklı vermikompost tiplerine ve incelenen toprağın özelliklerine bağlı olabileceği dikkate alınmalıdır. Örneğin, Férnandez-Bayo vd. (2008), vermikompost uygulamalarının asidik topraklarda toprak pH'sini yükselttiğini ancak alkali topraklarda düşürdüğünü göstermişlerdir.

Uygulamalar arasındaki EC değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmamakla birlikte vermikompost uygulamalarının kontrol uygulamasına göre biraz daha düşük EC değerlerine yol açması dikkat çekicidir. Bu durum, vermikompostun toprak yapısı ve su tutma kapasitesi üzerindeki olumlu etkilerinden kaynaklanabilir. Vermikompost

uygulamaları, tuzluluğun olumsuz etkilerini etkili bir şekilde hafifletip toprak kalitesini artırabilir (Demir 2020).

Toprak organik maddesi, toprak verimliliği, toprak yapısı ve su tutma kapasitesine katkı sağlayan önemli bir toprak bileşenidir. Uygulanan 0.5 t da^{-1} ve 1.0 t da^{-1} dozlarındaki DİG-V uygulaması sırasıyla %1.02 ve %1.06 ile en yüksek toprak organik madde içeriğine sahipmiştir (Çizelge 4.5). OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması %0.94 ile ikinci en yüksek toprak organik madde içeriğine sahipken kontrol grubu en düşük organik madde içeriğine sahip olmuştur (%0.68). Sonuçlar, DİG-V ve OİG-V uygulamalarının toprak organik madde içeriğini artırabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, önceki araştırmaların bulgularıyla tutarlıdır (Xu ve Mou 2016; Shang vd. 2020). Vermikompostun toprak organik madde içeriği üzerinde oluşturduğu etki farkı, kullanılan iki farklı vermikompostun organik madde içeriğindaki farka bağlanabilir. DİG-V fermante edilmemiş inek gübresinden elde edilmiştir ve OİG-V'de kullanılan olgunlaştırılmış inek gübresine kıyasla daha yüksek organik madde konsantrasyonuna sahiptir. Bu nedenle, DİG-V uygulaması, denemenin sonunda gözlenen daha yüksek toprak organik madde seviyelerine yol açmış olabilir.

Bu çalışma, topraktaki N değerlerinin tüm uygulamalar arasında benzer olduğunu ve %0.10 ila %0.12 arasında değiştiğini göstermiştir. Gözlenen farklılıklar küçük ve istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu çalışmanın bulguları, kimyasal gübre ve farklı seviyelerde vermikompost ilavesinin toplam N içeriği üzerinde önemli bir etkisi olmadığını gösteren Kumar vd. (2018) ile tutarlıdır. Sonuçlar, vermikompost ilavesinin toprak N içeriğini önemli ölçüde artırmadığını veya azaltmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, bu denemenin kısa bir zaman diliminde yürütüldüğü dolayısıyla uygulamaların sadece kısa vadeli etkilerinin belirlenebildiği göz önüne alındığında topraktaki N açısından daha uzun vadeli çalışmalara ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4.5). Bu bulgular, uygulamalara verilen tepki olarak toprağın N kapsamında anlamlı bir fark olmadığını gösterse de, önceki araştırmalar vermikompost ve diğer organik gübrelerin toprakta N içeriğini artırabileceği sonucuna varmışlardır (Uz ve Tavali 2019; Zhang vd. 2023). Uz vd. (2016) yaptığı bir çalışmada, organik gübre uygulanan toprakların toplam azot içeriğinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Söz konusu çalışma sonunda toplam N içerikleri ilk sezonunda %0.13 ile %0.18 ve ikinci sezonda %0.12 ile %0.24 arasında değişmiş ve özellikle vermikompost, çiftlik gübresine kıyasla, toplam N içeriğini daha etkin bir şekilde artırmıştır.

P ile ilgili sonuçlar, DİG-V'nin 1.0 t da^{-1} dozunda ve ayrıca NPK uygulanması ile toprak P içeriğinin önemli ölçüde artabileceğini, OİG-V uygulamasının ise toprak P içeriğini artırmada o kadar etkili olmayabileceğini göstermiştir (Çizelge 4.5). DİG-V uygulamalarındaki yüksek organik madde içeriği ve alkali fosfataz aktivitesi, OİG-V uygulamalarına kıyasla, daha yüksek toprak P içeriğine katkıda bulunmuş olabilir. Organik gübrelerin toprak P kapsamı üzerindeki etkileri ile ilgili önceki çalışmalar da benzer bulgular bildirmiştir (Criquet ve Braud (2008; Adiloğlu vd. 2021; Li vd. 2021; Shavkat vd. 2023). Benzer şekilde, yeni kazanılmış bir arazi üzerinde farklı organik gübrelerin tatlı patates büyümesi ve rizosfer toprak özellikleri üzerindeki etkilerini incelerken, P içeriğinde karşılaştırılabilir bir artış bildirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, tüm organik gübre uygulamalarının toprakta mevcut P içeriğini kontrol grubuna göre önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir (Li vd. 2022).

Bu tez çalışması kapsamında toprakta K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonları üzerinde uygulamaların anlamlı bir etkisi gözlenmemiş olsa da, vermikompost uygulamalarının farklı toprak ve yetiştiricilik şartlarındaki etkileri konusunda yapılan diğer çalışmalar farklı sonuçlar rapor etmişlerdir (Azarmi vd. 2008; Durak vd. 2017). Benzer bir çalışmada, Syarifinnur vd. (2022), pazar atığından elde edilen kompost ve vermikompostun toprak kimyasal özellikleri ve bitki büyümesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Vermikompost uygulamasının toprakta en yüksek K içeriğini sağladığını ve kontrol grubuna kıyasla önemli bir artış olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, Adiloğlu vd. (2021), artan miktarda vermikompost uygulamalarının bitki ve toprakta belirli makro ve mikro element içeriklerini önemli ölçüde artırabileceğini ortaya koymuşlardır.

Sonuçlar aynı zamanda, DİG-V (1.0 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamalarının topraktaki Zn konsantrasyonunu artırabileceğini, ancak 0.5 t da^{-1} DİG-V ve NPK uygulamasının kontrol grubuna kıyasla Zn konsantrasyonunda anlamlı bir artışa neden olmadığını göstermektedir. Sun vd. (2022) tarafından yayınlanan çalışma benzer sonuçlar vermiş ve organik gübre uygulamasının topraktaki Zn seviyelerini artırabileceğini göstermiştir.

5.6. Vermikompost uygulamalarının bitkinin besin içeriği üzerine etkileri

NPK uygulaması, vermikompost uygulamalarına ve kontrole kıyasla marul bitkilerinin N alımı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olmuştur(Çizelge 4.6). Vermikompost uygulamaları arasında, OİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) bitkide benzer N içeriğine ile sonuçlanmıştır. Bu sonuç, kimyasal gübre temelli tarımın genellikle vermikompost gibi organik düzenleyicilere kıyasla bitkilerde daha yüksek azot kapsamına yol açtığını bulan önceki çalışmalarla tutarlıdır. Liu (2014) ve Huang vd. (2016) önceki çalışmaları referans göstererek bitkilerin yenilebilir kısımlarındaki azot kapsamının kimyasal gübre temelli tarımda organik tarım sistemlerine kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ancak, vermikompost, toprak verimliliğini arttırması ve besin maddesi yarayışlılığını arttırması nedeniyle özellikle uzun vadede bitkiler için daha etkili bir N kaynağı olabilir (Edwards ve Burrows 1988; Atiyeh vd. 2002).

P ile ilgili olarak, sonuçlar DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasının marul bitkisinde en yüksek P kapsamına yol açtığını ve NPK da dâhil olmak üzere diğer uygulamalara göre anlamlı bir fark oluşturduğunu göstermekmiştir(Çizelge 4.6). Bu bulgular, bitkilerin P beslenmesi açısından yararlı etkilerini bildiren önceki çalışmaları destekler mahiyettedir. Vermikompostun bitkiler tarafından kullanılabilen formda yüksek düzeyde besin maddesi, özellikle de P içerdiği bilinmektedir (Ramnarain vd. 2019). DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında bitkinin P kapsamındaki artış, daha yüksek bir vermikompost dozunun uygulanması sonucu toprakta besin maddesi konsantrasyonundaki artıştan kaynaklanabilir. Bu, vermikompost uygulamasının toprak verimliliğini ve bitki büyümesini ve sonuç olarak verimi artırabileceği fikrini desteklemektedir. Bu sonuç, organik gübrelerin bitkilerde P alımını artırdığını gösteren önceki çalışmalarla tutarlıdır. Organik gübrelerin değişen düzeylerinin marulda besin içeriği üzerindeki etkisi Ceylan vd. (2018) tarafından incelenmiş, organik gübre kullanımının marulda yüksek P alımına neden olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, Schröder vd. (2021), vermikompost ve termofilik kompostun marul bitkileri üzerindeki

etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında bitkilerde en yüksek toplam P alımını hindistan cevizi kabuğu bazlı vermikomposttan elde etmişlerdir. Bu çalışma kapsamında yapılan saksı denemesinin bitkinin P kapsamı açısından genel sonuçları, özellikle daha yüksek uygulama dozlarında DİG-V uygulamasının marulda P alımını önemli ölçüde artırabileceğini ve bunun da daha yüksek bir verime neden olabileceğini göstermektedir.

Uygulamaların marul bitkilerinde K ve Ca konsantrasyonları üzerinde önemli etkileri olmamıştır (Çizelge 4.6). Bu, çalışmada kullanılan toprağın ve marul çeşidinin doğal özelliklerinden kaynaklanabilir. Ancak, bu sonuçları doğrulamak ve marul bitkilerinde besin alımını etkileyebilecek diğer faktörleri araştırmak için daha fazla çalışma gerekmektedir. İlginç bir şekilde, Ca, Mg ve Na alımı uygulamalardan önemli ölçüde etkilenmiş, NPK uygulamasının bu elementlerin bitki tarafından en yüksek seviyede alınımını sağladığı görülmüştür. Sonuçlar, uygulamalarda kullanılan vermikompostun tip ve uygulama dozunun marul bitkilerinde Ca, Mg ve Na alımı üzerinde farklı bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, marul bitkilerinde Fe, Mn ve Zn alımı açısından uygulamalar arasında önemli farklılıklar olmadığını göstermiştir. Ancak, Cu alımı açısından önemli farklılıklar bulunmuştur. NPK, OİG (0.5 t da^{-1}), DİG (1.0 t da^{-1}) ve kontrol uygulamaları, marul bitkisinde en yüksek Cu alım değerlerine neden olmuşken, en düşük Cu değeri OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında gözlemlenmiştir. Bu bulgular genel olarak vermikompostun bitkilerde temel besin elementlerinin alımını artırabileceğini gösteren önceki çalışmalarla uyumluluk göstermektedir (Kashem vd. 2015; Hosseinzadeh 2017; Demir vd. 2019).

5.7. Vermikompost uygulamalarının bitki agronomik parametreleri üzerine etkisi

Bitki boyu açısından, sonuçlar NPK ve DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamalarının marul bitki boyunu artırabileceğini göstermektedir (Çizelge 4.7). NPK uygulamasında gözlenen yüksek bitki boyu, gübre tarafından kolayca sağlanan besin elementlerinin etkisine bağlanabilir. Benzer şekilde, DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması bitki büyümesi için gerekli olan temel besin elementlerini sağlamış olabilir ve bu da NPK ile benzer şekilde gözlenen bitki boyunda artışa yol açmış olabilir. OİG-V (0.5 t da^{-1}), DİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamaları, kontrol ile karşılaştırıldığında gözlenen marul bitki boyu üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Denemedeki uygulamaların bitki yaprak sayısı üzerinde de önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların aksine, vermikompostun bitki yaprak sayısını önemli ölçüde artırdığını bildiren çalışmalar mevcuttur (Adiloğlu vd. 2018; Issa vd. 2022).

DİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamalarında gözlenen marul bitki yaprak alanındaki artış, daha yüksek besin içeriğine sahip olmalarına bağlanabilir. DİG-V (0.5 t da^{-1}), OİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 t da^{-1}) gibi diğer vermikompost uygulamalarında gözlenen yaprak alanındaki artış, kontrol ile karşılaştırıldığında DİG-V (1.0 t da^{-1}) ve NPK uygulamaları kadar önemli olmamıştır. Bu durum, vermikompost tipi ve uygulama dozuna da bağlı olarak besin içeriğinin ve kimyasal gübrelere göre bu besinlerin salınım hızının daha düşük olmasının bir sonucu olabilir.

Marul gövde çapı, verim ve kaliteyi etkileyen önemli bir tarımsal özelliktir. NPK gübresinin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki olumlu etkilerini gösteren daha önceki araştırmalarla uyumlu olarak (Kumar vd. 2016), bu çalışma, NPK gübresinin marul gövde çapını önemli ölçüde artırdığını doğrulamaktadır. Sonuçlar, NPK gübresi uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla marul gövde çapını %45 oranında artırdığını göstermektedir. Bununla birlikte, DİG-V (1.0 t da^{-1}) ve OİG-V (1.0 1.0 t da^{-1}) uygulamalarının da marul gövde çapında istatistiksel olarak aynı düzeyde bir artışa neden olduğunu belirtmek önemlidir. NPK gübresi kadar belirgin olmasa da, bu sonuçlar DİG-V ve OİG-V'nin bitki büyümesi ve gelişimi üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Uygulamaların marulun yaş ve kuru bitki ağırlığı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. En yüksek yaş ve kuru bitki ağırlığı NPK uygulamasında gözlenmiştir ve bu durum gübredeki azot, fosfor ve potasyumun dengeli ve kullanıma hazır bir şekilde bulunmasına bağlanabilir. Benzer şekilde, DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması kontrol uygulamasına kıyasla daha yüksek yaş ve kuru bitki ağırlığına sahiptir (Çizelge 4.7). Bu da vermikompostun marul büyümesinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, kimyasal gübrelerin bitki büyümesi ve verim üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gösteren önceki çalışmalarla uyumludur (Tuo vd. 2017; Nascimento vd. 2020). Bununla birlikte, kimyasal gübrelerin özellikle olumsuz çevresel etkilere yol açabileceği bilinmektedir. İkinci en yüksek ortalama yaş ve kuru bitki ağırlığı DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulamasında kaydedilmiştir. Dolayısıyla vermikompostun, tipi ve uygulama dozuna bağlı olarak, bitki gelişimi ve verime önemli etkileri olduğu anlaşılmaktadır. Daha önce yapılan araştırmalar da organik gübre uygulamalarının toprak verimliliğini ve bitkinin besin elementi alımını olumlu etkilediğini ve buna bağlı olarak bitki büyümesi ve verimi artırabileceğini göstermiştir (Durak vd. 2017; Adiloğlu vd. 2018; Issa vd. 2022;).

OİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması ve istatistiksel olarak aynı benzerlik grubunda yer alan DİG-V (1.0 t da^{-1}) uygulaması, muhtemelen besin açısından zengin organik bileşikler içermesi nedeniyle marul köklerinin yaş ve kuru ağırlığını önemli ölçüde artırmıştır. Vermikompostun bitki büyümesini teşvik eden fitohormonlar içermesi de bu etkiye katkıda bulunmuş olabilir (Blandon vd. 1999; Gajalakshmi vd. 2001; Nogales vd. 2005; Hernández vd. 2010). Ayrıca, NPK uygulaması, yaş ve kuru kök ağırlığı üzerinde önemli bir etki göstermiş ve kontrol uygulamasına kıyasla daha yüksek bir ortalama değere sahip olmuştur. NPK bitki büyümesini teşvik eden ve yaygın olarak kullanılan bir gübre olduğu için bu beklenen bir durumdur. DİG-V (0.5 t da^{-1}) ve OİG-V (0.5 t da^{-1}) uygulamalarının bitki büyümesi üzerindeki etkisi ise sınırlı olmuştur. Vermikompost uygulamalarının yaş ve kuru kök ağırlığı üzerindeki etkisinin uygulama dozuna bağlı olduğunu düşünülmektedir.

Yapılan bir çok çalışma DİG-V gibi organik gübrelerin bitki büyümesi ve verim üzerindeki olumlu etkilerini göstermiştir (Adiloğlu vd. 2018; Sukri et al., 2020; Nuraini ve Prasetya 2022; Zhang vd. 2023). Ayrıca, Besas vd. (2019), vermikompost yığınlarından kaynaklanan sızıntı suları ve diğer vermikompost ürünlerinin marul bitkisinin büyüme ve verimi üzerine etkilerini incelemek üzere bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarının sonucunda vermikompost sızıntı suları, vermikompost çayı ve vermikompostun önemli bir

potansiyele sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Benzer bir şekilde, Mala (2022) ve Korkmaz ve Akıncı (2023) da marul bitkisi üzerinde vermikompostun olumlu etkilerini rapor etmişlerdir.

Bu bulgular, hem organik hem de kimyasal gübre kullanımının marul bitki büyümesini ve üretimini büyük ölçüde artırabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, kimyasal gübrelerin ekosisteme potansiyel zararlarını göz önünde bulundurmak ve daha çevre dostu seçeneklere, örneğin doğal organik gübrelere yönelmek son derece önemlidir. Bitki yetiştiriciliği için ideal vermikompost tipleri ve uygulama oranlarının belirlenmesi için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır. Elde edilen bulgular, DİG-V uygulamasının OİG-V'na kıyasla toprak ve bitki üzerindeki daha olumlu etkileri geleneksel hayvan yetiştiriciliği yapan küçük işletmelerden elde edilen inek gübresinin, olgunlaştırma işlemine gerek kalmadan, doğrudan vermikompost hammaddesi olarak kullanılabileceğini ve daha yüksek bir fayda potansiyeline sahip olabileceğini göstermektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, yoğun besicilik faaliyetleri sonucu elde edilen olgunlaştırılmış inek gübresi (OİG) ile hayvanların daha rahat hareket edebildikleri geleneksel hayvan yetiştiriciliği yapılan bir çiftlikten elde edilen olgunlaşmamış doğal inek gübresinden (DİG) elde edilen vermikompostların karşılaştırmalı etkileri konusundaki bilgi boşluğunu doldurmak amacıyla yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, bu tez çalışmasının birinci aşamasında bu gübrelerin vermikomposta dönüştürülmesi sürecinde vermikompost yataklarındaki enzim aktiviteleri ve mezofilik bakteri sayılarındaki değişimler izlenmiş ve süreç sonunda elde edilen vermikompostların (OİG-V ve DİG-V) biyolojik analizleri yanı sıra kimyasal analizleri yapılarak aradaki farklılık ve değişimler belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, yoğun besicilik faaliyeti sonucu elde edilen olgunlaştırılmış inek gübresi kullanılarak ticari bir firma tarafından üretilmiş vermikompost ile geleneksel hayvan yetiştiriciliği yapılan bir çiftlikten elde edilen olgunlaştırılmamış doğal inek gübresi kullanılarak elde edilen vermikompostun toprak ve bitki üzerindeki etkilerini incelemek üzere sera koşullarında bir saksı denemesi yürütülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, vermikompost üretimi için kullanılan hammadde tipinin vermikompostlama süreci üzerinde etkili olduğunu ancak son ürün olarak elde edilen her iki vermikompostun kalitesinin genel olarak birbirine yakın olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, olgunlaşmış inek gübresinden elde edilen vermikompostun bazı besin elementleri (P, Ca, Mg, Mn ve Zn) açısından daha zengin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ölçülen biyolojik parametreler açısından (β-glikosidaz aktivitesi hariç) her iki vermikompost arasında önemli bir fark oluşmamış, sadece β-glikosidaz aktivitesi olgunlaşmış inek gübresi vermikompostunda önemli düzeyde düşük bulunmuştur. Besin maddesi içeriği ve enzim aktivitesindeki bu farklılık olgunlaşmış inek gübresinden elde edilen vermikompostun daha stabil bir duruma geldiğinin bir göstergesi olabilir. Vermikompostlama aşamasında oluşan değişimler genel olarak hem solucan bağırsağında ve hem de vermikompost yığınlarındaki mikrobiyal aktivitenin bir sonucudur. Sonuçlar, elde edilen vermikompostların bitkisel üretimde kullanıma uygun olduğunu göstermiştir.

Elde edilen vermikompostların toprak ve bitki üzerindeki etkilerini belirlemek üzere yürütülen saksı denemelerinden elde edilen sonuçlar genel olarak vermikompostun toprak mikrobiyal aktivitesini artırdığını, ayrıca toprakta pH, organik madde, P ve Zn açısından olumlu etkiler yaptığını göstermiştir. Özellikle toprağın organik madde ve P kapsamı açısından olgunlaşmamış doğal inek gübresinden elde edilen vermikompost daha etkili olmuştur. Toprak biyolojik özellikleri açısından bakıldığında vermikompostların toprak enzim aktiviteleri üzerindeki etkisi daha çok rizosfer toprağında belirgin olmuştur. Sonuçlar, rizosfer toprağında alkali fosfataz ve üreaz aktivitesi üzerinde olgunlaşmamış doğal inek gübresi vermikompostunun daha etkin olduğunu göstermiştir. β-glikosidaz ve mezofilik bakteri sayısı açısından ise vermikompostlar arasında önemli bir fark oluşmamıştır.

Saksı denemelerinde uygulanan vermikompostların marul bitkisinin besin maddesi kapsamına etkisi genelde benzer olmuştur. Bununla birlikte, bitkinin P kapsamı açısından olgunlaşmamış doğal inek gübresi vermikompostunun diğer vermikomposta kıyasla çok daha etkili olduğu belirlenmiştir. Denemede kullanılan olgunlaşmamış doğal inek gübresi vermikompostunun daha düşük fosfor içeriğine sahip olmasına rağmen toprağın ve bitkinin P kapsamını olgunlaşmış inek gübresi vermikompostuna kıyasla ciddi bir oranda artırmış olması dikkat çekici bulunmuştur. Bitki agronomik parametreleri açısından da genel olarak olgunlaşmamış doğal inek gübresinin daha etkinli olduğu belirlenmiştir. Özellikle bitki boyu, yaprak alanı, yaş ve kuru bitki ağırlı olgunlaşmamış doğal inek gübresi vermikompostu tarafından önemli düzeyde etkilenmiştir. Yaş ve kuru kök ağırlığı üzerinde ise doza bağlı olarak her iki vermikompost etkili olmuştur.

Vermikompost üretiminde kullanılacak hammadelerin kaynağı ve vermikompostlama öncesinde farklı şekillerde muamele edilmeleri elde edilen vermikompostun toprak ve bitki üzerindeki etkilerinde farklılıklar yaratabilmektedir. Vermikompost hem atıkların güvenli şekilde dönüştürülmesi için önemli bir araç hemde tarımda kaliteli ürün elde etmek için değerli bir kaynaktır. Bu nedenle çiftçilerin kendi işletmelerinden elde ettikleri atıkları vermikompost olarak tekrar üretimde kullanmaları hem ekonomik ve hem de sürdürülebilir tarım açısından tavsiye edilmektedir. Bu tez çalışması, bu tür işletmelerden elde edilen hayvansal atıkların en az muameleye tabi tutularak vermikomposta dönüştürülebilme potansiyelini araştırmıştır. Elde edilen sonuçların çiftçi koşullarında daha farklı atıkların vermikomposta dönüştürülmesi konusunda yapılacak çalışmalara yön vereceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

Aciego, P.J.C. and Brookes, P.C. 2008. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 1856-1861.

Adiloğlu, S.Y., Acikgoz, F.E., Bellitürk, K., Gürgan, M., Solmaz, Y. and Adiloğlu A. 2021. The effects of increasing amounts of vermicompost and a fixed amount of *Rhodobacter capsulatus* applications on macro and micro elements of plant and soil samples. *Journal of Plant Nutrition*. 44: 1-9.

Adiloğlu, S.Y., Acikgoz, F.E., Solmaz, Y., Çaktü, E. and Adiloğlu, A. 2018. Effect of vermicompost on the growth and yield of lettuce plant (*Lactuca sativa* L. var. crispa). *International Journal of Plant and Soil Science*. 21: 1-5.

Ahsan, A., Kamaludin, M., Rahman, M.M., Anwar, A.H.M.F., Bek, M.A., and Idris, S. 2014. Removal of various pollutants from leachate using a low-cost technique: integration of electrolysis with activated carbon contactor. *Water, Air, and Soil Pollution*, 225: 2163.

Ahsan, A., Ismail, N., Rahman, M. M., Imteaz, M., Rahman, A., Mohammad, N., and Salleh, M.A.M. 2013. Municipal solid waste recycling in Malaysia: present scenario and future prospects. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22: 3654-3664.

Aira, M., Monroy, F. and Domínguez, J. 2007. *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Lumbricidae) Modifies the Structure and Physiological Capabilities of Microbial Communities Improving Carbon Mineralization During Vermicomposting of Pig Manure. *Microbial Ecology*, 54: 662-671.

Allison, S.D. and Vitousek, P.M. 2005. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. *Soil Biology and Biochemistry*, 37: 937-944.

Ansari, A. and Jaikishun, S. 2011. Vermicomposting of sugarcane bagasse and rice straw and its impact on the cultivation of *Phaseolus vulgaris* L. in Guyana, South America. *Journal of Agricultural Technology*, 7(2): 225-234.

Ansari, A.A. 2008. Effect of Vermicompost and Vermiwash on the Productivity of Spinach (*Spinacia oleracea*), Onion (*Allium cepa*) and Potato (*Solanum tuberosum*). *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(5): 554–557.

Arancon, N. and Edwards, C.A. 2005. Effects of vermicomposts on plant growth. International Symposium Workshop on Vermitechnology, Philippines.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A. and Bierman, P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresoure Technology*, 97(6): 831-840.

Arora, M. and Kaur A. 2019. Scanning electron microscopy for analysing maturity of compost/vermicompost from crop residue spiked with cattle dung, *Azolla pinnata* and *Aspergillus terreus*. *Environmental Science and Pollution Research* 26(2):1761-1769.

Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., and Metzger, J.D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1): 7-14.

Barik, T., Gulati, J.M.L., Garnayak, L.M., and Bastia, D.K. 2011. Production of vermicompost from agricultural wastes. *Agricultural Reviews*, 31(3): 172-183.

Bellitürk, K. 2016. Vermicomposting technology for solid waste management in sustainable agricultural production. *Çukurova Journal of Agricultural and Food Sciences*, 31(3): 1-5.

Bellitürk, K. 2018. Some Evaluations about use of vermicompost in agricultural activity of thrace region, Turkey: A Review. *Journal of Rice Research*, 6 (2): 1000193.

Bellitürk, K., Görres, J.H., Kunkle, J. and Ryan, D.S.M, 2015. Can Commercial Mulches be Reservoirs of Invasive Earthworms? Promotion of Ligninolytic Enzyme Activity and Survival of *Amynthas agrestis* (Goto and Hatai, 1899), *Applied Soil Ecology*, 87: 27-31.

Benitez, E., Sainz, H., Melgar, R. and Nogales, R. 2002. Vermicomposting of a lignocellulosic waste from olive oil industry: A pilot scale study. Waste management and research: The *journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association*, ISWA. 20: 134-42.

Benitez, M.S., Tustas, F.B., Rotenberg, D., Kleinhenz, M.D., Cardina, J., Stinner, D., Miller, S.A., and McSpadden Gardener, B.B. 2007. Multiple statistical approaches of community fingerprint data reveal bacterial populations associated with general disease suppression arising from the application of different organic field management strategies. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 2289-2301.

Besas, U., Aceres, L., and Caniones, S. 2020. Potential of vermicompost drippings and other vermicomposting products on the growth and yield of lettuce. *Southeastern Philippines Journal of Research and Development*. 25: 33-46.

Bhat, S., Singh, J. and Vig, A. 2015. Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm *Eisenia fetida* and production of vermicompost. *SpringerPlus*. 4. 10.1186/s40064-014-0780-y.

Blandon, G., Dávila, A. and Rodríguez, V. 1999. Caracterización microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de café sola y mucílago, en proceso delombricompostaje. *CENICAFE* 50(1):5-23.

Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., and Mathieu, J. 2019. Vermicompost significantly affects plant growth: A meta-analysis. *Agronomy Sustainable Development*, 39(4): 34.

Bluemling, B. and Wang, F. 2018. An institutional approach to manure recycling: Conduit brokerage in Sichuan Province, China. Resources, Conservation, and Recycling, 139: 396-406.

Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.

Burns, R. G. 1982. Enzyme activity in soils: location and possible role in microbial ecology. *Soil Biology and Biochemistry*, 14, 423-427.

Casida, L.E., Klein, D., and Santoro, T. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Science* 98:371–376.

Castaldi, P., Garau, G. and Melis, P. 2008. Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions. *Waste Management*, 28: 534-540.

Ceylan, S., Yoldas, F., Saatçı Mordoğan, N. and Tepecik, M. 2018. Effects of different doses of organic fertilizer on nitrate accumulation and some nutrient element content of lettuce.

Chamani, E., Joyce, D.C., and Reihanytabar, A. 2008. Vermicompost effects on the growth and flowering of *Petunia hybrida* 'Dream Neon Rose'. *American□Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 3(3): 506–512.

Chauhan, H.K., and Singh, K. 2013. Effect of tertiary combinations of animal dung with agrowastes on the growth and development of earthworm *Eisenia fetida* during organic waste management. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2: 11.

Chen, Y., Zhang, Q., Zhang, Y., Chen, J., Zhang, D., and Tong, J. 2015. Changes in fibrolytic enzyme activity during vermicomposting of maize stover by an anecic earthworm *Amynthas hupeiensis*. *Polymer Degradation and Stability*, 120: 169-177.

Criquet, S. and Braud, A. 2008. Effects of organic and mineral amendments on available P and phosphatase activities in a degraded Mediterranean soil under short-term incubation experiment. *Soil and Tillage Research*. 98: 164-174.

Das, D., Bhattacharyya, P., Ghosh, B.C., and Banika, P. 2016. Bioconversion and biodynamics of *Eisenia foetida* in different organic wastes through microbially enriched vermiconversion technologies. *Ecological Engineering*, 86: 154-161.

Demir, Z. 2020. Alleviation of adverse effects of sodium on soil physicochemical properties by application of vermicompost. *Compost Science and Utilization*. 28: 1-17.

Devi, C. and Khwairakpam, M. 2020. Bioconversion of *Lantana camara* by vermicomposting with two different earthworm species in monoculture. *Bioresource Technology*, 296: 122308.

Doan, T.T., Ngo, P.T., Rumpel, C., Nguyen, B.V., and Jouquet, P. 2013. Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Scientia Horticulturae*, 160: 148-154.

Dominguez, J., Edwards, C.A., 1997. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biology and Biochemistry*. 29: 743–746.

Domínguez, J., Sanchez-Hernandez, J.C. and Lores, M. 2017. Vermicomposting of winemaking by-products. In C.M. Galanakis (Ed.), Handbook of grape processing by-products (pp. 55–78). Academic Press, London. ISBN 9780128098707. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809870-7.00003-X.

Durak, A., Altuntas, O., Kutsal, I., Işık, R. and Karaat, F. 2017. The effects of vermicompost on yield and some growth parameters of lettuce. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology,* 5: 1566.

Edwards, C.A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. In Edwards C.A. and Neuhauser E.F. (eds.) Earthworms in waste and environmental management, SPB Academic Publishing, The Hague, 21-31.

Edwards, C.A. and Bohlen, P.J. 1996. Biology and ecology of earthworms (3rd ed.). Chapman and Hall, London.

Edwards, C.A., and Burrows, I. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. In C.A. Neuhauser (Ed.), Earthworms in Environmental and Waste Management (pp. 211-220). SPB Academic Publ. b.v. The Netherlands.

Edwards, C.A., Arancon, N.Q. and Sherman, R.L. 2010. Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes and Environmental Management, CRC Press.

Edwards, C.A., Arancon, N.Q., and Sherman, R. 2011. Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes, and environment management. New York: CRC Press.

Eivazi, F., and Tabatabai, M.A. 1977. Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 9: 67-172.

Eivazi, F., and Tabatabai, M.A. 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20: 601-606.

El-Bassi, L., Azzaz, A.A., Jellali, S., Akrout, H., Marks, E.A.N., Ghimbeu, C.M. 2021. Application of olive mill waste-based biochars in agriculture: Impact on soil properties, enzymatic activities and tomato growth. *Science of The Total Environment*, 755: 142531.

Erşahin, Y.S. 2007. Obtaining Vermicompost products, and alternatives for use in agricultural production. *Journal of Gaziosmanpaşa University, Faculty of Agriculture*, 24 (2): 99-107.

Evliya H. 1960. Kültür Bitkilerinin Beslenmesi. Ankara Üniversitesi Ziraat Yayınları, 36. Ders Kitabı 17, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.

FAO Manure Management. 2019. Available online: http://www.fao.org/faostat/en/#data/GM [Son erişim tarihi: 04.11.2020].

Fernandez-Gomez, M.J., Romero, E., and Nogales, R. 2010. Feasibility of vermicomposting for vegetable greenhouse waste recycling. *Bioresoure Technology*, 101(24): 9654-9660.

Fernández-Gómez, M.J., Nogales, R., Insam, H., Romero, E., and Goberna, M., 2010. Continuous-feeding vermicomposting as a recycling management method to revalue tomato-fruit wastes from greenhouse crops. *Waste Management*, 30: 2461-2468.

Fernández-Bayo, J.D., Nogales, R. and Romero, E., 2009. Assessment of three vermicomposts as organic amendments used to enhance diuron sorption in soils with low organic carbon content. *European Journal of Soil Science,* 60:935–944.

Frasetya, B., Harisman, K., Maulid, S. and Ginandjar, S. 2019. The effect of vermicompost application on the growth of lettuce plant (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Physics: Conference Series,* 1402. doi:10.1088/1742-6596/1402/3/033050.

Gajalakshmi, S., Ramasamy, E.V. and Abbasi. S.A. 2001. Potential of two epigenic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Bioresource Technology* 76:177-181.

Gholipoor, M., Karamzadeh, A. and Gholami, A. 2014. Vermicompost as a Soil Supplement to Relieve the Effects of Low Intensity Drought Stress on Chickpea Yield. In International Symposium on Organic Matter Management and Compost Use in Horticulture (pp. 219–226).

Ghosh, S., Goswami, A. J., Ghosh, G. K. and Pramanik, P. 2018. Quantifying the relative role of phytase and phosphatase enzymes in phosphorus mineralization during vermicomposting of fibrous tea factory waste. *Ecological Engineering*, 116: 97-103.

Gómez-Brandón, M.; Aira, M.; Lores, M. and Domínguez, J. 2011. Changes in Microbial Community Structure and Function During Vermicomposting of Pig Slurry. *Bioresource Technology*, 5: 4171-4178.

Gopalakrishnan, S., Vadlamudi, S., Bandikinda, P., Sathya, A., Vijayabharathi, R., Rupela, O., Varshney, R.K. 2014. Evaluation of Streptomyces strains isolated from herbal vermicompost for their plant growth□promotion traits in rice. *Microbiological Research*, 169(1): 40–8.

Gunadi, B. and 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*, 47(4): 321-329.

Gusain, R. and Suthar, S. 2020. Vermicomposting of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) by employing *Eisenia fetida*: Changes in nutrient contents, microbial enzyme activities and earthworm biodynamics. *Bioresource Technology*. 311. 123585. 10.1016/j.biortech.2020.123585.

Hanc, A. and Pliva, P. 2013. Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15:431-439.

Hand, P., W.A., Hayes, J.C., Frankland and J.E., Satchell, 1988. The vermicomposting of cow slurry. *Pedobiologia*, 31:199–209.

Hobbelen, P.H.F., Koolhass, J.E. and Gestel, C.A.M. 2006. Effects of heavy metals on the litter consumption by the earthworm *Lumbricus rubellus* in field soils. *Pedobiologia* 50: 51-60.

Hoffman, G. and Teicher, K. 1961. Ein koloriraetrisches Verfahren zur Bestimmung der Urease aktivitat in Böden, Z, PflErnahr, Düng. Bodenk. 95: 555-63.

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili A. 2017. Nutrition and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to vermicompost fertilizer and water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40: 2259–2268.

Huang, K., Li, F., Wei, Y., Chen, X. and Fu, X. 2013. Changes of bacterial and fungal community compositions during vermicomposting of vegetable wastes by *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, 150: 235–41.

Hussain, N., Das, S., Goswami, L., Das, P., Sahariah, B., and Bhattacharya, S.S. 2018. Intensification of vermitechnology for kitchen vegetable waste and paddy straw

employing earthworm consortium: Assessment of maturity time, microbial community structure, and economic benefit. *Journal of Cleaner Production*, 182: 414-426.

Iresha, M.F., Kasam, K., Maristiyanto, Nurtanto, M., Ramadhani, W.S. and Rahmat, Ai. 2021. Macronutrient content of compost produced by earthworm in the utilization of livestock waste using vermicomposting method. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 739. doi:10.1088/1755-1315/739/1/012037.

Islas□Espinoza, M., Solís□Mejía, L., and Esteller, M.V. 2013. Phosphorus release kinetics in a soil amended with biosolids and vermicompost. *Environmental Earth Sciences*, 71(3), 1441–1451.

Jabborov, S., Azimov, B. and Musurmonova, M. 2023. Effect of organic fertilizers on agrochemical properties of soil and growth, development and yield of cotton. *E3S Web of Conferences*, 376. 10.1051/e3sconf/202337602012.

Jack, A.L.H., Sooksa□Nguan, T., Rangarajan, A., Culman, S.W. and Thies, J.E. 2011. Choice of organic amendments in tomato transplants has lasting effects on bacterial rhizosphere communities and crop performance in the field. *Applied Soil Ecology*, 48(1): 94–101.

Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.

Jjagwe, J., Komakech, A., Karungi, J., Long, A., Wanyama, J. and Lederer, J. 2019. Assessment of a Cattle Manure Vermicomposting System Using Material Flow Analysis: A Case Study from Uganda. *Sustainability*. 11. 10.3390/su11195173.

Jurado, M. M., Suárez-Estrella, F., Vargas-García, M.C., López, M.J., López-González, J.A. and Moreno, J. 2014. Evolution of enzymatic activities and carbon fractions throughout composting of plant waste. *Journal of Environmental Management*, 133: 355-364. doi:10.1016/j.jenvman.2013.12.020. PMID: 24412984.

Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal analizler: III. Toprak Analizleri. A. Ü. Ziraat Fakültesi Geliştirme Vakfi Yayınları No: 3.

Kacar, B. ve İnal, A. 2008. Bitki analizleri. Nobel Yayınları No: 1241, Ankara.

Kanchikerimath, M. and Singh, D. 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize - wheat - cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86:155-162.

Karmegam, N., Vijayan, P.M., Prakash, D. and 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*. 228. doi.10.1016/j.jclepro.2019.04.313.

Kashem, M., Sarker, A., Hossain, I. and Islam, M. 2015. Comparison of the effect of vermicompost and ınorganic fertilizers on vegetative growth and fruit production of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Open Journal of Soil Science*. https://doi.org/10.4236/OJSS.2015.52006.

Katheem, K.S., Mahamad, H.I., Shlrene, Q. and Sultan, A.I. 2015. Prospects of organic waste management and the significance of earthworms. Springer International Publishing AG.

Kellog W. 1952. Our garden Soil. The Macmillan Company, New York.

Kizilkaya, R., Türkay, Ş., Bayraklı, B., Askin, T., Akça, İ., and Ceyhan, V. 2010. Enzyme and earthworm activities during vermicomposting in sewage sludge. 10.13140/2.1.5149.0567.

Korkmaz, S.H. and Akıncı, İ.E. 2023. Farklı vermikompost uygulamalarının marulda (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) verim ve kalite üzerine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28 (1): 122-135. https://doi.org/10.37908/mkutbd.1162550.

Kumar, A., Paul, S., Singh, M., Rakshit, R. and Kumar, S. 2018. Effect of vermicompost application on nitrogen dynamics in soil. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 31: 1-10. doi:10.9734/CJAST/2018/45988.

Kumari, M. s. sailaj., and Ushakumari, K. 2002. Effect of vermicompost enriched with rock phosphate on the yield and uptake of nutrients in cowpea (*Vigna unguiculata* l. walp). *Journal of Tropical Agriculture*, 40, 27–30.

Kurubas, M.S., Maltas, A.S., Dogan, A., Kaplan, M., and Erkan, M. 2019. Comparison of organically and conventionally produced Batavia type lettuce stored in modified atmosphere packaging for postharvest quality and nutritional parameters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1): 226-234. doi: 10.1002/jsfa.9164.

Lazcano, C., Arnold, J., Tato, A., Zaller, J.G. and Domínguez, J. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: Effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 7:944-951.

Le Bayon, R.C. and Binet, F. 2006. Earthworm changes the distribution and availability of phosphorus in organic substrates. *Soil Biology and Biochemistry,* 38: 235-246.

Lee, J.E., Rahman, M.M. and Ra, C.S. 2009. Dose effects of Mg and PO_4 sources on the composting of swine manure. *Journal of Hazardous Materials,* 169: 801-807.

Li, X., Su, Y., Ahmed, T., Ren, H., Javed, M.R. and Yao, Y. 2021. Effects of different organic fertilizers on improving soil from newly reclaimed land to crop soil. *Agriculture,* 11:560. doi: 10.3390/agriculture11060560.

Li, X., Li, D., Lu, Q., Wang, D., Ren, X., Luqiong, L., Ahmed, T., Yan, J. and Li, B. 2022. Effects of Different Organic Fertilizers on Sweet Potato Growth and Rhizosphere Soil Properties in Newly Reclaimed Land. *Agronomy*. doi:10.3390/agronomy12071649.

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

Lim, S.L., Wu, T.Y., Lim, P.N. and Shak, K.P.Y. 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95: 1143–1156.

Lim, S.L., Wu, T.Y. and Clarke, C. 2014. Treatment and biotransformation of highly polluted agro-industrial wastewater from palm oil mill into vermicompost using earthworms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62: 691-698.

Lindsay, W.L. and Norwell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.

Liu, C., Sung, Y., Chen, B.C. and Yu, L. 2014. Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11: 4427-4440.

Lopes, É.M.G., Reis, M.M., Frazão, L.A., Da Mata Terra, L.E., Lopes, E.F. and Dos Santos, M. M. 2021. Biochar increases enzyme activity and total microbial quality of soil grown with sugarcane. *Environmental Technology and Innovation*, 21: 101270. doi:10.1016/j.eti.2020.101270.

Lores, M., Gómez-Brandón, M., Pérez-Díaz, D. and Domínguez, J. 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(9): 2993-2996, ISSN 0038-0717.

Loue A. 1968. Diagnostic Petiolaire De Prospechtion. Etud Sur La Nutrition et. La Fertilisation Potasigues De La vigne. *Societe Commerciale Des Potasses d'Al sace services Agronomigues,* 31-41.

Lowe, C., Butt, K. and Sherman, R. 2014. Current and Potential Benefits of Mass Earthworm Culture. 10.1016/B978-0-12-391453-8.00020-0.

Lu, X., Bin Q.Z., Ting, L., Wennian, X., Ting, G. and Dong, X. 2022. Microbial functional diversity in rhizosphere and non-rhizosphere soil of different dominant species in a

vegetation concrete slope. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 36:1, 379-388, doi: 10.1080/13102818.2022.2082319.

Mala, S.A. 2022. Effects of Vermicompost on the Growth and Antioxidant Property of Grand Rapid Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *American Journal of Agricultural Science, Engineering, and Technology*, 6: 82-86. 10.54536/ajaset.v6i2.562.

Manh, V.H. and Wang, C.H. 2014. Vermicompost as an important component in substrate: Effects on seedling quality and growth of muskmelon (*Cucumis Melo* L.). *APCBEE Procedia*,8: 32-40. doi:10.1016/j.apcbee.2014.01.076.

Manivannan, S., Balamurugan, M., Parthasarathi, K., Gunasekaran, G., and Ranganathan, L. S. 2009. Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity–beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Environmental Biology*, 30: 275-281.

Mdlambuzi, T., Tsubo, M. and Muchaonyerwa, P. 2021. Short□term effects of selected organic fertilizer sources on carbon dioxide fluxes and soil quality. *Journal of Environmental Quality*. 50. doi:10.1002/jeq2.20174.

Muktamar, Z., Aneri, D. and Suprapto. 1998. Penurunan aluminium teradsorpsi pada tanah asam sitrat dan oksalat. *Jurnal Penelitian Universitas Bengkulu*, 11, 1-4. (in Indonesian).

Nannipieri, P., Giagnoni, L., Landi, L. And Renella, G. 2011. Role of phosphatase enzymes in soil, phosphorus in action. Springer, Berlin.

Nascimento, F., Kandasamy, S., Lazarovits, G. and Rigobelo, E. 2020. Effect of Chemical Fertilization on the Impacts of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in Maize Crops. *Current microbiology*. 77. doi:10.1007/s00284-020-02207-9.

Nayak, V.A.K., Varma, S.S. and Kalamdhad, A. 2013. Effects of various C: N ratios during vermicomposting of sewage sludge using *Eisenia fetida*. *Journal of Environmental Science and Technology*, 6: 63-78.

Ndegwa, P.M., Thompson, S.A. and Das, K.C. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology*. 71: 5–12.

Nelson, D.W. and Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2), 539-579.

Neuhauser, E.F., Hatenstein, R. and Kaplan, D.L. 1980. Growth of the earthworms *Eisenia fetida* in relation to population density and food rationing. *Oikos*. 35: 93-98.

Nogales, R., Cifuentes, C. and Benítez. E. 2005. Vermicomposting of winery wastes: A laboratory study. *Journal of Environmental Science and Health*, Part B 1234:659-573.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, N.C. 1954. Estimation of available phosphous in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture Circular, 939, Washington, D.C.

Özkan, N. ve Müftüoğlu, M. 2016. Farklı dozlardaki vermikompostun marul verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. *Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkezi Araştırma Enstitüsü Dergisi*. (45). Özel Sayı.

Parkinson, D., Gray, T.R.G. and Williams, S.T. 1971. Methods for studying the ecology of soil micro-organisms. International Biological Programme handbook No 19. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Parthasarathi, K., Balamurugan, M. and Ranganathan, L.S. 2008. Influence of vermicompost on the physico□chemical and biological properties in different types of soil along with yield and quality of the pulse crop – blackgram. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 5(1): 51–58.

Pathma, J. and Sakthivel, N. 2013. Molecular and functional characterization of bacteria isolated from straw and goat manure based vermicompost. *Applied Soil Ecology*, 70: 33–47.

Paul, S., Kauser, H., Jain, M., Khwairakpam, M. and Kalamdhad, A. 2019. Biogenic Stabilization and Heavy Metal Immobilization During Vermicomposting of Vegetable Waste with Biochar Amendment. *Journal of Hazardous Materials*. 390: 121366. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121366.

Pindozzi, S., Faugno, S., Okello, C. and Boccia, L. 2013. Measurement and prediction of buffalo manure evaporation in the farmyard to improve farm management. *Biosystems Engineering*, 115: 117-124.

Pizer, N.H. 1967. Some advisory aspects soil potassium and magnesium. Tech. Bulletin N., 14-184.

Pramanik, P., Safique, S., Jahan, A. and Bahagat, R.M. 2016. Effect of vermicomposting on treated hard stem leftover wastes from pruning of tea plantation: a novel approach. *Ecological Engineering*, 97: 410-415.

Rahman, S.M.E., Islam, M.A., Rahman, M.M. and Deog O. 2008. Effect of cattle slurry on growth, biomass yield and chemical composition of maize fodder. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* 21: 1592-1598.

Ramesh, P., Raten Panwar, N., Bahadur Singh, A., Ramana, S., and Subba Rao, A. (2009). Impact of organic□manure combinations on the productivity and soil quality in different cropping systems in central India. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(4): 577–585.

Ramnarain, Y., Ansari, A. and Ori, L. (2018). Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 8. doi:10.1007/s40093-018-0225-7.

Ranjan K.P., Denish, B., Kiran, K.M., Debadatta, S., Mitali, M., Alok, K. and Balasubramani R. 2022. Juxtaposing the quality of compost and vermicompost produced from organic wastes amended with cow dung, *Environmental Research*, 214(4): 114119, ISSN 0013-9351, https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114119.

Rathod, D.D., Rathod, P.H., Patel, K.P., and Patel, K.C. 2013. Integrated use of organic and inorganic inputs in wheat□fodder maize cropping sequence to improve crop yields and soil properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(11): 1439–1455.

Raza, T., Zhu, B., Tang, J., Ali, Z., Anjum, R., Bah, H., Iqbal, H., Ren, X. and Ahmad, R. 2020. Nutrients Recovery During Vermicomposting of Cow Dung, Pig Manure and Biochar for Agricultural Sustainability with Gases Emissions . *Applied Sciences*. 10. doi:10.3390/app10248956.

Ro, S., Long, V., Sor, R., Pheap, S., Raby, N. and William, J. 2022. Alternative feed sources for vermicompost production. *Environment and Natural Resources Journal,* 20: 393-399. 10.32526/ennrj/20/202200009.

Ros, M., García, C. and Hernández, T.A. 2006. Full-scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetic changes in chemical and microbial properties, *Waste Management*, 26(10): 1108-1118, ISSN 0956-053X, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.08.008.

Saha, S., Prakash, V., Kundu, S., Kumar, N., and Mina, B.L. 2008. Soil enzymatic activity as affected by long term application of farm yard manure and mineral fertilizer under a rainfed soybean-wheat system in N-W Himalaya. *European Journal of Soil Biology*, 44: 309-315. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.02.004.

Saison, C., Degrange, V., Oliver, R., Millard, P., Commeaux, C., Montange, D. and LeRoux, X. 2006. Alteration and resilience of the soil microbial community following compost amendment: effects of compost level and compost-borne microbial community. *Environmental Microbiology*, 8: 247-257.

Sarker, B.C., Alam, M.A., Rahman, M.M., Islam A.F.M.T. and Choudhury M.G.F. 2009. Waste management of commercial poultry farms in Bangladesh. *Journal of innovation and development strategy* 3: 34-37.

Schröder, C., Häfner, F., Larsen, O. and Krause, A. 2021. Urban Organic Waste for Urban Farming: Growing Lettuce Using Vermicompost and Thermophilic Compost. *Agronomy*. 11: 1175. doi:10.3390/agronomy11061175.

Shahmansouri, M.R., Pourmoghadas, H., Parvaresh, A.R. and Alidadi, H. 2005. Heavy metals bioaccumulation by Iranian and Australian earthworms (*Eisenia fetida*) in the sewage sludge vermicomposting. *Iranian Journal Environmental Health Science Engineering* 2(1): 28-32.

Shang, L., Liqiang, W., Zhou, X., Li, S. and Li, X. 2020. Effects of organic fertilizer on soil nutrient status, enzyme activity, and bacterial community diversity in *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia, China. *PLOS ONE*. 15. 10.1371/journal.pone.0240559.

Shanthi, K. 2018. Comparative assessment in enzyme activities during vermicomposting of biodegradable wastes. *International Journal of Academic Research and Development*, 3(2) 227-1230.

Sharma, K. and Garg, V.K. 2017. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). *Bioresource Technology*. 250. doi:10.1016/j.biortech.2017.11.101.

Singh, N.B., Khare, A.K., Bhargava, D.S., Bhattacharya, S. 2005. Effect of initial pH on vermicomposting using *Perionyx excavates* (Perrier, 1872). *Applied Ecology and Environment Research*. 4: 1, 85-97.

Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K., and Patil, R.T. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (Fragaria x ananassa Duch.). *Bioresource Technology*, 99(17): 8507–11.

Sinha, R., Agarwal, S., Chauhan, K., Chandran, V. and Soni, B. 2010. Vermiculture technology: reviving the dreams of sir charles darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. TI, 01(03), pp.155-172.

Soil Survey Division Staff, 1993. Soil Survey Manual. USDA Handbook 18, US Gov. Print. Washington DC.

Solanki, V. and Shilpkar, P. 2015. Changes in activities of various enzymes during vermicomposting. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 9. 579-582.

Spark, D. 2003. Environmental Soil Chemistry. 2nd ed. Academic Press. London.

Spohn, M., Treichel, N.S., Cormann, M., Schloter, M., and Fischer, D. 2015. Distribution of phosphatase activity and various bacterial phyla in the rhizosphere of Hordeum vulgare, L. depending on P availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 89: 44-51. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.018.

St-Pierre, B. and Wright, A.D.G. 2013. Metagenomic analysis of methanogen populations in three full-scale mesophilic anaerobic manure digesters operated on dairy farms in Vermont, USA. *Bioresource Technology*, 138: 277-284.

Sukri, M., Sugiyarto and Firgiyanto, R. (2020). The growth response of chili plant in sand land with the provision of organic material, zeolite and cane blotong. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 411: 012006. doi:10.1088/1755-1315/411/1/012006.

Sun, L., Li, S., Gong, P., Song, S., Zhang, H., Yafei, S., Qin, Q., Zhou, B. and Xue, Y. 2022. Stabilization of Zinc in Agricultural Soil Originated from Commercial Organic Fertilizer by Natural Zeolite. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19: 1210. doi:10.3390/ijerph19031210.

Suthar, S. 2008. Bioconversion of post-harvest crop residue and cattle shed manure into value-added products using earthworm *Eudrilus eugeniae* Kinberg. *Ecological Engineering*. 32(3): 206–214.

Suthar, S. 2012. Earthworm production in cattle dung vermicomposting system under different stocking density loads. *Environmental Science Pollution Resource International*.19(3): 748-755.

Syarifinnur, S., Nuraini, Y. and Prasetya, B. 2022. Effect of application compost and vermicompost from market waste on soil chemical properties and plant growth. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 9: 3379-3386.

Taeporamaysamai, O. and Ratanatamskul, C. 2016. Co-composting of various organic substrates from municipal solid waste using an on-site prototype vermicomposting reactor. *International Biodeterioration & Biodegradation,* 113: 357–366.

Thun, R., Herman, R. and Knckman, E. 1955. Die Utersuchung Von Boden. Neuman Verlag, Radelbeul Un Berlin., 48 P.

Tilman, D., Wedin, D. and Knops, J. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, 379: 718–720.

Tolera, E. and Wakgari, T. 2021. The Effect of Application of Vermicompost and NPS Fertilizer on Selected Soil Properties and Yield of Maize (*Zea mays* L.) at Toke Kutaye, Ethiopia. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 7: 247.

TÜİK. 2022. Turkey Statistical Institute, https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Animal-Production-Statistics-June-2022-45594 [Son erişim tarihi: 18.09.2022].

Tufaner F. and Avsar Y. 2019. Economic analysis of biogas production from small scale anaerobic digestion systems for cattle manure. *Environmental Research and Technology*, 2(1): 6-12.

Tuo, D., Xu, M., Li, Q. and Liu, S. 2017. Soil aggregate stability and associated structure affected by long-term fertilization for a loessial soil on the loess plateau of China. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2: 827-835.

Tahir, T. and Hamid, F.S. 2012. Vermicomposting of two types of coconut wastes employing Eudrilus eugeniae: a comparative study. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 1. 10.1186/2251-7715-1-7.

Uma, B. and Malathi, M. 2009. Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of Amaranthus species. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences,* 5(6): 1054-1060.

Uz, İ. and Tavali, İ. 2014. Short-term effect of vermicompost application on biological properties of an alkaline soil with high lime content from mediterranean region of Turkey. *The Scientific World Journal*, 395282:11 https://doi.org/10.1155/2014/395282.

Uz, İ., Sonmez, S., Tavali, İ., Cıtak, S. and Uras, D. 2016. Effect of vermicompost on chemical and biological properties of an alkaline soil with high lime content during celery (*Apium graveolens* L. var. dulce Mill.) production. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 44: 280-290. 10.15835/nbha44110157.

Villar, I., David A., Domingo P. and Salustiano M. 2016. Changes in microbial dynamics during vermicomposting of fresh and composted sewage sludge, *Waste Management*, 48(409-417), ISSN 0956-053X, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.011.

Wang, F., Miao, L., Wang, Y., Zhang, M., Zhang, H., and Ding, Y. 2022. Using cow dung and mineral vermireactors to produce vermicompost for use as a soil amendment to slow Pb_2^+ migration. *Applied Soil Ecology,* 170:904299.

Wang, G., Jin, Z., Wang, X., George, T. S., Feng, G. and Zhang, L. 2022. Simulated root exudates stimulate the abundance of Saccharimonadales to improve the alkaline phosphatase activity in maize rhizosphere. *Applied Soil Ecology*, 170: 104274. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104274.

Wang, Y., Huang, R., Xu, G., Li, J., Wang, Z., Ci, E. and Gao, M. 2021. Soil alkaline phosphatase activity and bacterial phoD gene abundance and diversity under regimes of inorganic fertilizer reduction with straw. *Journal of Soils and Sediments*. , 21. doi:10.1007/s11368-020-02748-3.

Warman, P.R. and Anglopez, M.J. 2010. Vermicompost derived from different feedstocks as a plant growth medium. *Bioresoure Technology*, 101(12): 4479-4483. doi:10.1016/j.biortech.2010.01.098.

Won, S.G., Park, J.Y., Rahman, M.M. and Ra, C.S. 2016. Co-composting of swine mortalities with swine manure and saw dust. *Compost Science and Utilization* 24 (1): 42-53.

Wu, Q., Zhang, J., Liu, X., Chang, T., Wang, Q., Shaghaleh, H. and Hamoud, Y. 2023. Effects of biochar and vermicompost on microorganisms and enzymatic activities in greenhouse soil. *Frontiers in Environmental Science*. 10:1060277. doi:10.3389/fenvs.2022.1060277.

Xu, C. and Mou, B. 2016. Vermicompost affects soil properties and spinach growth, physiology, and nutritional value. *HortScience*. 51: 847-855. 10.21273/HORTSCI.51.7.847.

Yadav, A., and Garg, V.K. 2011. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 10(3): 243-276. doi:10.1007/s11157- 011-9242-y.

Yadav, A., and Garg, V. K. 2019. Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting. *Bioresource Technology*, 274: 512–517.

Yadav, A., Gupta, R. and 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*, 2:21. doi:1186/2251-7715-2-21.

Yang, J., Lv, B., Zhang, J., and Xing, M. 2014. Insight into the roles of earthworm in vermicomposting of sewage sludge by determining the water□extracts through chemical and spectroscopic methods. *Bioresource Technology*, 154: 94–100.

Yasir, M., Aslam, Z., Kim, S.W., Lee, S.W., Jeon, C.O., and Chung, Y.R. 2009. Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity. *Bioresource Technology*, 100(19): 4396–403.

Zhang, G., Chen, Z., Zhang, A., Chen, L., Wu, Z. and Ma, X. 2014. Phosphorus composition and phosphatase activities in soils affected by long-term application of pig manure and inorganic fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 1866-1876. https://doi.org/10.1080/00103624.2014.909831.

Zhao, S. and Zhang, S. 2018. Linkages between straw decomposition rate and the change in microbial fractions and extracellular enzyme activities in soils under different long-term fertilization treatments. *PLOS ONE*. 13. e0202660. 10.1371/journal.pone.0202660.

8. EKLER

Çizelge 1: Farklı haftalarda vermikompostlama sırasında inek gübresi uygulamalarının enzim aktiviteleri ve bakteri sayısı üzerindeki etkisi

Kaynak		Karelerin Toplamı	S.D	Ortalama kare	F	P
Alkali fosfataz 0	Uygulama	167354.3	1	167354.3	21.69	0.003
	Hata	46295.46	6	7715.911		
	Toplam	213649.8	7			
β-glikosidaz 0	Uygulama	543.465	1	543.465	0.615	0.463
	Hata	5297.964	6	882.994		
	Toplam	5841.429	7			
Üreaz 0	Uygulama	62565.56	1	62565.56	59.124	0
	Hata	6349.206	6	1058.201		
	Toplam	68914.77	7			
Bakteri sayısı 0	Uygulama	8.11944E+14	1	8.11944E+14	51.231	.000
	Hata	9.50913E+13	6	1.58486E+13		
	Toplam	9.07036E+14	7			
Alkali fosfataz 1	Uygulama	745834.1	1	745834.1	61.939	0
	Hata	72248.91	6	12041.48		
	Toplam	818083	7			
β-glikosidaz 1	Uygulama	11977.18	1	11977.18	19.236	0.005
	Hata	3735.789	6	622.632		
	Toplam	15712.97	7			
Üreaz 1	Uygulama	1059.586	1	1059.586	1.428	0.277
	Hata	4452.003	6	742.001		
	Toplam	5511.589	7			
Bakteri sayısı 1	Uygulama	3.62E+13	1	3.62E+13	7.929	0.031
	Hata	2.74E+13	6	4.57E+12		
	Toplam	6.36E+13	7			
Alkali fosfataz 3	Uygulama	17721.14	1	17721.14	0.402	0.55
	Hata	264672.7	6	44112.12		
	Toplam	282393.9	7			
β-glikosidaz 3	Uygulama	49545.49	1	49545.49	108.833	0
	Hata	2731.455	6	455.242		
	Toplam	52276.94	7			
Üreaz 3	Uygulama	29514.78	1	29514.78	39.84	0.001
	Hata	4445.027	6	740.838		
	Toplam	33959.81	7			
Bakteri sayısı 3	Uygulama	6.06E+11	1	6.06E+11	2.586	0.159
	Hata	1.41E+12	6	2.34E+11		
	Toplam	2.01E+12	7			
Alkali fosfataz 5	Uygulama	616348.5	1	616348.5	25.785	0.002
	Hata	143421.1	6	23903.52		
	Toplam	759769.7	7			

Çizelge 2: Farklı haftalarda vermikompostlama sırasında inek gübresi uygulamalarının enzim aktiviteleri ve bakteri sayısı üzerindeki etkisi

Kaynak		Karelerin Toplamı	S.D	Ortalama kare	F	P
β-glikosidaz 5	Uygulama	378.884	1	378.884	0.364	0.569
	Hata	6250.421	6	1041.737		
	Toplam	6629.305	7			
Üreaz 5	Uygulama	69802.06	1	69802.06	34.169	0.001
	Hata	12257.16	6	2042.86		
	Toplam	82059.22	7			
Bakteri sayısı 5	Uygulama	2.17E+12	1	2.17E+12	50.524	0
	Hata	2.58E+11	6	4.3E+10		
	Toplam	2.43E+12	7			
Alkali fosfataz 9	Uygulama	755545.9	1	755545.9	47.088	0
	Hata	96273.26	6	16045.54		
	Toplam	851819.1	7			
β -glikosidaz 9	Uygulama	173.014	1	173.014	0.462	0.522
	Hata	2245.319	6	374.22		
	Toplam	2418.333	7			
Üreaz 9	Uygulama	3014.558	1	3014.558	1.931	0.214
	Hata	9364.574	6	1560.762		
	Toplam	12379.13	7			
Bakteri sayısı 9	Uygulama	1.38E+11	1	1.38E+11	0.615	0.463
	Hata	1.35E+12	6	2.25E+11		
	Toplam	1.49E+12	7			
Alkali fosfataz 13	Uygulama	1771357	1	1771357	44.259	0.001
	Hata	240136.9	6	40022.82		
	Toplam	2011494	7			
β -glikosidaz 13	Uygulama	9441.679	1	9441.679	2.667	0.154
	Hata	21238.18	6	3539.697		
	Toplam	30679.86	7			
Üreaz 13	Uygulama	48940.73	1	48940.73	40.574	0.001
	Hata	7237.311	6	1206.219		
	Toplam	56178.04	7			
Bakteri sayısı 13	Uygulama	6.3E+11	1	6.3E+11	16.965	0.006
	Hata	2.23E+11	6	3.71E+10		
	Toplam	8.52E+11	7			
Alkali fosfataz 17	Uygulama	2214849	1	2214849	46.979	0
	Hata	282873.8	6	47145.63		
	Toplam	2497723	7			
β -glikosidaz 17	Uygulama	27179.44	1	27179.44	9.167	0.023
	Hata	17788.62	6	2964.769		
	Toplam	44968.06	7			

Çizelge 3: Farklı haftalarda vermikompostlama sırasında inek gübresi uygulamalarının enzim aktiviteleri ve bakteri sayısı üzerindeki etkisi

Kaynak		Karelerin Toplamı	S.D	Ortalama kare	F	P
Üreaz 17	Uygulama	7062.979	1	7062.979	1.561	0.258
	Hata	27140.87	6	4523.478		
	Toplam	34203.85	7			
Bakteri sayısı 17	Uygulama	1.31E+10	1	1.31E+10	0.081	0.786
	Hata	9.73E+11	6	1.62E+11		
	Toplam	9.87E+11	7			
Alkali fosfataz 21	Uygulama	1590143	1	1590143	38.242	0.001
	Hata	249487.6	6	41581.27		
	Toplam	1839631	7			
β -glikosidaz 21	Uygulama	2797.289	1	2797.289	1.863	0.221
	Hata	9009.946	6	1501.658		
	Toplam	11807.24	7			
Üreaz 21	Uygulama	10171.29	1	10171.29	1.914	0.216
	Hata	31885.73	6	5314.288		
	Toplam	42057.01	7			
Bakteri sayısı 21	Uygulama	1.08E+10	1	1.08E+10	0.129	0.731
	Hata	5.02E+11	6	8.36E+10		
	Toplam	5.13E+11	7			
Alkali fosfataz 25	Uygulama	1991597	1	1991597	17.516	0.006
	Hata	682199.3	6	113699.9		
	Toplam	2673796	7			
β -glikosidaz 25	Uygulama	32.013	1	32.013	0.12	0.741
	Hata	1597.45	6	266.242		
	Toplam	1629.463	7			
Üreaz 25	Uygulama	9627.621	1	9627.621	2.096	0.198
	Hata	27555.47	6	4592.579		
	Toplam	37183.09	7			
Bakteri sayısı 25	Uygulama	3.18E+11	1	3.18E+11	4.904	0.069
	Hata	3.89E+11	6	6.48E+10		
	Toplam	7.06E+11	7			
Alkali fosfataz 29	Uygulama	341186.8	1	341186.8	111.228	0
	Hata	18404.68	6	3067.447		
	Toplam	359591.5	7			
β-glikosidaz 29	Uygulama	10824.04	1	10824.04	49.84	0
	Hata	1303.066	6	217.178		
	Toplam	12127.1	7			
Üreaz 29	Uygulama	15384.01	1	15384.01	20.313	0.004
	Hata	4543.987	6	757.331		
	Toplam	19928	7			
Bakteri sayısı 29	Uygulama	4.39E+12	1	4.39E+12	7.976	0.03
	Hata	3.3E+12	6	5.5E+11		
	Toplam	7.68E+12	7			

Çizelge 4: Vermikompost ve NPK uygulamalarının toprak makro ve mikro besin maddeleri üzerindeki etkisi

Kaynak		Karelerin Toplamı	S.D	Ortalama kare	F	P
N	Uygulama	0	5	0	0.819	0.552
	Hata	0.002	18	0		
	Toplam	0.002	23			
P	Uygulama	2955.534	5	591.107	6.832	0.001
	Hata	1557.45	18	86.525		
	Toplam	4512.983	23			
K	Uygulama	109.719	5	21.944	0.773	0.582
	Hata	511.26	18	28.403		
	Toplam	620.979	23			
Ca	Uygulama	40691.71	5	8138.342	0.244	0.937
	Hata	599650.3	18	33313.9		
	Toplam	640342	23			
Mg	Uygulama	1040.825	5	208.165	0.37	0.863
	Hata	10136.86	18	563.159		
	Toplam	11177.68	23			
Na	Uygulama	964.362	5	192.872	2	0.127
	Hata	1736.278	18	96.46		
	Toplam	2700.64	23			
Zn	Uygulama	1.226	5	0.245	3.893	0.014
	Hata	1.134	18	0.063		
	Toplam	2.36	23			
Fe	Uygulama	3.097	5	0.619	1.712	0.183
	Hata	6.513	18	0.362		
	Toplam	9.61	23			
Mn	Uygulama	3.848	5	0.77	1	0.446
	Hata	13.855	18	0.77		
	Toplam	17.703	23			
Cu	Uygulama	0.908	5	0.182	1.763	0.171
	Hata	1.855	18	0.103		
	Toplam	2.763	23			
pH	Uygulama	0.229	5	0.046	6.672	0.001
	Hata	0.124	18	0.007		
	Toplam	0.353	23			
EC	Uygulama	2051.622	5	410.324	0.689	0.638
	Hata	10726.55	18	595.919		
	Toplam	12778.17	23			
Organik madde	Uygulama	0.512	5	0.102	13.251	0
	Hata	0.139	18	0.008		
	Toplam	0.652	23			

Çizelge 5: Vermikompost ve NPK uygulamalarının marulun tarımsal parametreleri üzerindeki etkisi

Kaynak		Karelerin Toplamı	S.D	Ortalama kare	F	P
Bitki boyu	Uygulama	148.75	5	29.75	23.293	0
	Hata	22.99	18	1.277		
	Toplam	171.74	23			
Yaprak sayısı	Uygulama	88.833	5	17.767	2.334	0.084
	Hata	137	18	7.611		
	Toplam	225.833	23			
Yaprak alanı	Uygulama	91097.16	5	18219.43	21.132	0
	Hata	15519.24	18	862.18		
	Toplam	106616.4	23			
Gövde çapı	Uygulama	0.807	5	0.161	4.326	0.009
	Hata	0.672	18	0.037		
	Toplam	1.48	23			
Bitki ağırlığı	Uygulama	51911.14	5	10382.23	70.957	0
	Hata	2633.713	18	146.317		
	Toplam	54544.86	23			
Kuru Bitki ağırlığı	Uygulama	153.667	5	30.733	51.513	0
	Hata	10.739	18	0.597		
	Toplam	164.406	23			
Kok uzunluğu	Uygulama	64.278	5	12.856	1.878	0.148
	Hata	123.24	18	6.847		
	Toplam	187.518	23			
Kök ağırlığı (yaş)	Uygulama	45.136	5	9.027	4.997	0.005
	Hata	32.514	18	1.806		
	Toplam	77.65	23			
Kök ağırlığı (kuru)	Uygulama	1.384	5	0.277	5.089	0.004
	Hata	0.979	18	0.054		
	Toplam	2.363	23			

Çizelge 6: Vermikompost ve NPK uygulamalarının marulun besin maddesi alımı üzerindeki etkisi

Kaynak		Karelerin Toplamı	S.D	Ortalama kare	F	P
N	Uygulama	4.273	5	0.855	8.489	0
	Hata	1.812	18	0.101		
	Toplam	6.085	23			
P	Uygulama	12229809	5	2445962	11.467	0
	Hata	3839595	18	213310.8		
	Toplam	16069404	23			
Mg	Uygulama	22548580	5	4509716	25.644	0
	Hata	3165489	18	175860.5		
	Toplam	25714069	23			
Ca	Uygulama	33144577	5	6628915	4.457	0.008
	Hata	26769847	18	1487214		
	Toplam	59914425	23			
Na	Uygulama	28410932	5	5682186	34.047	0
	Hata	3004038	18	166891		
	Toplam	31414971	23			
K	Uygulama	1.35E+08	5	26979680	2.38	0.08
	Hata	2.04E+08	18	11338214		
	Toplam	3.39E+08	23			
Zn	Uygulama	194.686	5	38.937	0.915	0.493
	Hata	765.75	18	42.542		
	Toplam	960.436	23			
Fe	Uygulama	70842.85	5	14168.57	2.485	0.07
	Hata	102627.2	18	5701.51		
	Toplam	173470	23			
Mn	Uygulama	470.797	5	94.159	1.598	0.211
	Hata	1060.346	18	58.908		
	Toplam	1531.143	23			
Cu	Uygulama	2.397	5	0.479	3.286	0.028
	Hata	2.626	18	0.146		
	Toplam	5.022	23			

Çizelge 7: Vermikompost ve NPK uygulamalarının 7. haftada, hasattaki normal toprak ve rizosferdeki enzim aktiviteleri ve bakteri popülasyonu üzerindeki etkisi

Kaynak		Karelerin Toplamı	S.D	Ortalama kare	F	P
7. hafta Normal toprak (Alkali Fosfataz)	Uygulama	48.466	5	9.693	3.483	0.022
	Hata	50.099	18	2.783		
	Toplam	98.565	23			
7. hafta Normal toprak (β-glikosidaz)	Uygulama	4.013	5	0.803	3.205	0.03
	Hata	4.507	18	0.25		
	Toplam	8.52	23			
7. hafta Normal toprak (Üreaz)	Uygulama	61.946	5	12.389	4.021	0.013
	Hata	55.467	18	3.081		
	Toplam	117.413	23			
7. hafta Normal toprak (Bakteri sayısı)	Uygulama	1.48E+13	5	2.95E+12	3.608	0.02
	Hata	1.47E+13	18	8.18E+11		
	Toplam	2.95E+13	23			
Hasat Normal toprak (Alkali Fosfataz)	Uygulama	53.868	5	10.774	3.234	0.029
	Hata	59.956	18	3.331		
	Toplam	113.823	23			
Hasat Normal toprak (β-glikosidaz)	Uygulama	11.42	5	2.284	2.356	0.082
	Hata	17.447	18	0.969		
	Toplam	28.867	23			
Hasat Normal toprak (Üreaz)	Uygulama	73.331	5	14.666	6.386	0.001
	Hata	41.341	18	2.297		
	Toplam	114.672	23			
Hasat Normal toprak (Bakteri sayısı)	Uygulama	1.96E+11	5	3.93E+10	0.549	0.737
	Hata	1.29E+12	18	7.16E+10		
	Toplam	1.48E+12	23			
Hasat Rizosfer toprağı (Alkali Fosfataz)	Uygulama	304.834	5	60.967	22.312	0
	Hata	49.185	18	2.733		
	Toplam	354.02	23			
Hasat Rizosfer toprağı (β-glikosidaz)	Uygulama	25.141	5	5.028	3.406	0.024
	Hata	26.573	18	1.476		
	Toplam	51.714	23			
Hasat Rizosfer toprağı (Üreaz)	Uygulama	136.374	5	27.275	8.573	0
	Hata	57.269	18	3.182		
	Toplam	193.643	23			
Hasat Rizosfer toprağı (Bakteri sayısı)	Uygulama	4.92E+12	5	9.85E+11	3.594	0.02
	Hata	4.93E+12	18	2.74E+11		
	Toplam	9.85E+12	23			

ÖZGEÇMİŞ

SULAIMON AYOBAMI ELESHIN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2020-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2011-2016	Federal University of Agriculture Abeokuta Nigeria Department of Soil Science and Land Management

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Laboratuvar Gösteri Asistanı 2019-2019	Federal University of Agriculture Abeokuta Nigeria Department of Soil Science and Land Management
Öğretim Görevlisi 2017-2018	University of Ilesa, Osun State, Nigeria Department of Agricultural Science