

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI MATERYALLERDEN ELDE EDİLEN KOMPOST VE
VERMİKOMPOSTUN BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE BAKTERİYEL
ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Didem BORAN

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2023**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI MATERYALLERDEN ELDE EDİLEN KOMPOST VE VERMİKOMPOSTUN BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE BAKTERİYEL ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Didem BORAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ayten NAMLI

Bu çalışmada; farklı materyallerden 90 günlük inkübasyon denemesiyle elde edilen kompost (K) ve bu materyallere eklenen *Eiseina foetida* türü solucan aracılığıyla elde edilen vermikompostların (VK) sahip oldukları mikrobiyel (bakteriyel) çeşitlilikte meydana gelen değişimler modern DNA teknolojileri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca organik madde ayrışması sırasında metabolik süreçlere katılan β -glukosidaz, alkalın fosfataz ve üreaz enzimi ile bazı önemli kimyasal özellikleri üzerinden kimyasal/biyolojik/biyokimyasal aktivite değişimleri ortaya konulmuştur.

İnkübasyon denemesi sonuçları değerlendirildiğinde, VK örneklerinin organik madde (OM), enzim aktivite değerleri ile bakteri sayıları K örneklerine göre daha yüksek olmuştur. Atık cinsleri açısından değerlendirildiğinde, Çim-K ve Çim-VK örneklerinin toplam N, değişebilir potasyum ve beta glukosidaz enzim aktivitesi bakımından en yüksek değerler içerdiği, Çim-VK örneklerinin ayrıca alkalın fosfataz ve üreaz enzim aktivitesinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çim örneklerinin gerek K ve gerek VK formlarının diğer ahır gübresi, çay ve nar atıklarından elde edilen K ve VK örneklerine göre özellikler bakımından öne çıktığı gözlemlenmiştir.

Kompostlama sürecinde yer alan önemli bakteri cinslerinin *Chloroflexi* ve *Gammaproteobacteria*, vermikompostlama sürecinde görev alan önemli bakteri cinslerinin ise *Bacteroidia*, *Desulfobacterota*, *Planctomycetota* ve *Spirochaetota* olduğu belirlenmiştir. Geleneksel kompostlama ve vermikompostlama yönteminin bakteriyel çeşitlilik üzerindeki etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Ayrıca farklı kompostlama yöntemleri ile elde edilen kompost ürünlerinin bakteriyel çeşitliliği üzerinde depolamanın etkisi de önemli bulunmuştur. Geleneksel kompostlama ile elde edilen ürünlerin görece bakteriyel bolluk bar grafiğindeki düzeyler karşılaştırıldığında sıralamanın Çay>Ahır gübresi>Çim> Nar kabuğu kompostu, vermikompostlama ile elde edilen ürünlerde ise sıralamanın Ahır gübresi>Çim>Çay>Nar şeklinde olduğu görülmektedir.

Eylül 2023, 107 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kompost, vermikompost, enzim aktiviteleri, bakteriyel çeşitlilik, DNA dizi analizi, biyoinformatik

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF BIOCHEMICAL PROPERTIES AND BACTERIAL DIVERSITY OF COMPOST AND VERMICOMPOST OBTAINED FROM DIFFERENT MATERIALS

Didem BORAN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor : Prof. Dr. Ayten NAMLI

In this study, the changes in the microbial (bacterial) diversity of compost (C) obtained from different materials with a 90-day incubation experiment and vermicompost (VC) obtained by adding *Eiseina foetida* species earthworms to these materials were determined using modern DNA technologies. In addition, chemical/biological/biochemical activity changes were revealed through some important chemical properties of β -glucosidase, alkaline phosphatase, and urease enzymes involved in metabolic processes during organic matter decomposition.

When the results of the incubation experiment were evaluated, organic matter (OM), enzyme activity values, and bacterial counts of VC samples were higher than those of C samples. When evaluated in terms of waste types, it was determined that Grass-C and Grass-VC samples contained the highest values in terms of total N, exchangeable potassium, and β -glucosidase enzyme activity, and the Grass-VC sample also had higher alkaline phosphatase and urease enzyme activity values than other materials. It was observed that both C and VC forms of grass samples were superior in terms of properties compared to C and VC samples obtained from other farmyard manure, tea, and pomegranate peel wastes.

It was determined that the important bacterial genera involved in the composting process were *Chloroflexi* and *Gammaproteobacteria*, while the important bacterial genera involved in the vermicomposting process were *Bacteroidia*, *Desulfobacterota*, *Planctomycetota* and *Spirochaetota*. The effect of conventional composting and vermicomposting on bacterial diversity was statistically significant. In addition, the effect of storage on the bacterial diversity of compost products obtained by different composting methods was found to be significant. When the levels in the relative bacterial abundance bar graph of the products obtained by conventional composting are compared, it is seen that the order is as follows: Tea>Farmyard manure>Grass>Pomegranate peel compost, while in the products obtained by vermicomposting, the order is as follows: Farmyard manure>Grass>Tea>Pomegranate Peel.

September 2023, 107 pages

Key Words: Compost, vermicompost, enzyme activities, bacterial diversity, DNA sequence analysis, bioinformatics

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora eğitimimin yanı sıra yüksek lisans eğitimini de danışmanlığında noktaladığım yıllardır birlikte çalıştığım için onur duyduğum çok saygıdeğer hocam Sayın Prof.Dr.Ayten NAMLI (Ankara Üniversitesi)'ya; yoğun çalışma hayatına karşın bilgi, beceri ve yardımlarıyla yanımda olduğu gibi tavrıyla bana güç verdiği için çok çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi, beceri ve emeğini esirgemeyen çok değerli jüri hocam Sayın Prof.Dr.Oğuz Can TURGAY (Ankara Üniversitesi)'a ve önerileriyle tezin eksikliklerini görmemi sağlayan değerli jüri hocam Sayın Prof.Dr. Sema CAMCI ÇETİN (Hacı Bayram Veli Üniversitesi)'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın analizleri sürecince; emeklerini hiç esirgemeyen ve bilgilerini benimle paylaşarak öğrenim hayatıma katkı sağlayan Sayın Araş.Gör.M.Onur AKÇA (Ankara Üniversitesi)'ya; uzaklarda olmasına rağmen bilgi ve becerisi ile çalışmama katkı sağlayan Sayın Raşit ASİLOĞLU (Niigata University)'na ve katkılarını esirgemeyen Sayın Esra Mine ÜNAL (Ankara Üniversitesi)'a teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca, bilgi ve deneyimine her ihtiyacım olduğunda yanımda olan çok değerli arkadaşlarım Dr.Emre İNAK (Ankara Üniversitesi) ve değerli eşi Dr.Nafiye KOÇ İNAK'a çok teşekkür ederim.

İş hayatım sebebi ile Ankara-Zonguldak arasında sürekli gidip gelerek yürütmek zorunda kaldığım doktora sürecimde; hem iş konusunda sıkıntı yaratmayarak katkı sağlayan hemde fikirleriyle farklı açılardan bakmam gerektiğini öğreten çok değerli müdürüm Uğur Mert GÜÇLÜ'ye sorduğum her soruya, sabırla ve babacan tavrıyla yanıt verdiği için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca strese girdiğim her an için sabırla yanımda olan ve yapabileceğime inandıran değerli dostlarım başta Ferhat GÜREL olmak üzere Koral KUMRAL, Beril İZTAN KOÇAK, Aybikem GÜLLÜ ÇETİNDAMAR, Ekin Başak AKGÜL KİP ve Ezgi ARICI'ya çok teşekkür ederim.

Hayatımda oldukları için çok şanslı olduğumu bildiğim; özellikle çalışmanın ön aşamasında benim kadar emeği olan canım ablam Nebahat BORAN USLU'ya başta olmak üzere, sabahlara kadar birlikte literatür taradığımız meslektaşım Yasemin BORAN SEYMAN'a ve maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen canım aileme çok teşekkür ederim.

Son olarak beni gururla izlediklerini umduğum; şartlar ne olursa olsun iyi bir insan olmanın daha önemli olduğunu öğreten canım annem Saliha BORAN'a ve dünyaya tekrar gelebilme şansınız olsa kim olmak isterdiniz sorusuna gururla ismini verebileceğim canım teyzem Semra KARATAŞ'a hayatımda oldukları her saniye için çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen analizlerin bir kısmı Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen (Proje no: 21B0447002) proje bütçesinden karşılanmıştır.

Didem BORAN
Ankara, Eylül 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK -----	i
ÖZET -----	ii
ABSTRACT -----	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR-----	iv
TEZ ONAY SAYFASI -----	v
SİMGELER DİZİNİ-----	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ-----	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ -----	xi
1. GİRİŞ -----	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ-----	7
3. GEREÇ VE YÖNTEM-----	17
3.1 Gereç-----	17
3.1.1 Araştırmada kullanılan organik materyaller ve solucan temini -----	17
3.1.2 Araştırmada kullanılan organik materyallerin hazırlanması -----	18
3.1.3 Organik materyallerin karakterizasyonu -----	18
3.2 Yöntem -----	19
3.2.1 Kompost ve vermikompost elde edilmesi amaçlı inkübasyon denemesinin kurulması -----	19
3.2.2 Analizlerde kullanılan yöntemler -----	21
3.3 Değerlendirme ve İstatistik Analizleri-----	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA-----	28
4.1 İnkübasyon Deneme Sonuçları-----	28
4.1.1 İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler-----	28
4.1.1.1 Organik madde içeriklerinde meydana gelen değişimler -----	28
4.1.1.2 Azot içeriklerinde meydana gelen değişimler -----	31
4.1.1.3 pH değerlerinde meydana gelen değişimler-----	32
4.1.1.4 EC değerlerinde meydana gelen değişimler -----	33
4.1.1.5 Alınabilir fosfor (P_2O_5) değerlerinde meydana gelen değişimler-----	34
4.1.1.6 Değişebilir potasyum (K_2O) değerlerinde meydana gelen değişimler -----	35
4.1.2 İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin iz element ve ağır metal içeriklerinde meydana gelen değişimler-----	36

4.1.2.1 İz element (Fe, Cu, Zn, Mn) miktarlarında meydana gelen değişimler-----	36
4.1.2.2 Toplam ağır metal (Cd, Pb, Cr, Ni) miktarlarında meydana gelen değişimler-----	40
4.1.3 İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin biyokimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler -----	41
4.1.3.1 Kompost ve vermikompost örneklerinin enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler -----	41
4.1.3.2 İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin bakteri sayımlarında meydana gelen değişimler-----	47
4.1.4 İnkübasyon denemesi sonunda vermikompost örneklerinde belirlenen solucan sayı ve ağırlık değerleri-----	51
4.2 Kompost ve Vermikompost Örneklerinin Mikrobiyal Topluluk Yapılarında Meydana Gelen Değişimler-----	53
4.2.1 İnkübasyon denemesi süresince farklı organik atıklardan elde edilen kompost ve vermikompostların cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması -----	54
4.2.1.1 İnkübasyon denemesi ahır gübresi kompost ve vermikompostu göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması-----	57
4.2.1.2 İnkübasyon denemesi çay atığı kompost ve vermikompostu göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması-----	58
4.2.1.3 İnkübasyon denemesi çim kompost ve vermikompostu göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması-----	59
4.2.1.4 İnkübasyon denemesi nar kabuğu kompost ve vermikompostu göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması-----	60
4.2.2 Depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi -----	61
4.2.2.1 Ahır gübresi kompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi-----	61
4.2.2.2 Ahır gübresi vermikompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi-----	61
4.2.2.3 Çay kompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi-----	62
4.2.2.4 Çay vermikompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi-----	62
4.2.2.5 Çim kompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi-----	67
4.2.2.6 Çim vermikompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi-----	67
4.2.2.7 Nar kabuğu kompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi-----	67

4.2.2.8 Nar kabuğu vermikompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi-----	68
4.3 Doğrusal Diskriminant Analizi Etki Büyüklüğü (LEfSe) Değerlendirmesi----	73
4.4 Metrik Olmayan Çok Boyutlu Ölçeklendirme (NMDS) Analizi -----	74
5. SONUÇ -----	76
KAYNAKLAR -----	84
EKLER -----	101
EK 1 İnkübasyon Denemesi Varyans Analiz Sonuçları-----	101
EK 2 Solucan Sayısı İle Diğer Özellikler Arasında Pearson Korelasyonlar -----	101
EK 1 İnkübasyon Denemesi Varyans Analiz Sonuçları-----	102
EK 2 Solucan Sayısı İle Diğer Özellikler Arasında Pearson Korelasyonlar -----	106
ÖZGEÇMİŞ -----	107

SİMGELER DİZİNİ

N	Azot
K	Potasyum
P	Fosfor
Fe	Demir
Ca	Kalsiyum
Cu	Bakır
Zn	Çinko
Mn	Mangan
Mg	Magnezyum
S	Kükürt
Pb	Kurşun
Cd	Kadmiyum
Ni	Nikel
Cr	Krom
NaHCO ₃	Sodyum bikarbonat
HCl	Hidroklorik asit
HNO ₃	Nitrik asit

Kısaltmalar

K	Kompost
VK	Vermikompost
EPA	Environmental Protection Agency
XLD	Xylose Lysine Desoxycholate Agar
PCA	Plate Count Agar
C/N	Karbon-Azot oranı
öd	Önemli değil

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Kompostlanmak amacıyla kullanılan organik materyallerin serada kurutulması -----	17
Şekil 3.2 Kompost ve vermikompost inkübasyon denemesinin kurulması -----	19
Şekil 3.3 İnkübasyon denemesinin sonlandırılması, solucan tartımları -----	20
Şekil 3.4 Örneklerin analize hazırlanması -----	21
Şekil 3.5 Beta glikosidaz ve fosfataz enzim tayini -----	23
Şekil 3.6 Üreaz enzim tayini -----	23
Şekil 4.1 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre OM içeriklerindeki değişimler -----	28
Şekil 4.2 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre toplam N ve değişebilir K ₂ O içeriklerindeki değişimler -----	32
Şekil 4.3 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre pH değerlerindeki değişimler ----	33
Şekil 4.4 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre EC değerlerindeki değişimler ----	34
Şekil 4.5 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Fe değerlerindeki değişimler ----	37
Şekil 4.6 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Cu değerlerindeki değişimler ----	38
Şekil 4.7 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Zn ve Mn değerlerindeki değişimler -----	38
Şekil 4.8 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Pb, Cr ve Ni değerlerindeki değişimler -----	41
Şekil 4.9 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre β-glukosidaz enzim aktivitelerindeki değişimler -----	44
Şekil 4.10 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre alkalın fosfataz enzim aktivitelerindeki değişimler -----	45
Şekil 4.11 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre üreaz enzim aktivitelerindeki değişimler -----	47
Şekil 4.12 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre VK örneklerinde solucan sayılarındaki değişimler -----	52
Şekil 4.13 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre VK örneklerinde solucan ağırlıklarındaki değişimler -----	53
Şekil 4.14 Farklı organik atıklardan elde edilen kompostların cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluğu (%) -----	55
Şekil 4.15 Farklı organik atıklardan elde edilen vermikompostların cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluğu (%) -----	56
Şekil 4.16 Ahır gübresi kompost ve vermikompostunda cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk (%) -----	57

Şekil 4.17 Çay atığı kompost ve vermikomposttunda cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi -----	58
Şekil 4.18 Çim kompost ve vermikomposttunda cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi-----	59
Şekil 4.19 Nar kabuğu kompost ve vermikomposttunda cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi -----	60
Şekil 4.20 Ahır gübresi kompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi -----	63
Şekil 4.21 Ahır Gübresi vermikompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi -----	64
Şekil 4.22 Çay atığı kompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi -----	65
Şekil 4.23 Çay vermikompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi. -----	66
Şekil 4.24 Çim kompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi -----	69
Şekil 4.25 Çim vermikompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi -----	70
Şekil 4.26 Nar kabuğu kompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi -----	71
Şekil 4.27 Nar kabuğu vermikompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi-----	72
Şekil 4.28 Kompostlama yönteminin bakteriyel çeşitlilik üzerine etkisi -----	73
Şekil 4.29 Depolama koşullarının bakteriyel çeşitlilik üzerine etkisi -----	74
Şekil 4.30 Cins düzeyinde metrik olmayan çok boyutlu ölçeklendirme (NMDS) analizi sonuçları -----	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Kompost ve vermikompostlama işleminde kullanılacak olan ham organik materyallere ait analiz sonuçları.....	18
Çizelge 4.1 İnkübasyon denemesi süresince (30., 60., 90. günler) kompost ve vermikompost örneklerinin bazı kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler	30
Çizelge 4.2 İnkübasyon denemesi süresince (30., 60., 90. günler) kompost ve vermikompost örneklerinin iz element ve ağır metal içeriklerinde meydana gelen değişimler	39
Çizelge 4.3 İnkübasyon denemesi süresince (30., 60., 90. günler) kompost ve vermikompost örneklerinin bazı enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler	43
Çizelge 4.4 İnkübasyon denemesi süresince (30., 60., 90. günler) kompost ve vermikompost örneklerinin bazı bakteri sayımlarında meydana gelen değişimler	49
Çizelge 4.5 <i>Enterobacteriaceae</i> sayımları için tanıtıcı istatistikler.....	49
Çizelge 4.6 <i>Enterobacteriaceae</i> sayımları için zamanın ana etkilerinin ikili karşılaştırılması	50
Çizelge 4.7 Toplam bakteri sayımları için tanıtıcı istatistikler.....	50
Çizelge 4.8 Toplam bakteri sayımları için zamanın ana etkilerinin ikili karşılaştırılması	50
Çizelge 4.9 İnkübasyon sonrası vermikompost ürünlerinde belirlenen solucan sayı ve ağırlıkları	51
Çizelge 4.10 PERMANOVA analiz sonuçları	54

1. GİRİŞ

Toprak ve bitkilerin üzerine farklı etkileri olması sebebi ile tarımda organik ve inorganik gübreler kullanılmaktadır. İnorganik gübreler, ekonomik anlamda kazanç sağlamak amaçlı birim alandan daha çok verim almayı hedefleyen gübre fabrikalarında üretilen kimyasal formulu gübrelerdir. Özellikle daha çok verim almayı hedefleyen üreticiler, inorganik gübrelerin kontrolsüz kullanımına sebebiyet vermiştir. Pek çok ülke tarafından benimsenen bu yaklaşım toprak sağlığının göz ardı edilmesine neden olmuştur. Çünkü inorganik gübrelerin kullanımları toprak kalitesini düşürmekte ve patojen dayanıklılığını arttırmaktadır. Yoğun olarak bitki bünyesine alınmaları veya yeraltı sularına karışmalarıyla birlikte ise çevre ve insan sağlığı güvenliği olumsuz etkilenmektedir. Bu durum doğal kaynakların sürdürülebilirliği konusunda tehlike arz etmektedir.

İklim değişikliği, kontrolsüz sanayileşme, bilinçsiz tarım faaliyetleri vb. sebepler nedeniyle tarım toprakları her geçen gün azalmakta olup, çevre kirliliği küresel bir problem haline gelmiştir. Hızla büyüyen dünya nüfusuna paralel olarak beslenme ihtiyacını karşılamak ise zorlaşmıştır. Bu sebeple toprakta sürdürülebilirlik kavramı önem arz etmeye başlamış ve fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etki ederek topraktan sürdürülebilir verim almayı sağlayan organik gübrelerin kullanımı ve çeşitliliği artış göstermiştir. İnorganik gübrelerin doğaya ve kaynaklara olan etkilerinin ortaya konulması bilim insanlarını daha doğal ürünleri kullanarak verim ve pestisit etkisi yaratmaya, bunu sağlarken de sürdürülebilirliği sağlamaya yönelik organik gübreleri kullanmaya yöneltmiştir. Organik gübreler denilince aklımıza; hayvan dışkılarının bekletilmesiyle elde edilen ahır gübresi, hasat sonucu geriye kalan bitki atıklarının toprağa karıştırılmasıyla elde edilen yeşil gübreler ve bitki ve hayvan atıklarının aerobik koşullarda kompostlanması ile elde edilen kompost gübreler gelmektedir.

Çevre kirliliğinin küresel bir problem haline gelmesi daha doğru bir ifade ile çevre bilincinin artması, insanları çevresel atıkların kullanıldığı teknolojileri kullanmaya itmiştir. Tarımda ise bu durum kendini; tarımsal üretimi arttırmak için kullanılan

kompost ürünlerin üretimi aşamasında göstermiştir. Aerobik kompostlama, çeşitli atıkların (hayvansal, çevresel, endüstriyel vb.) aerobik koşullarda mikrobiyal ayrışmaya maruz bırakıldığı termofilik sürece denilmektedir. Bu süreç sonunda ortaya çıkan ürüne “kompost” denilmektedir. Bu ürün kokusuz, homojen bir yapıya sahip olup organik madde açısından zengin, sağlık açısından ise zararsızdır. Elde edilen kompost ürünlerin topraklara uygulanması sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Şehirleşme ve büyüme seviyesine paralel olarak ciddi bir sorun haline gelen atıkların değerlendirilmesi aşamasında ise sürdürülebilir, ekonomik ve çevre dostu bir alternatif olması kompostlamaya ilginin artmasını sağlamıştır.

Tarımda gübre kullanımı sürecini gözden geçirdiğimizde; öncelikle besin ihtiyacını karşılamak üzere birim alandan alınan verimi arttırmaya yönelik inorganik gübre kullanımı artış göstermiştir. İnorganik gübrelerin bilinçsiz kullanımının çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin gözlenmiş olması ve organik gübre kullanımının toprak kalitesini artırarak sürdürülebilirliği sağlaması, insanları organik gübre kullanımına yöneltmiştir. Organik gübreler içinde ise toprağa bitki besin maddesi kazandırması, patojen baskılama yetisinin olması ve atıkların değerlendirilmesi açısından etkili bir teknoloji olması sebebi ile kompostlama teknolojisinin kullanımı artış göstermiştir.

Son zamanlarda ise toprağa bitki besin maddesi kazandırma, patojen baskılama ve atık değerlendirme gibi kompostlama kazanımları yanı sıra topraktaki mikrobiyal aktiviteyi daha da arttırmaya yönelik, daha hızlı ve daha etkili bir son ürün elde edilmesini sağlayan solucanlar ile kompostlama işlemi bir diğer deyişle vermikompostlama teknolojisi önem kazanmıştır.

Vermikompostlama; belirli bir solucan türü ile atık dönüşüm sürecinin termofilik kompostlama işlemine göre daha hızlı gerçekleştiği biyoteknolojik bir kompostlama çeşididir (Edwards ve Bohlen 1996). Organik atıkların vermikompostlaması ile elde edilen ve vermikompost adı verilen son ürünün tarım topraklarına uygulanması halinde bitki gelişimi yanında toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olumlu etkileri bulunmaktadır. Özellikle mikrobiyal aktivite ve yarayışlı bitki besin maddesi açısından zengin olması vermikompostları tercih edilebilir hale getirmiştir.

Vermikompostlama ürünleri, fiziksel, biyolojik ve kimyasal açıdan termofilik kompostlama ürünlerine göre daha üstün özelliklere sahiptir. Ayrıca termofilik kompostlama ürünlerine kıyasla vermikompostlama ürünlerinde insan sağlığını tehdit eden patojenler bulunmamaktadır. İçinde patojen barındırmaması, vermikompostlamaya tabi tutulan atık kanalizasyon atığı da olsa uygulayıcıların vermikompostla temas etmesinde sakınca bulunmamaktadır (Simsek-Erşahin 2007). İçinde patojen barındırmaması vermikompostlama ile uygun koşullarda her türlü atığın kullanılmasına olanak sağlayabilmektedir. Vermikompostlama teknolojisi, biyokimyasal ve fizyokimyasal özellikleri sebebi ile tarımsal, kentsel, tıbbi ve endüstriyel atıkların güvenli yönetiminde kullanılabilmektedir (Borah vd. 2007).

Organik atıkların kompostlanmasında motor güç faydalı bakterilerdir. Termofilik kompostlama sürecinde, organik atıkların doğasında bulunan faydalı bakteriler ayrışmayı sağlayarak biyokimyasal dönüşüm işlevini yerine getirirken; vermikompostlama sürecinde, organik atıklarda yer alan bakterilere ek olarak solucanın sindirim sisteminde yer alan pek çok özel bakteri de son ürün vermikomposta geçerek “yüksek oktan” etkisi yaratır ve biyolojik ayrışma sürecini hızlandırır.

Organik atıkların değerlendirilmesini sağlayan gerek kompostlama gerekse kompostlama işleminin solucanlar ile gerçekleştirildiği vermikompostlama sonucu elde edilen ürünlerin toprağa uygulanması ile toprakların başta biyolojik özellikleri olmak üzere fiziksel ve kimyasal özellikleri de büyük ölçüde düzenlenmektedir. Scheuerell vd. (2005) yaptıkları bir çalışmada, mikrobiyal aktivitenin ve organik maddenin düşük olduğu toprakların, bitki köklerinin hastalanmasına sebep olduğunu belirlemiş olup, Raguchander vd. (1998), Blok vd. (2000) ve Lazarovits vd. (2000) yaptıkları çalışmalarda organik materyallerin böyle topraklara eklenmesi ile birlikte hastalıkların oluşmasının önüne geçilebildiğini ortaya koymuşlardır.

Solucanların sindirim sistemleri, atıkların kısa sürede hızla ayrışmasına olanak vererek vermikomposta dönüşmesini sağlayan geniş bir mikroorganizma, enzim ve hormon çeşitliliğine sahiptir (Ghosh vd. 1999, Nagavallemma vd. 2004). Mikrobiyal biyokütle ve enzim aktiviteleri gibi bazı biyokimyasal parametreler, çeşitli doğal ekosistemlerdeki

biyolojik aktivitenin yararlı göstergeleridir (Benitez vd, 1999). Kompostlaştırma işlemi sırasında enzim aktivitelerinin izlenmesi, organik maddenin ayrışması ve nitrojen dönüşümleri hakkında yararlı bilgiler sağlar ayrıca kompostlanan ürünlerin olgunluğu hakkında bilgi verebilir (Tiquia 2002). Olgunlaşma aşamasında, mikroorganizmalar, hücre dışı enzimlerin üretimi yoluyla substratı değiştirir. pH, C:N oranı, besinlerin ve toksik elementlerin toplam ve mevcut içerikleri, mikrobiyal biyokütle ve vermikompostun enzimatik aktivitesi gibi özellikler, solucan gübresi üretme süreci boyunca sürekli olarak değişir (Aguiar vd. 2013). Bu değişikliklerin sonucunda farklı sürelerde işlenen vermikompostlar farklı özelliklere sahip olurlar (Khatua vd. 2018).

Biyolojik gübre kaynağı olan vermikompost toprağın fizyokimyasal ve biyokimyasal özelliklerini iyileştirir. Vermikompostun toprağa eklenmesiyle birlikte yararlı mikroorganizmaların popülasyonu ve çeşitliliğinde artış sağlanır. Solucan aktiviteleri sayesinde topraktaki faydalı mikrofloranın arttığı dahası zararlı patojenlerin bastırıldığı anlaşılmıştır. Özellikle solucan izlerinin olduğu yerlerin, mikro ve makro besin içeriği ile mikrobiyal enzimler açısından iz olmayan yerlere göre daha zengin olduğu tespit edilmiştir (Lavelle ve Martin 1992).

Vermikompostlama, termofilik kompostlamaya göre daha düşük maliyetli çevre dostu bir atık yönetim teknolojisi olması ve son ürünün kompostlamaya göre daha hızlı elde edilmesi vermikompostlamanın avantajlarıdır. Nitekim vermikompostlama süreci, termofilik kompostlama sürecine göre 2 ila 5 kat daha hızlıdır dolayısı ile vermikompostlama sistemi, organik atığın parçalanarak biyogübreye dönüşümünü daha homojen ve daha kısa sürede gerçekleştiren bir sistemdir (Bhatnagar ve Palta 1996, Atiyeh vd. 2000). Subler vd. (1998) yaptıkları bir çalışmada, termofilik kompostlama ile vermikompostlama süreçlerinin farklı olmasının sahip oldukları mikrobiyal topluluklar arasındaki farklılıktan kaynaklı olabileceğini belirlemiştir.

Termofilik kompostlar ile sadece belirli mikroorganizmalar teşvik edilirken zengin mikrobiyal çeşitliliğe ve aktivite kaynağına sahip vermikompostlar çok çeşitli antagonistik bakterileri barındırırlar. Vermikompostlar bu özellikleri sayesinde topraktan kaynaklı fitopatojenik mantarların sebep olduğu hastalıkların bastırılmasını

sağlayan biyo-kontrol ajanları olarak da işlev görürler (Chaoui vd. 2002, Scheuerell vd. 2005, Singh vd. 2008).

Vermikompostlama, termofilik kompostlamaya göre farklılıkları olmasıyla birlikte daha iyi bir kompostlama şeklidir (Gandhi 1997). Vermikompostlama termofilik kompostlamaya göre daha fazla mikrobiyal çeşitlilik ve popülasyona sahip olup, enzimatik aktivitelerin de daha fazla gerçekleştiği bir gübredir. Mikroorganizma yoğunluğu ve çeşitliliği ile birlikte biyokimyasal özellikleri, vermikompostu komposta göre daha iyi bir son ürün haline getirmektedir. Organik gübrelerin topraktaki mikrobiyal etkinliği artırarak verimliliğe ve sürdürülebilirliğe etki ettiği bilinmektedir. Vermikompostların bünyelerinde barındırdıkları mikrobiyal varlığın komposta göre daha yoğun ve çeşitli olması bu etkinin komposta göre daha etkili olacağının göstergesidir.

İklimsel uygunluk ve tarımsal-endüstriyel faaliyet sonucu ortaya çıkan organik atıkların varlığı ve çeşitliliği bulunan Türkiye yüksek bir vermikompost üretim potansiyeli arz etmektedir. Bu bağlamda Ülkemiz koşullarında kompost ve vermikompost uygulamalarının toprak özellikleri, bitki gelişimi, ürün düzeyi ve kalitesi üzerine olan etkileri ile ilgili araştırmalar, gözlemlenen olumlu değişimleri (uluslararası literatüre paralel olarak) büyük ölçüde bu materyallerin sahip oldukları biyolojik özelliklerden kaynaklı doğrudan ve/veya dolaylı etkilere bağlanmıştır. Ancak ilginç bir şekilde toprağa olumlu katkılarının sahip oldukları mikrobiyal zenginlikten olduğunun belirlenmiş olmasına rağmen; Türkiye koşullarında bugüne kadar farklı organik atıklardan elde edilen deneysel ve ticari kompost ve vermikompost ürünlerinin biyolojik kalite ölçütleri ile ilgili bir zemin yeterince oluşmamıştır. Oysa 23-24 Ekim 2014 tarihlerinde Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı-TAGEM ve Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü ortak organizasyonu ile düzenlenen 1.Ulusal Mikrobiyal Gübre Çalıştayı sonuç bildirgesinde de ifade edildiği üzere;

i. “bu tür ürünlerin ticarileştirilmesine yönelik analizlerde toplam bakteri değil, üründe yer alan mikroorganizmaların spesifik olarak en azından cins düzeyinde analiz edilmesi,

analiz yöntemlerinin mevzuatta yer alması, analiz kritik değerleri ve güvenlik kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir.”

ii. “vermikompostun ülkemizde kullanılmasının yaygınlaştırılmasına yönelik gereken çalışmaların arttırılmasının yanında mevcut mevzuatta yer alan hayvansal atıklardan elde edilen vermikompostların ısıt işlemlere tabi tutulmasıyla vermikompostun kalite parametrelerinde meydana gelebilecek etkilerinin ve ısıt işleme tabi tutulan vermikompostların bitkisel üretime olan etkilerinin detaylı şekilde araştırılması ve bu çalışma neticelerinden yola çıkarak mevzuatların yeniden ele alınması önerilmektedir.” denilmektedir.

Yukarıda ifade edilen düşünce ve saptamalara bağlı olarak özetlemek gerekirse ülkemizde kompost ve vermikompost ürünlerinin biyolojik kalitesini (içerdiği faydalı ve zararlı mikroorganizma çeşitliliği ve mikrobiyal aktivite düzeylerini) belirlemeye yönelik ve ilgili mevzuatlarda yer alabilecek yöntem, bilgi ve biyolojik kalite ölçütlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma ile farklı materyallerden elde edilen kompost ve bu kompostlara eklenen *Eisenia foetida* türü solucan ile elde edilen vermikompostların DNA dizi analizleri yapılarak; bünyelerinde barındırdıkları bakterilerin karakterizasyonu hakkında bilgi alınması sağlanmış olup, kompostlama ve vermikompostlama süreçlerinde oluşan biyolojik aktivite ve çeşitlilik değişimleri ortaya konulmuştur. Ayrıca üreaz, beta glukosidaz ve fosfataz enzim aktivite tayinleri yapılarak; süreçlerden kaynaklı biyolojik aktivite ve çeşitliliğin enzim aktiviteleri üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Türkiye de yapılan çalışmalarda; kompost ve vermikompostun biyolojik içeriklerinin yoğun olduğu ya da toprağın biyolojik özelliklerini iyileştirdiği bilinmesine rağmen bu bilgiyi doğrudan destekleyen bilimsel bir bulgu bulunmamaktadır.

Bu sebeple kompostlama ve vermikompostlama süreçlerindeki biyokimyasal ve mikrobiyal farklılıkların ortaya konulduğu bu çalışma ile çalışmada kullanılan DNA teknolojisi (yeni nesil DNA dizi analizi), çeşitli kompost ürünlerinin mikrobiyal çeşitliliği hakkında ayrıntılı bilgi sağlamasından dolayı Türkiye koşullarında tarım sektörüne sürülmek istenen kompost ve vermikompost tabanlı organik gübrelerin tescili aşamasında bir ölçüt olabilecek niteliktedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kimyasal ve biyolojik özelliklerini belirlemek üzere yapılan bir çalışmada topraklara çeşitli organik gübreler ve kimyasal gübreler uygulanmıştır. Çalışma sonucunda organik gübrelerin uygulandığı toprakların, kimyasal gübre uygulanan topraklara göre bitki besin elementi içeriğinin ve mikroorganizma popülasyonunun çok daha fazla olduğu belirlenmiştir (Suhane 2007).

Vermikompostların kompostlara göre çok daha fazla sayıda bakteri, mantar ve aktinomiset içerdiği bilinmektedir. Vermikompostların bakteri, mantar ve aktinomisetlerce zengin olduğunu gösteren ayrıca selüloz parçalayan bakterileri bünyelerinde barındırdıklarını gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Edwards 1983, Tomati vd. 1987, Werner ve Cuevas 1996).

Agarwal (1999) çalışmasında, vermicompostta bulunan N, P, K değerlerinin, vermicompostlamaya tabi tutulan organik atıkta yer alan N, P, K değerlerinden 3-4 kat daha fazla olduğunu belirlemiş, ayrıca mikroelement miktarında artış olduğunu tespit etmiştir.

Singh (2009); organik atıklardan elde edilen kompost ve vermicompost içindeki N, P, K ve mikroorganizma değerlerine bakmış ve vermicompostta bu değerlerin daha fazla olduğunu belirlemiştir. Srinivasarao (2011), vermicompostun bahçe kompostundan 2 kat daha fazla makro ve mikro besin elementi içerdiğini belirlemiştir.

Vermikompost, çiftlik gübresi ile kıyaslandığında; vermicompostun N içeriği daha yüksek bulunmuş, bunun sebebi ise vermicompostta bulunan enzimlerin çiftlik gübresine göre daha aktif olmasına bağlanmıştır (Bayram vd. 2019). Vermikompostlar biyolojik açıdan olağanüstü özelliklere sahip olmakla birlikte termofilik kompostlara göre daha çeşitli ve yoğun mikrobiyal popülasyonlara sahiptir (Edwards 1988).

L.terrestris, *Allolobophora caliginosa* ve *Allolobophora terrestris* türü solucanların bağırsağında, toprağa kıyasla daha fazla aerobik bakteri bulunduğu tespit edilmiştir

(Parle 1963). Edwards ve Lofty (1977); solucanların, topraktaki mikroorganizma sayısını 5 katına çıkarttığını belirlemiştir. Benzer şekilde Edwards ve Fletcher (1988) yaptıkları çalışma ile vermikompostlama işlemine tabi tutulan materyaldeki bakteri ve aktinomiset sayısının solucan bağırsağından geçtikten sonra 1000 kat arttığını belirlemiştir.

Solucanlar, besin elementlerince zengin organik atıklar ile beslenirken, mikroorganizmalara yaşamaları için uygun ortam işlevi görmektedirler (Tiwari vd. 1989). Nitekim vermikompost uygulanan topraklarda; mikorizal mantarlar, aktinomisetler ve azot fikse eden bakteri sayısında artış olduğu belirlenmiştir (Kale vd. 1992).

Organik atıkların solucan bağırsağından geçtikten sonra atıkta bulunan toplam bakteri, proteolitik bakteri ve aktinomiset sayısında artış olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Parle 1963, Daniel ve Anderson 1992, Pedersen ve Hendriksen 1993, Devliegher ve Verstraete 1995). Scheu (1992), mikrobiyal biyokütlenin solucan bağırsağından geçtikten sonra arttığını tespit etmiştir. Yine benzer şekilde; kompostun solucan ile işleme tabi tutulması sonrası toplam bakteri ve aktinomiset sayısında önemli ölçüde artış olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Parthasarathi ve Ranganathan 1998, Devi vd. 2009). Mikroorganizma sayısındaki bu artışın sebebi, solucanların sindirim kanalının mikroorganizma gelişimi için uygun koşullara sahip olmasına bağlanmıştır. Solucanların sindirim kanalları, geçtikleri yerler ve yığınlardaki mikrobiyal çeşitlilik, yoğunluk ve aktivitesinde farklılıkların olması; habitatlarındaki bakteri varlığının da topraktan farklı olduğunu düşündürmektedir. Örneğin yapılan bazı çalışmalarda; *L.rubellus*'ta *Aktinobakteri* (Kristufek vd. 1993), *L.terrestris*'de *Fluorescent pseudomonas* (Devliegher ve Verstraete 1997), *E.foetida*'da *Aeromonas hydrophila* (Toyota ve Kimura 2000) gibi bakterilerin spesifik filogenetik bakteri gruplarının solucan sindirim sisteminde, solucanların geçtikleri yerlerde ve solucanların dışkılarında yüksek oranda bulundukları tespit edilmiştir.

Pseudomonas, *Paenibacillus*, *Azoarcus*, *Burkholderia*, *Spiroplasma*, *Aceligenes* ve *Acidobacterium* gibi bakteriler farklı şekillerdeki organik atıkların potansiyel

parçalayıcılarıdır. Bu bakterilerin solucanların sindirim sistemi ve vermikestler ile ilişkili olduğu bilinmektedir. *Firmicutes* yani *Bacillus benzoovorans*, *B. cereus*, *B.licheniformis*, *B.megaterium*, *B.pumilus*, *B.subtilis*, *B.macroides*; *Cellulosimicrobium cellulans*, *Microbacterium spp.*, *M.oxydans* adı verilen *Aktinobakterler*; *Pseudomonas spp.*, *P.libaniensis* gibi *Proteobakteriler*; genotipi gruplandırılmamış *Sphingomonas sp.*, *Kocuria palustris* bakteriler ile *Geotrichum spp.* ve *Williopsis californica* olarak adlandırılan mayalar vermikompostta gözlenmiştir (Vaz-Moreira vd. 2008).

Yapılan bir diğer çalışmada; *Eisenia foetida*'da; yeni bir nefritik simbiyoz olan *Verminephorabakter eiseniae* bakterisinin varlığını keşfedilmiştir (Pinel vd. 2008). *Ochrobactrum sp.*, *Massilia sp.*, *Leifsonia sp.* ve *Aeromonadaceae*, *Comamonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Flavobacteriaceae*, *Moraxellaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Sphingobacteriaceae*, *Actinobacteria* ve *Microbacteriaceae* familyalarına ait bakterilerin, solucan sindirim kanalında olduğu tespit edilmiştir (Byzov vd. 2009).

Solucan sindirim sisteminde ve kestlerde bulunan aktif mikrobiyal floranın; selüloz, kitin, lignin, nişasta, şeker ve poliaktik asitler gibi çok çeşitli organik materyaller ile polisakkaritleri sindirebilecek düzeyde olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Zhang vd. 2000, Aira vd. 2007, Vivas vd. 2009).

Solucan kestlerinde; *Bacteroidetes*, *Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, *Flavobacteria*, *Sphingobacteria* (*Bacteroidetes*) ve *Pseudomonas spp.* ve *Sphingomonadaceae* (*Alphaproteobacteria*) ve *Alcaligenes spp.* (*Betaproteobacteria*) varlığına rastlanılmıştır (Nechitaylo vd. 2010).

Vermikompostta bulunan yararlı mikroorganizmaların, bitki köklerine yerleşerek rizosfere çeşitli antibiyotiklerin, enzimlerin ve bitki gelişim düzenleyicilerinin salgılandığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Arancon vd. 2003, Sharma ve Banik 2014). Esakkiammal vd. (2015) yaptıkları çalışma ile vermikompost içerisinde önemli oranda bakteri, mantar ve aktinomiset olduğunu belirlemiştir.

Arıtma çamuru kullanılarak elde edilen vermikompostlarda mikroorganizmaların ve bazı spesifik bakterilerin sayılarında artış gözlenmiştir (Tomati vd. 1983). Fındık zurufu ve arıtma çamuru ile oluşturulan vermikompost çalışmasında, solucanların Pb toksisitesine karşı etkilenmediği, buna karşın solucanların kompost materyalinde bulunan Zn'dan etkilendiği, bunun da çinkonun komposttan solucanların dokularına geçmek suretiyle dokularda artmasına yol açtığı belirtilmiştir. Araştırmacılar arıtma çamurundan kaynaklı çinkonun solucanlar sayesinde ortamdan uzaklaştırılabileceğini öne sürmüşlerdir (Hepşen Türkay 2010). Boran vd. (2017), farklı ısıtma işlemlerin vermikompostun kalite parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, vermikompostun 70°C'de 1 saat ısıtma işleme tabi tutulmasından sonra toplam bakteri ve toplam mantar sayısı ile enzim aktivitelerinde önemli düşüşler görüldüğünü, herhangi bir patojen mikroorganizma (E.coli, Salmonella) gözlenmediğini, ısıtma işlemler, vermikompostun elementel bileşimini değiştirmedikçe ve ısıtma işlemlere tabi tutulan solucan gübrelerinin kimyasal parametrelerinde kayda değer bir değişiklik gözlenmezken, mikrobiyal ve biyokimyasal parametrelerde önemli değişiklikler olduğunu belirtmişlerdir.

Doğan vd. (2018) ısıtma işleminden geçirilmiş ve hiç ısıtma işlemi uygulanmamış solucan gübresi, zeytin karasuyu çiftlik gübresinin bazı toprak mikrobiyal etkilerini belirlemek amacıyla inkübasyon denemesi yürütmüşlerdir. Çalışmada; %1 solucan gübresi ve %1 çiftlik gübresi ile birlikte 500 l/ha zeytin karasuyu kullanarak inkübatörde saksı denemesi kurmuşlardır. Yapılan çalışma sonucunda; CO₂ üretiminin, ısıtma işlemi görmemiş vermikompostun uygulandığı topraklarda, ısıtma işlemi görmüş vermikompost uygulanan topraklara göre çok daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum vermikompostlara ısıtma işlemi uygulamasının olumsuz bir durum olduğunun göstergesi olmuştur. Tavalı ve Ok (2022), yaptıkları çalışma ile ahır gübresinden elde edilen ısıtma işlemi görmüş vermikompostun solucan suyu (solucan çayına benzer tekniklerle üretilen ancak besin maddesinden ziyade sölom sıvısının elde edildiği sıvı) ile birlikte toprağa 30 t ha⁻¹ oranında uygulanmasının kireçli toprağın biyolojik özelliklerini iyileştirmede ve organik Aloe vera yetiştiriciliğinde faydalı olduğu sonucuna varmışlardır.

Amilaz, sel l laz, kitinaz, proteaz, lipaz ve üreaz gibi çok çeşitli sindirim enzimlerinin solucanların sindirim kanallında olduğu görülmüş olup vermikompostların amilaz, sel l laz, fosfataz, invertaz, proteaz, peroksidaz, üreaz ve dehidrojenaz gibi yüksek aktiviteye sahip enzimleri içerdiği belirlenmiştir (Sharpley ve Syers 1976, Edwards ve Bohlen 1996). Solucan bağırsağında bulunan mikroorganizmaların, sel l laz ve mannoz aktivitelerinden sorumlu oldukları belirlenmiştir (Munnoli vd. 2010).

Solucan bağırsağında bulunan bakterilerin, organik maddenin mineralizasyonunu sağlarken, metal iyonlarının bağlanması kolaylaştırdığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Canellas vd. 2002, Pişl ve Nov kov  2003). Tiquia (2005)'e göre ise, mikrobiyal populasyon yoğunluğu ve çeşitliliği ile enzimatik aktivite yoğunluğu ve çeşitliliği arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki kompost olgunluğu, azot döngüsü ve organik materyalin bozunumu bakımından kompostlama sürecinin dinamiklerini yansıtmaktadır.

Antibiyotikler, florasan pigmentler, sideroferler ile kitinaz ve glukonaz denilen fungal hücre duvarı parçalayıcı enzimler, bakteriler tarafından mantar gelişiminin baskılanması sonucu oluşan enzimlerdir (Han vd. 2005, Kumar vd. 2005, Naik vd. 2008, Jha vd. 2009, Pathma vd. 2010, Pathma vd. 2011a, Wahengbam vd.. 2021).

Nogales (2008)'e göre, solucanlı gübreleme sürecinde, mikroorganizmalar ve solucanların birleşik eylemiyle glikozitlerin salınmasının bir sonucu olarak  -glukosidaz aktivitesinde artışlar olmuştur. Dindar (2008), arıtma çamurunun solucanlar ile kompostlanması sürecinde enzim aktivitesini incelemiştir. Enzim aktivitesinin toprağa kıyasla kestlerde (solucan dışkısı) daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi ise enzimlerin solucan sindirim sisteminde parçalanmasından kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Vermikest materyal olarak seralarda kullanılabilecek en uygun karışım materyallerinden birisidir. Bunun nedeni ise, karışım materyallerinin çoğunlukla besin içeriklerini 2veya 3 gün gibi kısa sürelerde kaybederken, vermikestin bünyesindeki elementleri 6 kat daha uzun süre muhafaza edebilmesinden kaynaklanmaktadır (Anonim 1992). Vermikompost

uygulanmış topraklarda karbon miktarının arttığı, hacim ağırlığının azaldığı, pH değerinin düzenlendiği, bunların yanında porozite ve su tutma kapasitesine pozitif etki ettiği gözlenmiştir. Ayrıca mikrobiyal popülasyon ve dehidrogenaz enzim aktivitesinde artış sağladığı tespit edilmiştir (Maheswarappa vd. 1999). Dindar (2008), arıtma çamurunun solucanlar ile kompostlanması ile ilgili çalışmasında solucan aktiviteleri sonucu besin elementlerinin alınabilirliğinde artış tespit etmiştir. Gopal vd. (2009) yaptığı çalışmada vermikompostun, azot ve fosforun alınabilir forma dönüşmesine katkı sağladığı ortaya konulmuştur.

Namlı vd. (2014), karton fabrikası atık çamuru ve ahır gübresi ile farklı oranlarda karışımların *Eisenia foetida* türü solucanlarla vermikompostlamışlardır. Araştırmacılar, arıtma çamurunun bulunduğu bütün karışımlar ile içerisinde %50'den fazla arıtma çamuru (AÇ) bulunan karışımlarda solucanların yaşayamadığı, karışımdaki AÇ'nin miktarı arttıkça (maksimum %50 AÇ) toplam azot ve pH'nın arttığını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda solucan biyokütlesi ve sayıları ile vermikompostların özelliklerine göre optimum karışım oranı %50 AÇ + %50 AG ve optimum vermikompostlanma süresi ise 90 gün olarak belirlenmiştir. Kızılkaya ve Hepşen Türkay (2014) ise, arıtma çamuru (AÇ), fındık zurufu (FZ) ve ahır gübresini (AG) farklı oranlarda karıştırmışlar ve solucan sayı ve vermikompostların özelliklerine göre %30 AÇ + %35 FZ + %35 AG'nin ideal karışım oranı olduğunu belirtmişlerdir.

Topraklara solucan ilave edilmesi durumunda bitkiler üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmektedir. Toprağa solucan ilavesiyle bitki çeşitliliğinde ve kök gelişimlerinde artış, kök hastalıklarında ise azalmalar gözlenmiştir. Yanı sıra solucan entegre edilen topraklarda ürün rekoltelerinde artışlar olduğu belirtilmektedir. Suthar vd. (2014), ilave solucanların ilavesinden sonra tahıl gelişiminin %39, tohum rekoltesinin %35 ve tohumdaki azot içeriğinin %12 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Bellitürk (2016) vermikompostu, içerisinde ağır metal içermeyene, yabancı ot ve zararlı mikroorganizma bulunmayan ve verimlilik üzerinde çok olumlu etkileri olan N,P,K makro elementlerini sırasıyla ortalama %%1.5-2, 2.5-4.1, 1.4-9.2 civarında içeren organik gübre şeklinde tanımlarken; Özkan vd. (2016) ise vermikompostu, zengin

mikrobiyal çeşitlilik ve besin elementi içeren yanı sıra yüksek organik madde ve humik ve fulvik asit içeriğine sahip gübre şeklinde tanımlanmışlardır.

Yıllarca kimyasal gübre uygulanmış bir toprağa *Eisenia foetida* türü vermikompost solucanı eklenmiştir. Çalışma sonunda *Eisenia foetida* türü solucanın, kimyasal gübre uygulanmış topraklardaki verimliliği arttırıcı etkisi olduğu kanaatine varılmıştır. Solucan ilavesi öncesi ve sonrası yapılan kimyasal analizlerde toprağın organik madde miktarının başlangıçtakine göre arttığı belirlenmiştir. Bu artışın sebebi, solucanların toprağa eklenmesiyle birlikte vücutlarındaki enzimleri toprağa geçirmesi ve toprak içeriğini zenginleştirmesine bağlanmıştır (Erdoğan ve Arpaz 2019).

Vermikompostlama için en çok tercih edilen solucan türü, hızlı besin tüketimi ve hızlı üreme yeteneğine sahip olması sebebi ile *Eisenia foetida* türü solucanlardır. Bu solucanlar, sindirim sistemlerinde yer alan çeşitli enzimler ve bağırsaklarında yer alan mukus ve antibiyotikler sayesinde organik atıkları kolayca parçalayabilmektedirler. Kest denilen dışkıları, bitki besin elementlerince zengindir dolayısı ile toprağa geçtiklerinde, toprağın yapısı ve verimliliğine etki ederek bitki gelişimini ve toprak verimliliğinin sürdürülebilir olmasına katkı sağlamaktadır (Duran ve Türkmen 2019).

Vermikompost, yüksek su tutma ve anyon-kasyon değişim kapasitesine sahip gözenekli bir materyaldir. Bu özelliklerinden dolayı topraktaki anyon-kasyon hareketliliğini arttırarak karbon, nitrojen, fosfat, kalsiyum, demir ve çinko gibi besin maddelerini tutabilir Edwards ve Burrows (1988); vermikompostların yüksek su tutma kapasitesine ve havalandırmaya sahip olduklarını belirlemişlerdir. Vermikompost, topraklar üzerinde havalandırma, strüktür, porozite, drenaj ve su tutma kapasitesi sağlamak üzerinde önemli etkilere sahiptir (Hoque vd. 2022). Yapılan bir çalışma da vermikompost kendi ağırlığının 9 katı su tutabilme yetisine sahip olduğu belirlenmiştir (Srinivasarao 2011). Shi-Wei Furzhen (1991) yaptığı araştırma ile yüzey alanını arttırması sebebi ile vermikompostun absorpsiyon ve besin tutumunu arttırdığını tespit etmiştir. Bu çalışmayı destekler nitelikte Lunt ve Jacobsan (1994); yüksek porozite, su tutma kapasitesi ve aerosyona sahip vermikompostların, besin tutumu ve emilimi sağlayan geniş yüzey alanlarına sahip olmaları sebebi ile ortamdaki yayayışlı bitki besin elementlerinin

toprakta daha uzun kalmasını sağladığını belirlemişlerdir. Solucan bünyesinde yer alan sölomik sıvı kılcal köklenmeyi arttıran hümik maddelerce zengin olup şelatlayıcı özelliğe sahip olması sebebiyle içerdiği besin maddeleri olumsuz toprak koşullarından daha az etkilenmektedir (Hemati vd. 2022).

Yapılan çalışmalarda organik atıklardan elde edilen vermikompostların; süs bitkileri ve mantarlar üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Edwards ve Burrows (1988), organik atıkların *Esenia foetida* türü vermikompost solucanı ile işlenmesiyle elde edilen vermikompostun; süs bitkileri ile sebze gelişimi üzerine etkilerini incelemişler ve bitki gelişiminde artışlar olduğunu gözlemlemişlerdir. Vermikompostun piyasada yer alan bitki büyüme ortamlarına göre bitki besin elementlerinin miktarı ve bitki tarafından bunların alınabilirliği bakımından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle 20:1 oranında seyreltilen vermikompostların, süs bitkilerinin gelişimini kayda değer ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Soğuğa dayanıklı süs bitkileri (*chaemocyparis lawsonian*, *elaegnus pungens*, *cuppressocypari leylandii*, *pyracantha spp.* *Cotaneaster conspicus* ve *viburnum bodnantense*) yetiştiriciliğinde düşük oranlarda vermikompost kullanımının bitki gelişiminde etkili olduğu belirlenmiştir (Scott 1988). Bitki gelişimindeki değişiklikler gözlenmiş bu kapsamda bitkilerde köklenme ve çiçeklenme ile boğum uzamalarında meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Buna göre, bitki gelişiminde gözlenen yüksek artışın vermikompostan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Tomati vd. 1983, Grapeelli vd. 1987, Tomati vd. 1987, Tomati vd. 1988, Tomati vd. 1990, Tomati ve Galli 1995). Patates üretiminde vermikompost ve turba uygulamaları yapılmış olup aktinomisetin en çok vermikompost uygulanan topraklarda bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bakteri ve mikroskobik mantarların en fazla vermikompost-turba uygulamasında görüldüğü belirlenmiştir (Vojevoda vd. 2015).

Vermikompostun, kimyasal gübrenin etkinliğini arttırdığına, beraber kullanımında veya peşinden kullanıldığında pozitif etkileri olduğunu gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Bellitürk ve ark., 2015b; Bellitürk, 2017; Bellitürk, 2018; Shrestha ve ark., 2019; Bellitürk ve ark., 2022a; Bellitürk ve ark., 2022b; Bellitürk ve Çelik, 2022).

Toprak solucanlarının dokularında, sindirim sistemlerinde, sölom ve mukus sıvılarında bulunan antimikrobiyal maddelerin, ilgili canlıları patojen bakteri ve funguslara karşı koruduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Burke 1974, Xiao vd. 2002). Zararlı mikroorganizmalardan olan *Phytium* ve *Fusarium* gibi mikroorganizmaların solucanlar tarafından yayıldığının gösteren birkaç çalışma bulunmaktadır ancak vermikompostun bitki gelişimini teşvik eden yararlı bakterileri içerdiğini (Edwards ve Fletcher 1988) ve hastalıklara karşı antagonistik etki yapan bakteri sayısında artış sağladığını (Edwards ve Fletcher 1988, Brown 1995, Gammack vd. 2021) gösteren birçok çalışma da bulunmaktadır. Szczech (1999) yaptığı bir çalışmada; domates bitkisi enfeksiyonu olan *Fusarium oxysporum lycopersici* fungusuna karşı vermikompost uygulamasının hastalık etmeninin baskılayıcı etkisinin olduğunu belirlemiştir.

Sıvı vermikompost uygulaması ile *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotum*, *Corticium rolfsii*, *Rhizoctonia solani* ve *Fusarium oxysporum*'un misel gelişimine negatif etki yaptığı belirlenmiştir (Nakasone vd. 1999).

Hayvan gübrelerinden elde edilen vermikompostun *Fusarium oxysporum f. sp.*'nin ve *Phytophthora nicotianae* patojenini baskılamada etkili olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Szczech 1999, Szczech ve Smolinska 2001). Benzer şekilde Şimşek-Erşahin (2007) vermikestin toprak kökenli *Rhizoctonia* ve *Fusarium* gibi toprak kökenli hastalıklara karşı etkili olduğunu bildirmiştir. Vermikestin; çimlenme dönemi, öncesi ve sonrasında *Phytium* ve *Verticillium* gibi toprak kökenli hastalık etmenlerini baskıladığı belirlenmiştir (Edwards ve Arancon 2004).

Kompostlamaya veya vermikompostlamaya tabi tutulan organik atıklar içinde patojen bakteriler bulunmaktadır. Bu patojenler kompostlama sırasında sıcaklık ile yok edilirken, vermikompostlama sırasında solucanların sindirim sisteminde yer alan bakteriler tarafından yok edilir. Solucanlar sindirim sistemlerinden kaynaklı, organik atıkları tüketirken ortamda yer alan bakterileri, patojenik mantarları, nematodları ve yabancı ot tohumlarını tüketmektedirler. Ayrıca sindirim atıklarının ortama salgıladıkları maddeler ile ortamdaki zararlarının yapılarının bozulmasına sebebiyet verir ve daha kolay alınabilir forma çevrilmesini sağlarlar (Ingham ve Slaughter 2004).

Nohut bitkisinin (*Cicer arietinum*) rizosferine vermikest uygulandığında, kök çürüklüğüne sebep olan *Sclerotium rolfsii* fungusuna karşı PGPR bakterilerinin performanslarının arttığını belirlenmiştir (Sahni vd. 2008). Gopal vd. (2009) çalışmalarında vermikompostun yapısında yer alan *Eudrilus sp.*nin bitkilerde hastalıkları baskıladığını belirlemiştir. Demir vd. (2010) ise vermikompostun bünyesinde yer alan bakterilerin topraktaki zararlı bakterilere karşı mücadele ederek bitkilerin dayanma gücüne katkı sağladığını tespit etmişlerdir. Tutar (2013); vermikompostun kloroform ile elde edilen ekstralarının *Fusarium oxysporum* üzerinde üremeyi engelleyici etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Yaptığı çalışma ile solucanların enfeksiyonlara karşı hayatta kalabilme özelliklerinin, yaşadıkları ortamdaki toprak kaynaklı bitki patojeni bakteri ve funguslara karşı da etkili olduğunu ortaya koymuştur. Vermikompostun domatest kök çürüklüğüne etkisinin araştırıldığı çalışma sonucuna göre vermikompostun hastalık etmeninin gelişimini baskılayamadığı ancak sklerot gelişimine engel olduğu belirlenmiştir (Yaviş 2020). Arancon vd. (2005), vermikompostta yer alan bazı temel bitki besin elementlerinin, bitkilerin pestisitlere karşı dirençlerini arttırdığını vurgulamıştır.

Vermikompost ve biyopestisitlerin beraber kullanımının patlıcan yetiştiriciliğinde verimi arttırdığını, hardal bitkisinde ise hardal biti olarak da adlandırılan bir yaprak biti türü afid (*Lipaphis erysimi*) baskıladığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Nath ve Singh 2011, 2012). MacHfudz vd. (2020) yaptıkları bir çalışmada, lahanagillerde gelişime engel olan *Plutella xylostella* ile mücadele için vermikompost ve pestisitler beraber kullanılarak etkilerine bakılmıştır. Sonuç olarak ise pestisitlerin vermikompost ile birlikte kullanılmasının *Plutella xylostella* zararlısı ile mücadelede etkili olduğu belirlenmiştir.

Gudeta vd. (2021), vermikompostların, antibiyotikleri, enzimleri ve bitki büyüme düzenleyicilerini rizosfere bırakarak, bitki köklerinin toprak patojenlerine karşı daha dirençli hale geldiğini tespit etmişlerdir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Gereç

3.1.1 Araştırmada kullanılan organik materyaller ve solucan temini

Araştırmada kompostlama ve vermikompostlama materyali olarak nar kabuğu, çim atığı, çay çöpü ve büyükbaş hayvan gübresi olmak üzere 4 farklı materyal kullanılmıştır. Bu materyallerden; nar kabuğu Afyon'da bulunan bir meyve suyu işletmesinden, çim materyali Ankara Büyükşehir Belediyesinden, çay çöpü ÇAYKUR Genel Müdürlüğünden, büyükbaş hayvan gübresi ise Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliğinden temin edilmiştir.

Vermikompost denemesinde kullanılmak üzere *Eisenia foetida* solucan çeşidi ise BÜGEM Genel Müdürlüğünce tescilli Albasol firmasından temin edilmiştir.



Şekil 3.1 Kompostlanmak amacıyla kullanılan organik materyallerin serada kurutulması

3.1.2 Araştırmada kullanılan organik materyallerin hazırlanması

Farklı kaynaklardan temin edilen organik materyaller Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında kurutulup (Şekil 3.1), 4 mm elekten geçirilmiştir.

3.1.3 Organik materyallerin karakterizasyonu

Kompostlama işlemine tabi tutulacak organik materyallerde nem, organik madde, azot, fosfor, potasyum, pH, EC, Fe, Cu, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, Pb, Cd, Ni, Cr analizleri yapılmış olup sonuçlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kompost ve Vermikompostlama İşleminde Kullanılacak Olan Ham Organik Materyallere Ait Analiz Sonuçları

Lab.No.	Büyükbaş Hayvan Gübresi	Çay Çöpü	Nar Kabuğu	Çim
% Nem	52,12	6,34	67,76	81,02
% O.M	55,33	96,60	96,71	84,91
% N	2,74	3,19	3,12	2,91
% P ₂ O ₅	1,94	0,77	0,25	0,48
% K ₂ O	2,97	1,37	1,81	1,80
pH	8,32	5,22	3,65	6,34
EC dS/m	3,19	1,31	3,66	6,89
% Fe	0,29	0,25	239,00	0,51
Cu mg/kg	32,30	12,17	8,30	19,00
Zn mg/kg	461,50	42,07	3,60	55,20
Mn mg/kg	344,40	821,67	6,00	149,30
% Ca	5,03	0,61	0,32	2,32
% Mg	1,66	0,16	0,10	0,44
% Na	0,30	0,01	0,48	0,20
Ni mg/kg	17,20	<0,005	<0,005	<0,005
Pb mg/kg	<0,005RL	7,84	9,57	17,50
Cr mg/kg	25,9	8,90	4,31	13,60
Cd mg/kg	<0,005RL	<0,005RL	<0,005RL	<0,005RL

3.2 Yöntem

3.2.1 Kompost ve vermikompost elde edilmesi amaçlı inkübasyon denemesinin kurulması

Farklı kaynaklardan temin edilen organik materyallerden (çay çöpi, nar kabuğu, çim ve ahır gübresi) kompost ve vermikompost elde etmek amacıyla deneme kurulmuştur (Şekil 3.2). Deneme toplam 24 adet saksıda yürütülmüş, saksılar 12'şer saksıdan oluşan kompost (K) ve vermikompost (VK) olarak iki takıma ayrılmıştır (4 farklı organik materyal x 3 tekrür). 12'şer saksıdan oluşan gruplardan biri solucanlar ile vermikompost eldesini, diğer grup ise kompost eldesini temsil etmiştir. Organik materyaller ahır gübresi ve bir miktar saman ilave edilerek C/N oranları 30-35 arasında olacak şekilde hazırlanmış ve 4'er kg'lık karışımlar 5'er litrelik ışık geçirmeyen silindirik plastik saksılara konulmuştur. Bu silindirik plastik saksıların hepsinin altına su akışını sağlamak üzere delikler açılmış, vermikompost üretimi yapılan saksıların tabanına ayrıca solucan kaçırlarını engellemek amaçlı tülbent serilmiştir.



Şekil 3.2 Kompost ve vermikompost inkübasyon denemesinin kurulması

Deneme kurulumu tamamlandıktan sonra saksılar 3 ay süre ile iklim odasında (20-22°C) karanlıkta bekletilmiştir. Aerobik kompostlanmayı sağlamak amacıyla karışımlar haftada bir yeterli havalandırmayı sağlamak ve ayrışmayı arttırmak için tekdüze

oluncaya kadar karıştırılmış ve sıcaklıkları ölçülmüştür. Yanı sıra saksıların nem oranları %60 seviyesinde olacak şekilde haftalık sulama yapılmıştır. İnsan patojenlerinin uygun seviyede olduğundan emin olmak için 14 güne kadar hammaddelerin geleneksel termofilik kompostlanmasının bir ön uygulama olarak yapılması amacıyla aynı işlem, VK grubu saksılara solucanların eklenmesinden önceki iki hafta boyunca uygulanmış, 15. günde VK grubu saksılara yetişkin ve eşit ağırlıkta olmak üzere 10 adet/kg oranında *Eisenia foetida* türü solucan eklenmiştir. Solucan ilavesi sonrası solucanların kaçışlarına engelleyecek ancak havalanmayı engellemeyecek şekilde saksıların üst kısmı tül ile kapatılmıştır. Bundan sonraki süreçte VK grubu saksıların nem durumları kontrol edilerek sadece üstten su eklemesi yapılmış olup numune alımı dışında solucanlar rahatsız edilmemiştir. Her hafta K ve VK grubu saksılar tartılarak eksilen su miktarları tamamlanmıştır. Kompost denemesi 90 gün sürdürülmüş olup, denemenin 30., 60. ve 90. günlerinde saksılardan analiz için örnek numuneler alınmıştır. Örnekleme sırasında ele geçen solucan ve kestlerin (solucan yumurtası) saksıya tekrar konulmasına dikkat edilerek kayıp olmamasına özen gösterilmiştir. 90. gün sonunda solucanlar elle ayıklama yoluyla temizlenip sayılmış ve tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 İnkübasyon denemesinin sonlandırılması, solucan tartımları

Deneme süresince 30., 60. ve denemenin son günü olan 90. günde analiz için alınan örnek numuneler;

- Mikrobiyal topluluk yapısı (toplam bakteri, patojen bakteri ve DNA) analizlerinin yapılması için -80°C 'de derin dondurucuda,
- Enzim analizleri (üreaz, beta glukosidaz ve fosfataz) ve bakteri sayımları için $+4^{\circ}\text{C}$ 'de buzdolabında,
- Kimyasal analizler (pH, EC, toplam nem ve organik madde ile N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Cr, Zn, Pb, Cd) için ise kurutulup 2 mm elekten elenerek analiz edilene kadar kese kağıtlarında oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir.

Elde edilen kompost ve vermikompost materyallerinde kullanılan analiz yöntemleri 3.2.3'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Örneklerin analize hazırlanması

3.2.2 Analizlerde kullanılan yöntemler

Toplam N: Kjeldahl yöntemine göre (Bremner, 1965) belirlenmiştir.

pH: TS 9104'e göre 3 g kompost/vermikompost örneği üzerine 50 ml saf su konularak yarım saat beklenip pH metre cihazı ile değerleri okunmuştur (TSE, 1991a).

EC: TS 9106'ya göre 10 g kompost/vermikompost örneği üzerine 180 ml saf su konularak 1 saat çalkalanıp süzülerek kondaktivimetre cihazında değerleri belirlenmiştir (TSE, 1991b).

Toplam nem tayini: 105°C de sabit bir ağırlığa kadar fırında kurutma yöntemi ile belirlenmiştir.

Organik madde tayini: TS 9103'e göre 5 g kompost/vermikompost örneği kül fırınında 650°C'de 4 saat yakılarak gravimetrik olarak belirlenmiştir (TSE, 1991c).

Toplam P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Cr, Zn, Pb, Cd değerleri: Kompost/vermikompost örnekleri H₂O₂ + HNO₃ ile mikrodalga yakma cihazında yakılıp elde edilen süzüklerde ICP-OES ile belirlenmiştir (Zarcinas ve ark., 1987).

DNA analizi: Uygulamalara maruz bırakılan kompost ve vermikompost örneklerinden alınan numunelerde Qiagen DNeasy® PowerSoil® toprak DNA kiti kullanılarak Wang vd. (2020) ve de Mesquita vd., (2020) tarafından bildirildiği gibi DNA ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Kompost ve vermikompost DNA ekstraktlarının PCR ürünleri etiketlenmiş 515f/806r primer çifti ile çoğaltılarak Taberlet vd., (2018) tarafından bildirildiği gibi kütüphaneler oluşturulmuş ve bu kütüphaneler AMPure XP Purification kit kullanılarak Wang vd. (2020)'ye göre saflaştırılmıştır. Illumina platformunda 515f/806r primerleri kullanılarak çoğaltılan 16S V4-V5 bölgesi için 2x150 PE (çift yönlü) okuma gerçekleştirilmiştir (de Mesquita vd., 2020).

Beta glukosidaz ve fosfataz enzim aktivitesi: Naseby ve Lynch (1997) yöntemine göre; 1.5 g örnek asit tampon çözeltisi eklendikten sonra korozer rotar da 1 saat çalkalanıp, 15 dakika 4000 devirde santrifüj edilerek ekstraktları çıkartılmıştır. 1 ml substrat, 1 ml asit ekstrakt hazırlanarak streçle kapatılmış ve 37°C de 24 saat inkübe

edilmiştir. İnkübasyon işlemi sonrasında örneklerin üzerine 1 ml NaHCO_3 ilave edilerek 15 dakika 4000 devirde santrifüj edilerek spektrofotometrede 400nm de okumaları yapılarak bulunmuştur.



Şekil 3.5 Beta glukosidaz ve fosfataz enzim tayini

Üreaz enzim aktivitesi: Hoffman ve Teicher (1961)'e göre 1 g örnek üzerine 25 ml toluen, 0.75 ml sitrat tampon (pH:6.7) ve %10'luk 1 ml üre substrat solüsyonu eklenerek 37°C de 3 saat inkübe edilerek inkübasyon işlemi sonunda 578nm de okumaları gerçekleştirilerek belirlenmiştir.



Şekil 3.6 Üreaz enzim tayini

Toplam bakteri sayısı (Aerob, mikroaerofil): Reasoner ve Geldreich (1985) yöntemine göre yapılmıştır. Kompost/vermikompost materyallerinden hazırlanan dilüsyonlardan ayrı ayrı 100 µl örnek alınarak PCA(plate count agar) içeren petrilere aktararak steril cam baget yardımı ile besiyeri üzerine iyice yayılması sağlanmıştır. Her bir dilüsyondan 3 petriye ekim yapılarak, kültürler 27°C'de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. Tek tek kolonilerin sayılabildiği en uygun dilüsyonlarda sayım yapılmış olup sayım yapılacak petrilere en az 30-40 en çok 200-250 koloni olmasına dikkat edilerek sayım işlemi yapılmıştır. Bulunan koloni sayıları ise 3 petrinin ortalamasından elde edilerek sayım yapıldığı dilüsyon katsayısı ile çarpılarak toplam bakteri sayısı elde edilmiştir.

Salmonella sp. Tespiti: Mooijman vd. (2019)'a göre aşağıda şekilde gerçekleştirilmiştir:

Ön zenginleştirme işlemi: 25 g numune seçici olmayan sıvı besiyerine (tamponlanmış pepton suyu; BPW) ilave edilerek 37°C ± 1°C'de 18 saat ± 2 saat süre ile inkübe edilmiştir.

Seçici besiyerinde geliştirme işlemi: Ön zenginleştirme işlemi sonrası besiyerinden alınan 100 µl örnek 10-6'ya kadar PBS ile dilüsyonları yapılarak her bir dilüsyondan 100 µl XLD agar ve bismuth sülfite agar ortamına aktararak yayma ekim yapılmıştır. Agar plakaları 37°C ± 1°C'de 24 saat ± 3 saat süre ile inkübe edilmiştir.

Doğrulama işlemi: Bismuth sülfite agar besiyerinde siyah merkezli, etrafında metalik parlaklık olan siyah çöküntülü(presipitat) zon bulunan koloniler ve XLD agar besiyerinde ise siyah merkezli koloniler salmonella olarak değerlendirilmiştir.

E.coli tespiti: 25 g veya 1 ml örnek için aşağıdaki yöntemler izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Ön zenginleştirme işlemi: 1ml biyogaz numunesi seçici olmayan sıvı besiyerine (Tamponlanmış Pepton Suyu; BPW) ilave edilerek $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 18 saat $\pm$ 2 saat süre ile inkübe edilmiştir.

Seçici besiyerinde geliştirme işlemi: Ön zenginleştirme işlemi sonrası besiyerinden alınan 100 µl örnek 10-6'ya kadar PBS ile dilüsyonları yapılarak her bir dilüsyondan 100 µl Eosin Methylen-blue Lactose Sucrose (EMB) Agar ortamına aktarılarak yayma ekim yapılmıştır. Agar plakaları $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat $\pm$ 3 saat süre ile inkübe edilmiştir.

Doğrulama işlemi: İnkübasyon işlemi sonunda EMB agar besiyerinde menekşe renkli ve yansıyan ışıktaki yeşilimsi parlak görülen koloniler *E.coli* olarak değerlendirilmiştir(Leininger vd. 2001).

***E.coli* O157:H7 Tespiti:** 25 g veya 1 ml örnek için aşağıdaki yöntemler izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Ön zenginleştirme işlemi: 1 ml biyogaz numunesi novobiosin içeren tripton soya sıvı ortamına alınarak $41.5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de 6 saat ve akabinde 12 ila 18 saat zenginleştirilmiştir.

İzolasyon: Ön zenginleştirmenin ardından kültür ortamından sefiksim tellürit sorbitol MacConkey agar (CT-SMAC) seçici besiyerine ekim yapılmıştır. Agar plakaları 37°C 'de 18 ila 24 saat süre ile inkübasyona kaldırılmıştır.

Doğrulama işlemi: Sorbitol, sefiksim ve tellüritli MacConkey Agar verositotoksijenik olmayan *E. coli* suşlarının ve diğer sorbitolu fermante edemeyen *E. coli* türlerinin çoğunun gelişmesini engeller. Sorbitollü geleneksel MacConkey Agar üzerinde *E. coli* O157 ile karıştırılabilecek diğer mikroorganizmalar, CT-SMAC ile inhibe edilmektedir (Zadik vd. 1993). CT-SMAC agar yüzeyinde oluşan sorbitol negatif renksiz koloniler *E. coli* O157:H7 olarak değerlendirilmiştir.

Enterobacteriaceae Tespiti: Enterobacteriaceae test edilecek numunede 1 g veya 1 ml de sayısı hesaplanarak belirlenmiştir. Test numunesinden alınan örneğin 10 kat dilüsyonları yapılarak inokülüm süspansiyonları hazırlanmıştır(ISO 21528).

Seçici besiyerine ekim: Hazırlanan süspansiyonların her birinden 100 µl alınarak VRBG(violet red bile glucose) agar ortamına yayma ekim yapılmıştır. Daha sonra agar plakaları 37 °C’de 24 ± 2 saat inkübe edilmiştir.

Doğrulama ve koloni oluşturan birim hesaplama: İnkübasyon sonrası 1-2 mm çapında kırmızımsı bir presipitat zon ile çevrili kırmızı koloniler Enterobacteriaceae familyası üyeleri olarak sayılmış olup sayılan koloniler; kob/g (ml)=İki paralel plağın ortalaması x Dilüsyon faktörü formülü ile hesaplanmıştır.

3.3 Değerlendirme ve İstatistik Analizleri

İnkübasyon denemesinden elde edilen veriler tekrarlanan ölçümlü varyans analizi (Repeated measurement anova) metodu ile analiz edilerek hem uygulamaların ana etkileri hem de zamanın belirlenen parametreler üzerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Bu verilere ait ortalamalar “Bonferoni” testi ile $p < 0.05$ güven sınırında karşılaştırılmıştır. Uygulamalar arasındaki anlamlılık Minitab 17.0 yazılımı ile iki yönlü ANOVA ile belirlenmiş ve ortalamalar arasındaki fark ise MSTAT-C yazılımı ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ($p < 0,05$) kullanılarak değerlendirilmiştir.

Farklı organik kökenlere sahip kompost ve vermikompostların farklı uygulamalar sonrasındaki bakteriyel kompozisyonlarında meydana gelen değişimleri istatistiksel açıdan değerlendirmek için öncelikle 30.000 diziye seyreltilmiş örnek DNA dizilerinin Bray-Curtis mesafelerine dayalı benzersizlik matrisleri, R istatistik programı (versiyon 3.6.1) phyloseq paketi kullanılarak oluşturulmuştur. Sonraki aşamada R istatistik programı adonis fonksiyonu kullanılarak örneklerin beta çeşitliliğinde meydana gelen değişimler PERMANOVA (Parametrik Olmayan Çok Değişkenli Varyans Analizi) ile ortaya konmuştur (Çizelge 4.42). Ayrıca organik materyal türü ve kompostlama uygulamaları ile bakteri topluluk yapısı arasındaki önemli korelasyonları

değerlendirmek için yine R istatistik programında yer alan “envfit” fonksiyonu kullanılarak cins düzeyinde Bray-Curtis benzersizlik indeksine dayanarak metrik olmayan çok boyutlu ölçeklendirme (NMDS) analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı organik materyallerden elde edilen kompost-vermikompost materyallerinin bakteriyel nispi bolluğundaki değişimler ve ayrıca bu materyaller üzerinde gerçekleştirilen ısıtma işlemi (var/yok) uygulamaları ve depolama koşullarının (oda ve buzdolabı sıcaklığı) bakteriyel nispi bolluğu üzerine etkileri, elde edilen ham FASTQ verilerinin Qiime2 platformunda (2018.11 versiyonu) (<https://qiime2.org>) Caporaso vd. (2010) tarafından bildirildiği gibi analiz edilmesiyle belirlenmiştir. DNA dizilerinin kalite filtrelemesi, kesimi, ileri ve geri primerlerin çıkarılması, dizi tablosunun oluşturulması ve kimeraların uzaklaştırılması Callahan vd. (2016) tarafından bildirildiği gibi DADA2 platformu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bütün istatistiksel analizler R programı (sürüm 3.6.1) (<https://www.r-project.org/>) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı kompostların, vermikompostların ve bunların farklı uygulamalar sonrasında içerdiği biyoindikatör türlerin ortaya konmasında doğrusal diskriminant analizi etki büyüklüğü (LEfSe) analizleri kullanılmıştır (Segata vd., 2011).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

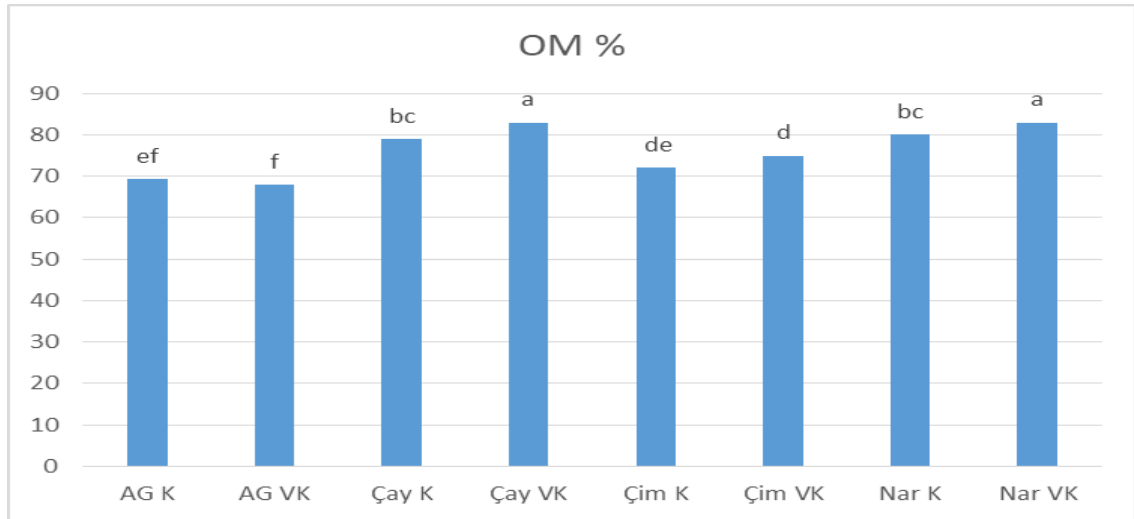
4.1 İnkübasyon Deneme Sonuçları

4.1.1 İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler

İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler her materyal çeşidine göre kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Çizelge 4.1’de her bir ürünün K ve VK sonuçlarının Duncan çoklu karşılaştırma testine göre pH, EC, OM, N, alınabilir P_2O_5 ve değişebilir K_2O sonuç ve değerlendirmeleri verilmiştir.

4.1.1.1 Organik madde içeriklerinde meydana gelen değişimler

OM içerikleri bakımından ürün cinsleri arasında ve zamana bağlı değişimler açısından $p < 0.01$ düzeyinde, ürün cinsi ve zaman arasında ise $p < 0.05$ düzeyinde önemli ilişki belirlenmiştir. Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre OM içerikleri en yüksek Çay-VK (%83,33) ve Nar-VK (%82,67) ürünlerinde, en düşük OM içeriğinin ise AG-VK örneklerinde (%68,67) belirlenmiştir(Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre OM içeriklerindeki değişimler

Zamana bağlı ortalama değerler ele alındığında, inkübasyon süresince OM içeriklerinde önce azalma sonrasında başlangıca erişme de kısmen artış olmuştur. Viel vd. (1987), mineralizasyon sırasında buharlaşma yoluyla su kaybının yanı sıra CO₂ olarak organik karbon kaybı olabileceğini belirtmişlerdir.

Pramanik vd. (2007), solucan popülasyonundaki artışın organik maddenin artan oksidasyonu nedeniyle karbonda hızlı bir düşüşe neden olduğunu vurgulamışlardır. Jamaludin ve Mahmood (2010) ise, solucan kompostunun stabil durumda olduğu ve organik maddenin oksidasyonu yavaşladığından, organik karbonun 30. haftada %14,9'dan %19,32'ye ve %15,2'den %18,27'ye çıktığını belirtmişlerdir.

Çizelge 4.1 İnkübasyon denemesi süresince (30., 60., 90. günler) kompost ve vermikompost örneklerinin bazı kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler

Uygulamalar		% OM	% N	pH	EC dS/m	% P ₂ O ₅	% K ₂ O
Ürün Cinsi	Zaman (Gün)						
AG K	30	70.00±1.15 Ae	2.30±0.17 Ba	7.85±0.01 Ba	5.63±0.11 Ab	1.81±0.01	1.07±0.02 Cb
	60	68.00±1.73 Acd	2.42±0.01 ABcd	7.92±0.01 Ba	5.02±0.01 Bb	3.53±0.01	1.62±0.01 Bb
	90	70.00±2.89 Abc	2.52±0.01 Ab	8.21±0.05 Aa	3.78±0.01 Cb	3.22±0.11	1.87±0.01 Ab
AG VK	30	74.00±1.15 Ade	1.90±0.11 Bed	7.37±0.03 Aa	4.11±0.02 Ac	2.11±0.01	1.05±0.02 Ab
	60	64.00±1.15 Bd	2.29±0.11 Ade	7.33±0.01 Ac	3.68±0.01 Bd	3.05±0.02	0.88±0.005 Bd
	90	68.00±1.73 Bc	2.18±0.01 Ac	7.37±0.01 Ac	3.12±0.06 Cd	3.06±0.04	1.04±0.02 Ad
Çay K	30	84.00±2.31 Aab	2.07±0.04 Cbc	7.61±0.01 Ab	3.27±0.02 Ae	1.99±0.57	0.96±0.20 Bb
	60	74.00±0.57 Bb	2.80±0.11 Aa	7.60±0.005 Ab	3.28±0.01 Ae	2.53±0.006	1.09±0.05 ABc
	90	80.00±0.57 Aa	2.52±0.01 Bb	7.61±0.005 Ab	3.38±0.01 Ac	2.72±0.01	1.16±0.01 Ad
Çay VK	30	86.00±1.15 Aa	2.18±0.04 Bab	7.57±0.01 Ab	1.80±0.08 Ag	2.20±0.11	0.93±0.02 Bb
	60	82.00±1.15 Aa	2.68±0.01 Aab	7.13±0.07 Bd	1.90±0.01 Af	2.23±0.01	0.85±0.01 Bd
	90	82.00±1.15 Aa	2.63±0.01 Aab	7.08±0.04 Be	1.81±0.005 Af	2.25±0.14	1.20±0.11 Ad
Çim K	30	74.00±2.31 Ade	2.40±0.01 Ba	7.88±0.03 Aa	6.97±0.04 Aa	2.03±0.02	1.71±0.01 Ca
	60	70.00±1.15 Abc	2.52±0.01 Bbc	7.55±0.01 Bb	5.30±0.17 Ba	2.53±0.02	2.26±0.03 Ba
	90	72.00±1.15 Abc	2.80±0.17 Aa	6.93±0.01 Cf	3.65±0.005 Cb	2.24±0.02	2.46±0.01 Aa
Çim VK	30	80.00±1.15 Abc	2.35±0.02 Ba	7.00±0.06 Ce	3.74±0.07 Cd	1.43±0.02	1.56±0.01 Aa
	60	70.00±0.57 Bbc	2.68±0.05 Aab	7.14±0.02 Bd	4.21±0.23 Bc	2.06±0.03	1.14±0.005 Bc
	90	74.00±0.57 Bb	2.57±0.04 Ab	7.57±0.04 Ab	5.64±0.02 Aa	2.25±0.02	1.58±0.01 Ac
Nar K	30	77.33±3.71 Acd	2.01±0.01 Bbc	7.25±0.01 Ad	3.79±0.05 Ad	2.21±0.02	1.65±0.01 Aa
	60	82.00±1.15 Aa	2.12±0.01 ABe	7.25±0.02 Ac	3.80±0.01 Ad	2.23±0.01	1.67±0.01 Ab
	90	80.00±2.89 Aa	2.29±0.01 Ac	7.25±0.02 Ad	3.79±0.005 Ab	2.27±0.01	1.76±0.01 Ab
Nar VK	30	84.00±3.46 Aab	1.84±0.01 Bd	7.04±0.03 Ae	2.05±0.04 Af	1.18±0.005	1.07±0.005 Ab
	60	82.00±1.15 Aa	2.18±0.01 Ae	6.98±0.04 Ae	2.05±0.02 Af	1.30±0.005	0.99±0.02 Acd
	90	82.00±1.15 Aa	2.29±0.11 Ac	6.54±0.02 Bg	2.05±0.02 Ae	1.43±0.005	1.12±0.01 Ad
Ürün Cinsi Ort.	AG K	69.33±1.08 ef	2.41±0.05 b	7.99±0.05 a	4.81±0.27 b	2.85±0.26	1.52±0.11c
	AG VK	68.67±1.61 f	2.12±0.07 c	7.35±0.01 d	3.63±0.14 e	2.74±0.15	0.99±0.02e
	Çay K	79.33±1.62 c	2.46±0.11 ab	7.60±0.005 b	3.31±0.01 f	2.42±0.19	1.07±0.06e
	Çay VK	83.33±0.88 a	2.50±0.08 ab	7.26±0.08 e	1.83±0.02 h	2.22±0.05	0.99±0.06e
	Çim K	72.00±1.00 de	2.57±0.07 a	7.45±0.14 c	5.30±0.48 a	2.27±0.07	2.15±0.11a
	Çim VK	74.67±1.51 d	2.53±0.05 ab	7.23±0.08 e	4.53±0.29 c	1.91±0.12	1.43±0.07d
	Nar K	79.78±1.55 bc	2.14±0.04 c	7.25±0.01 e	3.79±0.01 d	3.91±1.76	1.69±0.01b
	Nar VK	82.67±1.15 ab	2.10±0.07 c	6.85±0.08 f	2.05±0.01 g	1.30±0.03	1.06±0.01e
Zaman Ort.	30	78.67±1.31 a	2.13±0.04 b	7.44±0.06 a	3.92±0.33 a	2.50±0.68	1.25±0.06 c
	60	74.00±1.44 c	2.46±0.05 a	7.36±0.06 b	3.65±0.24 b	2.43±0.13	1.31±0.09 b
	90	76.00±1.22 b	2.47±0.04 a	7.32±0.09 c	3.40±0.23 c	2.43±0.11	1.52±0.09 a
F	Ürün cinsi	32.19**	22.70**	289.50**	880.41**	1.41 ^{bd}	191.24**
	Zaman	13.77**	58.66**	30.68**	103.40**	0.01 ^{bd}	60.00**
	Ürün cinsi*Zaman	2.23*	2.97*	59.71**	117.35**	1.13 ^{bd}	14.74**
LSD	Ürün cinsi	2.931	0.1180	0.05519	0.1191	-	0.08520
	Zaman	1.795	0.07229	0.03379	0.07296	-	0.05217
	Ürün cinsi*Zaman	5.076	0.2045	0.09558	0.2064	-	0.1476

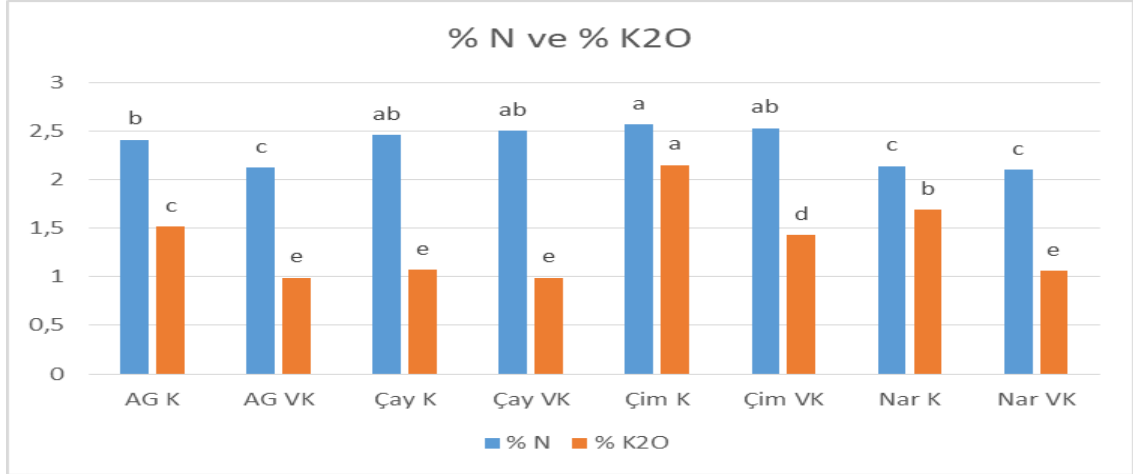
*Büyük harfler ürün cinsi arasındaki farkı, küçük harfler ise zamanlar arasındaki farklı p<0.05 olacak şekilde Duncan çoklu karşılaştırma testine göre verilmiştir.

4.1.1.2 Azot içeriklerinde meydana gelen değişimler

Azot içerikleri bakımından ürün cinsleri arasında ve zamana bağlı değişimler açısından $p<0.01$ düzeyinde, ürün cinsi ve zaman arasında ise $p<0.05$ düzeyinde önemli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre N içerikleri en yüksek Çim-K (%2,57) örneğinde, en düşük Nar-VK örneğinde (%2.10) belirlenmiştir (Şekil 4.2). Zamana bağlı ortalama değerler ele alındığında, inkübasyon süresince N içeriklerinde zamana bağlı istatistiksel olarak önemli artış meydana gelmiştir ($p<0.05$). Bu sonuçlar Jamaludin ve Mahmodd (2010) ve Surendra (2006) tarafından yapılan çalışma sonuçlarıyla desteklenmektedir. Surendra (2006), vermikompostun toplam N içeriğinin 150 günlük vermikompostlamadan sonra ilk güne göre büyük artış gösterdiğini, Jamaludin ve Mahmodd (2010) ise vermikompostlama sürecinin 30. haftasında toplam azotun %1,35'den %3.21'e yükseldiğini belirtmişlerdir.

Kale ve ark. (1982), vermikompostlamadaki N içeriğinin, serbest yaşayan azot bağlayıcı bakteriler tarafından sabitlenen N miktarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Pramanik vd. (2016), *Eudrilus euginae* ile 30 günlük vermikompostlamanın ardından çay budamalarındaki toplam azot içeriğinde %30.5'ten %51.29'a bir artış bildirmişlerdir. Sudkolai ve Nourbakhsh (2017) ise, *E. foetida* kullanan besleme stoklarına göre toplam azotun inek gübresi vermikompostunda 1.6 kat ve 60 günlük solucan gübresi uygulamasından sonra buğday kalıntısı solucan gübresinde 3 kat daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.



Şekil 4.2 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre toplam N ve değişebilir K₂O içeriklerindeki değişimler

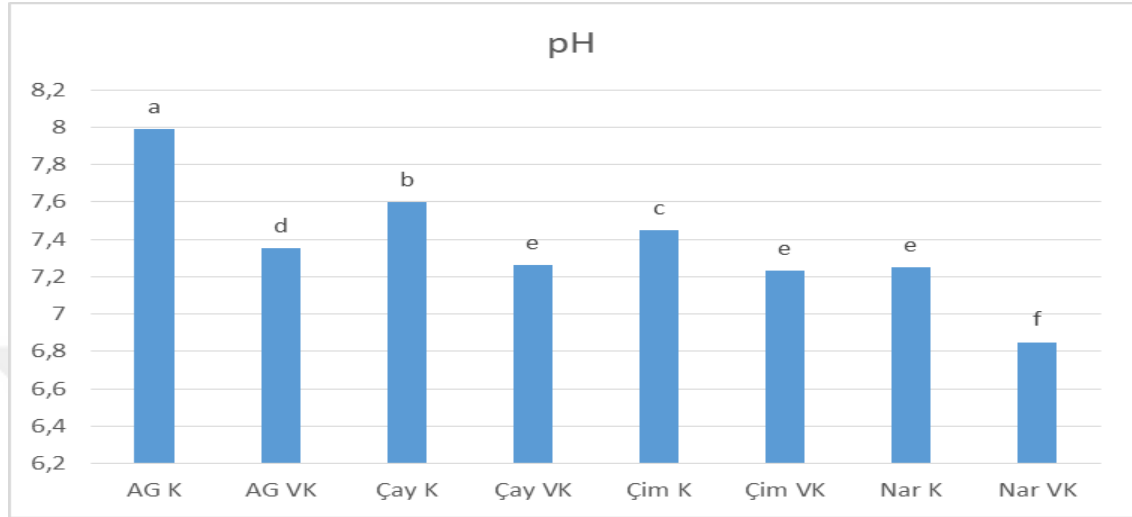
4.1.1.3 pH değerlerinde meydana gelen değişimler

pH değerleri bakımından ürün cinsleri arasında, zamana bağlı değişimler açısından ve ürün cinsi ve zaman arasında $p < 0.01$ düzeyinde önemli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre pH değerleri en yüksek AG-K (7.99) örneğinde, en düşük pH değeri ise Nar-VK örneklerinde (6,54) belirlenmiştir (Şekil 4.3). Vermikompost örneklerinin tamamında pH kompost örneklerine göre düşük bulunmuştur.

Zamana bağlı ortalama değerler ele alındığında ise, inkübasyon süresince pH değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Çeşitli organik malzemelerin pH'sının vermicompostlama sırasında düştüğü çeşitli araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Suthar 2010, Viel vd. 2018, Karmegam vd. 2019, Balanchandar vd. 2020, Zziwa vd. 2021). Araştırmacılar bu değişikliği, mineralizasyon sırasında organik N'nin dönüştürülmesine ve ardından nitrit/nitratlara nitrifikasyona, organik fosforun ortofosfatlara dönüştürülmesine ve organik materyalin humik asitler dahil olmak üzere organik asitler gibi ara türlere biyodönüşümüne bağlamışlardır. Lazcano vd. (2008) ve Sharma ve Garg (2019), vermicompostlama sırasındaki pH düşüşüne, düşük moleküler

ağırlıklı organik asitlerin salınması ve artan nitrifikasyonun neden olabileceğini ve daha düşük pH'nın vermikompostlama sırasında ayrışma reaksiyonunun daha yoğun olduğunun göstergesi olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.3 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre pH değerlerindeki değişimler

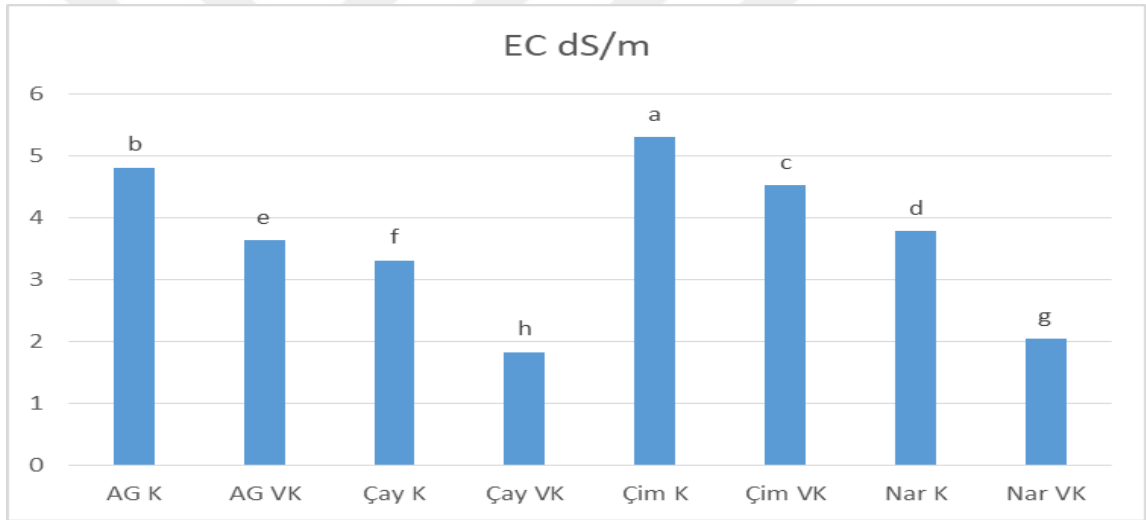
4.1.1.4 EC değerlerinde meydana gelen değişimler

EC değerleri bakımından ürün cinsleri arasında, zamana bağlı değişimler açısından ve ürün cinsi ve zaman arasında sırasıyla $p < 0.01$ düzeyinde ve $p < 0.05$ düzeyinde önemli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre EC değerleri en yüksek Çim-K (5.30 dS/m) örneğinde, en düşük EC değeri ise Çay-VK örneklerinde (1,83 dS/m) belirlenmiştir. Vermikompost örneklerinin tamamında pH'ya benzer şekilde EC değerleri kompost örneklerine göre düşük bulunmuştur. Zamana bağlı ortalama değerler ele alındığında da, inkübasyon süresince EC değerlerinde düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.4).

VK örnekleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde vermikompostlama sürecinde Çim-VK örneklerinin EC değerleri 90. güne kadar artış göstermiş, AG-VK örneklerinde azalmış, Çay-VK örneklerinde 60. günde artmış takiben azalmış ($p < 0.05$), Nar-VK örneklerinde ise EC'de değişim olmamıştır. Garg vd. (2006), vermikompostlamada

EC'nin kademeli olarak arttığını, bunu da solucan sindirimi sırasında bağlı elementlerin salınması ve vermikompostlama süreçlerinde organik madde ayrışması sırasında katyonlar ve anyonlar şeklinde minerallerin salınmasıyla açıklamışlardır. Dume vd. (2022), yaptıkları vermikompostlama çalışmasında kullandıkları bazı organik atıklarda vermikompostlamayla EC'nin anlamlı olarak arttığını, ancak tavuk tüyü kalıntıları ve peletlenmiş buğday samanının yarı yarıya karıştırılarak vermikompostlandığı karışımın EC'sinin vermikompostlamanın 30. gününden 90. gününe doğru düştüğünü belirtmişlerdir. Huang (2004) ise, vermikompostlama sürecinde EC değerlerinde müteakip düşüş belirlediklerini ve bunun amonyak buharlaşmasına ve iyonların sayısını ve hareketliliğini azaltan çözünmeyen bileşiklerin oluşumuna bağlı olabileceğini belirtmiştir.



Şekil 4.4 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre EC değerlerindeki değişimler

4.1.1.5 Alınabilir fosfor (P_2O_5) değerlerinde meydana gelen değişimler

Ürünlerin alınabilir fosfor içerikleri bakımından değerlendirildiğinde, kompost örneklerinin tamamında alınabilir fosfor miktarları vermikompost örneklerine göre yüksek bulunmuş, zamana bağlı ortalama değerler ele alındığında ise, inkübasyon süresince K ve VK örneklerinde alınabilir fosfor değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Öte yandan, alınabilir fosfor içerikleri bakımından gerek ürün cinsleri arasında, gerek

zamana bağılı değişimler açısından ve gerekse ürün cinsi ve zamana bağılı meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.1).

4.1.1.6 Değişebilir potasyum (K₂O) değerlerinde meydana gelen değişimler

Ürünlerin değişebilir potasyum (K₂O) içerikleri bakımından ürün cinsleri arasında, zamana bağılı değişimler açısından ve ürün cinsi ve zaman arasında $p < 0.01$ düzeyinde önemli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.2). Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre değişebilir K₂O içerikleri en yüksek Çim-K (%5.30) örneğinde, en düşük değişebilir K₂O değeri ise AG-VK ve Çay-VK örneklerinde (% 0,99) belirlenmiştir. K örneklerinin değişebilir K₂O içerikleri VK örneklerine göre daha yüksek olmuştur.

Zamana bağılı ortalama değerler ele alındığında, inkübasyon süresince bazı K ve VK örneklerinin değişebilir K₂O içeriklerinde artış meydana gelmiştir (Şekil 4.2). Song vd. (2014), solucanlı ve solucansız mantar kalıntıları eklenmiş hayvan gübresinin kompostlanma sürecinde tepkilerini araştırmak için dört aylık pilot ölçekli bir deneme yapmışlar, elde ettikleri sonuçlar solucan aktivitelerinin organik madde mineralizasyonunu (örn. toplam N, P, K konsantrasyonlarında artış) hızlandırdığını göstermiştir. Vermikompostlama sürecinde potasyum içeriğinin artması, solucanın bağırsak enzimlerinin doğrudan, mikrofloranın uyarılmasının dolaylı etkisidir (Kaviraj ve Sharma 2003, Satchell ve Martein 1984). Wani ve Rao, (2013), vermikompostlama sürecinde makro besinlerdeki artışı, ağırlık ve organik maddedeki düşüşle ilişkilendirmişlerdir. Garg vd. (2006) ise vermikompostlama sürecinde potasyumun mikroorganizmalar tarafından asit üretiminin neden olduğu organik olarak bağılı K'nın çözünmesi nedeniyle artmış olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Khatua vd. (2018), bir solucanın bağırsağının, vermikompostunda K'nın salınmasına yardımcı olabileceğini vurgulamışlardır. Tüm bu faktörler, vermikompostlama sürecinde potasyum miktarındaki genel bir artışa katkıda bulunmuş olabilir. Öte yandan Jamaludin ve Mahmodd (2010) daha uzun süreli vermikompostlamanın, vermikomposttaki makrobesin elementlerinin miktarlarını artırmadığını belirtmişlerdir. Lv vd. (2016), olgunlaşma fazı sırasında çoğu besin maddesinin toplam veya mevcut içeriğindeki

azalmanın, solucan ve mikroorganizma biyokütlesindeki besinlerin hareketsizleştirilmesi veya vermikompost tarafından sorpsiyonu ile açıklanabileceğini, öte yandan kalsiyum, magnezyum, kükürt, çinko ve manganez içeriklerindeki artışların da muhtemelen atığın kütlesi azaldıkça büzülme etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

4.1.2 İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin iz element ve ağır metal içeriklerinde meydana gelen değişimler

İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin iz element ve ağır metal içeriklerinde meydana gelen değişimler her ürün çeşidine göre kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Çizelge 4.2’de her bir ürünün K ve VK sonuçlarının Duncan çoklu karşılaştırma testine göre iz element ve ağır metal sonuç ve değerlendirmeleri verilmiştir.

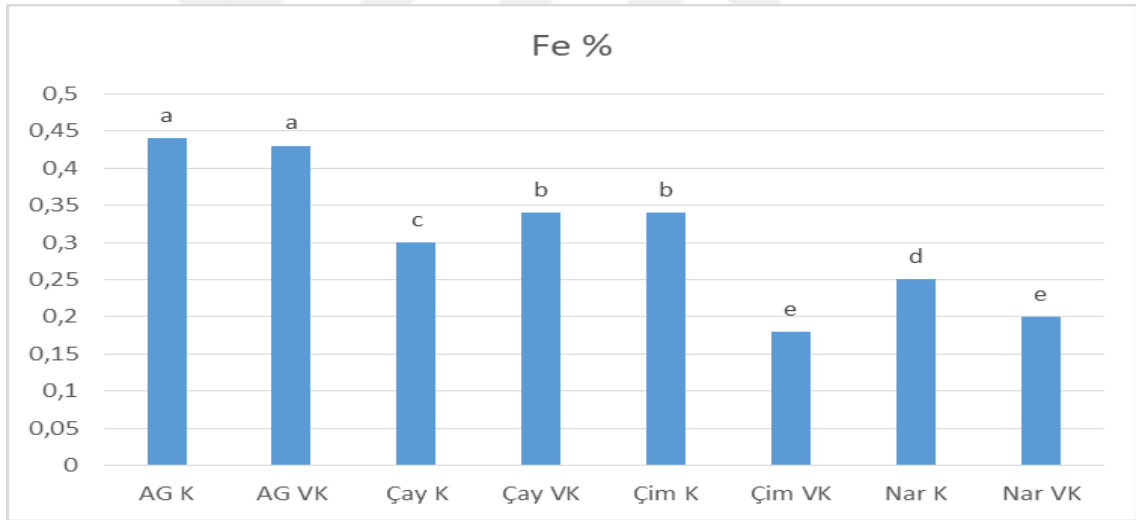
4.1.2.1 İz element (Fe, Cu, Zn, Mn) miktarlarında meydana gelen değişimler

Ürünlerin iz element içerikleri bakımından ürün cinsleri arasında, zamana bağlı değişimler açısından ve ürün cinsi ve zaman arasında $p < 0.01$ düzeyinde önemli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

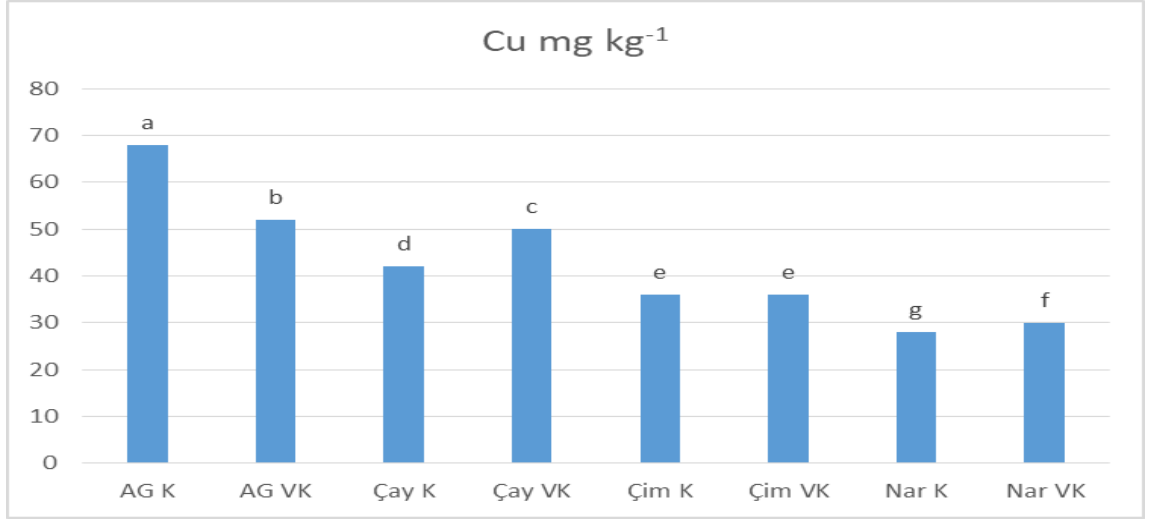
Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre, en yüksek Fe içeriği AG-K ve AG-VK örneklerinde, en düşük Fe ise Çim-VK örneğinde belirlenmiştir (Şekil 4.5). En yüksek Cu içeriği AG-K, en düşük Cu ise Nar-K örneğinde belirlenmiştir (Şekil 4.6). Ürünlerin Zn içerikleri değerlendirildiğinde, en yüksek Zn Çay-VK örneğinde, en düşük ise Nar-K örneğinde belirlenmiştir (Şekil 4.7) Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre, en yüksek Mn içeriği Çay-K örneğinde, en düşük Mn ise Nar-VK örneğinde belirlenmiştir (Şekil 4.7). K ve VK ürünlerinde iz element dağılımlarının dalgalanma eğilimi gösterdiği ve belirli bir yol izlemediği görülmektedir.

Kompostlama ve vermikompostlama zamanına bağlı iz element miktarlarındaki değişim değerlendirildiğinde, Fe, Cu, Zn ve Mn’ın inkübasyonun 90. gününde, başlangıca göre

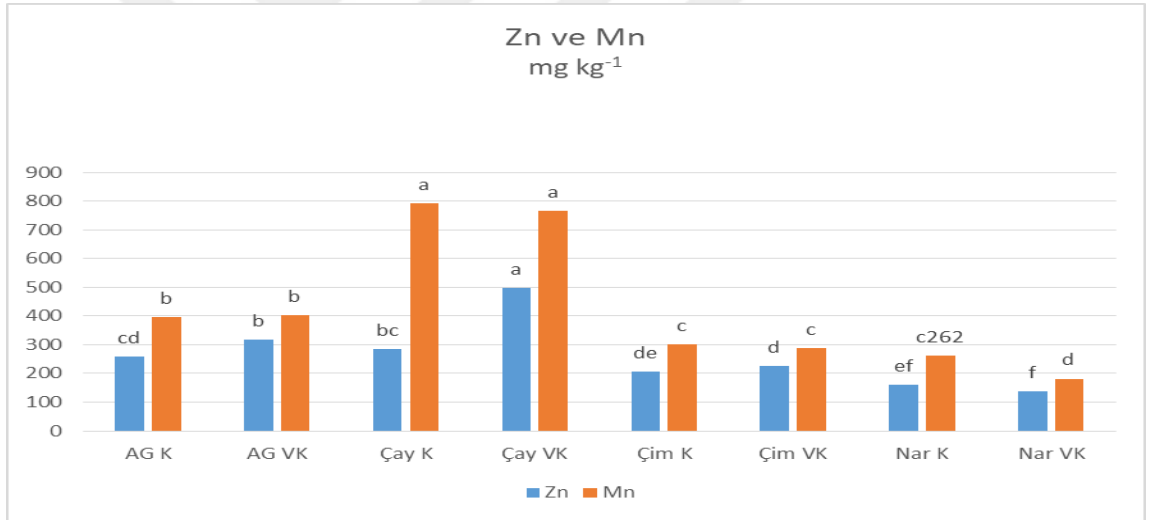
artış gösterdiği ($p<0.05$) belirlenmiştir. Dume vd. (2022), solucanlarla yapılan kompostlamaların solucansızlara göre daha fazla mikro besini geri kazandığını göstermişlerdir. Mondal vd. (2017) ise, bir solucanın vermikompostlama sırasında makro besinlerin yanı sıra B, Fe, Mn, Zn ve Cu gibi mikro besinlerin seviyelerini artırdığını belirtmişlerdir. Manyuchi ve Pihiri (2013), vermikompostlama sırasında bu mikro besinlerdeki artışı, solucanların katabolik aktivitesine, yani kalsiferöz bezlerinde bulunan karbonik anhidraza bağlamışlardır. Öte yandan farklı sonuçlar elde eden araştırmalar da mevcut olup, Jamaludin ve Mahmodd (2010), vermikompostlamanın 30'uncu haftasında Zn ve Cu'nun genel olarak 10. haftadaki miktarlara göre %29'dan %60'a düştüğünü belirtmişlerdir. Yanı sıra, Dominguez vd. (1997) ve Shahmansouri vd. (2005) ise, domuz gübresinin vermikompostlanma sürecinde Zn ve Cu'nun biyoyararlanım miktarlarının iki ayda %35 ila %55 oranında azalma eğiliminde olduğunu bulmuşlardır.



Şekil 4.5 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Fe değerlerindeki değişimler



Şekil 4.6 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Cu değerlerindeki değişimler



Şekil 4.7 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Zn ve Mn değerlerindeki değişimler

Çizelge 4.2 İnkübasyon denemesi süresince (30., 60., 90. günler) kompost ve vermikompost örneklerinin iz element ve ağır metal içeriklerinde meydana gelen değişimler

Uygulamalar		% Fe	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)
Ürün Cinsi	Zaman(Gün)							
AG K	30	0.36±0.01 Ba	74.61±0.06 Aa	135.23±2.90 Bd	243.27±1.19 Bb	11.40±0.57 Be	4.00±0.28 Cd	8.10±0.11 Ce
	60	0.46±0.01 Aa	74.30±0.65 Aa	341.23±0.62 Aa	491.30±1.19 Ab	15.63±0.59 Ab	10.86±0.08 Ab	12.80±0.11 Ac
	90	0.51±0.05 Aa	54.20±0.11 Ba	294.70±0.40 Abc	449.70±0.57 Ac	15.00±1.73 Acd	8.30±0.11 Bb	9.80±0.11 Bd
AG VK	30	0.35±0.02 Ba	41.50±0.28 Cc	256.10±1.15 Bbc	290.20±0.57 Bb	16.10±0.23 Bc	7.60±0.05 Cb	8.70±0.57 Ce
	60	0.46±0.03 Aa	59.00±1.15 Ab	340.20±2.89 ABa	448.90±1.15 Ab	18.10±0.05 ABa	12.50±0.86 Aa	20.40±0.57 Aa
	90	0.50±0.02 Aa	54.40±0.23 Ba	351.50±0.57 Ab	468.47±0.33 Ac	18.40±0.05 Ab	10.50±0.28 Ba	12.90±0.05 Ba
Çay K	30	0.22±0.01 Bb	35.00±2.89 Be	316.00±1.15 Ab	651.50±0.57 Ba	39.90±0.05 Aa	5.70±0.17 Bc	13.80±0.11 Aa
	60	0.34±0.02 Ab	45.60±0.23 Ad	273.30±1.15 Aab	836.60±5.77 Aa	12.30±0.11 Ccd	7.60±0.05 Ad	8.70±0.17 Cf
	90	0.35±0.02 Ab	46.40±0.57 Ac	266.10±1.15 Abc	887.20±0.57 Aa	16.30±0.11 Bbc	7.40±0.05 Ac	10.50±0.28 Bc
Çay VK	30	0.32±0.01 Aa	51.30±0.17 Ab	564.30±0.17 Aa	727.00±1.15 Aa	25.00±2.89 Ab	6.30±0.17 Ac	10.30±0.17 Bd
	60	0.35±0.02 Ab	49.70±0.17 Ac	289.67±0.20 Bab	804.10±0.57 Aa	11.90±0.05 Ccd	7.00±0.05 Ad	9.70±0.11 Be
	90	0.37±0.01 Ab	49.50±0.28 Ab	638.70±0.57 Aa	766.50±0.28 Ab	21.70±0.40 Ba	7.00±0.23 Ac	11.03±0.03 Ac
Çim K	30	0.34±0.01 Aa	37.40±0.23 Bd	200.90±0.57 Acd	304.30±0.57 Ab	13.80±0.11 Ad	9.30±0.17 Aa	12.80±0.11 Bb
	60	0.34±0.02 Ab	39.80±0.11 Af	218.80±0.57 Abc	326.30±0.11 Ac	14.00±0.11 Abc	9.40±0.23 Ac	13.80±0.11 Ab
	90	0.32±0.01 Ab	30.80±0.11 Cef	198.90±0.57 Ade	274.30±0.57 Ade	13.60±0.05 Ad	7.50±0.28 Bc	12.00±0.57 Cb
Çim VK	30	0.11±0.005 Cc	29.10±0.57 Cf	176.70±0.57 Acd	220.00±0.57 Bbc	12.40±0.05 Bde	6.20±0.11 Bc	11.50±0.11 Bc
	60	0.18±0.005 Bc	42.10±1.15 Ae	246.40±0.11 Abc	334.40±0.57 Ac	14.70±0.17 Ab	8.90±0.05 Ac	10.80±0.05 Cd
	90	0.25±0.005 Ac	37.20±0.11 Bd	253.40±0.98 Acd	308.90±0.57 Ad	16.70±0.17 Abc	8.30±0.17 Ab	13.10±0.05 Aa
Nar K	30	0.20±0.005 Bb	22.50±0.28 Cg	133.40±0.23 Ad	250.00±33.70 Ab	9.00±0.05 Bf	2.70±0.05 Be	5.30±0.17 Cf
	60	0.23±0.005 Bc	28.60±0.34 Bh	168.60±5.77 Ac	258.40±0.57 Acd	11.30±0.02 Ad	4.43±0.01 Ae	7.30±0.02 Bg
	90	0.32±0.005 Ab	31.70±0.11 Ae	175.00±1.15 Ade	276.00±0.57 Ade	10.40±0.23 ABe	4.90±0.05 Ad	12.60±0.11 Aab
Nar VK	30	0.14±0.008 Bc	30.80±0.11 Af	113.70±1.15 Ad	147.63±1.36 Ac	10.50±0.05 Aef	2.10±0.05 Ce	3.90±0.05 Cg
	60	0.22±0.005 Ac	30.70±0.11 Ag	159.20±0.11 Ac	194.90±0.05 Ad	11.90±0.05 Acd	3.60±0.005 Bf	5.50±0.17 Bh
	90	0.23±0.005 Ac	28.90±0.05 Af	139.90±0.05 Ae	201.40±0.11 Ae	11.10±0.57 Ae	8.33±0.17 Ab	6.30±0.17 Ae
Ürün Cinsi Ort.	AG K	0.44±0.02a	67.71±3.38 aA	257.10±31.2 cd	394.80±38.3 b	14.01±0.86 d	7.72±1.01 c	10.23±0.68 e
	AG VK	0.43±0.02a	51.63±2.64 b	315.90±15.1 b	402.50±28.2 b	17.53±0.36 c	10.20±0.75 a	14.00±1.73 a
	Çay K	0.30±0.02c	42.33±2.03 d	285.13±7.81 bc	791.80±35.9 a	22.83±4.31 a	6.90±0.30 d	11.00±0.75 d
	Çay VK	0.34±0.01b	50.16±0.30 c	497.60±53.1 a	765.90±11.1 a	19.53±2.14 b	6.76±0.14 d	10.34±0.20 e
	Çim K	0.34±0.01b	36.00±1.35 e	206.20±3.18 de	301.63±7.54 c	13.80±0.07 d	8.73±0.33 b	12.86±0.31 b
	Çim VK	0.18±0.02e	36.13±1.93 e	225.50±12.2 d	287.80±17.3 c	14.60±0.62 d	7.80±0.41 c	11.80±0.34 c
	Nar K	0.25±0.01d	27.60±1.36 g	159.00±6.69 ef	261.50±10.5 c	10.23±0.34 e	4.01±0.33 f	8.40±1.09 f
	Nar VK	0.20±0.01e	30.13±0.31 f	137.60±6.60 f	181.31±8.48 d	11.16±0.26 e	4.67±0.94 e	5.23±0.36 g
Zaman Ort.	30	0.25±0.01 c	40.28±3.20 c	237.00±29.0 b	354.20±41.7 b	17.26±2.05 a	5.48±0.47 c	9.30±0.68 c
	60	0.32±0.02 b	46.23±2.93 a	254.70±13.7 b	461.90±47.0 a	13.72±0.46 c	8.03±0.60 a	12.12±0.90 a
	90	0.35±0.02 a	41.64±2.09 b	289.80±30.5 a	454.10±48.6 a	15.40±0.75 b	7.77±0.31 b	11.02±0.44 b
F	Ürün cinsi	67.99**	993.87**	14906.57**	3246.46**	102.01**	223.93**	391.05**
	Zaman	48.41**	145.91**	2241.25**	586.19**	46.99**	286.68**	148.00**
	Cins*Zaman	2.93*	72.64**	2559.77**	59.88**	69.07**	48.56**	143.84**
LSD	Ürün cinsi	0.03419	1.199	48.69	48.47	1.199	0.3850	0.3919
	Zaman	0.02094	0.7342	29.82	29.68	0.7342	0.2358	0.2400
	Cins*Zaman	0.05921	2.077	84.33	83.95	2.077	0.6669	0.6789

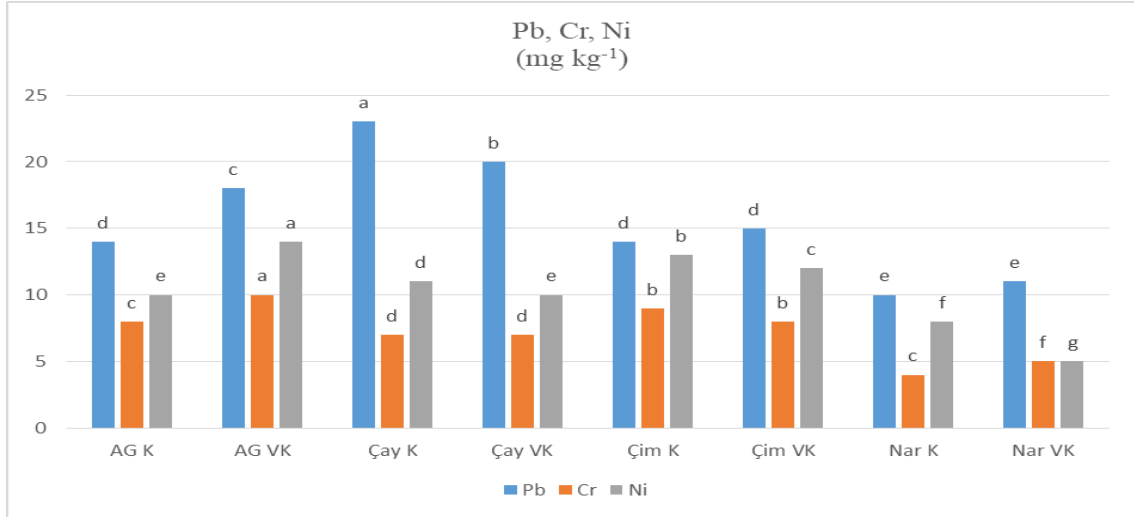
*Büyük harfler ürün cinsi arasındaki farkı, küçük harfler ise zamanlar arasındaki farklı p<0.05 olacak şekilde Duncan çoklu karşılaştırma testine göre verilmiştir.

4.1.2.2 Toplam ağır metal (Cd, Pb, Cr, Ni) miktarlarında meydana gelen değişimler

Ürünlerin toplam ağır metal (Pb, Cr, Ni) içerikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ürünlerin Cd içerikleri okuma limitinin (0,05) altında olduğundan Çizelgede gösterilmemiş ve değerlendirmeye alınmamıştır.

Ürünlerin toplam ağır metal (Pb, Cr, Ni) içerikleri bakımından ürün cinsleri arasında, zamana bağlı değişimler açısından ve ürün cinsi ve zaman arasında $p < 0.01$ düzeyinde önemli ilişki belirlenmiştir. Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Pb içerikleri en yüksek Çay-K örneğinde, en düşük Pb değeri ise Nar-K örneğinde belirlenmiştir. Ürünlerin ortalama Cr içeriklerine bakıldığında en yüksek Cr AG-VK örneğinde, en düşük Cr ise Nar-K örneğinde belirlenmiştir. Ürünlerin Ni içerikleri açısından ele alındığında, en yüksek Ni AG-VK örneğinde, en düşük Ni ise Nar-VK örneğinde belirlenmiştir (Şekil 4.8). K ve VK ürünlerinde ağır metal dağılımlarının dalgalanma eğilimi gösterdiği belirli bir yol izlemediği görülmektedir.

Zamana bağlı ağır metal içeriklerindeki ortalama değerler ele alındığında, Pb miktarlarının zamana bağlı azaldığı, Cr ve Ni’in ise artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.8). Song vd. (2014), solucanlı ve solucansız mantar kalıntıları eklenmiş hayvan gübresinin kompostlanmasıyla ilgili yaptıkları dört aylık pilot ölçekli deneme sonuçlarına göre, kompostlama, solucandan bağımsız olarak toplam ağır metal (As, Pb, Cu, Zn) konsantrasyonlarını artırmasına rağmen, DTPA ile ekstrakte edilen ağır metallerin mevcudiyeti, özellikle solucanlarla yapılan işlemlerde önemli ölçüde ($P < 0.05$) azalmıştır. Araştırmacılara göre, ağır metallerin mevcut fraksiyonlarından mevcut olmayan fraksiyonlarına geçiş, ya solucan dokularında daha yüksek olan toplam ağır metal konsantrasyonlarının gösterdiği gibi solucan biyoakümüülasyonundan ya da nemlendirmenin teşvik edilmesiyle belirtildiği gibi kararlı metal-humus komplekslerinin oluşumundan kaynaklanmaktadır. Song vd. (2014)’e göre, elde ettikleri sonuçların, vermikompostlama işleminin besin kalitesini artırabileceğini ve tarımsal organik atıkların ağır metal riskini azaltabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.8 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre Pb, Cr ve Ni değerlerindeki değişimler

4.1.3 İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin biyokimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler

İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin biyolojik ve biyokimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler her ürün çeşidine göre kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Çizelge 4.3 ve 4.4’de her bir ürünün K ve VK sonuçlarının Duncan çoklu karşılaştırma testine göre sırasıyla enzim aktiviteleri (β -glukosidaz, alkalın fosfataz ve üreaz) ve bakteri (*Enterobacteriaceae* ve toplam bakteri) sayım sonuç ve değerlendirmeleri verilmiştir.

4.1.3.1 Kompost ve vermikompost örneklerinin enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler

Bazı enzimler organik materyalin ayrışmasında, organik madde dönüşümünde, besin döngüsünde, azot fiksasyonunda, ksenobiyotikler, pestisitler, farmasötik ve kişisel bakım ürünleri gibi tehlikeli maddelerin detoksifikasyonunda önemlidir ve böylece ekosistemi düzenler (Gunjal vd., 2019). Çalışma kapsamında seçilen enzimler, organik maddenin (β -D-lukosidaz, alkalın fosfataz, üreaz) ayrışmasında yer alan metabolik süreçlerde rol oynayan ve hidrolitik parçalanmayı katalize eden hidrolaz sınıfına giren enzimlerdir.

Glikosidazlar (EC no. 3.2.1.22.), organik materyallerin selülozdan glikoza hidrolizini katalize eden ve doğada yaygın bir şekilde dağılım gösteren enzimlerdir. Bu enzimin hidroliz ürünleri toprak organizmalarının önemli enerji kaynaklarıdır (Eivazi ve Zakaria 1993; Passos vd., 2008).

β - glukosidaz enzimi, β -Dglucopyranoside'in hidrolozini gerçekleştiren ve selülozun sakkarafikasyonunu sağlayan önemli enzimlerden birisidir (Bandick ve Dick, 1999). Beta glukosidaz enzimi, dışarıdan yapılan uygulamalara karşı hızlı tepki vermesinden ve doğrudan toprak organik maddesinin miktarı ve kalitesiyle ilgili olmasından dolayı toprağın önemli bir biyolojik verimlilik indikatörü olarak bilinmektedir (Almeida vd., 2015).

İnkübasyon denemesinden elde edilen organik ürünlerin β - glukosidaz enzim aktivitesi içerikleri bakımından ürün cinsleri arasında, zamana bağlı değişimler açısından ve ürün cinsi ve zaman arasında $p<0.01$ düzeyinde önemli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre β - glukosidaz enzim aktivitesi değeri en yüksek AG-VK örneğinde, en düşük β - glukosidaz enzim aktivitesi değeri ise Çay-K örneğinde belirlenmiştir. Vermikompost örneklerinde genel olarak β - glukosidaz enzim aktivitesi kompost örneklerine göre yüksek bulunmuştur. Hrebeckova vd (2019), farklı atıklardan elde ettikleri vermikompostlarda β - glukosidaz aktivitesinin en yüksek olduğu örneklerin en düşük olan EC değerinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

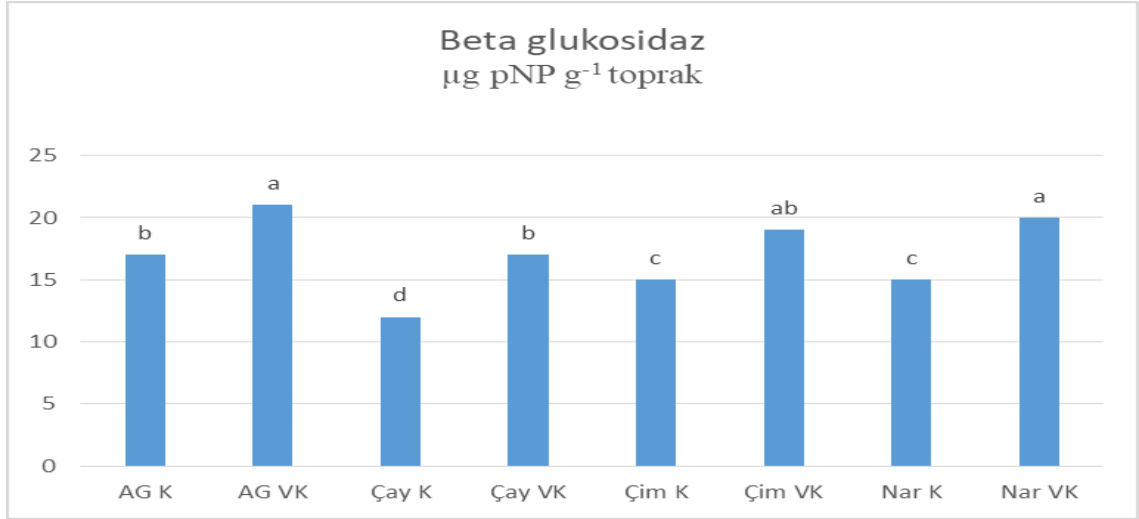
Zamana bağlı ortalama değerler ele alındığında, inkübasyon süresince β -glukosidaz enzim aktivitesi içeriklerinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.9). Aponte vd. (2020) ve Gurmessa vd. (2021), β -glukosidaz aktivitesinin, solucan gübresinin olgunluğunu gösteren çözünebilir organik karbonla güçlü pozitif korelasyon ($p< 0.05$) gösterdiğini ve bu bulguların vermikompostlamanın erken aşamalarında besin salınımındaki artışın enzim aktivitesini azaltabileceğini ve daha sonraki kompostlama aşamalarında artan enzim aktivitesinin stabilize belirteçleri olabileceğini belirtmişlerdir. Mondini vd. (2004), pamuk atığının kompost haline getirilmesi ve pamuk atığının bir miktar bahçe atığı ile kompost haline getirilmesi durumunda, β -glukosidaz aktivitesinin kompostun yaşıyla birlikte arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, bu aktivitenin 40 günlük

kompostlamadan sonra azaldığını, 80 günlük kompostlamadan sonra arttığını ve 120 gün ve 180 günlük kompostlamadan sonra ise tekrar azaldığını ortaya koymuşlardır. Fernandez-Gomez vd. (2010) ise, vermikomposttaki β -glukosidaz aktivitesinin biyoatığın türüne bağlı değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4.3 İnkübasyon denemesi süresince (30., 60., 90. günler) kompost ve vermikompost örneklerinin bazı enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler

Uygulamalar		β - glukosidaz $\mu\text{g pNP g}^{-1}$ toprak	Alkalın Fosfataz $\mu\text{g pNP g}^{-1}$ toprak	Üreaz $\text{mg NH}_4\text{-N/100 g toprak}$
Ürün Cinsi	Zaman (Gün)			
AG K	30	44.50 $\pm$ 2.26 Abc	44.55 $\pm$ 8.72 Abc	56.12 $\pm$ 5.06 Ad
	60	2.65 $\pm$ 0.10 Bc	10.61 $\pm$ 0.35 Ba	30.73 $\pm$ 3.93 Ba
	90	4.05 $\pm$ 0.12 Ba	11.03 $\pm$ 2.30 Ba	28.37 $\pm$ 0.57 Bab
AG VK	30	50.47 $\pm$ 2.31 Aa	42.29 $\pm$ 3.54 Acd	97.74 $\pm$ 4.38 Ab
	60	6.86 $\pm$ 0.16 Bab	10.06 $\pm$ 0.33 Ba	6.33 $\pm$ 0.95 Cc
	90	4.20 $\pm$ 0.25 Ba	8.93 $\pm$ 0.46 Ba	27.97 $\pm$ 1.62 Bab
Çay K	30	27.69 $\pm$ 0.30 Ae	35.56 $\pm$ 2.43 Ade	77.82 $\pm$ 1.58 Ac
	60	2.58 $\pm$ 0.51 Bc	10.70 $\pm$ 0.49 Ba	16.23 $\pm$ 0.89 Bbc
	90	4.37 $\pm$ 0.11 Ba	12.35 $\pm$ 2.27 Ba	15.30 $\pm$ 0.31 Bb
Çay VK	30	43.01 $\pm$ 0.13 Ac	50.22 $\pm$ 4.05 Aab	76.71 $\pm$ 4.43 Ac
	60	4.45 $\pm$ 1.56 Bbc	9.11 $\pm$ 0.61 Ba	8.78 $\pm$ 2.52 Cc
	90	4.93 $\pm$ 0.59 Ba	11.70 $\pm$ 1.61 Ba	30.20 $\pm$ 0.73 Bab
Çim K	30	38.72 $\pm$ 0.33 Ad	34.43 $\pm$ 0.69 Ade	41.36 $\pm$ 3.81 Ae
	60	2.80 $\pm$ 0.52 Bc	10.84 $\pm$ 0.18 Ba	28.24 $\pm$ 1.65 ABab
	90	3.31 $\pm$ 1.51 Ba	8.57 $\pm$ 0.11 Ba	21.06 $\pm$ 1.79 Bab
Çim VK	30	43.87 $\pm$ 0.61 Abc	57.77 $\pm$ 4.73 Aa	111.80 $\pm$ 14.1 Aa
	60	8.32 $\pm$ 0.15 Ba	10.62 $\pm$ 0.04 Ba	6.19 $\pm$ 0.31 Cc
	90	4.44 $\pm$ 0.34 Ca	9.71 $\pm$ 0.66 Ba	25.90 $\pm$ 11.3 Bab
Nar K	30	36.00 $\pm$ 3.41 Ad	33.33 $\pm$ 0.31 Ae	41.96 $\pm$ 0.87 Ae
	60	3.32 $\pm$ 0.84 Bc	10.42 $\pm$ 0.34 Ba	8.09 $\pm$ 0.40 Bc
	90	4.99 $\pm$ 0.88 Ba	10.83 $\pm$ 2.41 Ba	15.38 $\pm$ 1.36 Bb
Nar VK	30	46.77 $\pm$ 1.28 Ab	51.85 $\pm$ 5.42 Aab	82.82 $\pm$ 2.01 Ac
	60	8.51 $\pm$ 0.29 Ba	9.10 $\pm$ 0.18 Ba	9.68 $\pm$ 2.19 Cc
	90	4.10 $\pm$ 0.10 Ca	8.01 $\pm$ 0.04 Ba	33.69 $\pm$ 8.72 Ba
Ürün Cinsi Ort.	AG K	17.07 $\pm$ 6.89b	22.06 $\pm$ 6.20 abc	4.81 $\pm$ 4.81 b
	AG VK	20.51 $\pm$ 7.53a	20.43 $\pm$ 5.57 bc	13.9 $\pm$ 13.9 a
	Çay K	11.55 $\pm$ 4.05d	19.54 $\pm$ 4.13 bc	10.4 $\pm$ 10.4 ab
	Çay VK	17.47 $\pm$ 6.41b	23.68 $\pm$ 6.77 ab	10.1 $\pm$ 10.1 ab
	Çim K	14.94 $\pm$ 5.96c	17.95 $\pm$ 4.14 c	3.25 $\pm$ 3.25 b
	Çim VK	18.88 $\pm$ 6.28ab	26.04 $\pm$ 8.05 a	17.0 $\pm$ 17.0 a
	Nar K	14.77 $\pm$ 5.41c	18.20 $\pm$ 3.85 c	5.17 $\pm$ 5.17 b
	Nar VK	19.80 $\pm$ 6.79a	22.99 $\pm$ 7.39 abc	11.11 $\pm$ 11.1 ab
Zaman Ort.	30	41.38 $\pm$ 1.48 a	43.75 $\pm$ 2.21 a	5.25 $\pm$ 5.25 a
	60	4.93 $\pm$ 0.54 b	10.18 $\pm$ 0.17 b	2.02 $\pm$ 2.02 a
	90	4.30 $\pm$ 0.22 b	10.14 $\pm$ 0.55 b	2.02 $\pm$ 2.02 a
F	Ürün cinsi	20.27**	3.15*	9.26**
	Zaman	2720.92**	392.65**	360.92**
	Ürün cinsi*Zaman	11.53**	3.93**	13.29**
LSD	Ürün cinsi	1.889	4.544	7.694
	Zaman	1.156	2.782	4.712
	Ürün cinsi*Zaman	3.271	7.870	13.33

*Büyük harfler ürün cinsi arasındaki farkı, küçük harfler ise zamanlar arasındaki farklı p<0.05 olacak şekilde Duncan çoklu karşılaştırma testine göre verilmiştir.



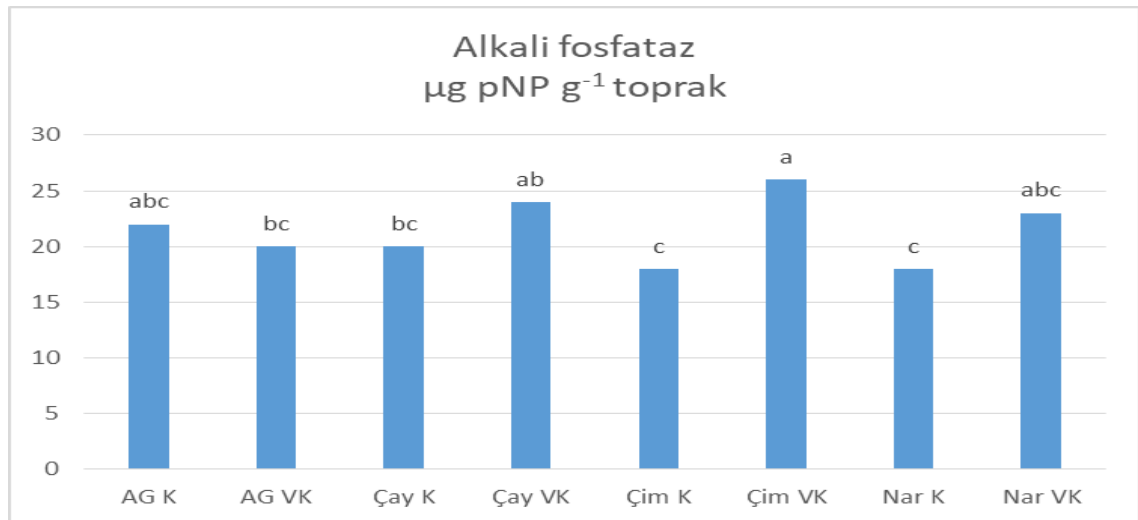
Şekil 4.9 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre β -glukosidaz enzim aktivitelerindeki değişimler

Alkalın fosfataz enzimi, organik fosforlu bileşiklerin hidrolizini gerçekleştirerek inorganik fosfat anyonlarının oluşmasını sağlayan ekstraselüler bir enzimdir (Amador vd. 1997). Fosfat çözündürücü mikroorganizmalar, asit ve alkalın fosfataz şeklinde hücre dışı fosfataz salgılayarak organik olarak bağlı fosforun biyolojik olarak kullanılabilir formlara dönüştürülmesi için çok önemlidir (Zheng vd. 2019). Fosfor döngüsünde önemli rolü olan fosfataz enzim aktivitesi toprağa uygulanan tarımsal yönetim pratiklerine duyarlı diğer bir ekstraselüler toprak enzimidir (Makoi ve Ndakidemi 2008). Toprak kalitesinin göstergesi olarak yaygın olarak başvuru alan fosfataz enzim aktivitesi toprağın organik madde miktarı, toprağa uygulanan organik ve mineral gübrelerden önemli ölçüde etkilenmekte ve buna göre tepki vermektedir. Toprakta bulunan fosfataz miktarı mikroorganizma sayısına ve organik maddelerin, mineral ve organik gübrelerin çeşit ve miktarına göre değişir (Banerjee vd. 2012).

İnkübasyon denemesi süresince organik ürünlerin alkalın fosfataz enzim aktivitesi içerikleri bakımından ürün cinsleri arasında $p < 0,05$, zamana bağlı değişimler açısından ve ürün cinsi ile zaman arasında ise $p < 0,01$ düzeyinde önemli ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre alkalın fosfataz enzim aktivitesi değeri en yüksek Çim-VK örneğinde, en düşük alkalın fosfataz enzim aktivitesi değeri ise Çim-K örneğinde belirlenmiştir. Vermikompost örneklerinde genel olarak alkalın fosfataz enzim aktivitesi kompost örneklerine göre oldukça yüksek

bulunmuştur. Pramanik vd. (2007), büyükbaş hayvan gübresi, çimen, suda yaşayan yabani otlar ve evsel katı atıklarından *E. fetioda* kullanarak solucan gübresi elde etmişler ve 70-85 günlük vermikompostlamadan sonraki en yüksek aktivitenin büyükbaş hayvan atıklarından elde edilen vermikompostta bulunduğunu belirtmişlerdir.

Zamana bağlı ortalama değerler ele alındığında, inkübasyon süresince alkalın fosfataz enzim aktivitesi içeriklerinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.10). Kızılkaya vd. (2010), yaptıkları çalışmada alkalın fosfataz aktivitesinin, vermikompostlama döneminde tüm organik atık karışımlarında kademeli olarak azaldığını, enzim aktivitelerinin belirlenmesinin vermikompostlama prosesinin durumunu karakterize etmede faydalı olabileceğini belirtmişlerdir. Santana vd. (2020), çalışmalarında alkalın fosfataz aktivitesini, substratın en yüksek ve alkalın fosfataz aktivitesi için uygun pH'ın olduğu vermikompostlamanın orta döneminde (30 ila 360 gün) en yüksek miktarda olduğunu belirlemişlerdir. Vermireaktördeki yüksek pH ve yüksek kullanılabilir fosfor içeriğinin (Olsen P), asit fosfataz aktivitesinde bir azalmaya yol açtığı (Fernández-Gómez vd. 2010), bu enzimin aktivitesinin, vermikompostun daha olgun olduğu ve fosfataz aktivitesini destekleyen 180 günlük solucan gübresinden sonra daha yüksek olduğu ise García-Sánchez vd. (2017) tarafından belirtilmiştir.



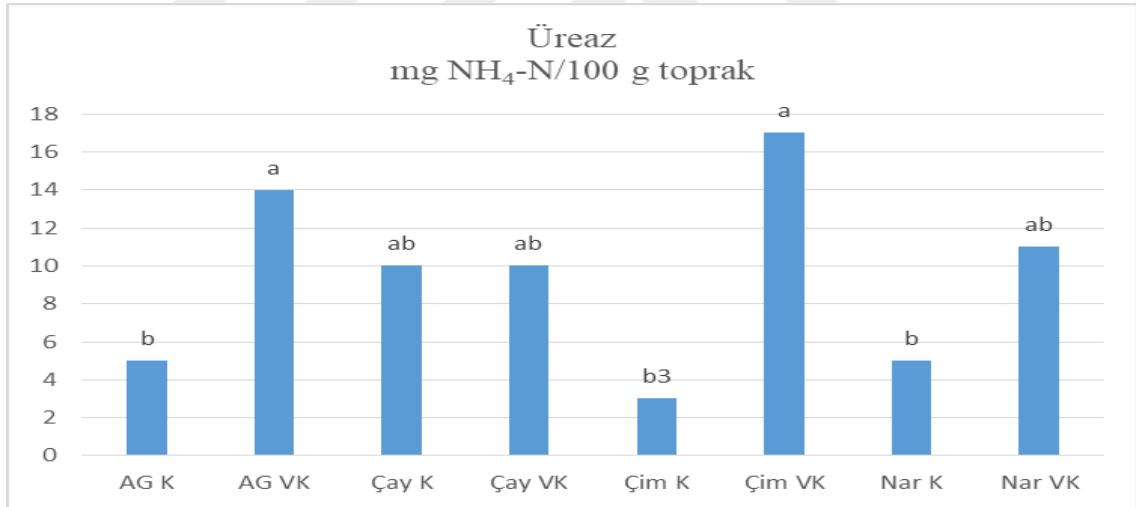
Şekil 4.10 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre alkalın fosfataz enzim aktivitelerindeki değişimler

Üreaz enzimi, ürenin CO₂ ve NH₃'a hidrolizini katalize eden ekstraselüler bir enzimdir (Bremner ve Mulvaney, 1978). Üreaz doğada yaygındır ve mikroorganizmalarda, bitkilerde ve hayvanlarda belirlenmiştir. Üreaz, tarımsal atıkların ayrışmasıyla yakından bağlantılı olan ürenin amonyum ve karbondioksit hidrolizinde yer alır (Vargas-García vd., 2010). Bu enzim, ön mide içeren sığır ve diğer hayvanlar gibi geviş getiren hayvanların nitrojen metabolizmasında önemli bir rol oynar (Huntington, 1986). Bitkilerde üreaz, üre metabolizmasında yer almakta olup, mikroorganizmaların üreyi azot kaynağı olarak kullanmalarına izin vermektedir (Moble ve Hausinger, 1989). Solucan kompostu stabilite değerlendirmesi için kullanılan analitik tekniklerin çoğunun aksine üreaz aktivitesinin belirlenmesi kesin, kolay, hızlı ve nispeten ucuzdur (Cayuela vd., 2008).

Kompostlama ve vermikompostlama sonucu elde edilen farklı organik ürünlerin üreaz enzim aktivitesi içerikleri bakımından ürün cinsleri arasında, zamana bağlı değişimler açısından ve ürün cinsi ile zaman arasında $p < 0.01$ düzeyinde önemli ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre üreaz enzim aktivitesi değeri alkalın fosfataz enzim aktivitesine benzer şekilde en yüksek Çim-VK örneğinde, en düşük üreaz enzim aktivitesi değeri ise Çim-K örneğinde belirlenmiştir. Vermikompost örneklerinin üreaz enzim aktivitesi kompost örneklerine göre yüksek bulunmuştur (Çay örneklerinde eşit bulunmuştur).

Zamana bağlı ortalama değerler ele alındığında, inkübasyon süresince üreaz enzim aktivitesi içeriklerinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.11). Üreaz aktivitesindeki tutarlı düşüş, muhtemelen mikrobiyal aktiviteyi destekleyen organik maddenin kolayca biyolojik olarak parçalanabilen fraksiyonlarının tükenmesine bağlanabilir (Benitez vd. 1999, Garcia vd. 1994). Benitez vd. (1999), üreaz aktivitesinin inkübasyonun ilk iki haftasında arttığını, ardından üreaz aktivitesinin 6. haftaya kadar azaldığını ve daha sonra inkübasyon periyodunun son aşamasında hafif bir artışla aşağı yukarı sabit kaldığını bildirmişlerdir. Kızılkaya vd. (2010) yapmış oldukları çalışmada, hücre dışı enzim aktivitelerinin vermikompostlama süresinin artmasıyla önemli ölçüde arttığını, üreaz aktivitesinin, solucan *E. fetioda*'nın girişinden 15 gün sonra arttığını, 60 gün boyunca *E. fetioda* ile farklı organik atık karışımlarında üreaz aktivitesindeki artış

eğiliminin stabilitenin arttığının göstergesi olduğunu belirtmişlerdir. Suthar (2010), vermikompostlama sürecinde üreaz aktivitesindeki erken şiddetli artışın, substrattaki yüksek başlangıç NH_4^+ konsantrasyonunun azalmasına bağlanabileceğini belirtmiştir. Vermikompostlama sürecine devam edilmesi, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen bileşiklerin azalmasına ve dolayısıyla mikrobiyal popülasyonun ve enzim aktivitesinin azalmasına veya sabit değerlere ulaşmasına neden olacaktır. Lakshmi vd. (2014)'e göre, vermikompostlama ilerledikçe, mikroorganizmalar için karbon bileşiklerinin mevcudiyeti azalır, bu da mikrobiyal biyokütledeki azalmayı ve dolayısıyla üreaz aktivitesini yansıtır. Sudkolai ve Nourbakhsh (2017), üreaz aktivitesinin, NH_4^+ içeriği azaldıkça (180 gün) arttığını, ancak daha sonra organik maddenin kolayca biyolojik olarak parçalanabilen fraksiyonlarındaki azalma nedeniyle azaldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar üreaz aktivitesini vermikompostlamada güvenilir bir indeksi olarak kabul etmişler ve vermikompost olgunluğunun bir indeksi olarak üreaz aktivitesini önermişlerdir.



Şekil 4.11 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre üreaz enzim aktivitelerindeki değişimler

4.1.3.2 İnkübasyon denemesi süresince kompost ve vermikompost örneklerinin bakteri sayımlarında meydana gelen değişimler

Farklı organik materyallerden kompost ve vermikompost elde edilmesi amacıyla 90 günlük sürede yürütülen inkübasyon denemesinde belirli zamanlarda örneklemeler

yapılarak ilgili yönetmelikte önerilen toplam bakteri (aerob, mikroaerofil), *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Enterobacteriaceae* ve *E.coli O157:H7* analizleri ve sayımları yapılmıştır.

Tüm zamanlarda tüm K ve VK örneklerinde *Enterobacteriaceae* ve toplam bakteri sayımları gerçekleştirilmiş olup *Salmonella sp.*, *E.coli* ve *E.coli O157:H7* ± 0 ise örneklerin hiçbirinde gözlemlenmemiştir. Bu nedenle yorum ve değerlendirmeler *Enterobacteriaceae* ve toplam bakteri sayımları için yapılmıştır.

***Enterobacteriaceae* sayısı;** *Enterobacteriaceae*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Shigella*, *Proteus*, *Serratia* ve diğer türler gibi bir dizi patojeni içeren geniş bir gram-negatif bakteri ailesidir. (Madigan vd., 2009). *Enterobacteriaceae*, glikozu asit ve genellikle gaz üretimiyle fermente eden, oksidaz negatif, nitratı nitrite indirgeyen ve genellikle katalaz pozitif olan, gram negatif, spor oluşturmeyen basillerin geniş ve çeşitli bir grubudur. (Brenner ve Farmer, 2005).

Kompostlama ve vermikompostlama sonucu elde edilen farklı organik ürünlerin *Enterobacteriaceae* sayıları değerlendirildiğinde, vermikompost örneklerinde genel olarak *Enterobacteriaceae* sayısı kompost örneklerine göre yüksek bulunmuştur. İnkübasyon zamanının başlangıcında Çim-K ve AG-VK hariç diğer tüm K ve VK ürünlerinin *Enterobacteriaceae* sayıları yüksek olmuş, inkübasyonun ilerleyen dönemlerinde *Enterobacteriaceae* sayılarında azalmalar meydana gelmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 İnkübasyon denemesi süresince (30., 60., 90. günler) kompost ve vermikompost örneklerinin bakteri sayımlarında meydana gelen değişimler

Örnekler	Enterobacteriaceae			Toplam bakteri		
	30	60	90	30	60	90
AHIR GÜBRESİ	4,68 x 10 ⁶	3,14 x 10 ⁴	0	1,29 x 10 ¹³	3,75 x 10 ¹³	6,82 x 10 ¹³
	4,6 x 10 ⁶	3,01 x 10 ⁴	0	1,28 x 10 ¹³	3,76 x 10 ¹³	6,8 x 10 ¹³
	4,75 x 10 ⁶	3,34 x 10 ⁴	0	1,29 x 10 ¹³	3,71 x 10 ¹³	6,81 x 10 ¹³
AHIR GÜBRESİ VERMİKOMPOSTU	1,57 x 10 ⁷	1,83 x 10 ⁴	0,64 x 10 ²	9,00 x 10 ¹³	9,90 x 10 ¹³	7,73 x 10 ¹⁴
	1,62 x 10 ⁷	1,8 x 10 ⁴	0,6 x 10 ²	9,01 x 10 ¹³	9,91 x 10 ¹³	7,75 x 10 ¹⁴
	1,5 x 10 ⁷	1,89 x 10 ⁴	0,58 x 10 ²	9,3 x 10 ¹³	9,89 x 10 ¹³	7,74 x 10 ¹⁴
ÇAY KOMPOST	7,18 x 10 ⁶	5,41 x 10 ⁴	0	9,05 x 10 ¹²	9,98 x 10 ¹²	7,27 x 10 ¹³
	7,02 x 10 ⁶	5,5 x 10 ⁴	0	9 x 10 ¹²	9,96 x 10 ¹²	4,52 x 10 ¹³
	7,47 x 10 ⁶	5,31 x 10 ⁴	0	9,01 x 10 ¹²	9,99 x 10 ¹²	4,56 x 10 ¹³
ÇAY VERMİKOMPOSTU	8,64 x 10 ⁶	1,44 x 10 ⁴	1,05 x 10 ²	1,01 x 10 ¹³	1,90 x 10 ¹³	3,18 x 10 ¹⁴
	8,5 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁴	1 x 10 ²	1,01 x 10 ¹³	1,91 x 10 ¹³	3,2 x 10 ¹⁴
	8,72 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁴	1,08 x 10 ²	1,05 x 10 ¹³	1,9 x 10 ¹³	3,19 x 10 ¹⁴
ÇİM KOMPOST	2,05 x 10 ⁶	1,55 x 10 ⁴	0	9,23 x 10 ¹²	6,54 x 10 ¹²	4,55 x 10 ¹²
	2,3 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁴	0	9,2 x 10 ¹²	6,52 x 10 ¹²	x 10 ¹²
	2,01 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁴	0	9,21 x 10 ¹²	6,54 x 10 ¹²	x 10 ¹²
ÇİM VERMİKOMPOSTU	4,18 x 10 ⁶	2,21 x 10 ⁵	3,18 x 10 ²	1,48 x 10 ¹³	1,04 x 10 ¹⁴	1,45 x 10 ¹⁴
	4,01 x 10 ⁶	2,01 x 10 ⁵	3,1 x 10 ²	1,45 x 10 ¹³	1,01 x 10 ¹⁴	1,45 x 10 ¹⁴
	4,35 x 10 ⁶	2,35 x 10 ⁵	3,14 x 10 ²	1,49 x 10 ¹³	1,05 x 10 ¹⁴	1,48 x 10 ¹⁴
NAR KOMPOSTU	4,14 x 10 ⁶	2,17 x 10 ⁴	0	1,01 x 10 ¹²	4,34 x 10 ¹²	7,27 x 10 ¹³
	4,01 x 10 ⁶	3,2 x 10 ⁴	0	1,01 x 10 ¹²	4,3 x 10 ¹²	7,3 x 10 ¹³
	4,39 x 10 ⁶	2,15 x 10 ⁴	0	1,02 x 10 ¹²	4,33 x 10 ¹²	7,29 x 10 ¹³
NAR VERMİKOMPOSTU	9,18 x 10 ⁶	9,18 x 10 ⁶	1,18 x 10 ²	7,20 x 10 ¹²	9,80 x 10 ¹²	4,09 x 10 ¹³
	9,1 x 10 ⁶	9,2 x 10 ⁶	1,1 x 10 ²	7,03 x 10 ¹²	9,8 x 10 ¹²	4,1 x 10 ¹³
	9,3 x 10 ⁶	9,14 x 10 ⁶	1,17 x 10 ²	7,01 x 10 ¹²	9,79 x 10 ¹²	0,07 x 10 ¹³

*Büyük harfler ürün cinsi arasındaki farkı, küçük harfler ise zamanlar arasındaki farkı p<0.05 olacak şekilde Duncan çoklu karşılaştırma testine göre verilmiştir.

Tekrarlanan Ölçümlü Varyans Analizi Sonuçlarına göre (Çizelge 4.5), zaman faktörünün “LSD Testi” ile ikili karşılaştırılmaları sonucu; tüm zamanlar (30. 60 ve 90. gün) istatistiksel olarak (p<0.05) birbirinden farklı etki oluşturmuştur (Çizelge 4.6). Çizelge 4.6’da belirtildiği üzere 30. gün ve 60. gün arasında, 30. gün ve 90. gün arasında materyallerin *Enterobacteriaceae* miktarı açısından birbirlerinden farklı değerler gösterdiği, aralarındaki farkın ise istatistiksel olarak önemli olduğu (p<0.05), ancak 60. ve 90. günler arasında materyallerin *Enterobacteriaceae* miktarı açısından birbirlerinden farklı değerler göstermediği (p>0.05) görülmüştür.

Çizelge 4.5 *Enterobacteriaceae* sayımları için tanıtıcı istatistikler

Zaman	Ortalama	Standart Sapma	N
30	6992083,3329	4251515,85843	8
60	1194700,0000	3224573,05527	8
90	74,2500	108,41876	8

Çizelge 4.6 *Enterobacteriaceae* sayımları için zamanın ana etkilerinin ikili karşılaştırılması

(I) Zaman	(J) Zaman	Ortalamalar arası fark (I-J)	Standart hata	Önem ^b	%95 Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
30	60	5797383,333*	1691020,491	,011	1798755,269	9796011,397
	90	6992009,083*	1503136,674	,002	3437655,650	10546362,516
60	30	-5797383,333*	1691020,491	,011	-9796011,397	-1798755,269
	90	1194625,750	1140052,200	,330	-1501169,331	3890420,831
90	30	-6992009,083*	1503136,674	,002	-10546362,516	-3437655,650
	60	-1194625,750	1140052,200	,330	-3890420,831	1501169,331

Çalışmada elde edilen sonuçlar ($p < 0.05$) % 95 güven aralığı için karşılaştırılmıştır (*)
Çoklu karşılaştırmalar “LSD” testi ile belirlenmiştir (b)

Toplam Bakteri Sayısı; Kompostlama ve vermikompostlama sonucu elde edilen farklı organik ürünlerin toplam bakteri sayıları değerlendirildiğinde, vermikompost örneklerinde (Çay VK örnekleri hariç) toplam bakteri sayısı kompost örneklerine göre yüksek bulunmuştur. Çay-K örneklerinde ise toplam bakteri sayısı Çay-VK örneklerine göre yüksek bulunmuştur. Genel olarak inkübasyon süresi arttıkça hem K hem de VK örneklerinin toplam bakteri sayıları artış göstermiştir. (Çizelge 4.4).

Zaman faktörünün “LSD Testi” ile ikili karşılaştırmaları sonucu; zaman faktörü istatistiksel olarak **anlamlı bulunmamıştır** (Çizelge 4.7, 4.8).

Çizelge 4.7 Toplam bakteri sayımları için tanıtıcı istatistikler

Zaman	Ortalama	Standart Sapma	N
30	1932750000000,0000	29238880850523,57400	8
60	36174537499999,9900	41451938368832,38000	8
90	183318750000000,0000	258291941211955,00000	8

Çizelge 4.8 Toplam bakteri sayımları için zamanın ana etkilerinin ikili karşılaştırılması

(I) Zaman	(J) Zaman	Ortalamalar arası fark (I-J)	Standart hata	Önem*	%95 güven aralığı	
					Alt limit	Üst Limit
30	60	-16847037500000,000	10745852080314,650	,161	-42256939933140,780	8562864933140,785
	90	-16399125000000,000	81804479142587,280	,085	-357428105269477,940	29445605269477,938
60	30	16847037500000,000	10745852080314,650	,161	-8562864933140,785	42256939933140,780
	90	-147144212500000,000	82608767256398,360	,118	-342482906948663,400	48194481948663,410
90	30	163991250000000,000	81804479142587,280	,085	-29445605269477,938	357428105269477,940
	60	147144212500000,000	82608767256398,360	,118	-48194481948663,410	342482906948663,400

Çoklu karşılaştırmalar “LSD” testi ile belirlenmiştir (b)
Çalışmada elde edilen sonuçlar ($p < 0.05$) % 95 güven aralığı için karşılaştırılmıştır (*)

Tarım ve Orman Bakanlığı 23 Şubat 2018 tarihli “Tarımda Kullanılan Organik, Mineral Ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik” te patojenlerle ilgili sadece Kompost tip adı altında geliştirilen ürünler (evsel atıklardan elde edilecekler) için sınır değerleri ilan edilmiştir. Buna göre Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürürlükte olan mevcut yönetmelikte toplam bakteri için 1×10^3 , *Enterobacteriaceae* için de <10 kob/g veya kob/ml sınır değer verilmiştir. Aynı yönetmelikte hayvansal menşeli organik gübre ve toprak zenginleştiricilerin 24/1/2011 tarih ve 28152 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği ve bu Yönetmeliğe dayalı çıkarılan Tebliğ ve Talimatlar çerçevesinde üretilmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır.

4.1.4 İnkübasyon denemesi sonunda vermikompost örneklerinde belirlenen solucan sayı ve ağırlık değerleri

Farklı organik materyallerden vermikompost elde edilmesi amacıyla 90 günlük sürede yürütülen inkübasyon denemesinin başlangıcında her bir saksıya 10’ar adet *E. Foetida* ilave edilmiş, inkübasyonun sonlandırıldığı 90. günde ise saksılardaki solucanlar sayılmış ve tartılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir.

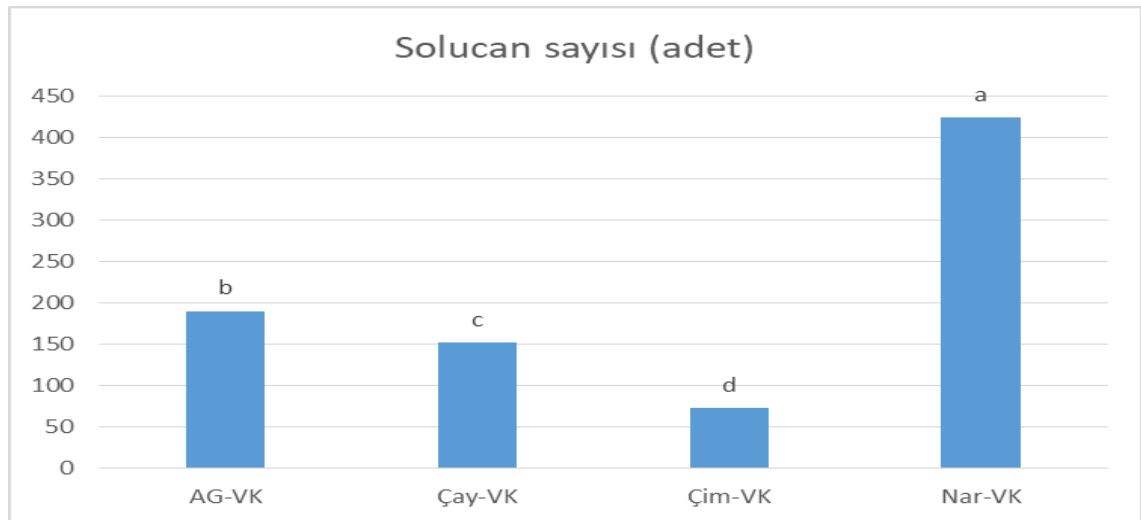
Çizelge 4.9 İnkübasyon sonrası vermikompost ürünlerinde belirlenen solucan sayı ve ağırlıkları

Uygulama Adı	Solucan sayısı (adet)	Solucan ağırlığı (g)
AG-VK	190.00±2.89b	42.05±0.08b
Çay-VK	152.00±1.15c	31.43±0.33c
Çim-VK	73.00±1.73d	27.45±1.30d
Nar-VK	424.00±1.73a	60.45±1.11a
F değeri	5815.21**	287.34**
LSD (p<0.05)	6.522	2.837

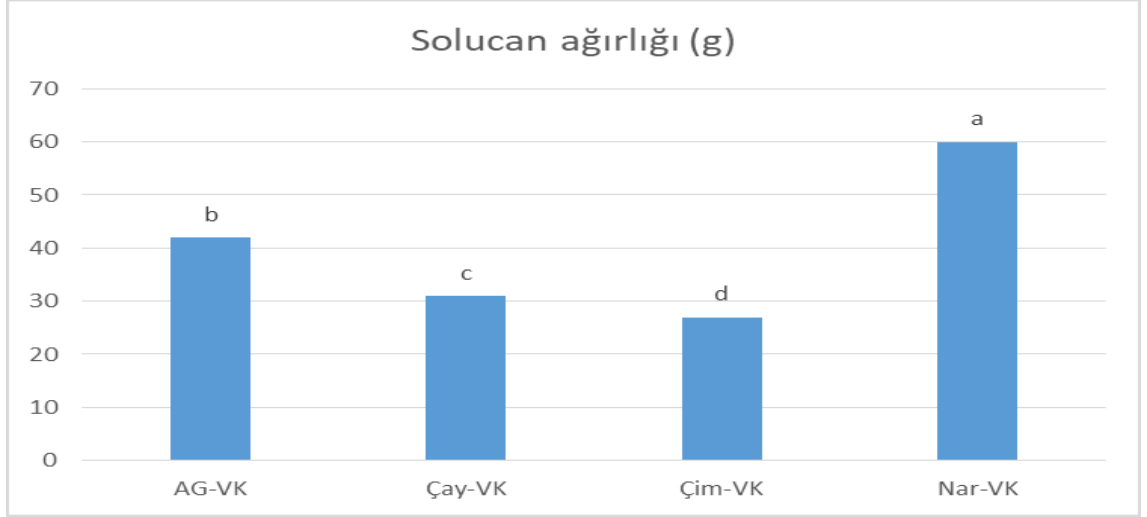
İnkübasyonun tamamlanıp vermikompost örnekleri elde edildikten sonra yapılan solucan sayımları değerlendirildiğinde, solucan sayı ve ağırlıklarında organik materyallere göre farklılıklar belirlenmiş ve bu farklılıklar istatistiksel olarak $p<0,05$ düzeyinde anlamlı olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, en fazla solucan sayı ve ağırlığı Nar-VK örneğinde sırasıyla 424 adet ve 60,45 g olarak belirlenmiş, bunu AG-VK örnekleri 190 adet ve 42,05g olarak takip etmiş, üçüncü sırayı Çay-VK örnekleri takip

etmiş ve solucan sayı ve ağırlıkları 152 adet ve 31,43g şeklinde belirlenmiştir. İnkübasyon sonunda en düşük solucan sayı ve ağırlık değerleri ise Çim-VK örneklerinde 73 adet ve 27,45g olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12, Şekil 4.13). Solucan biyokütlesi ve sayıları arasındaki bu fark, organik atıkların başlangıç karakteristiklerindeki farklılıktan kaynaklanıyor olabilir.

İnkübasyonun son gününde (90. gün) solucan sayı ve ağırlıkları ile VK örneklerinin içerik analizleri arasında yapılan pearson korelasyon analizine göre (EK 3), solucan sayı ve aktiviteleri arasında %5 düzeyinde önemli pozitif ($r: 0,97766^*$), pH ile solucan sayısı arasında %5 düzeyinde önemli negatif ($r: -0,92062^*$), ($r: 0,97766^*$), EC ile solucan sayısı arasında %5 düzeyinde önemli negatif ($r: -0,62683^*$), alınabilir fosfor ile solucan sayısı arasında %5 düzeyinde önemli negatif ($r: -0,618^*$), benzer şekilde Pb ve Cr ile solucan sayısı arasında da %5 düzeyinde önemli negatif (sırasıyla $r: -0,75252^*$, $r: -0,92975^*$) ilişki belirlenmiştir. Örneklerde belirlenen solucan ağırlıkları ile toplam azot arasında %5 düzeyinde önemli pozitif ($r: -0,59876^*$), pH ile önemli negatif ($r: -0,82269^*$), alınabilir potasyum ile önemli negatif ($r: -0,58252^*$), benzer şekilde Pb ve Cr ile solucan sayısı arasında da %5 düzeyinde önemli negatif (sırasıyla $r: -0,78299^*$, $r: -0,83914^*$) ilişki belirlenmiştir.



Şekil 4.12 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre VK örneklerinde solucan sayılarındaki değişimler



Şekil 4.13 Ürün cinslerinin ortalama değerlerine göre VK örneklerinde solucan ağırlıklarındaki değişimler

4.2 Kompost ve Vermikompost Örneklerinin Mikrobiyal Topluluk Yapılarında Meydana Gelen Değişimler

İnkübasyon denemesinden elde edilen kompost ve vermikompost örnekleri, Qiagen DNeasy® PowerSoil® toprak DNA kiti kullanılarak Wang vd. (2020) ve de Mesquita vd., (2020) tarafından bildirildiği gibi DNA ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir.

Organik materyal seçimi (ahır gübresi, çim, çay ve nar bitkisel atıkları) uygulananan kompostlama yöntemi (geleneksel kompostlama ve vermikompostlama) ve farklı raf ömrü koşullarının (oda ve buzdolabı koşullarında 180 gün) beta bakteriyel çeşitliği üzerine etkilerinin önem düzeylerini gösteren, Permütasyonel çok değişkenli varyans analizi (PERMANOVA) analiz tablosu Çizelge 4.10'de verilmiştir.

Çizelge 4-10 PERMANOVA analiz sonuçları

Faktörler	Sd	Kareler toplamı	Kareler Ort.	F.Model	R2	Pr (>F)	
Kompostlama yöntemi	1	2.3797	2.3798	12.0049	0.21468	0.001	***
Organik materyal çeşidi	3	0.9819	0.32730	1.6511	0.08858	0.033	*
Raf ömrü	1	0.4254	0.42542	2.1464	0.03838	0.024	*
Kompostlama Yöntemi-Organik materyal çeşidi	3	1.0156	0.33855	1.7078	0.09162	0.028	*
Kompostlama Yöntemi- Raf ömrü	1	0.3813	0.38133	1.9237	0.03440	0.044	*
Materyal-Raf ömrü	3	0.5860	0.19532	0.9853	0.05286	0.455	
Kompostlama yöntemi-Organik materyal çeşidi-Raf ömrü	3	0.5575	0.18584	0.9375	0.05029	0.530	
Artan	24	4.7576	0.19823	0.4292			
Toplam	39	11.0851	1.00000				

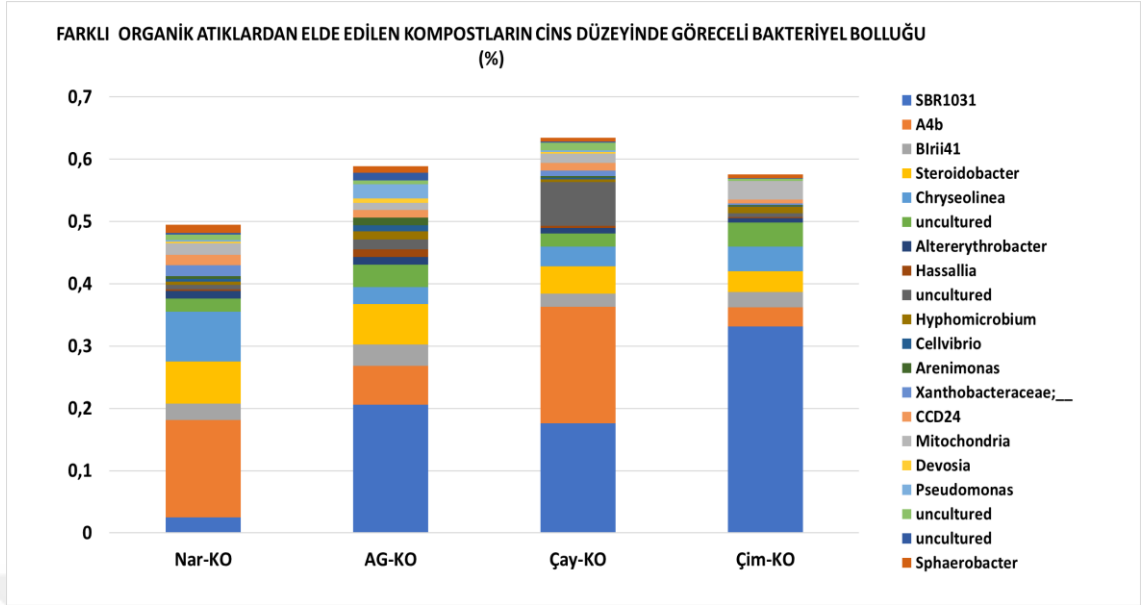
Permutasyon sayısı 999, **p ≤ 0.001, *p ≤ 0.05.

PERMANOVA analizi Kompostlama yöntemi-Organik materyal çeşidi (R^2 0.09162, $p \leq 0.05$) ve Kompostlama Yöntemi- Raf ömrü (R^2 0.03440, $p \leq 0.05$) interaksiyonlarının önemli olduğunu göstermiştir. Başka bir ifade ile kompostlama yönteminin seçimi, organik materyalin türü ve kompostlama sonrasındaki depolama koşulları kompostun bakteriyel çeşitliliğini istatistiksel açıdan önemli düzeyde etkilemektedir.

Sözkonusu faktörlerin elde edilen farklı kompostların cins (genus) düzeyinde göreceli bakteriyel bolluğu (GBB) üzerindeki etkileri aşağıda değerlendirilmiştir.

4.2.1 İnkübasyon denemesi süresince farklı organik atıklardan elde edilen kompost ve vermikompostların cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması

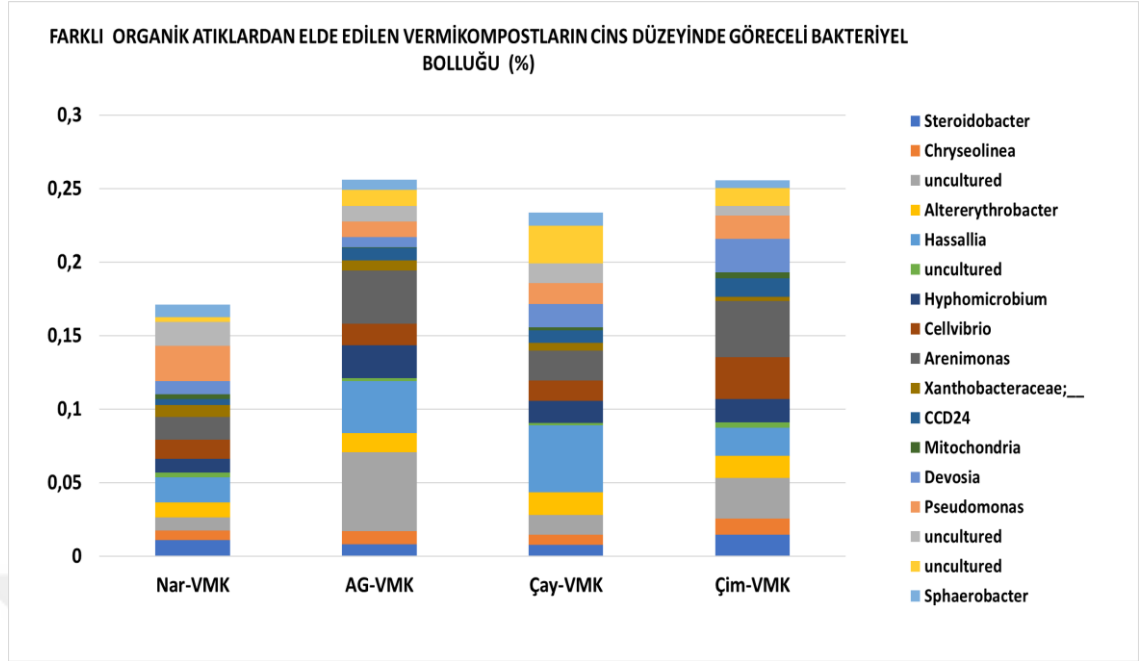
Kullanılan organik materyallerden elde edilen kompostlarda cins düzeyinde baskın olan taksonlar SBR1031 (mavi), A4B (turuncu), Blrii41 (gri) ve *Steroidobacter* (sarı) olarak belirlemiştir (Şekil 4.14). SBR1031 ve A4b *Anaerolineaceae* sınıfına aittir.



Şekil 4.14 Farklı organik atıklardan elde edilen kompostların cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluğu (%)

Chloroflexi familyasından *Anaerolineaceae*, kompostlama sırasında yoğun olarak çalışarak aerobik-termofilik ve ölü hücrelerdeki karbonhidratları ve polipeptitleri (amino asitler) ayrıştıran (Yamada vd., 2006) bir bakteri ailesidir. *Blrii41*'in soğuk koşullar altında organik topraklarda bol miktarda bulunduğu ve mısır köklerinde zenginleştiği bildirilmiştir (Beirinckx vd., 2020). *Steroidobacter*'ler birçoğu iyi bilinen toprak ve bitki ilişkili farklı metabolizmalara sahip bakterilerdir ve adını, steroid hormonaları parçalama yeteneğinden almış bir cinstir. Bitki pirinç samanı, şeker kamışı küspesi ve inek gübresi gibi organik atıklar içeren kompostlaştırma proseslerinde en fazla bulunan cinslerden biri olarak kaydedilmiştir (de Gannes vd., 2013). Adı geçen cinslerin baskınlık düzeyi organik materyalin türüne göre farklılık göstermiştir. En yüksek ve düşük bolluk düzeyi sırasıyla çay ve nar kompostunda kaydedilmiştir (Şekil 4.14).

Kullanılan organik materyallerden elde edilen verkompostlarda cins düzeyinde baskın olan taksonlar komposttan farklı olarak *Hassallia*, *Cellvibrio*, *Arenimonas* ve *Hypomicrobium* gibi cinsler olarak belirmiştir (Şekil 4.15).



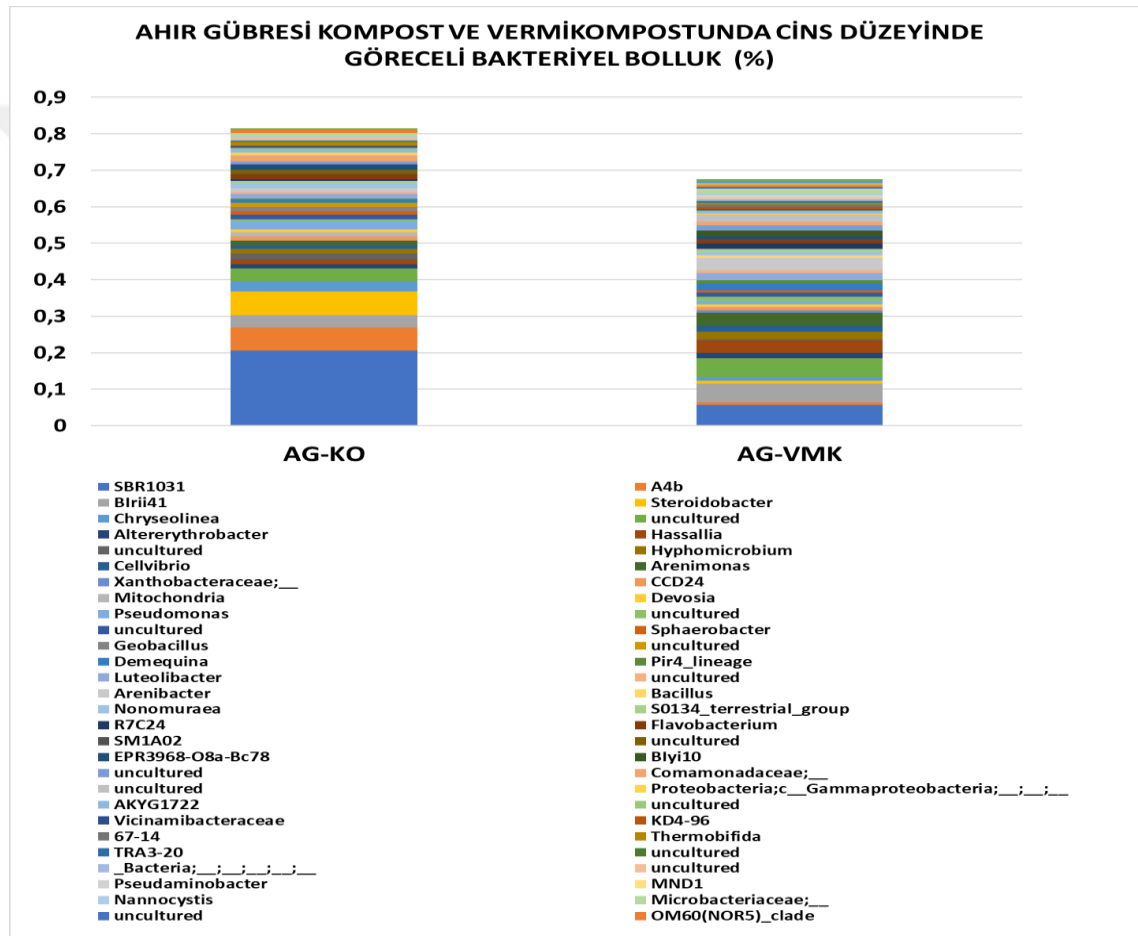
Şekil 4.15 Farklı organik atıklardan elde edilen verмикompostların cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluğu (%)

Hassallia bir siyanobakteridir. Literatürde verмикopostlama süreçleri ile ilgisine dair bir bulguya rastlanmamıştır. Vermikompostlama sürecinde selüloz lifleri üzerinde büyüyen ve polisakkaritleri parçalayabilen *Proteobacteria* familyasına ait mezofilik bir bakteri cinsi *Cellvibrio* (Yin vd. 2021) ile verмикompostun olgunluğu ve kalitesinin arttığı iddia edilmiştir. *Hypomicrobium* cinsi bakterilerin verмикompostlama süreçlerinde artan düzeylerine ilişkin önceki raporlar mevcuttur (Chen vd 2022). En yüksek ve düşük bolluk düzeyi sırasıyla ahır gübresi ve geleneksel kompostlamada da gözlemlendiği üzere nar verмикompostunda kaydedilmiştir.

Yukarıda belirtildiği üzere farklı organik materyallerin kompost ve verмикompost ürünleri arasındaki toplu kıyaslamalar sonrasında bireysel olarak her organik materyalin kompostlama ve verмикompostlama uygulamaları sonrasında göreceli bakteriyel bolluk içeriği ve düzeyleri arasında meydana gelen değişimler ikili olarak kıyaslanmıştır.

4.2.1.1 İnkübasyon denemesi ahır gübresi kompost ve vermikompostu göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması

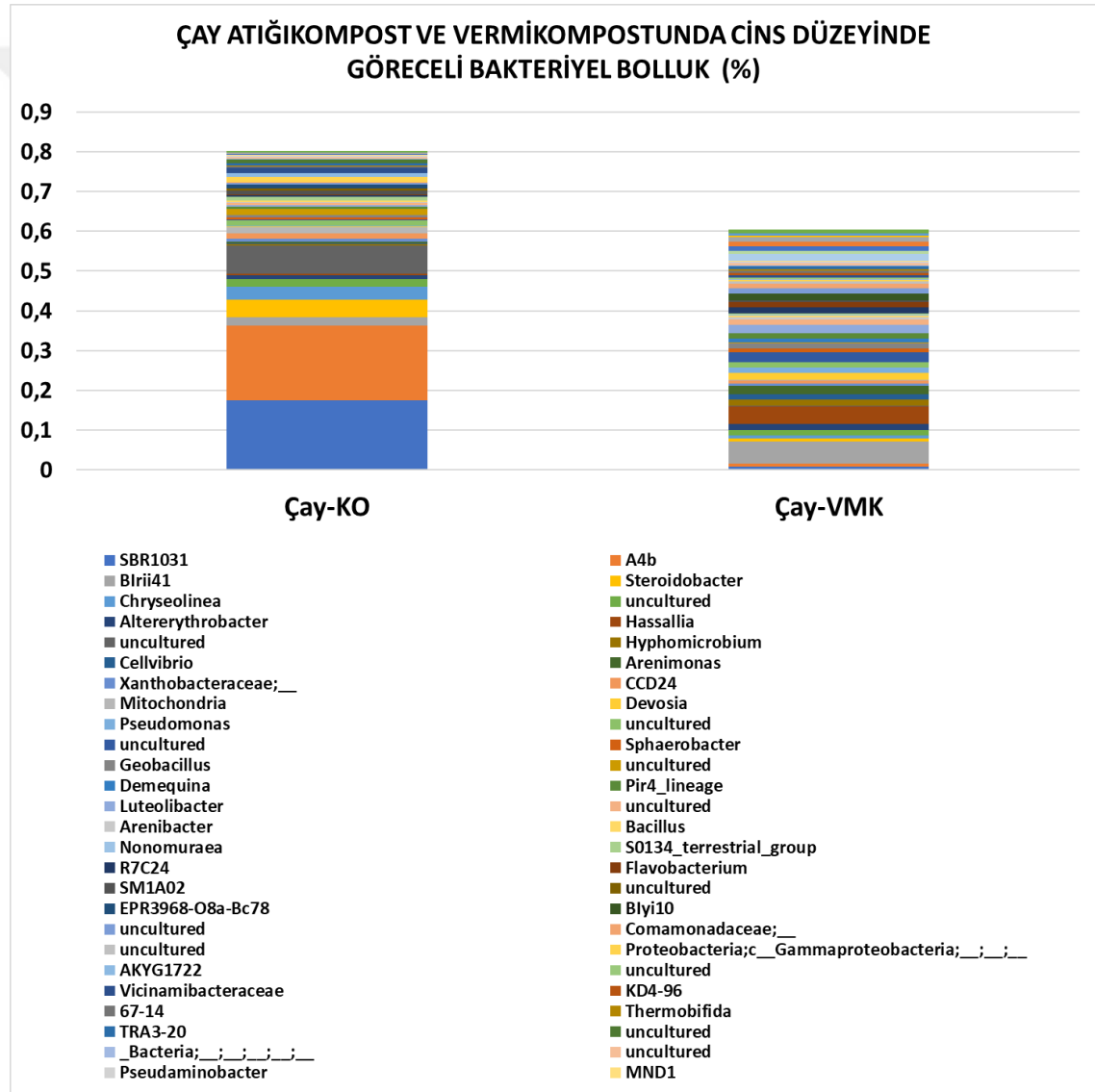
Ahır gübresi kompost ve vermikompost ürünleri kıyaslandığında ahır gübresinin kompostu oksijen kullanan ve yüksek sıcaklıklarda iyi büyüyen aerobik termofil *Chloroflexi* filumunun bazı cinsleri (SBR1031, A4B, Blrii41 ve *Steroidobacter*) tarafından domine edilirken vermikompostlama bu dominasyonu azaltarak daha homojen bir mikrobiyel topluluk yapısının oluşmasını sağlamıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Ahır gübresi kompost ve vermikompostunda cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk (%)

4.2.1.2 İnkübasyon denemesi çay atığı kompost ve vermikompostu göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması

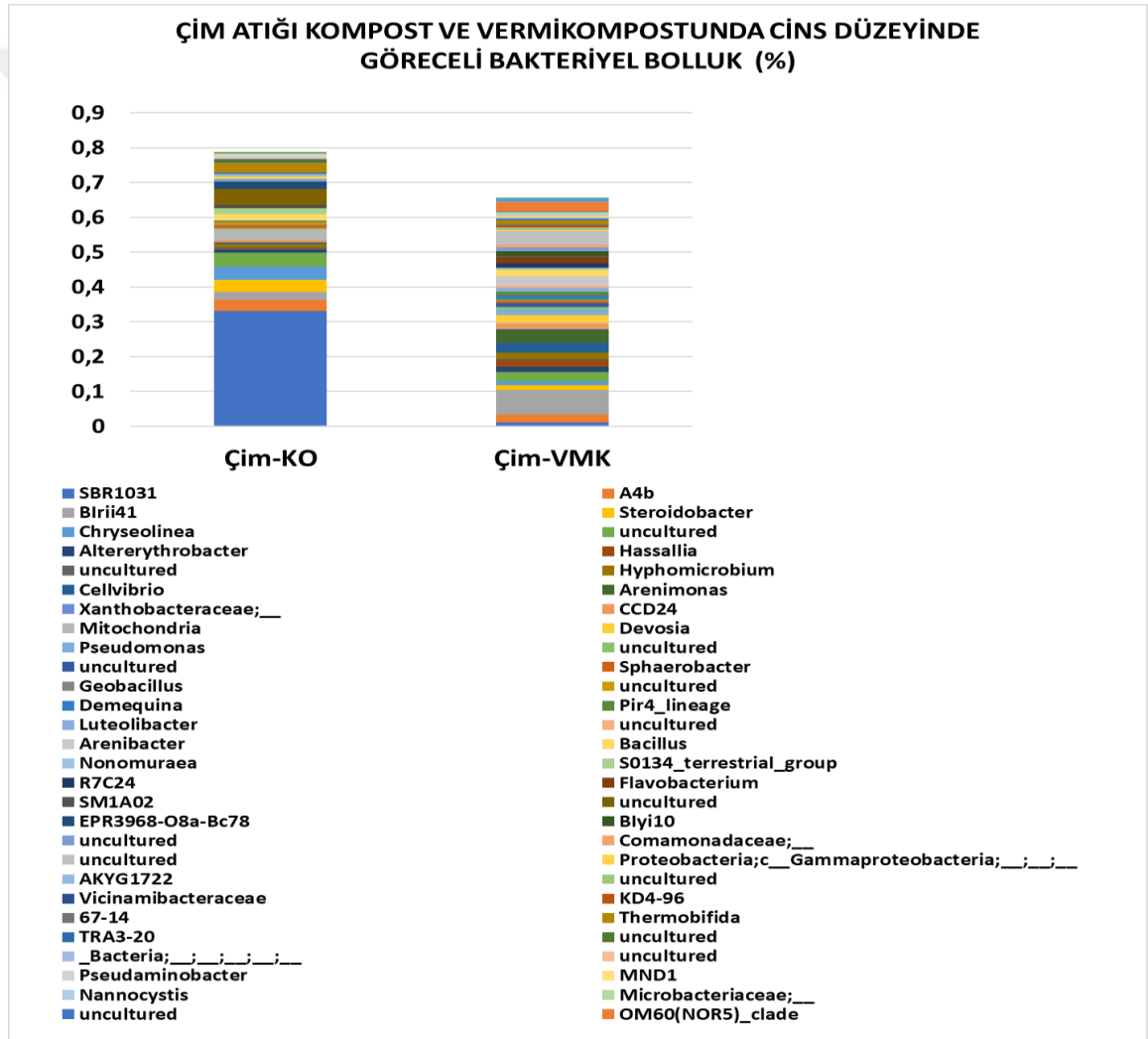
Çay atığı kompost ve vermikompost ürünleri arasındaki tespit edilen bakteriyel bolluk dağılımındaki değişimler ahır gübresi ürünlerinin sergilediği değişimlere paralellik göstermiştir. *Chloroflexi* filumuna ait SBR1031, A4B, Blrii41 ve *Steroidobacter* cinsleri kompostun bakteriyel içeriğini baskımlarken vermikompostlama bu dominasyonu azaltarak daha homojen bir mikrobiyel topluluk yapısının oluşmasını sağlamıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Çay atığı kompost ve vermikompostunda cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk (%)

4.2.1.3 İnkübasyon denemesi çim kompost ve vermikompostu göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması

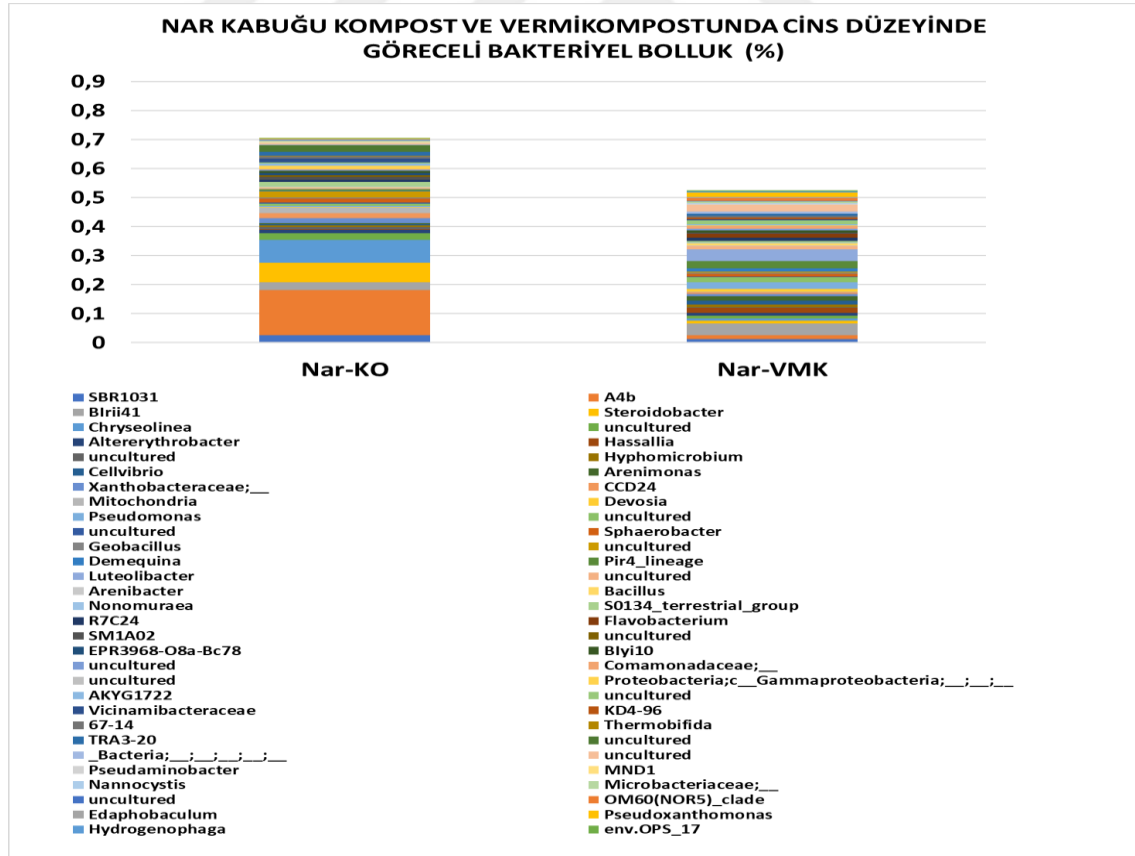
Çim kompost ve vermikompost ürünleri arasındaki tespit edilen bakteriyel bolluk dağılımındaki değişimler ahır gübresi ve çay atığından elde edilen kompost ve vermikompost ürünlerinin içeriklerindeki değişimlere benzer bir durum sergilemiştir. *Chloroflexi* filumuna ait SBR1031, A4B, Blrii41 ve *Steroidobacter* cinsleri kompostun bakteriyel içeriğini baskımlarken vermikompostlama bu dominasyonu azaltarak daha homojen bir mikrobiyel topluluk yapısının oluşmasını sağlamıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Çim kompost ve vermikompostunda cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk (%)

4.2.1.4 İnkübasyon denemesi nar kabuğu kompost ve vermikompostu göreceli bakteriyel bolluk karşılaştırması

Nar kabuğu kompost ve vermikompost ürünleri arasındaki tespit edilen bakteriyel bolluk dağılımındaki değişimler önceki bitkisel atıklardan elde edilen kompost ve vermikompost ürünlerinin içeriklerindeki değişimlere benzer bir durum sergilemiştir. Ahır gübresi, çay atıkları ve çim atıklarında gözlemlendiği üzere *Chloroflexi* familyasından *Anaerolineaceae* sınıfında yer alan SBR1031, A4B, Blrii41 ve *Steroidobacter* gibi taksonlarının daha büyük dilimlerle temsil edilirken nar kabuğunun vermikompostlanması durumunda bakteriyel çeşitliliği oluşturan cinslerin daha düşük yüzdelik dilimlerle temsil edildiği görülmektedir. Bu azalma kompostun bakteriyel çeşitliliğinin belirli bakteriler tarafından domine edilirken vermikompostlama sonrasında daha homojen ve dengeli bir mikrobiyel topluluk yapısının oluştuğu şeklinde yorumlanabilir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Nar kabuğu kompost ve vermikompostunda cins düzeyinde göreceli bakteriyel bolluk (%)

4.2.2 Depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

Mikroorganizma içeren organik gübre ve toprak düzenleyici materyaller ile ilgili en önemli ölçütlerden biri raf ömrü olup (soğuk veya sıcak) Türkiye koşullarında farklı depolama şartlarında ve sürelerinde kompost ve vermikompost ürünlerinin biyolojik çeşitliliği ve mikrobiyel biyokütle düzeyleri ile ilgili bilgi ve tecrübe bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada farklı organik materyallerden elde edilen kompost ve vermikompost ürünleri oda ve buzdolabı sıcaklığında depolanarak kısa (15 gün) ve uzun (180 gün) süreli koşullarda bakteriyel çeşitlilikte meydana gelen değişimler saptanmıştır.

4.2.2.1 Ahır gübresi kompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

Farklı sıcaklıklarda depolamanın ahır gübresi kompostu üzerine etkisi değerlendirildiğinde SBR1031 baskın cinsinin hem oda hem buzdolabı koşullarında artan bakteriyel bolluk düzeylerine ulaştığı görülmektedir. Genel olarak hem oda sıcaklığı hem de soğuk depolama koşullarında ahır gübresi kompostu bakteriyel bolluk düzeyleri azalma eğiliminde olmuştur (Şekil 4.20).

4.2.2.2 Ahır gübresi vermikompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

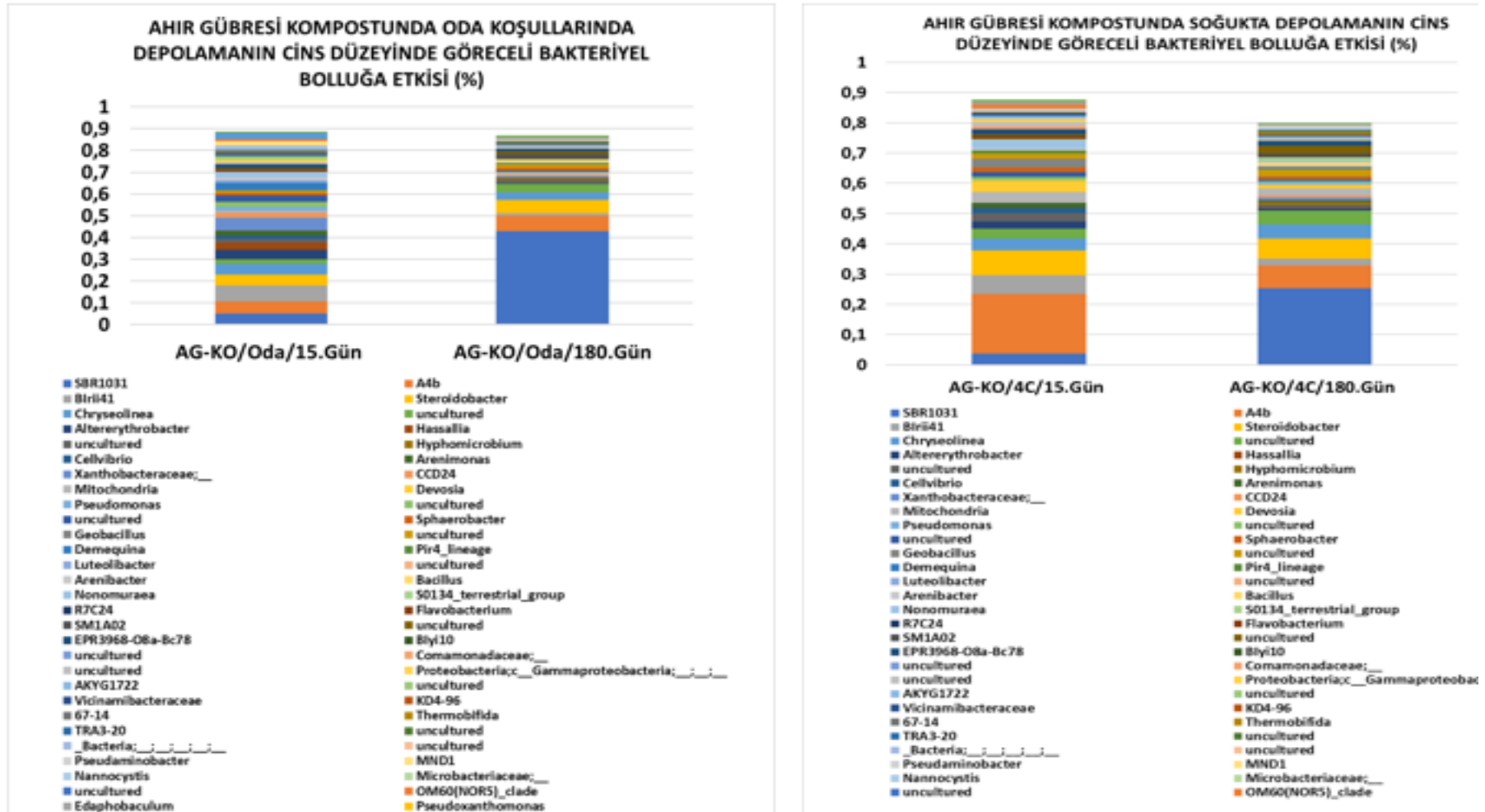
Farklı sıcaklıklarda depolamanın uzun vadede ahır gübresi vermikompostu üzerindeki genel etkisine bakıldığında; sıcak koşulda genel bakteriyel bolluk artmakta ve bakteriyel taksonların göreceli bakteriyel bolluk düzeyleri dengelenmiş (birbirine yakın yüzde değerler sergilemiş); diğer yandan soğuk koşullarda uzun vadede hem genel hem de bireysel bakteriyel bolluk düzeyleri azalma eğiliminde olmuştur (Şekil 4.21).

4.2.2.3 ay kompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

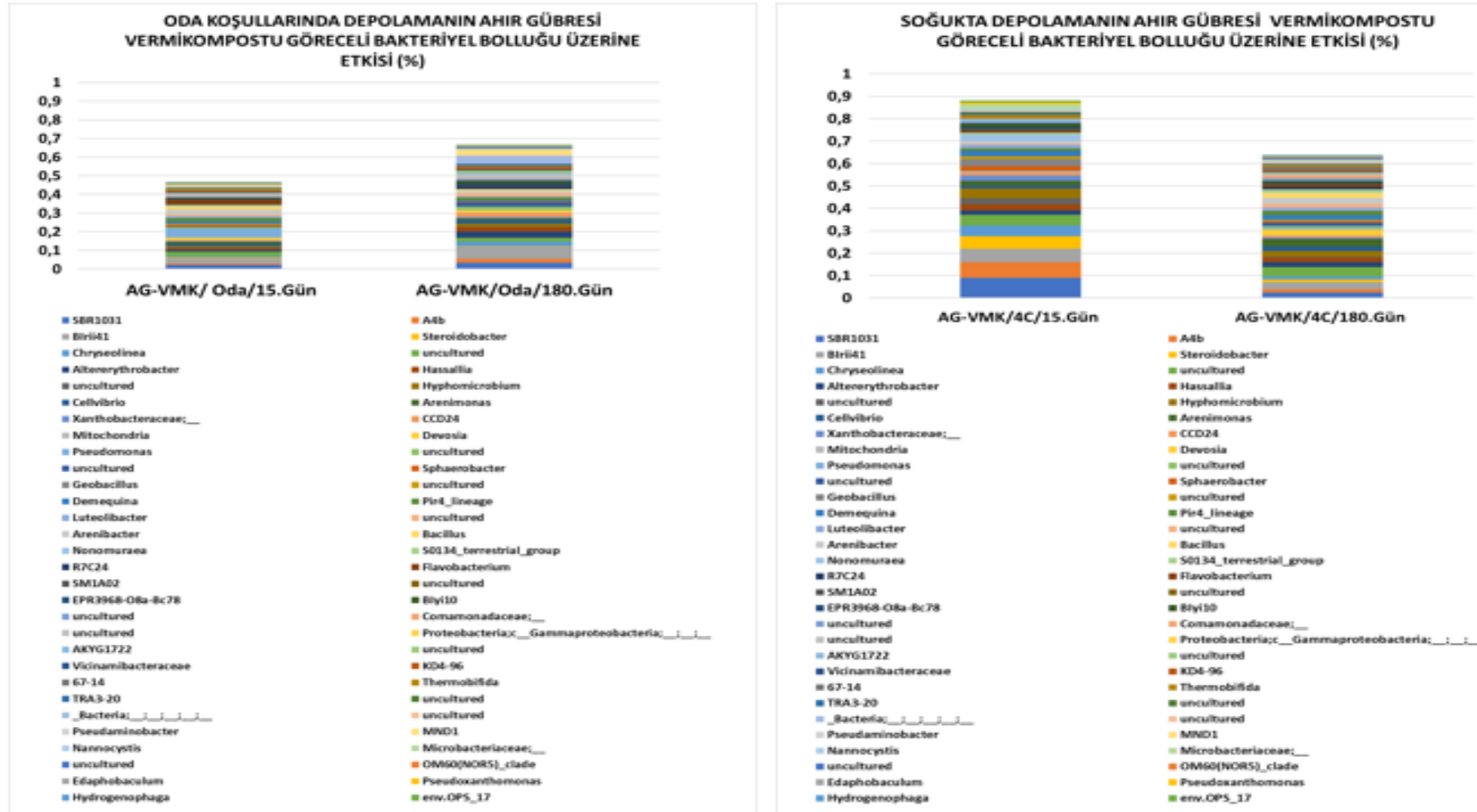
Farklı sıcaklıklarda depolamanın çay atığı kompostu üzerine etkisine bakıldığında sıcak-soğuk depolama koşullarında baskın taksonların zamanla artma eğiliminde olduğu görölmektedir (Şekil 4.22).

4.2.2.4 ay vermikompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

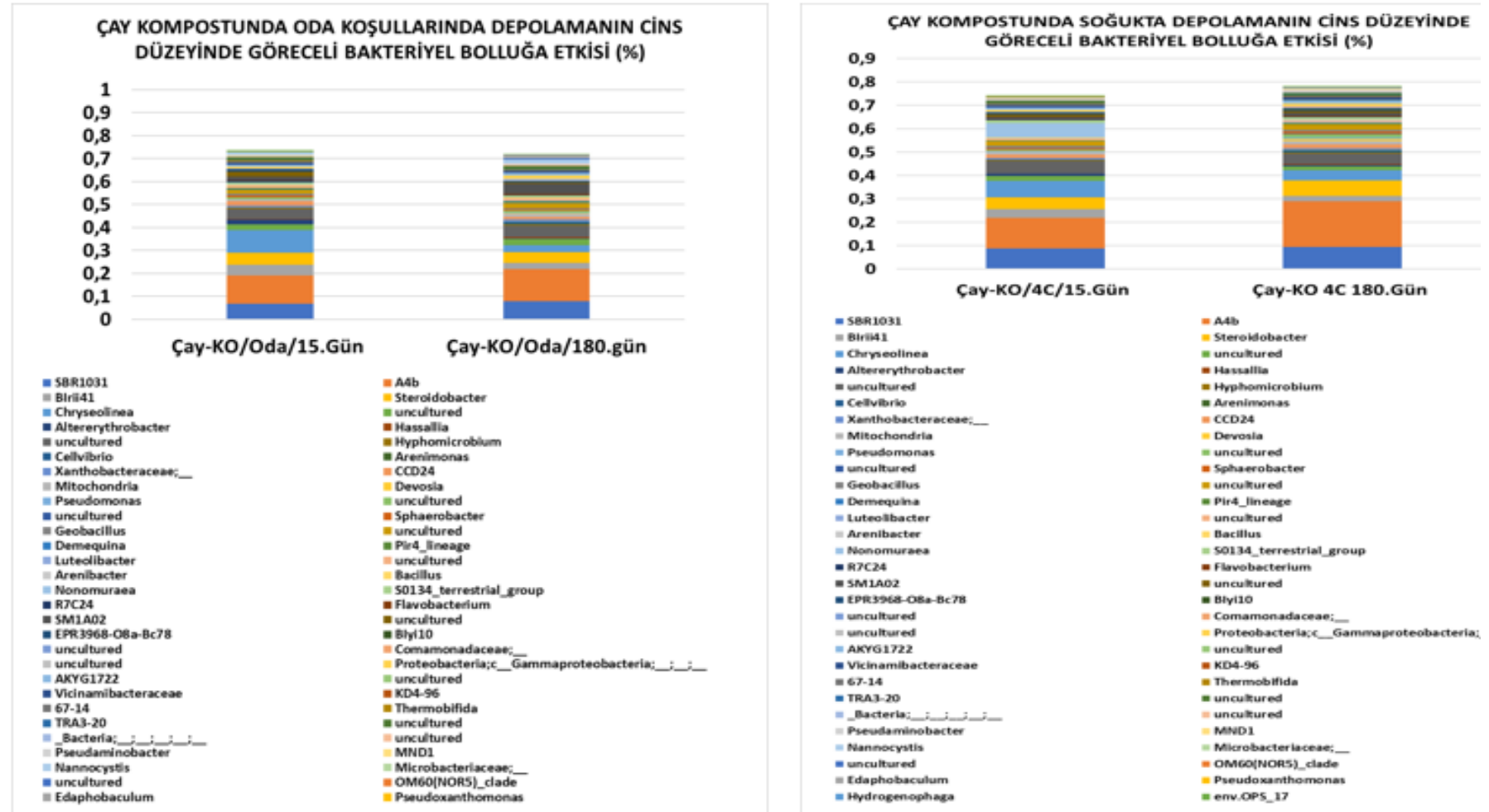
Farklı sıcaklıklarda depolamanın uzun vadede çay vermikompostu genel ve bireysel bakteriyel bolluk düzeyleri üzerine etkileri, ahır gübresi vermikompostundaki değışime kıyasla daha düşük düzeydedir. Genel bakteriyel bolluk düzeylerinde sıcak koşullarda hafif artış soğuk koşullarda ise hafif bir düşüş kaydedilmiştir (Şekil 4.23). Bireysel taksonlardak değışimler ise düzensizdir (hem artışlar hem azalmalar görölmektedir).



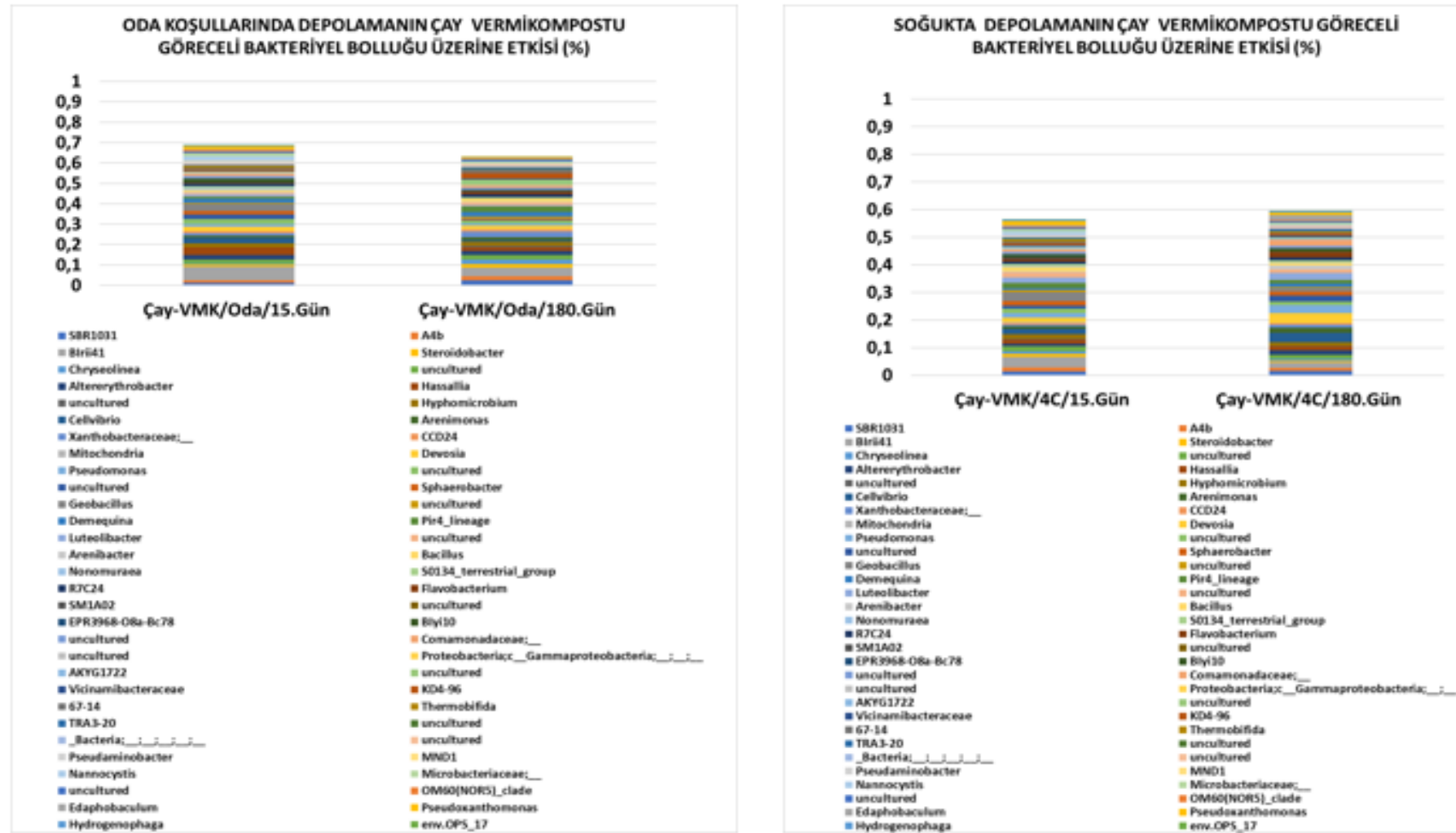
Şekil 4.20 Ahır gübresi kompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi



Şekil 4.21 Ahır Gübresi vermikompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi



Şekil 4.22 Çay atığı kompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi



Şekil 4.23 Çay vermikompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi

4.2.2.5 Çim kompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

Farklı sıcaklıklarda depolamanın çim kompostu üzerine etkisine bakıldığında *Chloroflexi* filumunun sınıflandırılmamış cinslerinden SBR1031'in hem sıcak hem de soğuk depolama koşullarında artış sergilediği, genel bakteriyel bolluk düzeyi açısından ise sıcak koşullarda büyük bir değişim olmazken soğuk koşullarda genel bakteriyel bolluk düzeyinin uzun vadede azaldığı görülmektedir (Şekil 4.24).

Daha önce ifade edildiği üzere vermikompostlama süreçlerinde genellikle baskın bakteri gruplarının baskınlığı, solucan faaliyetleri ile ortama dahil olan mikroorganizmalardan dolayı azalmakta ve mikrobiyel çeşitliliği oluşturan bireylerin nisbi bolluğu daha homojen bir hale gelmektedir. Farklı sıcaklık koşullarında depolama sürecinin irdelendiği bütün vermikompost ürünlerinde bu değişim göreceli bakteriyel bolluk analizi üzerinden net bir şekilde gözlenmiştir.

4.2.2.6 Çim vermikompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

Farklı sıcaklıklarda depolamanın uzun vadede çim vermikompostu genel ve bireysel bakteriyel bolluk düzeyleri üzerine etkileri, ahır gübresi vermikompostundaki değişime benzerlik göstermektedir. Buna göre genel bakteriyel bolluk düzeylerinde sıcak koşullarda artış gözlenirken soğuk koşullarda ise azalma olduğu görülmektedir. Bireysel taksonlardaki değişimler ise düzensizdir (hem artışlar hem azalmalar görülmektedir (Şekil 4.25).

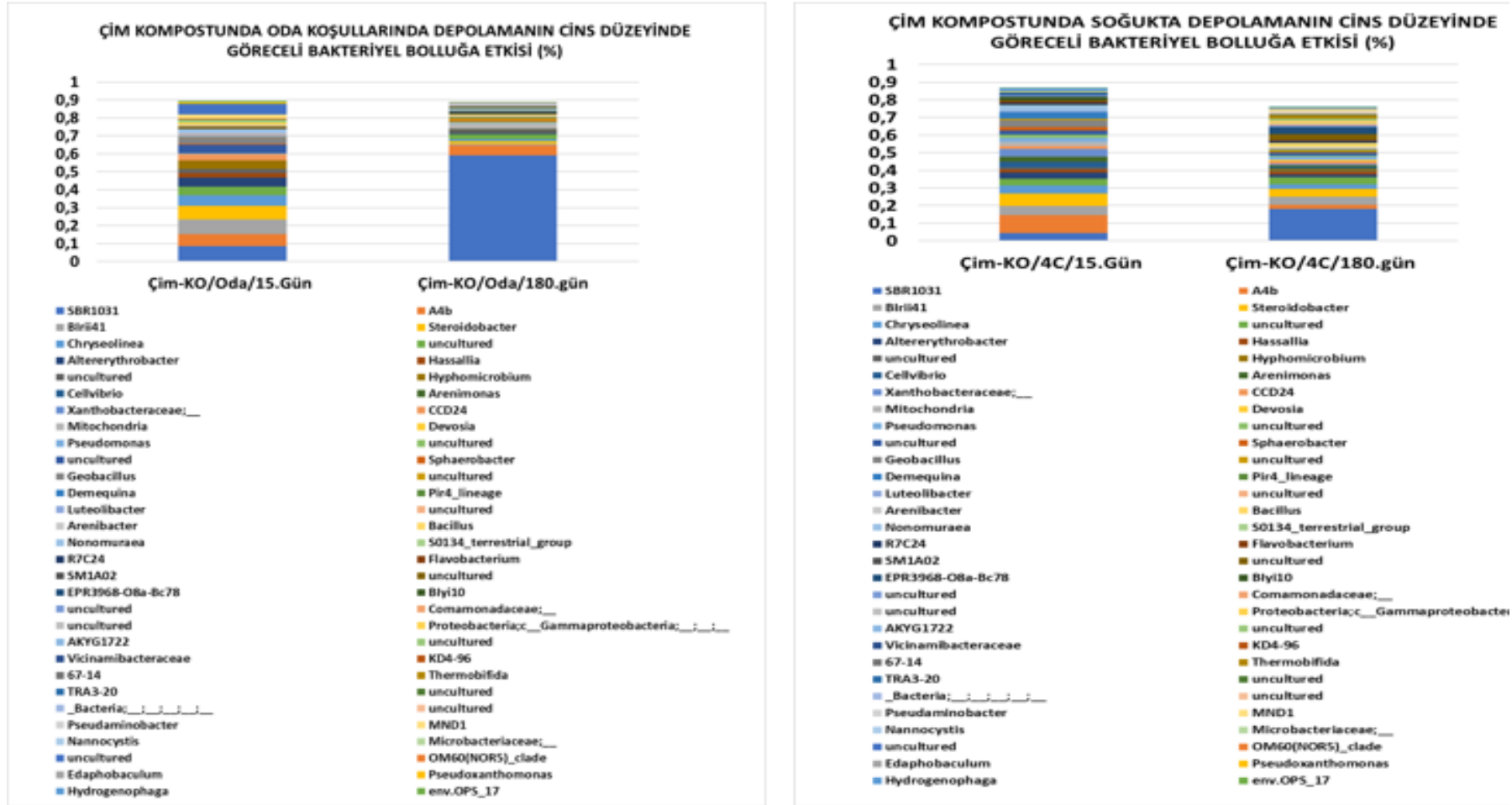
4.2.2.7 Nar kabuğu kompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

Proje kapsamında değerlendirilen atıkların kompost ve vermikompostlanması sonrasında elde edilen bakteriyel çeşitlilik profillerine bakıldığında kompostlama sürecinde önemli ve baskın bir filum olduğu önceki çalışmalarla kaydedilen *Chloroflexi*'nin sınıflandırılmamış cinslerinden SBR1031 ve A4B'nin baskın taksonlar olduğu görülmektedir. Genel olarak hem oda sıcaklığı hem de soğuk depolama

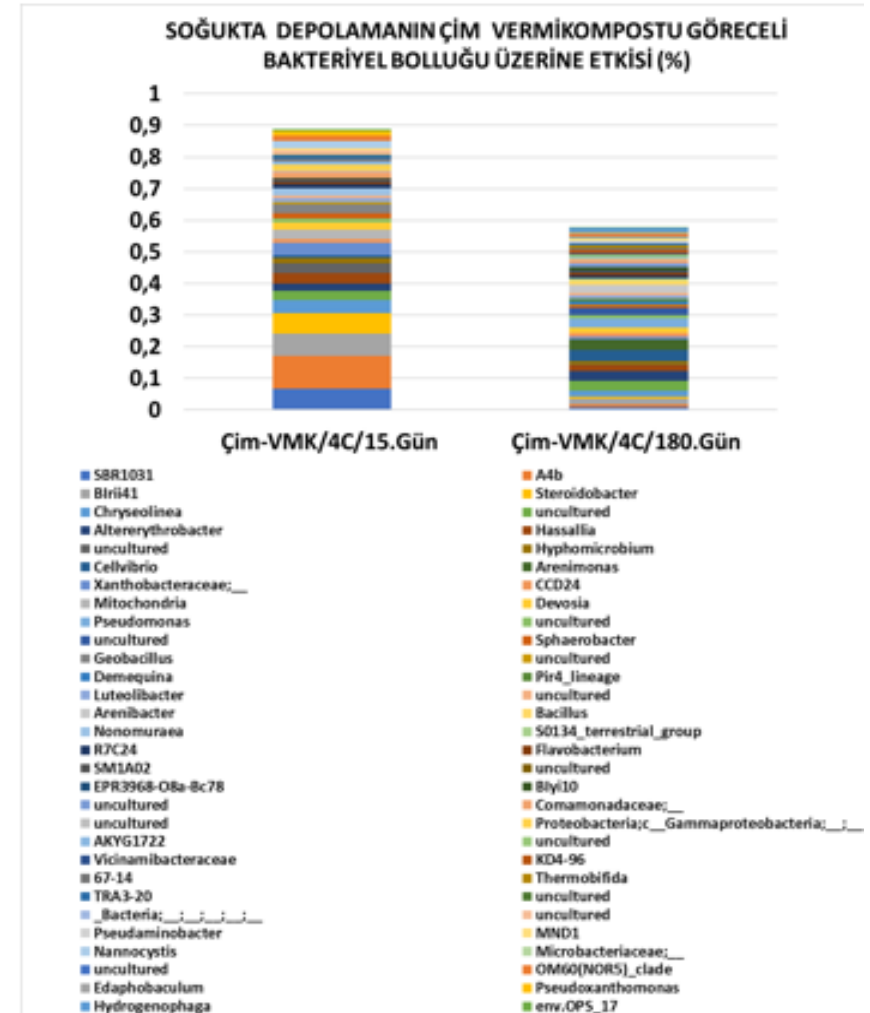
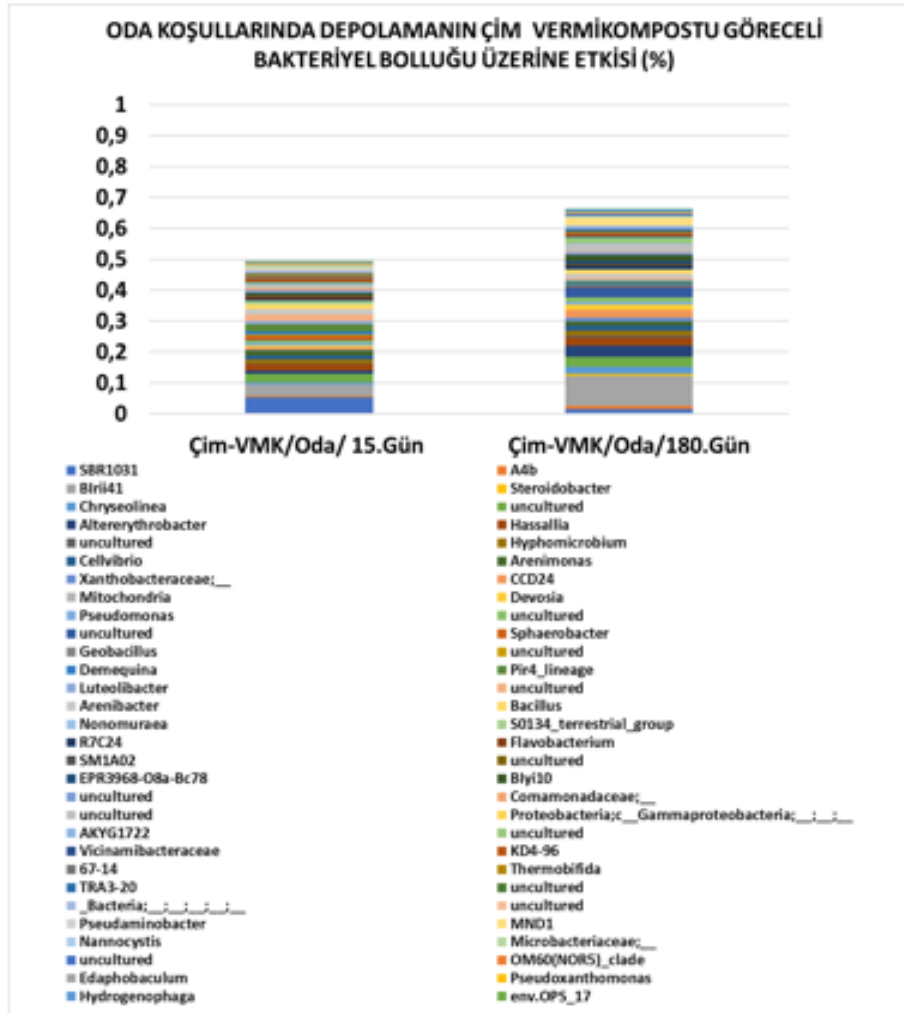
koşullarında nar kabuğu kompostu bakteriyel bolluk düzeyleri artış sergilemiştir. Baskın cinsler düzeyinde ise oda sıcaklığında A4B, buzdolabı koşullarında ise SBR1031'in uzun vadede baskın hale geldiği görülmektedir (Şekil 4.26).

4.2.2.8 Nar kabuğu vermikompostunda farklı depolama koşullarının göreceli bakteriyel bolluk üzerine etkisi

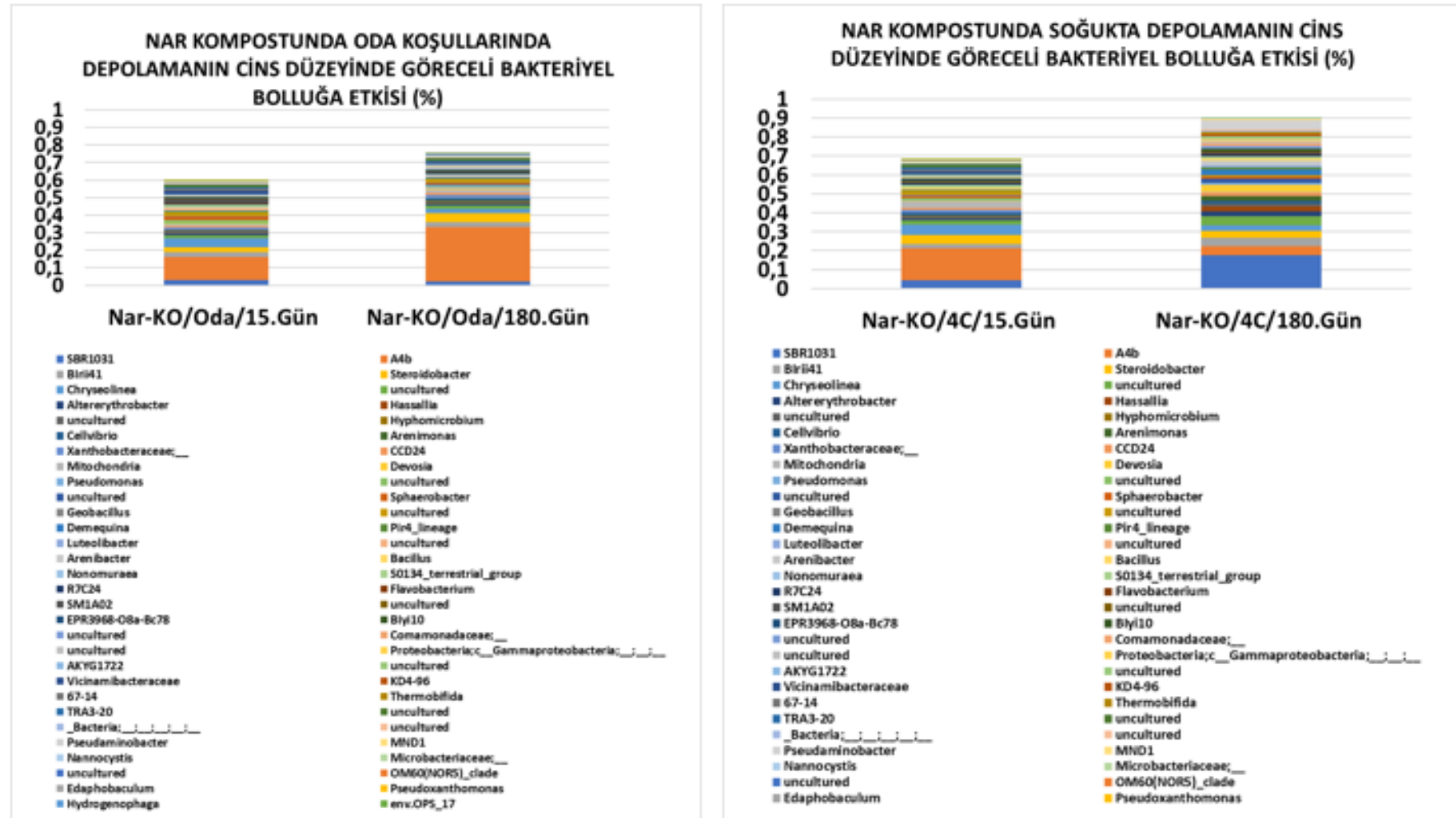
Farklı sıcaklıklarda depolamanın uzun vadede nar kabuğu vermikompostu üzerinde genel etkisi, ahır ve çim vermikompost ürünlerindeki değişimlerle benzerlik göstermektedir. Buna göre; genel bakteriyel bolluk sıcak koşulda artarken soğuk koşulda bunun tersine azalma eğiliminde olmasıdır. *Chloroflexi* filumunun sınıflandırılmamış cinslerinden SBR1031 ve A4B 'nin soğuk depolama koşullarında uzun vadede büyük bir azalma sergilediği görülmektedir (Şekil 4.27).



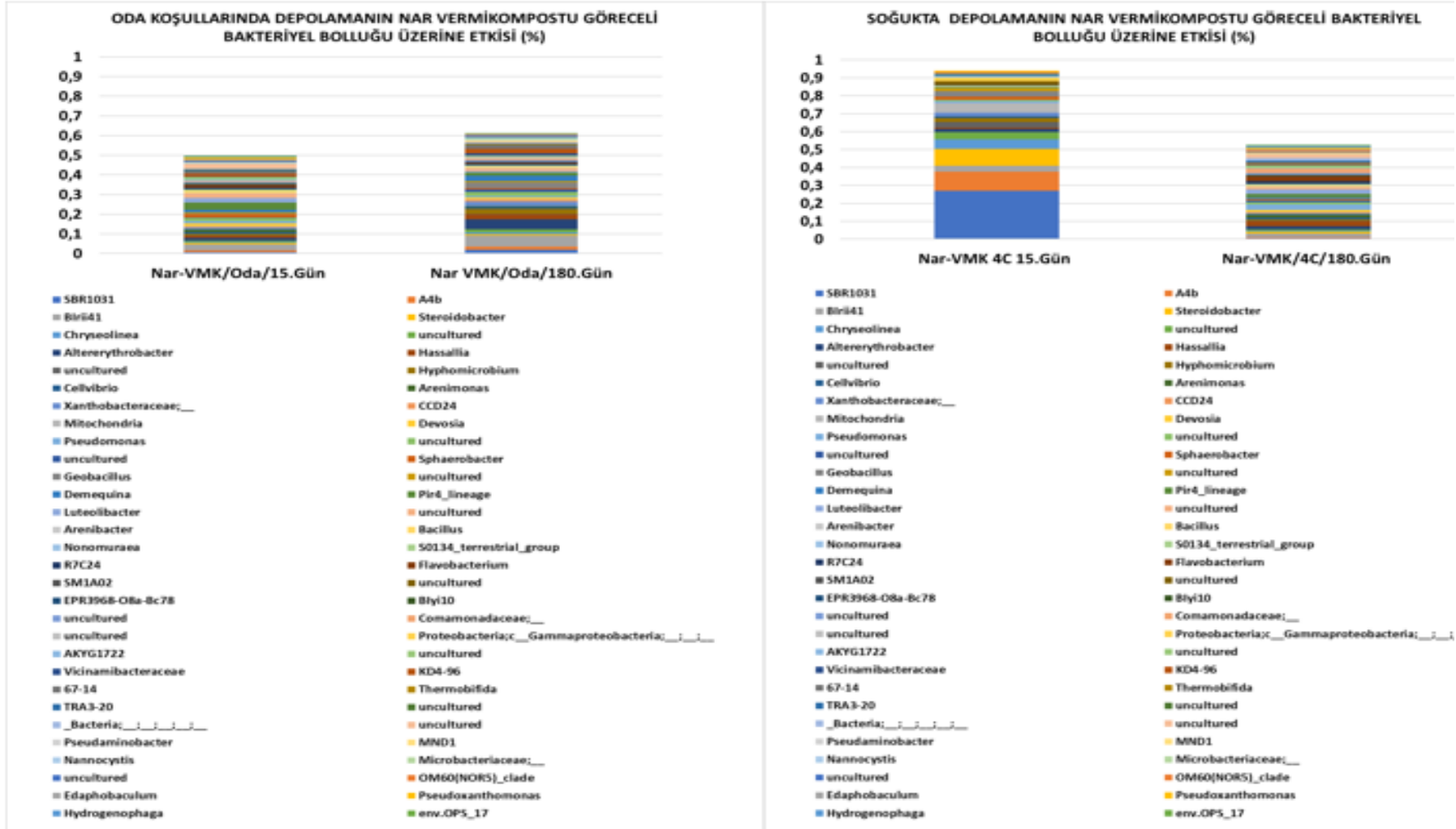
Şekil 4.24 Çim kompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi



Şekil 4.25 Çim vermikompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi



Şekil 4.26 Nar kabuğu kompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi

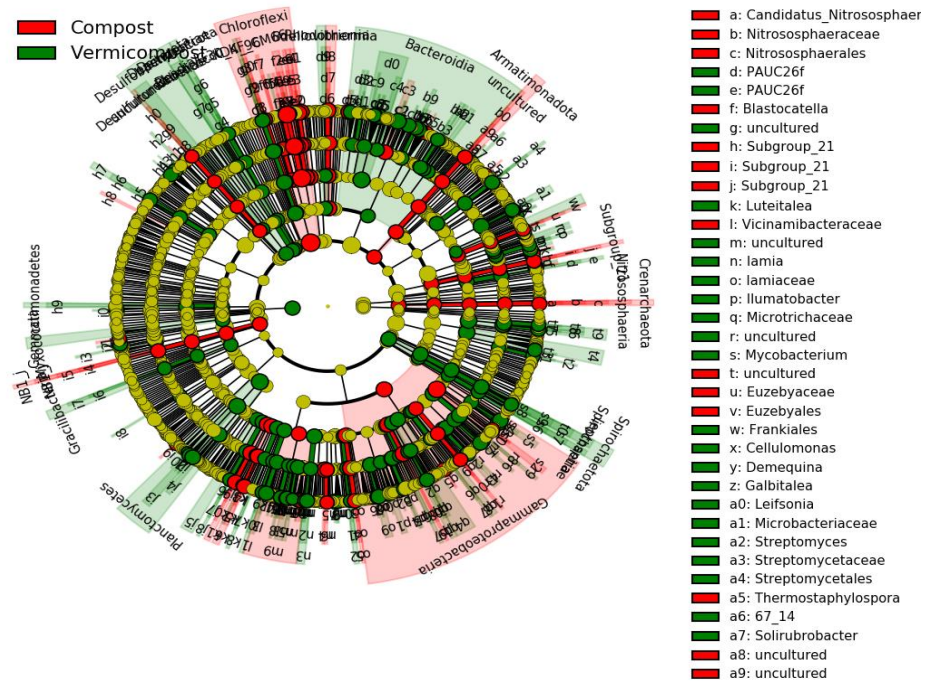


Şekil 4.27 Nar kabuğu vermikompostunda sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın göreceli bakteriyel bolluk (%) üzerine etkisi

4.3 Doğrusal Diskriminant Analizi Etki Büyüklüğü (LEfSe) Değerlendirmesi

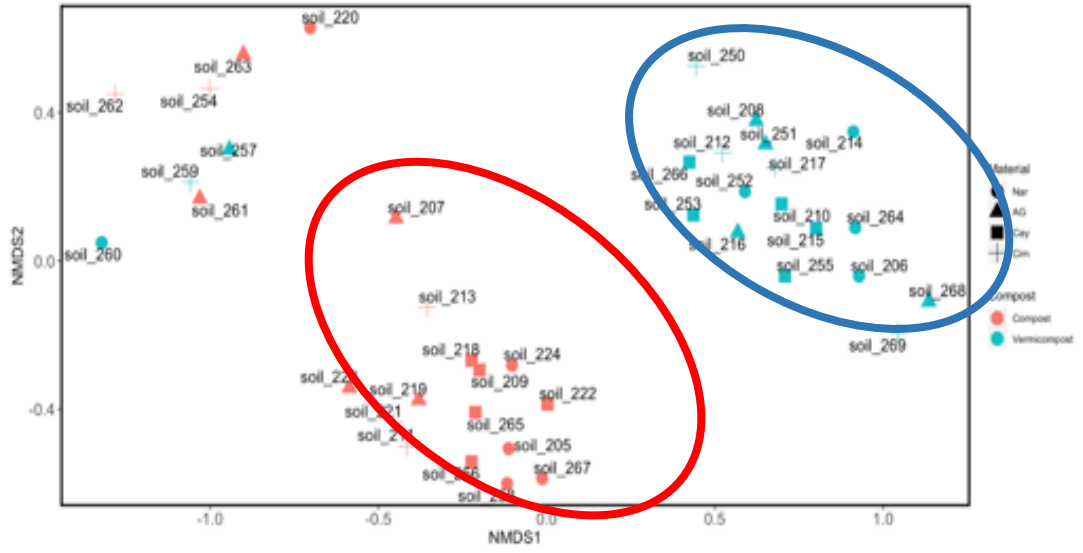
Çalışma kapsamında organik materyal türü, depolama koşullarını kompost ve verimikompost ürünlerinin bakteriyel çeşitliliği üzerine etkilerini değerlendirmede başvurulacak bir diğer biyoinformatik analiz doğrusal diskriminant analizi etki büyüklüğü (LEfSe)'dir.

Farklı organik materyallerden elde edilen kompost ürünlerinin kompostlama yöntemine (gelenseksel kompostlama ve vermikompostlama) bakteriyel çeşitliliğinde meydana gelen LefSe ile belirlenmiştir. Buna göre Şekil 4.28'deki kladogram diyagramı, iki grupta (kompost ve vermikompost) önemli farklılıklar gösteren mikrobiyal türleri göstermektedir. Buna göre kompostlama sürecinde yer alan önemli bakteri cinsleri *Chloroflexi* ve *Gammaproteobacteria* iken vermikompostlama sürecinde görev alan önemli bakteri cinsleri *Bacteroidia*, *Desulfobacterota*, *Planctomycetota* ve *Spirochaetota* olarak öne çıkmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 Kompostlama yönteminin bakteriyel çeşitlilik üzerine etkisi

(kırmızı, yeşil ve sarı renkler, içten dışa gösterilen filum, sınıf, takım, aile ve cins düzeyindeki tür sınıflandırmasıyla farklı grupları belirtmektedir. Filogenetik ağaçtaki kırmızı ve yeşil renkli düğümler (kürecikler), kompost ve vermikompost uygulamaları açısından fark gösteren bakteriyel türleri temsil etmektedir. Sarı düğümler, önemli bir fark olmayan türleri temsil etmektedir).



Şekil 4.30 Cins düzeyinde metrik olmayan çok boyutlu ölçeklendirme (NMDS) analizi sonuçları

Buna göre farklı renkli halkalarla belirtildiği üzere bakteriyel çeşitlilik kompostlama yöntemi ile önemli bir korelasyon sergilemiştir ($p < 0.01$). Diğer yandan organik materyal türü ile bakteriyel çeşitlilik arasında bir korelasyon bulunamamıştır.

5. SONUÇ

Çalışmanın ilk aşamasında farklı kaynaklardan temin edilen organik materyallerden (çay çöpü, nar kabuğu, çim ve ahır gübresi) kompost ve vermikompost elde etmek amacıyla inkübasyon denemesi kurulmuştur. Deneme 90. günde sonlandırılmış ve kompost (K) ile vermikompost (VK) örneklerinde belirlenen bazı kimyasal ve biyokimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Buna göre, OM içerikleri en yüksek Çay-VK ve Nar-VK (%82,67) örneklerinde, N içerikleri en yüksek Çim-K (%2,57) örneğinde, pH en yüksek AG-K (7.99), EC en yüksek Çim-K (5.30 dS/m) örneğinde, değişebilir potasyum en yüksek Çim-K (%5.30), en yüksek Fe içeriği AG-K ve AG-VK örneklerinde, en yüksek Cu içeriği AG-K, en yüksek Zn Çay-VK örneğinde, en yüksek Mn içeriği Çay-K örneğinde, en yüksek Pb Çay-K örneğinde, en yüksek Cr AG-VK örneğinde, en yüksek Ni AG-VK örneğinde, β -glukosidaz enzim aktivitesi değeri en yüksek AG-VK örneğinde, alkalın fosfataz ve üreaz enzim aktivitesi değerleri ise en yüksek Çim-VK örneğinde, en fazla solucan sayısı ve ağırlığı da Nar-VK örneğinde belirlenmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, OM içerikleri açısından VK örneklerinde K örneklerine göre daha fazla OM içerdiği, Nar VK örneğinin OM ve üreaz enzim aktivitesinin diğerlerine göre en yüksek olduğu, AG VK 'nın toplam Fe içeriğinin diğerlerine göre yüksek olduğu görülmektedir. Atık cinsleri açısından değerlendirildiğinde ise Çim K ve VK örneklerinin toplam N, değişebilir K ve beta glukosidaz enzim aktivitesi bakımından en yüksek değerler içerdiği, Çim VK örneklerinin de alkalın fosfataz ve üreaz enzim aktivitesinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Vermikompost örneklerinin enzim aktivite değerleri ile solucan sayısı bakımından kompost örneklerine göre daha yüksek bulunması VK örneklerinin daha fazla biyolojik ve biyokimyasal içeriğe sahip olduğunu göstermektedir. Çim örneklerinin gerek K ve gerek VK formlarının diğer AG, Çay ve Nar atıklarından elde edilen K ve VK örneklerine göre özellikler bakımından öne çıktığı gözlemlenmiştir.

İnkübasyon süresince OM içeriklerinde önce azalma sonrasında başlangıca erişemese de kısmen artış olmuş, buna karşın N içeriklerinde zamana bağlı istatistiksel olarak önemli

artış meydana gelmiştir ($p<0.05$). Vermikompost örneklerinin tamamında pH ve EC değerleri kompost örneklerine göre düşük bulunmuş, inkübasyon süresince pH ve EC değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Ürünlerin alınabilir fosfor içerikleri bakımından gerek ürün cinsleri arasında, gerek zamana bağlı değişimler açısından ve gerekse ürün cinsi ve zamana bağlı meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Vermikompost örneklerinde genel olarak değişebilir potasyum miktarları kompost örneklerine göre düşük bulunmuş olup, inkübasyon süresince ise değişebilir K_2O değerlerinde artış meydana gelmiştir. K ve VK ürünlerinde toplam Pb, Cr ve Ni dağılımlarının dalgalanma eğilimi gösterdiği belirli bir yol izlemediği görülmektedir. Zamana bağlı ağır metal içeriklerindeki ortalama değerler ele alındığında ise, toplam Pb miktarlarının zamana bağlı azaldığı, Cr ve Ni'in ise artış gösterdiği görülmektedir. Vermikompost örneklerinde genel olarak β -glukosidaz, alkalın fosfataz ve üreaz enzim aktiviteleri ile *Enterobacteriaceae* ve toplam bakteri sayıları (Çay VK örnekleri hariç) kompost örneklerine göre yüksek bulunmuştur. İnkübasyon süresince her üç enzim aktivitesi ile *Enterobacteriaceae* sayısının azaldığı, öte yandan inkübasyon süresi arttıkça hem K hem de VK örneklerinin toplam bakteri sayılarının ise artış gösterdiği belirlenmiştir.

Raf ömrü açısından AG-VK örnekleri değerlendirildiğinde, AG-VK örneklerinin saklama süresi arttıkça P, K ve Ca miktarlarında azalma meydana gelmiş, Mg içeriklerine raf ömrü etki etmemiş, raf ömrünün 6. ayında Cu ve Mn içerikleri başlangıç örneklerine göre artmış, Pb ve Cr ise raf ömrüyle birlikte azalmıştır ($p<0,05$). Fe ve Ni'de raf ömrüne bağlı meydana gelen değişim ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. AG-VK örneklerinin fosfataz enzim aktivitesi hariç glukosidaz ve üreaz enzim aktivitesi ile toplam bakteri ve *Enterobacter* sayıları AG-K örneklerinin tersine başlangıç örneklerine göre 6. Ayda artmıştır ($p<0,05$). AG-VK örneklerinde *Salmonella* sp., *E.coli* ve *E.coli* O157:H7 tespit edilmemiştir.

AG-K ve AG-VK örnekleri saklama koşulları açısından değerlendirildiğinde, AG-K örneklerinin pH değerleri saklama koşullarından etkilenmezken, EC değerleri oda sıcaklığında daha yüksek bulunmuş, $+4^{\circ}C$ 'de saklanan AG-K örneklerinin OM değerleri ise oda sıcaklığına göre yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). AG-K örneklerinin Cu, Pb ve Cr

içerikleri +4°C’de saklananlara göre yüksek bulunmuş ($p<0,05$), buna karşın her üç enzim aktivitesi ve bakteri sayıları +4°C’de saklananlarda oda sıcaklığında saklananlara göre yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Saklama koşulları bakımından AG-VK örnekleri değerlendirildiğinde ise, oda sıcaklığında daha yüksek P, K ve Ca belirlenmiş olup, AG-VK örneklerinde Cr hariç iz element ve ağır metal içerikleri oda sıcaklığında daha yüksek bulunmuş ($p<0,05$). AG-VK örneklerinin beta glukosidaz hariç alkalın fosfataz ve üreaz enzim aktiviteleri ve toplam bakteri ve *Enterobacter* sayıları AG-K örneklerinin tersine oda sıcaklığında saklananlarda yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Çay-K ve Çay-VK örnekleri raf ömrü açısından değerlendirildiğinde, Çay-K örneklerinin N, OM, pH ve EC değerleri başlangıç değerlerine göre 6. ayda ($p<0,05$) düzeyinde önemli düşüş göstermiştir. 6. Ayda Çay-K örneklerinde P, K ve Ca başlangıca göre daha yüksek bulunmuştur. Çay-K örneklerinin gerek enzim aktiviteleri gerekse toplam bakteri sayıları başlangıç örneklerine göre 6. ayda yükselmiştir ($p<0,05$), (Çizelge 4.20). Çay-K örneklerinde *Salmonella sp.*, *E.coli* ve *E.coli O157:H7* tespit edilmemiştir. Çay-VK örnekleri raf ömrü açısından değerlendirildiğinde, Çay-VK örneklerinin P, Mg, Zn, Cr ve Ni içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmazken, 6. ayda K, Ca, Cu ve Mn içerikleri başlangıç örneklerine göre artmış ($p<0,05$), Pb ise raf ömrüyle birlikte azalmıştır ($p<0,05$). Çay-VK örneklerinin gerek enzim aktiviteleri gerekse toplam bakteri ve *Enterobacter* sayıları başlangıç örneklerine göre 6. ayda yükselmiştir ($p<0,05$).

Çay-K ve Çay-VK örnekleri saklama koşulları açısından değerlendirildiğinde, Çay-K örneklerinin N, pH ve EC değerlerinde saklama koşullarına bağlı meydana değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamış, OM içerikleri ise +4°C sıcaklıkta oda sıcaklığına göre daha yüksek değerler vermiştir ($p<0,05$). Çay-K örneklerinin P içerikleri saklama koşullarından etkilenmemiş, K ve Ca ise oda sıcaklığında daha yüksek belirlenmiştir ($p<0,05$). Çay-K örneklerinin depolama koşullarına bağlı Mg, Fe, Cu, Zn ve Ni içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli olmazken, Mn ve Pb oda sıcaklığında daha yüksek, Cr ise +4°C sıcaklıkta istatistiksel olarak ($p<0,05$) düzeyinde önemli derecede yüksek bulunmuştur. Çay-VK örnekleri saklama koşulları açısından değerlendirildiğinde ise, Çay-VK örneklerinin P, K, Ca ve

Mg içeriklerinde depolama koşullarına bağlı meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve oda sıcaklığında daha yüksek belirlenmiştir ($p<0,05$). Çay-VK örneklerinin depolama koşullarına bağlı Cu, Zn, Pb, Cr ve Ni içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli olmazken, Fe ve Mn oda sıcaklığında istatistiksel olarak ($p<0,05$) düzeyinde önemli derecede yüksek bulunmuştur. Çay-VK örneklerinin Beta glukosidaz, alkalın fosfataz ve üreaz enzim aktivitesi ile toplam bakteri ve *Enterobacter* sayıları oda sıcaklığında $+4^{\circ}\text{C}$ 'de saklananlara göre yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Çim-K ve Çim-VK örnekleri raf ömrü açısından değerlendirildiğinde, Çim-K örneklerinin N, OM ve EC değerleri başlangıç değerlerine göre 6. ayda ($p<0,05$) düzeyinde önemli düşüş göstermiş, pH, alınabilir P ve Mg değerleri ise raf ömrü uzadıkça yükselmiştir. Çim-K örneklerinin K ve Ca içeriklerinde depolama koşulları ve raf ömrüne bağlı meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Raf ömrü açısından değerlendirildiğinde Çim-K örneklerinin Fe, Cu ve Cr içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmazken, 6. ayda Zn ve Ni içerikleri başlangıç örneklerine göre artmış ($p<0,05$), Mn ve Pb ise raf ömrüyle birlikte azalmıştır ($p<0,05$), (Çizelge 4.27). Çim-K örneklerinin her üç enzim aktivitesi başlangıç örneklerine göre 6. ayda yüksek bulunmuş, toplam bakteri sayıları ise raf ömrünün 6. ayında düşmüştür ($p<0,05$, (Çizelge 4.28). Çay-K örneklerinde *Salmonella* sp., *E.coli* ve *E.coli* O157:H7 ve *Enterobacter* tespit edilmemiştir. Çim-VK örnekleri raf ömrü açısından değerlendirildiğinde ise, Çim-VK örneklerinin N, OM, EC ve Ca değerleri başlangıç değerlerine göre 6. ayda ($p<0,05$) düzeyinde önemli düşüş göstermiş, pH, alınabilir P, değişebilir K, Fe, Cu, Zn, Pb ve Ni değerleri ise raf ömrü uzadıkça yükselmiştir ($p<0,05$). Çim-VK örneklerinin Mg içerikleri raf ömründen etkilenmemiştir. Çim-VK örneklerinin alkalın fosfataz enzim aktivitelerinde raf ömrü ve saklama koşullarına bağlı meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Çim-VK örneklerinin Beta glukosidaz ve üreaz enzim aktiviteleri ile *Enterobacter* sayısı başlangıç örneklerine göre 6. ayda yüksek bulunmuş, toplam bakteri sayıları ise raf ömrünün 6. ayında düşmüştür ($p<0,05$). Çay-VK örneklerinde *Salmonella* sp., *E.coli* ve *E.coli* O157:H7 tespit edilmemiştir.

Çim-K ve Çim-VK örnekleri saklama koşulları açısından değerlendirildiğinde, Çim-K örneklerinin OM, pH ve Mg değerleri +4°C’de saklananlarda daha yüksek bulunmuş, alınabilir P ve EC ise oda sıcaklığında daha yüksek değerler vermiştir ($p<0,05$). Çim-K örneklerinin N içeriklerinde saklama koşullarına bağlı meydana gelen değişimler önemli olmamıştır. Çim-K örneklerinin depolama koşullarına bağlı Zn içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli olmazken, Fe, Cu, Mn, Pb, Cr ve Ni oda sıcaklığında istatistiksel olarak ($p<0,05$) düzeyinde önemli derecede yüksek bulunmuştur. Çim-K örneklerinin Beta glukosidaz, alkalın fosfataz ve üreaz enzim aktivitesi oda sıcaklığında +4°C’de saklananlara göre yüksek bulunmuş ($p<0,05$), toplam bakteri sayıları ise +4°C’de daha yüksek bulunmuştur. Çim-VK örnekleri saklama koşulları bakımından değerlendirildiğinde ise, Çim-VK örneklerinin +4°C’de saklananlarda N ve OM daha yüksek bulunurken, pH ise oda sıcaklığında daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Çim-VK örneklerinin K, Ca ve Mg içeriklerinde depolama koşullarına bağlı meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmazken, P ve K içerikleri da koşullarında daha yüksek belirlenmiştir ($p<0,05$). Çim-VK örneklerinin depolama koşullarına bağlı Mn ve Cr içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli olmazken, Çim-VK örneklerinin Fe, Cu, Zn, Pb içerikleri oda sıcaklığında daha yüksek bulunmuş, Ni içerikleri ise +4°C’de daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Çim-VK örneklerinin Beta glukosidaz ve üreaz enzim aktiviteleri ile *Enterobacter* sayıları oda sıcaklığında +4°C’de saklananlara göre yüksek bulunmuş ($p<0,05$), toplam bakteri sayıları ise +4°C’de daha yüksek bulunmuştur.

Nar-K ve Nar-VK örnekleri raf ömrü açısından değerlendirildiğinde, Nar-K örneklerinin pH değerlerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmazken, N, OM ve EC ve değişebilir K değerleri başlangıç değerlerine göre 6. ayda ($p<0,05$) düzeyinde önemli düşüş göstermiştir. Nar-K örneklerinin P, Ca ve Mg ile Fe, Cu, Mn, Zn, Pb ve Cr içerikleri raf ömründen etkilenmemiş, Ni değerleri ise 6. ayda başlangıç örneklerine göre ($p<0,05$) düzeyinde yüksek bulunmuştur. Nar-K örneklerinin Beta glukosidaz, alkalın fosfataz ve üreaz enzim aktiviteleri ile toplam bakteri sayısı başlangıç örneklerine göre 6. ayda yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Nar-K örneklerinde *Salmonella sp.*, *E.coli* ve *E.coli* O157:H7 ve *Enterobacter* tespit edilmemiştir. Nar-VK örnekleri raf ömrü açısından değerlendirildiğinde ise, Nar-VK örneklerinin EC, Fe, Cu,

Zn, Cr ve Ni değerlerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmazken, OM ve pH değerleri başlangıç değerlerine göre 6. ayda düşüş göstermiş, N, K, Ca, Mn ve Pb içerikleri ise raf ömrüne bağlı olarak yükselmiştir ($p<0,05$). Nar-VK örneklerinin P ve Mg içerikleri ise raf ömründen etkilenmemiştir. Nar-VK örneklerinin beta glukosidaz aktivitesi, üreaz aktivitesi, toplam bakteri ve *Enterobacter* sayıları başlangıç örneklerine göre 6. ayda yüksek bulunmuş ($p<0,05$) alkalın fosfataz enzim aktivitesi ise raf ömrüne bağlı azalış göstermiştir ($p<0,05$). Nar-VK örneklerinde *Salmonella sp.*, *E.coli* ve *E.coli O157:H7* tespit edilmemiştir.

Nar-K ve Nar-VK örnekleri saklama koşulları açısından değerlendirildiğinde, Nar-K örneklerinin N, OM ve pH değerleri +4°C'de saklananlarda daha yüksek bulunurken, EC ise oda sıcaklığında daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Nar-K örneklerinin K ve Mg içerikleri +4°C'de saklananlarda daha yüksek bulunurken, P, Ca, Zn ve Ni oda koşullarında daha yüksek belirlenmiştir ($p<0,05$). Nar-K örneklerinin depolama koşullarına bağlı Fe, Cu, Mn, Pb ve Cr içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Nar-K örneklerinin alkalın fosfataz enzim aktivitelerinde depolama koşullarına bağlı meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamış, beta glukosidaz aktivitesi ile toplam bakteri sayıları oda sıcaklığında +4°C'de saklananlara göre yüksek bulunmuş ($p<0,05$), üreaz enzim aktivitesi ise +4°C'de daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Nar-VK örnekleri depolama koşulları açısından değerlendirildiğinde ise, Nar-VK örneklerinin N, OM ve EC değerleri +4°C'de saklananlarda daha yüksek bulunurken, pH ise oda sıcaklığında daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Nar-VK örneklerinin P, K ve Ca ile Cu, Mn ve Zn içerikleri oda sıcaklığında muhafaza edilenlerde daha yüksek bulunurken, Mg içerikleri ise +4°C'de daha yüksek belirlenmiştir ($p<0,05$). Nar-VK örneklerinin saklama koşullarına bağlı Fe, Pb ve Cr içeriklerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli olmazken, Ni +4°C'de daha yüksek belirlenmiştir ($p<0,05$). Nar-VK örneklerinin beta glukosidaz aktivitesi, üreaz aktivitesi, toplam bakteri ve *Enterobacter* sayıları oda sıcaklığında daha yüksek bulunmuş ($p<0,05$), alkalın fosfataz enzim aktivitesi ise +4°C'de daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

K ve VK örnekleri saklama koşulları açısından genel olarak değerlendirildiğinde, enzim aktiviteleri ve bakteri sayıları oda sıcaklığında +4°C’de saklananlara göre daha yüksek, OM ise +4°C’de daha yüksek belirlenmiştir. Diğer parametreler atık çeşidine bağlı değişiklik göstermiştir.

PERMANOVA analiz sonuçlarının genel değerlendirmesi yapıldığında; kompostlama yönteminin (geleneksel kompostlama-vermikompostlama) bakteriyel çeşitlilik üzerindeki etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Ayrıca farklı kompostlama yöntemleri ile elde edilen kompost ürünlerinin bakteriyel çeşitliliği üzerinde sıcak ve soğuk koşullarda depolamanın etkisi de önemli bulunmuştur.

Bakteriyel Bolluk Analizi genel değerlendirmesi yapıldığında ise; geleneksel kompostlama ile elde edilen kompost ürünlerinin görece bakteriyel bolluk bar grafiğindeki düzeyler karşılaştırıldığında sıralamanın Çay>Ahır gübresi>Çim> Nar kabuğu kompostu şeklinde olmuştur. Bar grafik renk dağılımlarına dayanarak bütün farklı kompostlarda Chloroflexi sınıfına ait, kompostlama süreçlerinde yoğun olarak çalışarak aerobik-termofilik olan ve ölü hücrelerdeki karbonhidratları ve polipeptitleri (amino asitler) ayrıştıran fotosentetik bakteri cinslerinin hakim bakteri gruplarını oluşturduğu belirlenmiştir. Bu bakterilerin genel bakteriyel bolluk dağılımı üzerindeki baskısının en yüksek olduğu kompost ürünleri çim ve çay kompostu olmuştur. Farklı organik atıklardan elde edilen vermikopost ürünlerinin genel mikrobiyel bolluk düzeyi karşılık gelen kompost ürünlerine kıyasla %20-50 azalmıştır. Vermikompostlama ile elde edilen kompost ürünlerinin görece bakteriyel bolluk bar grafiğindeki düzeyler kendi aralarında kıyaslandığında sıralamanın Ahır gübresi>Çim>Çay>Nar şeklinde olduğu görülmektedir. Farklı kompost ve vermikompost ürünleri elde edildikleri organik materyaller açısından kıyaslandığında göze çarpan en önemli husus, vermikompostlama ile elde edilen ürünlerin bakteriyel çeşitliliğini oluşturan bakteri toplulukları arasında bir denge oluşması ya da mikrobiyel çeşitlilik açısından vermikompostun daha homojen bir ürün olmasıdır.

Depolama koşulları açısından bir değerlendirme yapmak gerekirse, ne sıcak ne de soğuk koşullarda farklı organik materyallerin bakteriyel bolluk düzeylerinde önemli değişimler

gözlenmemiştir. Bütün kompost ürünlerinde hem sıcak hem de soğuk şartlarda baskın bakteri cinslerinin görece bolluk düzeylerinde artışlar tespit edilmiştir.

Depolama şartlarının vermikompost ürünleri üzerine etkisine bakıldığında çay vermikompostu haricindeki diğer bütün vermikompost ürünlerinin göreceli bakteriyel bolluk düzeyleri sıcak koşulda artma, soğuk koşulda ise azalma eğiliminde olmuştur. Bu bulgulara dayanarak vermikompost ürünlerinin soğuk koşullarda biyolojik çeşitlilik açısından daha fazla kayba uğradığı söylenebilir.

Kompostlama sürecinde yer alan önemli bakteri cinslerinin *Chloroflexi* ve *Gammaproteobacteria* iken vermikompostlama sürecinde görev alan önemli bakteri cinslerinin *Bacteroidia*, *Desulfobacterota*, *Planctomycetota* ve *Spirochaetota* olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde yapılan çalışmalar ile (Satchell ve Martin, 1984; Kızılkaya ve Hepşen, 2004, 2007, Cait vd., 2018, Liu vd., 2020) solucanlar kullanılarak yapılan kompostlama işlemlerinde (vermikompost), gerek solucanın dışkısında ve gerekse solucan aktivitesi sonunda ortamın mikrobiyolojik ve biyokimyasal özelliklerinde değişimlerin olduğu saptanmıştır. Ortamın mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler ortamın bileşimine giren organik materyaller ve bu materyallerin kimyasal içeriği ile doğrudan ilişkilidir.

KAYNAKLAR

- Agarwal, S. 1999. Study of vermicomposting of domestic waste and the effects of vermicompost on growth of some vegetable crops, University of Rajasthan Jaipur, India.
- Aguiar, N.O., Olivares, F.L., Novotny, E.H., Dobbss, L.B., Balmori, D.M., Santos-Júnior, L.G., Canellas, L.P., 2013. Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at different maturation stages. *Plant Soil* 362, 161–174.
- Aira M, Monroy F, Dominguez J. 2007. Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Sci Total Environ* 385:252–261.
- Almeida, R.F., Naves, E.R., Mota, R.P. 2015. Soil quality: enzymatic activity of soil β -glucosidase. *Glob. J. Agric. Res. Rev.* 3, 146–150.
- Amador JA, Glucksman AM, Lyons JB, Görres JH, 1997. Spatial distribution of soil phosphatase activity within a riparian forest1. *Soil Science* 162(11), 808-825.
- Anonim 1992. "Vermigro" Premium Earthworm Soil Product, sold by Canyon Recycling, San Diego, Ca. Worm watch, Education Department of SouthAustralia.
- Aponte, H., Meli, P., Butler, B. 2020. Meta-analysis of heavymetal effects on soil enzyme activities. *Sci Total Environ.* 737:139744.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D., Lee, S., Welch, C. 2003. "Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries: the 7th international symposium on earthworm ecology· Cardiff· Wales· 2002." *Pedobiologia* 47(5-6): 731-735.
- Arancon, N.Q., Galvis, P.A., Edwards, C.A. 2005. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. *Bioresource technology*, 96(10), 1137- 1142.
- Atiyeh, R.M, Edwards, C.A, Subler S., Metzger J. (2000a). Earthworm processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigold and vegetable seedlings. *Compost Science and Utilization* 8 (3): 215–223.
- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A, Subler, S. and Metzger, J.D. (2000b). Earthworm processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigolds and vegetable seedlings. *Compost Science and Utilization.* 8: 215- 233

- Balachandar, R., Baskaran, L., Yuvaraj, A. 2020. Enriched pressmud vermicompost production with greenmanure plants using *Eudrilus eugeniae*. *BioresourTechnol.* 299:122-578.
- Bandick, A. K., & Dick, R. P. (1999). Field management effects on soil enzyme activities. *Soil biology and biochemistry*, 31(11), 1471-1479.
- Banerjee, A., Sanyal, S., & Sen, S. (2012). Soil phosphatase activity of agricultural land: A possible index of soil fertility. *Agricultural Science Research Journals*, 2(7), 412-419.
- Bayram, C.A., Büyük, G., Kırpık, M. 2019. Karpuz yetiştiriciliğinde gübre uygulamaları ile bitki aktivatörlerinin yaprakta besin elementleri ve klorofil düzeyine etkileri. *ADYUTAYAM Cilt 7, Sayı 2*: 88-98.
- Bellitürk, K., Shrestha, P., Görres, J.H. 2015b. The Importance of Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil Using Vermicompost for Sustainable Agriculture. *Journal of Rice Research*. 3 (2): 6: e114.
- Bellitürk, K. 2016. Sürdürülebilir Tarımsal Üretimde Katı Atık Yönetimi İçin Vermikompost Teknolojisi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31 (3): 1-5 (Özel Sayı).
- Bellitürk, K. 2017. Vermikompost Üreticisinin El Kitabı, Riverm Yayınları, 109 sayfa, Tekirdağ.
- Bellitürk, K. 2018. Vermicomposting in Turkey: Challenges and Opportunities in Future. *Eurasian Journal of Forest Science*. 6 (4): 32-41.
- Bellitürk, K., Çelik, A. 2022. Is the Debate on Organic vs. Mineral Fertilization Meaningful? II-International 143 Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies, July 26-28, 2022, pp. 754-762, Batumi, Georgia.
- Bellitürk, K., Çelik, A., Baran, M.F. 2022a. The Effect of Vermicompost Application on Soil Properties in Olive (*Olea europaea* L. cv. Memecik). *Erwerbs-Obstbau*, (2022) 64: 107-113.
- Bellitürk, K., Çelik, A., Büyükfiliz, F. 2022b. Status of Agricultural Inputs After the Covid- 19 Pandemic Crisis: The Case of Mineral and Organic Fertilizers. A Review. *International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies-III*, November 15-17, 2022, pp. 1349-1363, Girne-Turkish Republic of Northern Cyprus.
- Beirinckx, S., Viaene, T., Haegeman, A., Debode, J., Amery, F., Vandenabeele, S., ... & Goormachtig, S. (2020). Tapping into the maize root microbiome to identify bacteria that promote growth under chilling conditions. *Microbiome*, 8(1), 1-13.

- Benitez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G., Ceccanti, B., 1999. Enzyme activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia foetida*. *Bioresour. Technol.* 67, 297–303.
- Bhatnagar RK, Palta RK (1996) *Earthworm-Vermiculture and Vermicomposting*. Kalyani Publishers, New Delhi.
- Blok WJ, Lamers JG, Termoshuizen AJ, Bollen GJ (2000) Control of soil-borne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. *Phytopathology* 90:253–259.
- Borah, M.C., Mahanta, P., Kakoty, S.K., Saha, U.K. and Sahasrabudhe, A.D. 2007. Study of quality parameters in vermicomposting. *Ind. J. Biotechnol.*, 6, 410–413.
- Boran, D., Namli A., Akça M.O. 2017. Determination Of Quality Parameters Of vermicompost Under Different Thermaltechniques. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(8), 5205-5212.
- Bremner, J.M, (1965). Total Nitrogen In: *Methods of Soil Analysis*. (Edit. C.A Black) Part 2. Amer. Soc. Of Agr. Inc., Publisher, Madison, Wisconsin – USA, p: 1149 – 1178.
- Bremner, J. M., & Mulvaney, R. L. (1978). Urease activity in soils.[In:] *Soil Enzymes*. Academic Press, New York, 149-196.
- Brenner, D. J., & Farmer, J. J. (2005). Order XIII. “Enterobacteriales”. *Bergey’s Manual of Systematic Bacteriology*, 2, 587-607.
- Brown, G.G. 1995. "How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?" *Plant and soil* 170: 209-231.
- Burke, J.M. 1974. An ultrastructural analysis of the cuticle, epiderm is and esophageal epithelium of *Eisenia foetida* (Oligochaeta) . *Journal of Morphology*, 142, 301-320.
- Byzov, B., Nechitaylo, T.Y., Bumazhkin, B.K., Kurakov, A.V., Golyshin, P.N., Zvyagintsev, D.G. 2009. "Culturable microorganisms from the earthworm digestive tract." *Microbiology* 78: 360-368.
- Cai, L., Gong, X., Sun ID, X., Li, S., Yu, X. 2018. Comparison of chemical and microbiological changes during the aerobic composting and vermicomposting of green waste. *Plos One*. 26, 1-16.
- Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J. A., & Holmes, S. P. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature methods*, 13(7), 581-583.

- Canellas LP, Olivares FL, Okorokova FAR (2002) Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence and plasma membrane H^{+} -ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol* 130:1951–1957.
- Caporaso, J. G., Kuczynski, J., Stombaugh, J., Bittinger, K., Bushman, F. D., Costello, E. K., ... & Knight, R. (2010). QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nature methods*, 7(5), 335-336.
- Cayuela, M.L., Mondini, C., Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A. 2008. Chemical properties and hydrolytic enzyme activities for the characterisation of twophase olive mill wastes composting. *Bioresour. Technol.* 99, 4255–4262.
- Chaoui H, Edwards CA, Brickner M, Lee S, Arancon N (2002) Suppression of the plant diseases, Pythium (damping off), Rhizoctonia (root rot) and Verticillium (wilt) by vermicomposts. *Proceedings of Brighton Crop Protection Conference– Pests and Diseases II(8B-3):711–716.*
- Chen, J., Du, Y., Zhu, W., Pang, X., Wang, Z. 2022. Effects of organic materials on soil bacterial community structure in long-term continuous cropping of tomato in greenhouse. *Open Life Sciences* 2022; 17: 381–392.
- Daniel, O., Anderson, J. 1992. "Microbial biomass and activity in contrasting soil materials after passage through the gut of the earthworm *Lumbricus rubellus* Hoffmeister." *Soil Biology and Biochemistry* 24(5): 465-470.
- Demir, H., Polat, E., Sönmez, İ. 2010. Ülkemiz için yeni bir organik gübre: solucan gübresi. *Tarım aktüel*, 14, 54-60.
- Devi, S.H., Vijayalakshmi, K., Jyotsna, P.K., Shaheen, S.K., Jyothi, K., Rani, S. 2009. "Comparative assessment in enzyme activities and microbial populations during normal and vermicomposting." *Journal of environmental Biology* 30(6): 1013-1017.
- de Gannes, V., Eudoxie, G., & Hickey, W. J. (2013). Prokaryotic successions and diversity in composts as revealed by 454-pyrosequencing. *Bioresource technology*, 133, 573-580.
- de Mesquita, B., Clifton, P., Samuel, A. Sartwell, Stevenk. Schmidt And Katharine N. Suding. 2020. Growing-season length and soil microbes influence the performance of a generalist bunchgrass beyond its current range. *Ecology*, 101 (9), Ecological Society of America.
- Devliegher, W., Verstraete, W. 1995. "Lumbricus terrestris in a soil core experiment: nutrient-enrichment processes (NEP) and gut-associated processes (GAP) and their effect on microbial biomass and microbial activity." *Soil Biology and Biochemistry* 27(12): 1573-1580.

- Devliegher, W., Verstraete, W. 1997. "Microorganisms and soil physico-chemical conditions in the drilosphere of *Lumbricus terrestris*." *Soil Biology and Biochemistry* 29(11-12): 1721-1729.
- Dindar, E. 2008. Arıtma çamuru verilen tarım topraklarında solucan aktivitesinin azot formlarına ve toprak enzim aktivitelerine etkisi, Bursa Uludag University (Turkey).
- Doğan, K., Sarioğlu, A., Şakar, E., Karanlık, S. 2018. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı:151-159.
- Dominguez, J.A., Edwards, C.A., Subler, S. 1997. A comparison of vermicomposting and composting. *Biocycle* 38(4): 57-59.
- Dume, B., Hanc, A., Svehla, P., Michal, P., Solcova, O., Chane, A.D., Nigussie, A. 2022. Nutrient recovery and changes in enzyme activity during vermicomposting of hydrolysed chicken feather residue. *Environmental Technology*. 1-15. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2147451>
- Duran, K., Türkmen, M. 2019. Kahverengi Deniz Yosunu ve Çiftlik Gübresi Kombinasyonlarının *Esenia foetida* Organik Gübresi Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun, 577732. (Türkiye).
- Edwards, C., Lofty, J. 1977. "Biology of Earthworms, Chapman and Hall." London UK.
- Edwards, C. 1983. Utilization of earthworm composts as plant growth media. International Symposium on Agricultural and Environmental Prospects in Earthworm. Rome, Italy.
- Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 24: 21- 31.
- Edwards, C. A. (2002). Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 38(3-4), 225-231.
- Edwards, C. A., Arancon, N. Q. 2004. Vermicomposts suppress plant pest and disease attacks. *BioCycle*, 45(3), 51-54.
- Edwards, C. A., Bohlen, P. J. 1996. *Biology and ecology of earthworms*, Springer Science & Business Media.
- Edwards, C. A., Burrows, I. 1988. "Potential of earthworm composts as plant growth media." *Earthworms in waste and environmental management*/edited by Clive A. Edwards and Edward F. Neuhauser.

- Edwards, C. A., Fletcher, K. 1988. "Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 24(1-3): 235-247.
- Eivazi, F. and A. Zakaria, 1993. p-Glucosidase activity in soils amended with sewage sludge. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 43- 155-161.
- Erdoğan, C., Arpaz, E. 2019. "Eisenia fetida türü toprak solucanlarının kimyasal gübre kullanılmış topraklar üzerine etkisi." *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2(2): 231-237.
- Esakkiammal, B., Esaivani, C., Vasanthi, K., Lakshmibai, L. and Shanthi P. N. 2015. Microbial diversity of Vermicompost and Veriwash prepared from *Eudrilus euginae*. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* (2015) 4(9): 873-883.
- Fernandez-Gomez, M.J., Nogales, R., Insam, H., Romero, E., Goberna, M. 2010. Continuous-feeding vermicomposting as a recycling management method to revalue tomato-fruit wastes from greenhouse crops. *Waste Manag.* 30, 2461-2468.
- Gammack, S.M., Paterson, E., Kemp, J.S., Cresser, M.S., and Killham, K. 2021. "Factors affecting the movement of microorganisms in soils," in *Soil biochemistry*, (Boca Raton: CRC Press), 263–305.
- Gandhi M, Sangwan V, Kapoor KK, Dilbaghi N (1997) Composting of household wastes with and without earthworms. *Environ Ecol* 15:432–434.
- Garcia, C., Hernandez, T., & Costa, F. (1994). Microbial activity in soils under Mediterranean environmental conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(9), 1185-1191.
- García-Sánchez, M., Taušnerová, H., Hanč, A., & Tlustoš, P. (2017). Stabilization of different starting materials through vermicomposting in a continuous-feeding system: Changes in chemical and biological parameters. *Waste Management*, 62, 33-42.
- Garg P, Gupta A, Satya S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: a comparative study. *Bioresour Technol.* 97 (3):391–395.
- Ghosh M, Chattopadhyay GN, Baral K (1999) Transformation of phosphorus during vermicomposting. *Bioresour Technol* 69:149–154.
- Gopal, M., Gupta, A., Sunil, E., Thomas, G. V. 2009. Amplification of plant beneficial microbial communities during conversion of coconut leaf substrate to vermicompost by *Eudrilus* sp. *Current Microbiology*, 59(1), 15-20.
- Grapeelli, A., Galli, E., Tomati, U. 1987. "Earthworm casting effect on *Agaricus bisporus* fructification." *Agrochimica* 31(4-5): 457-462.

- Gudeta, K., Julka, J.M., Kumar, A., Bhagatd, A., Kumari, A. 2021. Vermiwash: An agent of disease and pest control in soil, a review. *Heliyon* 2021, 7, e06434.
- Gunjal, A. B., Waghmode, M. S., Patil, N. N., and Nawani, N. N. 2019. "Significance of soil enzymes in agriculture," in *Smart Bioremediation Technologies, Microbial Enzymes*, ed. P. Bhatt (Cambridge, MA: Academic Press), 159–168.
- Gurmessa B, Cocco S, Ashworth AJ. 2021. Post-digestate composting benefits and the role of enzyme activity to predict trace element immobilization and compost maturity. *Bioresour Technol.* 338:125-550.
- Han, J., Sun, L., Dong, X., Cai, Z., Yang, H., Wang, Y., Song, W. 2005. "Characterization of a novel plant growth-promoting bacteria strain *Delftia tsuruhatensis* HR4 both as a diazotroph and a potential biocontrol agent against various plant pathogens." *Systematic and applied microbiology* 28(1): 66-76.
- Hemati, A., Alikhani, H.A., Ajdarian, L., Babaei, M., Asgari Lajayer, B., van Hullebusch, E.D. 2022. Effect of different enriched vermicomposts, humic acid extract and indole-3-acetic acid amendments on the growth of *Brassica napus*. *Plants* 2022, 11, 227.
- Hepşen Türkay, F. 2010. "Fındık zırfu ve arıtma çamurunun solucanlar ile kompostlanması ve elde edilen vermikompostun sera ve tarla koşullarında toprakların biyolojik özelliklerinde meydana getirdiği etkilerin belirlenmesi." *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*: 2-8.
- Hoffmann, G.G. and K. Teicher. (1961). Ein Kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Urease Aktivität in Boden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk* 91: 55-63.
- Hoque, T.S., Hasan, A.K., Hasan, M.A., Nahar, N., Dey, D.K., Mia, S., Solaiman, Z.M., Kader, M.A. 2022. Nutrient release from vermicompost under anaerobic conditions in two contrasting soils of Bangladesh and its effect on wetland rice crop. *Agriculture*, 2022, 12, 376.
- Hrebeckova, T., Wiesnerova, L., Hanc, A. 2019. Changes of enzymatic activity during a large-scale vermicomposting process with continuous feeding *Journal of Cleaner Production*. 239: 118-127.
- Huang, G.F., Wong, J.W., Wu, Q.T. 2004. Effect of C/N on com-posting of pig manure with sawdust. *Waste Manag.* 24 (8):805–813.
- Hunt, C., Hernandez, T., Costa, F., Ceccanti, B. 1994. Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic wastes. *Waste Manage. Res.* 12, 457–466.
- Huntington, G., 1986. Uptake and transport of nonprotein nitrogen by the ruminant gut. *Fed. Proc.*, 2272–2276.

- Ingham, E. R., Slaughter, M. D. 2004. The soil foodweb-soil and composts as living ecosystems. First International Conference Soil and Compost Eco-Biology, León, Spain, Citeseer.
- Jamaludin, A. A., & Mahmood, N. Z. (2010). Effects of vermicomposting duration to macronutrient elements and heavy metals concentrations in vermicompost. *Sains Malaysiana*, 39(5), 711-715.
- Jha, B.K., Gandhi Pragash, M., Cletus, J., Raman, G., Sakthivel, N. 2009. Simultaneous phosphate solubilization potential and antifungal activity of new fluorescent pseudomonad strains, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. plecoglossicida* and *P. mosselii*. *W J Microbiol Biotech* 25:573–581.
- Kale, R.D., Bano, K. & Krishnamurthy, R.V. 1982. Potential of *Perionyx excavatus* for utilizing organic wastes. *Pedobiologia* 23: 419-425.
- Kale, R.D., Mallesh, B.C., Kubra, B., Bagyaraj, D.J. 1992. "Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field." *Soil Biology and Biochemistry* 24(12): 1317-1320.
- Karmegam, N., Vijayan, P., Prakash, M. 2019. Vermicomposting of paper industry sludge with cowdung and green manure plants using *Eisenia fetida*: Aviable option for cleaner and enriched vermicompostproduction. *J Clean Prod.* 228:718–728.
- Kaviraj, Sharma, S. (2003). Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresource technology*, 90(2), 169-173.
- Khatua, C., Sengupta, S., Krishna Balla, V.K. 2018. Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia fetida*. *WasteManag.* 79:287–295.
- Kızılkaya, R., & Hepşen, S. (2004). Effect of biosolid amendment on enzyme activities in earthworm (*Lumbricus terrestris*) casts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(2), 202-208.
- Kızılkaya, R., & Hepşen, Ş. (2007). Microbiological properties in earthworm cast and surrounding soil amended with various organic wastes. *Communications in soil science and plant analysis*, 38(19-20), 2861-2876.
- Kızılkaya, R., Türkay Hepşen, F.Ş., Bayraklı, B., Aşkın, T., Akça, İ., Ceyhan, V. 2010. Enzyme and earthworm activities during vermicomposting in sewage sludge. *International Soil Science Congress on Management of Natural Resources to Sustain Soil Health and Quality*. Samsun, Turkey.
- Kızılkaya, R., Türkay Hepşen, F.Ş. 2014. Vermicomposting of Anaerobically Digested Sewage Sludge with Hazelnut Husk and Cow Manure by Earthworm *Eisenia foetida*. *Compost Science and Utilization*. 22 (2).

- Kristufek, V., Ravasz, K., Pizl, V. 1993. "Actinomycete communities in earthworm guts and surrounding soil." *Pedobiologia (Jena)* 37(6): 379-384.
- Kumar, R.S., Ayyadurai, N., Pandiaraja, P., Reddy, A.V., Venkateswarlu, Y., Prakash, O., Sakthivel, N. 2005. "Characterization of antifungal metabolite produced by a new strain *Pseudomonas aeruginosa* PUPa3 that exhibits broad-spectrum antifungal activity and biofertilizing traits." *Journal of applied Microbiology* 98(1): 145-154.
- Lakshmi, C.S.R., Rao, P.C., Sreelatha, T., Madhavi, M., Padmaja, G., Sireesha, A., 2014. Changes in enzyme activities during vermicomposting and normal composting of vegetable market waste. *Agric. Sci. Dig.* 34, 107–110.
- Lavelle P, Martin A (1992) Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. *Soil Biol Biochem* 12:1491–1498.
- Lazarovits G, Tenuta M, Conn KL, Gullino ML, Katan J, Matta A (2000) Utilization of high nitrogen and swine manure amendments for control of soil-borne diseases: efficacy and mode of action. *Acta Hort* 5:559–564.
- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., Domínguez, J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and ver-micomposting for the biological stabilization of cattlemanure. *Chemosphere*.72:1013–1019.
- Leininger, D. J. Roberson, J. R. Elvinger F. (2001). Use of eosin methylene blue agar to differentiate *Escherichia coli* from other gram-negative mastitis pathogens, *J Vet Diagn Invest* 13:273–275
- Liu, H., Huang, Y., Duan W., Qiao, C., Shen, Q., Li, R. 2020. Microbial community composition turnover and function in the mesophilic phase predetermine chicken manure composting efficiency. *Bioresource Technology*. 313, 123658.
- Lunt, H.A., Jacobson, H.G. 1994. The chemical composition of earthworm casts. *Soil Science*, 58: 367-75.
- Lv, B., Xing, M., Yang, J., 2016. Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. *Bioresour. Technol.* 209, 397–401.
- MacHfudz, M., Basit, A., Handoko, R. N. S. 2020. Effectiveness of vermicompost with additives of various botanical pesticides in controlling *Plutella xylostella* and their effects on the yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. Capitata). *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 8(3), 223-232.
- Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P. y Clark, D. 2009. Brock: Biology of microorganisms. 12th ed. Pearson Education, Madrid, Spain.

- Maheswarappa, H.P., Nanjappa, H.V. and Hegde, M.R. 1999. Influence of organic manures on yield of arrowroot, soil physico-chemical and biological properties when grown as intercrop in coconut garden. *Annals of Agricultural Research* 20(3):318–323.
- Makoi, J. H., & Ndakidemi, P. A. (2008). Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. *African Journal of Biotechnology*, 7(3).
- Malaysiana, S. 2010. Effects of Vermicomposting Duration to Macronutrient Elements and Heavy Metals Concentrations in Vermicompost. 39 (5): 711–715.
- Manyuchi MM, Phiri A. 2013. Vermicomposting in solid wastemanagement: a review. *Int J Sci Eng Technol.* 2:1234–1242.
- Mobley, H., Hausinger, R., 1989. Microbial ureases: significance, regulation, and molecular characterization. *Microbiol. Rev.* 53, 85–108.
- Mondal T, Datta JK, Mondal NK. 2017. Chemical fertilizer inconjunction with biofertilizer and vermicompostinduced changes in morpho-physiological and bio-chemical traits of mustard crop. *J Saudi Soc Agric Sci.*16:135–144.
- Mondini, C., Fornaiser, F., Sinicco, T., 2004. Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. *Soil Biol. Biochem.* 36, 1587-1594.
- Mooijman, K. A., Pielaat, A., & Kuijpers, A. F. (2019). Validation of EN ISO 6579-1-Microbiology of the food chain-Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella-Part 1 detection of Salmonella spp. *International Journal of Food Microbiology*, 288, 3-12.
- Munnoli, P. M., Da Silva, J.A.T., Saroj, B. 2010. "Dynamics of the soil-earthworm-plant relationship: a review." *Dynamic soil, dynamic plant* 4(1): 1-21.
- Nagavallemma KP, Wani SP, Stephane L, Padmaja VV, Vineela C, Babu Rao M, Sahrawat KL (2004) Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. *Global Theme on Agrecosystems Report no.8.* Patancheru 502324.
- Naik, P. R., Raman, G., Narayanan, K.B., Sakthivel, N. 2008. "Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing fluorescent pseudomonads isolated from rhizospheric soil." *BMC microbiology* 8(1): 1-14.
- Nakasone, A. K., Bettiol, W., De Souza, R. M. 1999. The effect of water extracts of organic matter on plant pathogens. *Summa Phytopathologica*, 25, 330-335.
- Namlı, A., Akça, O., Perçimli, C., Beşe, S., Gür, Ş., Arıkan, H., Eser, İ., İzci, E. 2014. Evsel ve endüstriyel atımaçamurlarının insolucanlar (*Eisenia fetida*) ile kompostlanması. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi.* 2:1, 46-56.

- Naseby, D. C. and Lynch, J. M. (1997). Functional impact of genetically modified micro-organisms on the soil ecosystem. In: Zelikoff, J. T., Schepers, J. and Lynch, J. M. (eds) *Ecotoxicology: Responses, Biomarkers and Risk Assessment*. SOS Publications, Fair Haven, NJ, USA. pp 419-442.
- Nath, G., Singh, K. 2011. Effect of foliar spray of bio pesticides and vermiwash of animal, agro and kitchen wastes on soybean (*Glycine max* L.) crop. *Botany Research International*, 4(3), 52-57.
- Nath, G., Singh, K. 2012. Combination of vermiwash and biopesticides against aphid (*Lipaphis erysimi*) infestation and their effect on growth and yield of mustard (*Brassica campestris*). *Dyn Soil Dyn Plant*, 6(1), 96-102.
- Nechitaylo, T.Y., Yakimov, M.M., Godinho, M., Timmis, K.N., Belogolova, E., Byzov, B.A., Kurakov, A.V., Jones, D.L., Golyshin, P. N. 2010. "Effect of the earthworms *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea caliginosa* on bacterial diversity in soil." *Microbial Ecology* 59: 574-587.
- Nogales, R., Saavedra, M., Benítez, E. 2008. Recycling of wet olive cake "alperujo" through treatment with fungi and subsequent vermicomposting. *Fresen. Environ. Bull.*, 17:11a, 1822-1826.
- Özkan, N., Dağlıoğlu, M., Ünser, E., Müftüoğlu, N.M. 2016. Vermikompostun Ispanak (*Spinacia oleracea* L.) Verimi ve Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg. (COMU J. Agric. Fac.)*. 1-5.
- Parle, J. 1963. "A microbiological study of earthworm casts." *Microbiology* 31(1): 13-22.
- Parthasarathi, K., Ranganathan, L. 1998. "Pressmud Vermicast are 'Hot Spots' of Fungi and Bacteria." *Ecology Environment and Conservation* 4: 81-86.
- Pathma, J., Ayyadurai, N., Sakthivel, N. 2010. Assessment of Genetic and Functional Relationship of Antagonistic Fluorescent Pseudomonads of Rice Rhizosphere by Repetitive Sequence, Protein Coding Sequence and Functional Gene Analyses. *J Microbiol* 48:715-727.
- Pathma, J., Kamaraj Kennedy, R., Sakthivel, N. 2011a. Mechanisms of fluorescent pseudomonads that mediate biological control of phytopathogens and plant growth promotion of crop plants. In: Maheswari DK (ed) *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Growth Responses*. SpringerVerlag, Berlin, pp 77-105.
- Pedersen, J. C., Hendriksen, N. B. 1993. "Effect of passage through the intestinal tract of detritivore earthworms (*Lumbricus* spp.) on the number of selected Gram-negative and total bacteria." *Biology and fertility of soils* 16: 227-232.
- Pinel N., Davidson, S.K., Stahl, D.A. 2008. *Verminephrobacter eiseniae* gen. nov., sp. nov., a nephridial symbiont of the earthworm *Eisenia foetida* (Savigny). *Int J Syst Evol Microbiol* 58:2147-2157.

- Pižl, V., Nováková, A. 2003. "Interactions between microfungi and *Eisenia andrei* (Oligochaeta) during cattle manure vermicomposting: The 7th international symposium on earthworm ecology· Cardiff· Wales· 2002." *Pedobiologia* 47(5- 6): 895-899.
- Pramanik, P., Ghosh, G.K., Ghosal, P.K., Banik, P. 2007. Changes in organic – C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource Technology* 98: 2485-2494.
- Pramanik, P., Safique, S., Jahan, A. 2016. Effect of vermicom-posting on treated hard stem leftover wastes frompruning of tea plantation: a novel approach. *Ecol Eng.* 97:410–415.
- Raguchander T, Rajappan K, Samiyappan R (1998) Influence of biocontrol agents and organic amendments on soybean root rot. *Int J Trop Agri* 16:247–252.
- Reasoner, D. J., & Geldreich, E. (1985). A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water. *Applied and environmental microbiology*, 49(1), 1-7.
- Sahni, S., Sarma, B. K., Singh, D. P., Singh, H. B., Singh, K. P. 2008. Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum* rhizosphere against *Sclerotium rolfsii*. *Crop Protection*, 27(3-5), 369-376.
- Santana, N.A., Jacques, R.J.S., Antonioli, Z.I., Martínez-Cordeiro, H., Domínguez, J., 2020. Changes in the chemical and biological characteristics of grape marc vermicompost during a two-year production period. *Applied Soil Ecology* 154, 103587.
- Satchell, J. E., & Martin, K. (1984). Phosphatase activity in earthworm faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 16(2), 191-194.
- Scheu, S. 1992. "Automated measurement of the respiratory response of soil microcompartments: active microbial biomass in earthworm faeces." *Soil Biology and Biochemistry* 24(11): 1113-1118.
- Scheuerell SJ, Sullivan DM, Mahaffee WF (2005) Suppression of seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*, and *Rhizoctonia solani* in container media amended with a diverse range of Pacific Northwest compost sources. *Phytopathology* 95:306–315.
- Scott, M. A. 1988. "Use of worm-digested animal waste as a supplement to peat in loamless composts for hardy nursery stock." *Earthworms in waste and environmental management*/edited by Clive A. Edwards and Edward F. Neuhauser.

- Segata, N., Izard, J., Waldron, L., Gevers, D., Miropolsky, L., Garrett, W. S., & Huttenhower, C. (2011). Metagenomic biomarker discovery and explanation. *Genome biology*, 12, 1-18.
- Shahmansouri, M.R., Pourmoghadas, H., Parvaresh, A.R., 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.
- Sharma, R.C., Banik, P. 2014. "Vermicompost and fertilizer application: Effect on productivity and profitability of baby corn (*Zea Mays L.*) and soil health." *Compost Science & Utilization* 22(2): 83-92.
- Sharma, K., Garg, V.K. 2019. Recycling of lignocellulosic waste as vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. *EnvironSci Pollut Res.* 26 (14):14024–14035.
- Sharpley, A., Syers, J. 1976. "Potential role of earthworm casts for the phosphorus enrichment of run-off waters." *Soil Biology and Biochemistry* 8(5): 341-346.
- Shi-Wei, Z., Fu-Zhen, H. 1991. "The nitrogen uptake efficiency from ¹⁵N labeled chemical fertilizer in the presence of earthworm manure (cast)." *Advances in management and conservation of soil fauna*: 539-542.
- Shrestha, P., Bellitürk, K. and Görres, J.H. 2019. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil by Switchgrass: A Comparative Study Utilizing Different Composts and Coir Fiber on Pollution Remediation, Plant Productivity, and Nutrient Leaching. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (7): 1261 (1-16).
- Singh R, Sharma RR, Kumar S, Gupta RK, Patil RT (2008) Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresour Technol* 99:8507–8511.
- Singh, K. 2009. "Microbial and Nutritional analysis of vermicompost, aerobic and anaerobic compost." Griffith University, Brisbane, Australia.
- Song, X., Liu, M., Wu, D., Qi, L., Ye, C., Jiao, J., Hu, F. 2014. Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. *Waste Manag.* 2014, 34, 1977–1983.
- Srinivasarao, C. 2011. "Nutrient management strategies in rainfed agriculture: constraints and opportunities." *Indian J. Fert* 7(4): 12-28.
- Srivastava, V., Goel, G., Thakur, V.K. 2020. Analysis and advanced characterization of municipal solid waste vermicompost maturity for a green environment. *J Environ Manag.* 255:109-914.
- Subler S, Edwards CA, Metzger PJ (1998) Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle* 39:63–66.

- Sudkolai, S.T., Nourbakhsh, F. 2017. Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts. *Waste Management*. 64:63–66.
- Suhane, R. 2007. "Vermicompost (In Hindi); Pub." Of Rajendra Agriculture University, Pusa, Bihar 88.
- Surendra, S. 2006. Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompost production. *Bioresource Technology* 97: 2474-2477.
- Suthar, S. 2010 Recycling of agro-industrial sludge through vermiculture technology. *Ecol Eng.* 36:1028–1036.
- Suthar, S., Sajwan, P., Kumar, K. 2014. "Vermiremediation of heavy metals in wastewater sludge from paper and pulp industry using earthworm *Eisenia fetida*." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 109: 177-184.
- Szczeczek, M.M. 1999. Suppressiveness of Vermicompost against Fusarium Wilt of Tomato. *Journal of Phytopathology*, 147 (3), 155-161.
- Szczeczek, M., Smolińska, U. 2001. Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage sludge against *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *nicotianae*. *Journal of Phytopathology*, 149(2), 77-82.
- Şimşek-Erşahin, Y. 2007. Vermikest ve vermikest hümik fraksiyonlarının hıyar (*Cucumis sativus* L.) kök ve gövde çürüklük etmenleri *Rhizoctonia solani* (Kühn) ve *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerum* üzerindeki baskılama etkisinin belirlenmesi. GOP Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Tokat).
- Taberlet, P., Bonin, A., Zinger, L., & Coissac, E. 2018. Environmental DNA for biodiversity research and monitoring. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Tavali, İ.E., Ok, H. 2022. "Comparison of Heat-Treated and Unheated Vermicompost on Biological Properties of Calcareous Soil and Aloe Vera Growth under Greenhouse Conditions in a Mediterranean Climate" *Agronomy* 2022, 12, 2649. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112649>.
- Tiquia, S. 2002. Evolution of extracellular enzyme activities during manure composting. *J. Appl. Microbiol.* 92, 764–775.
- Tiquia, S.M. 2005. "Microbiological parameters as indicators of compost maturity." *Journal of applied Microbiology* 99(4): 816-828.
- Tiwari, S.C., Tiwari, B.K., Mishra, R.R. 1989. Microbial populations, enzyme activities and nitrogen, phosphorous, potassium enrichment in earthworm casts and in the surrounding soil of pine apple plantation. *Biol Fertil Soils* 8:178–182.

- Tomati, U., Grappelli, A., Galli, E. 1983. Fertility factors in earthworm humus. Proc.Int. Symp. Agric. Environ. Prospects in Earthworm Farming. Publication Ministero della Ricerca Scientifica e Tecnologia, Rome, 49-56.
- Tomati, U., Grappelli, A., Galli, E. 1987. The presence of growth regulators in earthworm-worked wastes. In: Bonvicini Paglioi, A.M. and P. Omodeo (eds) On Earthworms. Proceedings of International Symposium on Earthworms. Selected Symposia and Monographs, Unione Zoologica Italiana, 2, Mucchi, Modena, pp. 423-435.
- Tomati, U., Grappelli, A., Galli, E. 1988. The hormone like effect of earthworm casts on plant growth. Biol. Fertil. Soils. 5: 288-294.
- Tomati, U., Galli, E., Grappelli, A. and Dihena, G. 1990. Effect of earthworm casts on protein synthesis in radish (*Raphanus sativum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) seedlings. Biology and Fertility of Soils, 9, 288-289.
- Tomati, U. and Galli, E. 1995. Earthworms, Soil Fertility and Plant Productivity. Proceedings of the International Colloquium on Soil Zoology. Acta Zoologica Fennica, 196:11-14.
- Toyota, K., Kimura, M. 2000. "Microbial community indigenous to the earthworm *Eisenia foetida*." Biology and fertility of soils 31: 187-190.
- TSE 1991a. TS 9104. Turba- Ph tayini. ASTM D 4544 (1981), DIN 11540 (1989), BS 4156 (1967).
- TSE 1991b. TS 9106. Turba- Elektrik  ziletkenlik değeri ve tuz miktarının tayini. DIN 11540 (1989).
- TSE 1991c. TS 9103. Turba- K l ve organik madde tayini. BS 4156 (1990), DIN 11540 (1989), ASTM 2974 (1967).
- Tutar, U. 2013. "Toprak solucanlarından elde edilen vermikompostun bazı bitki patojenleri üzerindeki antimikrobiyal aktivitelerinin araştırılması." Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi 34(2): 1-12.
- U.S.EPA. (1994) U.S. Environmental Protection Agency. Office of Pollution Prevention and Toxics. Chemical in the Environment: Acrylamide. EPA 79 06-1, Washington DC.
- Vargas-García, M. C., Suárez-Estrella, F., López, M. J., & Moreno, J. (2010). Microbial population dynamics and enzyme activities in composting processes with different starting materials. Waste management, 30(5), 771-778.
- Vaz-Moreira, I., Maria, E., Silva, C.M., Manaia, Olga C., Nunes. 2008. Diversity of Bacterial Isolates from Commercial and Homemade Composts. Microbial Ecol 55:714 722.

- Viel, M., Sayag, D., Andre, L. 1987. Optimisation of agricultural, industrial waste management through in-vessel composting. In *Compost, Production, Quality and Use*, edited by deBertoldi, M. 230-237. Essex: Elsevier Appl. Science.
- Viel, M., Collet, F., & Lanos, C. (2018). Chemical and multi-physical characterization of agro-resources' by-product as a possible raw building material. *Industrial Crops and Products*, 120, 214-237.
- Vivas, A., Moreno, B., Garcia-Rodriguez, S., Benitez, E. 2009. Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and functional diversity of an olive-mill waste. *Bioresour Technol* 100:1319–1326.
- Vojevoda, L., Šteinberga, V., Gaile, Z. 2015. Effect of the peat elixir and vermikompost extract on the soil microflora in the potato plantation. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 15(1), 221-226.
- Xiao, Y., Lu, Y. and Qiu J. 2002. An ultrastructural of integumentary system in *Pheretima Californica* (Oligochaeta: Megascolecidae). *Journal of Shanghai Teachers University (Natural Science)*, 31(2), 79-86.
- Wahengbam, J., Bhushan, L.S., Patil, J.B., Pathma, J. 2021. "Insecticides Derived from Natural Products: Diversity and Potential Applications." *Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture*: 403-437.
- Wang, J., Wang, Y., He, N., Ye, Z., Chen, C., Zang, R., Feng, Y., Lu, Q. I., & Li, J. (2020). Plant functional traits regulate soil bacterial diversity across temperate deserts. *Science of the Total Environment*, 715, 136976.
- Wani, S. A., Samanta, I., Bhat, M. A., & Nishikawa, Y. (2004). Investigation of shiga toxin-producing *Escherichia coli* in avian species in India. *Letters in applied microbiology*, 39(5), 389-394.
- Wani, K.A., Rao, R.J. 2013. Bioconversion of garden waste, kitchenwaste and cow dung into value-added products using earthworm *Eisenia fetida*. *Saudi J Biol Sci* 20:149–154.
- Werner, M., Cuevas, R. 1996. *Vermiculture in Cuba Biocycle*, vol. 37 (6), JG Press, Emmaus, PA.
- Yamada, T., Sekiguchi, Y., Hanada, S., Imachi, H., Ohashi, A., Harada, H., & Kamagata, Y. (2006). *Anaerolinea thermolimosa* sp. nov., *Levilinea saccharolytica* gen. nov., sp. nov. and *Leptolinea tardivitalis* gen. nov., sp. nov., novel filamentous anaerobes, and description of the new classes *Anaerolineae* classis nov. and *Caldilineae* classis nov. in the bacterial phylum Chloroflexi. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 56(6), 1331-1340.
- Yaviç, Ş., Demir, S., Boyno, G. 2020. Solucan gübresi (vermikompost)'nin domates (*Solanum lycopersicum*)'te *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary'un neden

olduğu kök çürüklüğü hastalığına etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(1), 13-20.

Yin, Y.N., Yang, C., Tang, J.R., Gu, J., Li, H.C., Duan, M.L., Wang, X.C., Chen R. 2021. Bamboo charcoal enhances cellulase and urease activities during chicken manure composting: roles of the bacterial community and metabolic functions. J Environ Sci 108:84–95.

Zadik, P.M., P.A. Chapman and C.A. Siddons. (1993). J. Med. Microbiol.; 39:155-158.
Zarcinas, B.A., Cartwright, B., Spouncer, L.R., (1987). Nitric acid digestion and multi-element analysis of plant material by inductively coupled plasma spectrometry. Commun. Soil Sci. Plant Anal.18, 131–146.

Zhang, B.G., Li, G.T., Shen, T.S., Wang, J.K., Sun, Z. 2000. Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia foetida*. Soil Biol Biochem 32:2055–2062.

Zheng L., Ren M.L., Xie E., Ding A.Z., Liu Y., Deng S.Q., Zhang D.Y. 2019. Roles of Phosphorus Sources in Microbial Community Assembly for the Removal of Organic Matters and Ammonia in Activated Sludge. *Front. Microbiol.* 10:1023.

Zziwa, A., Jjagwe, J., Kizito, S. 2021. Nutrient recovery from pineapple waste through controlled batch and continuous vermicomposting systems. Environ Manag. 279:111-784.

EKLER

EK 1 İnkübasyon Denemesi Varyans Analiz Sonuçları

EK 2 Solucan Sayısı İle Diğer Özellikler Arasında Pearson Korelasyonlar

EK 1 İnkübasyon Denemesi Varyans Analiz Sonuçları

ANOVA: % Organik Madde; % Azot (N); ... versus Ürün Cinsi; zaman

Factor	Type	Levels	Values
Ürün Cinsi	fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
zaman	fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance for % Organik Madde

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	2152,89	307,56	32,19	0,000
zaman	2	263,11	131,56	13,77	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	297,78	21,27	2,23	0,020
Error	48	458,67	9,56		
Total	71	3172,44			

S = 3,09121 R-Sq = 85,54% R-Sq(adj) = 78,61%

Analysis of Variance for % Azot (N)

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	2,46418	0,35203	22,70	0,000
zaman	2	1,81988	0,90994	58,66	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	0,64600	0,04614	2,97	0,002
Error	48	0,74452	0,01551		
Total	71	5,67458			

S = 0,124542 R-Sq = 86,88% R-Sq(adj) = 80,59%

Analysis of Variance for C/N

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	286,339	40,906	5,35	0,000
zaman	2	155,996	77,998	10,20	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	221,091	15,792	2,06	0,032
Error	48	367,206	7,650		
Total	71	1030,632			

S = 2,76588 R-Sq = 64,37% R-Sq(adj) = 47,30%

Analysis of Variance for pH

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	6,87047	0,98150	289,50	0,000
zaman	2	0,20801	0,10401	30,68	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	2,83403	0,20243	59,71	0,000
Error	48	0,16273	0,00339		
Total	71	10,07524			

S = 0,0582261 R-Sq = 98,38% R-Sq(adj) = 97,61%

Analysis of Variance for EC

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	97,6641	13,9520	880,41	0,000
zaman	2	3,2773	1,6387	103,40	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	26,0345	1,8596	117,35	0,000

Error	48	0,7607	0,0158
Total	71	127,7365	

S = 0,125886 R-Sq = 99,40% R-Sq(adj) = 99,12%

Analysis of Variance for % P2O5

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	36,371	5,196	1,41	0,223
zaman	2	0,068	0,034	0,01	0,991
Ürün Cinsi*zaman	14	58,252	4,161	1,13	0,359
Error	48	176,928	3,686		
Total	71	271,619			

S = 1,91990 R-Sq = 34,86% R-Sq(adj) = 3,65%

Analysis of Variance for % K2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	10,81395	1,54485	191,24	0,000
zaman	2	0,96943	0,48471	60,00	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	1,66730	0,11909	14,74	0,000
Error	48	0,38776	0,00808		
Total	71	13,83843			

S = 0,0898791 R-Sq = 97,20% R-Sq(adj) = 95,86%

Analysis of Variance for % Fe

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	0,619153	0,088450	67,99	0,000
zaman	2	0,125946	0,062973	48,41	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	0,053328	0,003809	2,93	0,003
Error	48	0,062445	0,001301		
Total	71	0,860872			

S = 0,0360685 R-Sq = 92,75% R-Sq(adj) = 89,27%

Analysis of Variance for Cu ppm

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	11114,18	1587,74	993,87	0,000
zaman	2	466,19	233,09	145,91	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	1624,64	116,05	72,64	0,000
Error	48	76,68	1,60		
Total	71	13281,69			

S = 1,26394 R-Sq = 99,42% R-Sq(adj) = 99,15%

Analysis of Variance for Zn ppm

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	788115	112588	42,66	0,000
zaman	2	22270	11135	4,22	0,021
Ürün Cinsi*zaman	14	257998	18428	6,98	0,000
Error	48	126690	2639		
Total	71	1195073			

S = 51,3749 R-Sq = 89,40% R-Sq(adj) = 84,32%

Analysis of Variance for Mn ppm

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	3385472	483639	184,95	0,000
zaman	2	151913	75956	29,05	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	128463	9176	3,51	0,001
Error	48	125518	2615		
Total	71	3791367			

S = 51,1367 R-Sq = 96,69% R-Sq(adj) = 95,10%

Analysis of Variance for Pb ppm

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	1139,42	162,77	102,01	0,000
zaman	2	149,96	74,98	46,99	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	1543,00	110,21	69,07	0,000
Error	48	76,59	1,60		
Total	71	2908,97			

S = 1,26319 R-Sq = 97,37% R-Sq(adj) = 96,11%

Analysis of Variance for Cr ppm

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	468,291	66,899	391,05	0,000
zaman	2	50,639	25,319	148,00	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	344,497	24,607	143,84	0,000
Error	48	8,212	0,171		
Total	71	871,638			

S = 0,413614 R-Sq = 99,06% R-Sq(adj) = 98,61%

Analysis of Variance for Ni ppm

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	258,492	36,927	223,93	0,000
zaman	2	94,549	47,275	286,68	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	112,103	8,007	48,56	0,000
Error	48	7,915	0,165		
Total	71	473,059			

S = 0,406082 R-Sq = 98,33% R-Sq(adj) = 97,53%

Analysis of Variance for Glukosidaz

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	563,90	80,56	20,27	0,000
zaman	2	21627,60	10813,80	2720,92	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	641,56	45,83	11,53	0,000
Error	48	190,77	3,97		
Total	71	23023,83			

S = 1,99357 R-Sq = 99,17% R-Sq(adj) = 98,77%

Analysis of Variance for Fosfataz

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	506,04	72,29	3,15	0,008
zaman	2	18049,28	9024,64	392,65	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	1263,76	90,27	3,93	0,000
Error	48	1103,22	22,98		
Total	71	20922,30			

S = 4,79415 R-Sq = 94,73% R-Sq(adj) = 92,20%

Analysis of Variance for Üreaz

Source	DF	SS	MS	F	P
Ürün Cinsi	7	4272,6	610,4	9,26	0,000
zaman	2	47594,2	23797,1	360,92	0,000
Ürün Cinsi*zaman	14	12265,8	876,1	13,29	0,000
Error	48	3164,9	65,9		
Total	71	67297,5			

S = 8,12004 R-Sq = 95,30% R-Sq(adj) = 93,04%

EK 2 Solucan Sayısı İle Diğer Özellikler Arasında Pearson Korelasyonlar

		Solucan sayı adet	Solucan ağırlık g	% Azot (N)	% Organik Madde	pH	EC	% P2O5	% K2O	% Fe	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cr ppm	Ni ppm	Glukosidaz	Fosfataz	Üreaz
"Solucan sayı adet"	Pearson Corr.	1	0,97766*	-0,50215	0,42823	-0,92062*	-0,62683*	-0,618*	-0,56077	-0,29889	-0,53797	-0,40592	-0,43083	-0,75252*	-0,92975*	0,054	-0,29822	-0,47859	0,2538
	p-value	--	4,22522E-8	0,09619	0,16488	2,16974E-5	0,02916	0,03222	0,05786	0,34531	0,0712	0,19045	0,16206	0,00474	1,19671E-5	0,86764	0,34646	0,11549	0,42604
"Solucan ağırlık g"	Pearson Corr.	0,97766*	1	-0,59876*	0,24685	-0,82269*	-0,5415	-0,49071	-0,58252*	-0,20247	-0,47854	-0,50978	-0,54681	-0,78299*	-0,83914*	0,23703	-0,37189	-0,57317	0,23394
	p-value	4,22522E-8	--	0,03968	0,43924	0,00102	0,06901	0,10526	0,04686	0,52798	0,11553	0,09043	0,0658	0,0026	6,43184E-4	0,45822	0,23391	0,05139	0,46429
"% Azot (N)"	Pearson Corr.	-0,50215	-0,59876*	1	0,35802	0,25817	0,20647	-0,1874	0,59167*	-0,35972	-0,0655	0,5401	0,55371	0,36946	0,2215	-0,72634*	0,40058	0,49752	0,07217
	p-value	0,09619	0,03968	--	0,25318	0,41784	0,51969	0,55974	0,04271	0,25077	0,83973	0,06987	0,06179	0,23722	0,48902	0,00747	0,19691	0,0998	0,82362
"% Organik Madde"	Pearson Corr.	0,42823	0,24685	0,35802	1	-0,70143*	-0,51469	-0,80291*	-0,03254	-0,56009	-0,49694	0,22954	0,37356	-0,18647	-0,70634*	-0,83992*	0,28012	0,17881	0,13791
	p-value	0,16488	0,43924	0,25318	--	0,01102	0,08686	0,00166	0,92005	0,05823	0,10026	0,47296	0,23164	0,56173	0,01024	6,28593E-4	0,37786	0,57819	0,66908
"pH"	Pearson Corr.	-0,92062*	-0,82269*	0,25817	-0,70143*	1	0,7629*	0,75521*	0,53524	0,39693	0,52153	0,10349	0,14251	0,5695	0,9732*	0,26193	0,10932	0,22944	-0,2545
	p-value	2,16974E-5	0,00102	0,41784	0,01102	--	0,0039	0,00451	0,07293	0,2014	0,08204	0,74891	0,65862	0,05325	1,04186E-7	0,41084	0,7352	0,47317	0,42473
"EC"	Pearson Corr.	-0,62683*	-0,5415	0,20647	-0,51469	0,7629*	1	0,24672	0,76887*	-0,1889	-0,13005	-0,35569	-0,30704	-0,02726	0,61889*	0,20269	-0,06644	-0,07028	-0,22144
	p-value	0,02916	0,06901	0,51969	0,08686	0,0039	--	0,4395	0,00347	0,55655	0,68705	0,2565	0,33168	0,93298	0,0319	0,52753	0,83746	0,82818	0,48915
"% P2O5"	Pearson Corr.	-0,618*	-0,49071	-0,1874	-0,80291*	0,75521*	0,24672	1	-0,05537	0,88553*	0,8788*	0,1644	0,19447	0,6651*	0,83482*	0,5498	0,01772	0,14691	-0,18265
	p-value	0,03222	0,10526	0,55974	0,00166	0,00451	0,4395	--	0,8643	1,27368E-4	1,67454E-4	0,60965	0,54475	0,01827	7,28664E-4	0,06404	0,95641	0,64867	0,56992
"% K2O"	Pearson Corr.	-0,56077	-0,58252*	0,59167*	-0,03254	0,53524	0,76887*	-0,05537	1	-0,44681	-0,32008	-0,06155	0,0269	0,06795	0,36327	-0,39894	0,02827	0,12414	-0,15114
	p-value	0,05786	0,04686	0,04271	0,92005	0,07293	0,00347	0,8643	--	0,14534	0,31045	0,84929	0,93386	0,83379	0,24577	0,19892	0,93049	0,7007	0,63914
"% Fe"	Pearson Corr.	-0,29889	-0,20247	-0,35972	-0,56009	0,39693	-0,1889	0,88553*	-0,44681	1	0,92588*	0,21004	0,32038	0,62221*	0,53921	0,50246	0,08342	0,13765	-0,09108
	p-value	0,34531	0,52798	0,25077	0,05823	0,2014	0,55655	1,27368E-4	0,14534	--	1,55453E-5	0,51233	0,30998	0,03073	0,07043	0,09595	0,7966	0,66965	0,77833
"Cu ppm"	Pearson Corr.	-0,53797	-0,47854	-0,0655	-0,49694	0,52153	-0,13005	0,8788*	-0,32008	0,92588*	1	0,50506	0,51284	0,84154*	0,68623*	0,319	0,22563	0,37034	-0,11972
	p-value	0,0712	0,11553	0,83973	0,10026	0,08204	0,68705	1,67454E-4	0,31045	1,55453E-5	--	0,09397	0,0882	5,99248E-4	0,01373	0,31219	0,48075	0,23602	0,71092
"Mn ppm"	Pearson Corr.	-0,40592	-0,50978	0,5401	0,22954	0,10349	-0,35569	0,1644	-0,06155	0,21004	0,50506	1	0,76776*	0,76851*	0,24196	-0,46405	0,34416	0,68073*	0,00137
	p-value	0,19045	0,09043	0,06987	0,47296	0,74891	0,2565	0,60965	0,84929	0,51233	0,09397	--	0,00355	0,0035	0,44865	0,12859	0,27333	0,01482	0,99663
"Zn ppm"	Pearson Corr.	-0,43083	-0,54681	0,55371	0,37356	0,14251	-0,30704	0,19447	0,0269	0,32038	0,51284	0,76776*	1	0,78137*	0,25351	-0,60049*	0,55925	0,67842*	0,00491
	p-value	0,16206	0,0658	0,06179	0,23164	0,65862	0,33168	0,54475	0,93386	0,30998	0,0882	0,00355	--	0,00269	0,42658	0,03896	0,05869	0,0153	0,98792
"Pb ppm"	Pearson Corr.	-0,75252*	-0,78299*	0,36946	-0,18647	0,5695	-0,02726	0,6651*	0,06795	0,62221*	0,84154*	0,76851*	0,78137*	1	0,6988*	-0,17427	0,38622	0,63199*	-0,169
	p-value	0,00474	0,0026	0,23722	0,56173	0,05325	0,93298	0,01827	0,83379	0,03073	5,99248E-4	0,0035	0,00269	--	0,01146	0,58803	0,21494	0,02747	0,59953
"Cr ppm"	Pearson Corr.	-0,92975*	-0,83914*	0,2215	-0,70634*	0,9732*	0,61889*	0,83482*	0,36327	0,53921	0,68623*	0,24196	0,25351	0,6988*	1	0,2963	0,17573	0,32081	-0,24627
	p-value	1,19671E-5	6,43184E-4	0,48902	0,01024	1,04186E-7	0,0319	7,28664E-4	0,24577	0,07043	0,01373	0,44865	0,42658	0,01146	--	0,34971	0,58487	0,30929	0,44035
"Ni ppm"	Pearson Corr.	0,054	0,23703	-0,72634*	-0,83992*	0,26193	0,20269	0,5498	-0,39894	0,50246	0,319	-0,46405	-0,60049*	-0,17427	0,2963	1	-0,3663	-0,4123	-0,05615
	p-value	0,86764	0,45822	0,00747	6,28593E-4	0,41084	0,52753	0,06404	0,19892	0,09595	0,31219	0,12859	0,03896	0,58803	0,34971	--	0,24156	0,1829	0,86239
"Glukosidaz"	Pearson Corr.	-0,29822	-0,37189	0,40058	0,28012	0,10932	-0,06644	0,01772	0,02827	0,08342	0,22563	0,34416	0,55925	0,38622	0,17573	-0,3663	1	0,66922*	-0,265
	p-value	0,34646	0,23391	0,19691	0,37786	0,7352	0,83746	0,95641	0,93049	0,7966	0,48075	0,27333	0,05869	0,21494	0,58487	0,24156	--	0,01731	0,40519
"Fosfataz"	Pearson Corr.	-0,47859	-0,57317	0,49752	0,17881	0,22944	-0,07028	0,14691	0,12414	0,13765	0,37034	0,68073*	0,67842*	0,63199*	0,32081	-0,4123	0,66922*	1	0,12086
	p-value	0,11549	0,05139	0,0998	0,57819	0,47317	0,82818	0,64867	0,7007	0,66965	0,23602	0,01482	0,0153	0,02747	0,30929	0,1829	0,01731	--	0,70828
"Üreaz"	Pearson Corr.	0,2538	0,23394	0,07217	0,13791	-0,2545	-0,22144	-0,18265	-0,15114	-0,09108	-0,11972	0,00137	0,00491	-0,169	-0,24627	-0,05615	-0,265	0,12086	1
	p-value	0,42604	0,46429	0,82362	0,66908	0,42473	0,48915	0,56992	0,63914	0,77833	0,71092	0,99663	0,98792	0,59953	0,44035	0,86239	0,40519	0,70828	--

2-tailed test of significance is used

*: Correlation is significant at the 0.05 level