

**Fındık Zurufu Ve Arıtma Çamurunun
Solucanlar İle Kompostlanması Ve Elde Edilen
Vermikompostun Sera Ve Tarla Koşullarında
Toprakların Biyolojik Özelliklerinde Meydana
Getirdiği Etkilerin Belirlenmesi**

F. Şüheyda HEPŞEN TÜRKAY

Doktora Tezi

Toprak Anabilim Dalı

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FINDIK ZURUFU VE ARITMA ÇAMURUNUN SOLUCANLAR İLE
KOMPOSTLANMASI VE ELDE EDİLEN VERMİKOMPOSTUN SERA VE TARLA
KOŞULLARINDA TOPRAKLARIN BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİNDE MEYDANA
GETİRDİĞİ ETKİLERİN BELİRLENMESİ**

F. ŞÜHEYDA HEPŞEN TÜRKAY

DOKTORA TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

AKADEMİK DANIŞMAN
DOÇ. DR. RIDVAN KIZILKAYA

SAMSUN-2010

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma jürimiz tarafından .../.../..... tarihinde yapılan sınav ile Toprak Anabilim Dalı'nda DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Fethi BAYRAKLI

Üye: Prof. Dr. Nutullah ÖZDEMİR

Üye: Doç. Dr. Tayfun AŞKIN

Üye: Doç. Dr. Orhan DENGİZ

Üye: Doç. Dr. Rıdvan KIZILKAYA

ONAY:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2010

Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**FINDIK ZURUFU VE ARITMA ÇAMURUNUN SOLUCANLAR İLE
KOMPOSTLANMASI VE ELDE EDİLEN VERMİKOMPOSTUN SERA VE
TARLA KOŞULLARINDA TOPRAKLARIN BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİNDE
MEYDANA GETİRDİĞİ ETKİLERİN BELİRLENMESİ**

ÖZ

Vermikompostlama, solucan ve mikroorganizma faaliyetleri sonucu organik atıkların biyolojik olarak parçalanıp ayrışması yolu ile organik maddenin stabilizasyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma fındık zurufu (FZ), arıtma çamuru (AÇ) ve ahır gübresinin (AG) solucanlar (*Eisenia foetida*) ile kompostlanarak vermikompost eldesinin sağlanması ve elde edilen vermikompostun sera ve tarla denemelerinde toprağın biyolojik özellikleri ve Zn kapsamı ile buğday bitkisinin (*Triticum aestivum*) verim ve çinko kapsamlarına etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Araştırma, inkübasyon, sera ve tarla denemeleri olmak üzere 3 aşamalı olarak planlanmıştır. En uygun vermikompost karışım oranı ile en uygun vermikompostlama süresinin ve elde edilen vermikompostun özelliklerinin (mikrobiyolojik, biyokimyasal ve kimyasal) belirlenmesi amacıyla kurulan 90 günlük inkübasyon denemesi süresince 15 günde bir vermikompost ve solucan örnekleme yapılmıştır. Farklı oranlarda arıtma çamuru içeren vermikompostların eldesi sonunda, vermikompostların ve aynı atıkların vermikompostlanmamış karışımlarının buğday bitkisinin verimi, bitki ve topraktaki besin maddesi kapsamı, Zn kapsamı ve toprağın mikrobiyolojik özellikleri ve Zn kapsamı üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla sera ve tarla denemeleri kurulmuştur.

İnkübasyon denemesi sonunda, organik atıkların ideal karışım oranının % 30 AÇ + %35 FZ + % 35 AG ve ideal vermikompostlama süresinin 90 gün olduğu belirlenmiştir. Sera ve tarla denemelerinde organik atık karışımları saksı ve parsellerdeki toprakların organik madde kapsamını %2 düzeyinde artıracak şekilde ilave edilmiştir. Sera ve tarla denemeleri sonunda toprakların biyolojik aktivitesinde her 2 uygulamada da kontrole göre artışlar saptanmakla beraber vermikompostlanmış karışım uygulamalarında daha yüksek olduğu saptanmıştır. Denemeler sonunda bitkinin Zn kapsamının vermikompostlanmış karışım uygulamalarında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Hasat edilen buğday bitkisi verim sonuçlarına göre en yüksek verimi sağlayan organik atık karışımının % 50 AÇ+ %25 FZ+ % 25 AG olduğu saptanmıştır.

Vermikompost uygulaması sonucu bitkisel verimde meydana gelen bu artışın vermikompostlanmamış karışım uygulamalarından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Arıtma çamuru, fındık zurufu, ahır gübresi, vermikompost, *Eisenia foetida*, buğday, biyolojik özellikler, Zn fraksiyonları

PRODUCING VERMICOMPOST BY MEANS OF COMPOSTING HAZELNUT AND SEWAGE SLUDGE VIA EARTHWORM AND DETERMINING EFFECTS OF VERMICOMPOST ON THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL IN FIELD AND GREENHOUSE EXPERIMENTS

ABSTRACT

Vermicomposting is the stabilization of organic matter produced through the biological degradation of organic wastes by interaction between earthworms and microorganisms. This research was carried out in order to determine the effects of vermicompost treatment on the biological properties and Zn content of soils, yield and Zn content of wheat (*Triticum aestivum*) with field and greenhouse experiments by producing vermicompost by means of composting hazelnut husk (HH), sewage sludge (SS) and cattle manure (CM) via earthworms (*Eisenia foetida*). A 90-days incubation experiment was set up and samplings were taken in every 15 days to determine the optimum mixture ratio and the optimum vermicomposting duration. Microbiological, biological and chemical characteristics of vermicompost samples were determined at the end of vermicomposting. And then, field and greenhouse experiments were set up to investigate the impacts of vermicomposted and non-vermicomposted organic wastes over the yield and Zn content of wheat, as well as microbiological properties and Zn content in soils.

Incubation experiments revealed that optimum mixture ratio was 30 % SS + 35 % HH + 35 % CM and optimum vermicomposting duration was 90 days. In greenhouse and field experiments, vermicomposted and non-vermicomposted organic waste mixtures were applied into soil to increase of the organic matter content by 2 %. Zn content of yield in final experiments indicated that vermicomposted treatments decreased more than non-vermicomposted treatments. The highest yield increase was provided by the mixture of 50 % SS + 35 % HH + 35 %CM. The wheat yield increase in the vermicompost treated pots and plots was usually greater than that in non-vermicompost treatment. Similarly, microbiological properties in soil samplings of greenhouse and field experiments were higher in vermicomposted treatments than those in non-vermicomposted treatments.

Key words: Sewage sludge, hazelnut husk, cattle manure, vermicompost, *Eisenia foetida*, wheat, biological properties, Zn fractions

TEŞEKKÜR

Doktora ve tüm lisansüstü eğitimimin her aşamasında ilgisini, yardımlarını ve değerli zamanını esirgemeyen, desteğini daima hissettiğim saygıdeğer ve sevgili danışman hocam Sayın Doç. Dr. Rıdvan KIZILKAYA'ya yolumu aydınlattığı ışık için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince öncelikle tüm bölüm imkanlarından yararlanmamı sağladığı için bölüm başkanım Sayın Prof. Dr. Nutullah ÖZDEMİR'e ve yardımlarını esirgemeyen tüm bölüm hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma, organik materyallerin teminindeki tüm yardımları için sevgili hocalarım Sayın Doç. Dr. Tayfun AŞKIN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. İzzet AKÇA'ya, aynı zamanda teyzem ve dayım Havva ve Yusuf YEŞİLNAR'a, tarla denemesinin kuruluş aşamasından sonuna kadar denemenin takibindeki tüm yardımları için Sayın İsmail KIZILKAYA'ya, tüm lisansüstü eğitimim boyunca tüm desteği için sevgili arkadaşım Yük. Müh. Songül RAKICIOĞLU'na, başta Yük. Müh. Nalan KARS olmak üzere laboratuvar çalışmamda beni yalnız bırakmayan arkadaşlarım Murat DURMUŞ ve Sercan BAŞ'a ve emeği geçen tüm öğrenci arkadaşlarıma, ağır metal okumalarındaki yardımları için çok sevgili arkadaşım Dr. Betül BAYRAKLI'ya, tezim süresince yardımını hiç esirgemeyen sevgili arkadaşım Araş. Gör. Serkan İÇ'e, materyallerin temininden kullanıma hazır hale getirilmesine kadar çalışmamın her aşamasında tüm yardımları ve bir teşekkürle sığmayacak olan hayatım boyunca sağladıkları özverili destekleri için annem ve babam Cevdet ve Lütfiye HEPŞEN'e, çalışmam süresince gece gündüz demeden Merzifon ve Samsun arasında çalışmamı kolaylaştıran ve sadece kardeşlerim oldukları için Vejdi ve Vecihi HEPŞEN'e, laboratuvar, sera ve arazi çalışmalarım ve tezimin yazımı sırasındaki tüm yardımları ve tüm manevi desteği için sevgili eşim İlker TÜRKAY'a ve tüm aileme ve bana yeniden yaşama ve çalışma azmi veren sadece varlığı için biricik yeğenim Berke HEPŞEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	İii
TEŞEKKÜR	İv
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
ÇİZELGELER LİSTESİ	Xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Bitkisel ve Hayvansal Atıkların Kompostlanması	3
2.1.1. Organik Atık Materyallerin Aerobik Koşullarda Kompostlanması	3
2.1.2. Vermikompost	6
2.1.3. Vermikompost İşlemine Gerçekleştiren Solucan Türleri	7
2.1.4. Organik Atıkların Ve Arıtma Çamurunun Toprakların Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi	8
2.2. Organik Atıkların ve Arıtma Çamurunun Solucanlar İle Kompostlanması ve Vermikompostların Bitki Gelişimine Etkileri	11
2.2.1. Organik Atıkların ve Arıtma Çamurunun Vermikompostlanmasının Toprakların Biyolojik ve Kimyasal Özelliklerine ve Metal Kapsamları Üzerine Etkisi	17
2.3. Toprakta Ağır Metallerin Solucan Dokularında Biyoakümülyasyonu	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. İnkübasyon Denemesi	26
3.1.1. Materyal	26
3.1.2. İnkübasyon Denemesinin Kurulması	27
3.1.3.İnkübasyon Denemesi Boyunca Alınan Vermikompostlarda Uygulanan Analizler	28

3.1.4. İnkübasyon Denemesi Boyunca Alınan Solucanların Zn Kapsamlarının Belirlenmesi ve Biyoakümülyasyon Faktörlerin Hesaplanması	29
3.2. Sera Denemesi	30
3.2.1. Sera Denemesinin Kurulması	32
3.2.2. Sera Denemesinin Sonlandırılması ve Hasat Sonu Uygulanan Analizler...	34
3.3. Tarla Denemesi	35
3.3.1. Tarla Denemesinin Kurulması	35
3.3.2. Tarla Denemesinin Sonlandırılması ve Hasat Sonu Uygulanan Analizler....	35
3.4. İstatistiksel Analizler	36
3.5. Yöntem	36
3.5.1. Mikrobiyal Solunum	36
3.5.2. Mikrobiyal Biyomas C	36
3.5.3. Dehidrogenaz Aktivitesi	36
3.5.4. β -Glikosidaz (EC 3.2.1.21) Aktivitesi	37
3.5.5. Üreaz (EC 3.5.1.5) Aktivitesi	37
3.5.6. Alkalen fosfataz (EC 3.1.3.1) Aktivitesi	37
3.5.7. Arilsülfataz (EC 3.1.6.1) Aktivitesi	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
4.1. İnkübasyon Denemesi	38
4.1.1. İnkübasyon Denemesinde Kullanılan Organik Atıkların Özellikleri	38
4.1.2. Organik Atıkların Toplam Ağır Metal Kapsamları	38
4.1.3. Vermikompostlama Süresince <i>Eisenia foetida</i> Türü Solucanların Biyomasındaki Değişimler	40
4.1.4. İnkübasyon Süresince Vermikompostun C ve N Kapsamındaki Değişmeler	42
4.1.4.1. İnkübasyon Süresince Vermikompostun Toplam Organik C Kapsamındaki Değişimler	42

4.1.4.2. İnkübasyon Süresince Vermikompostun Toplam N Kapsamındaki Değişimler	43
4.1.4.3. İnkübasyon Süresince Vermikompostun NH ₄ -N Kapsamındaki Değişimler	44
4.1.4.4. İnkübasyon Süresince Vermikompostun NO ₃ -N Kapsamındaki Değişimler	45
4.1.4.5. İnkübasyon Süresince Vermikompostun C/N Oranlarındaki Değişimler	46
4.1.4.6. İnkübasyon Süresince Vermikompostun Suda Çözünebilir Organik Madde Kapsamındaki Değişimler	48
4.1.5. İnkübasyon Süresince Vermikompostun Çinko (Zn) Kapsamındaki Değişimler	49
4.1.5.1. Toplam Çinko (T-Zn)	49
4.1.5.2. Solucan (<i>E. feotida</i>) Dokularında Biriktirilen Çinko (Zn) Miktarları ..	50
4.1.5.3. Biyoakümülyasyon Faktör (BAF)	51
4.1.6. Vermikompost Üretimi Boyunca Ortamın Biyolojik Özelliklerindeki Değişimler	52
4.1.6.1. Mikrobiyal Solunum (MS).....	52
4.1.6.2. Mikrobiyal Biyomas C (C _{mic}).....	53
4.1.6.3. Dehidrogenaz Aktivitesi (DHA).....	55
4.1.6.4. β-Glikosidaz Aktivitesi (GA).....	57
4.1.6.5. Üreaz Aktivitesi (UA).....	58
4.1.6.6. Alkalen Fosfataz Aktivitesi (APA).....	60
4.1.6.7. Arilsülfataz Aktivitesi (ASA).....	62
4.2. Sera ve Tarla Denemesi	64
4.2.1. Sera ve Tarla Denemelerinde Kullanılan Toprağın Özellikleri	64
4.2.2. Sera ve Tarla Denemelerinde Kullanılan Vermikompostlanmış ve Vermikompostlanmamış Karışımların Özellikleri	64

4.2.3. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Hasat Edilen Buğday Bitkisinin Verim Özellikleri.....	66
4.2.3.1. Buğday Bitkisinin Tane Verimi	66
4.2.3.2. Buğday Bitkisi Sap Verimleri.....	69
4.2.3.3. Buğday Bitkisi Tane+ Sap Verimleri.....	71
4.2.4. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Alınan Toprak ve Bitki Örneklerinin Zn İçerikleri	74
4.2.4.1. Buğday Bitkisinin Tanesindeki Çinko (Zn) İçeriği	74
4.2.4.2. Buğday Bitkisinin Sapındaki Zn İçeriği	75
4.2.5. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Alınan Toprak Örneklerinin Çinko (Zn) İçerikleri	78
4.2.5.1. Toplam Çinko İçeriği (T-Zn).....	78
4.2.5.2. Değişebilir Çinko İçeriği (EX-Zn).....	80
4.2.5.3. Organik Bağlı Çinko İçeriği (OM-Zn).....	82
4.2.5.4. Suda Çözünebilir Çinko İçeriği (W-Zn).....	84
4.2.5.5. DTPA İle Ekstrakte Edilebilir Çinko İçeriği (DTPA-Zn).....	86
4.2.6. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Alınan Toprak Örneklerinin Organik C ve N Kapsamındaki Değişimler	88
4.2.6.1. Organik C (C).....	88
4.2.6.2. Toplam azot (N).....	90
4.2.6.3. C/N	92
4.2.7. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Alınan Toprak Örneklerinin Biyolojik Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler	94
4.2.7.1. Toprak Solunumu (TS).....	94
4.2.7.2. Mikrobiyal Biyomas C (C _{mic}).....	96
4.2.7.3. Dehidrogenaz Aktivitesi (DHA).....	98
4.2.7.4. β-Glikosidaz Aktivitesi (GA).....	100
4.2.7.5. Üreaz Aktivitesi (UA).....	102

4.2.7.6. Alkalen Fosfataz Aktivitesi (APA).....	104
4.2.7.7. Arilsülfataz Aktivitesi (ASA).....	106
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	108
6. KAYNAKLAR	112
7. EKLER	128
8. ÖZGEÇMİŞ	166

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa no
Şekil 3.1. Sera denemesinde kullanılan toprağın alındığı yer.....	31
Şekil 4.1. Farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin <i>Eisenia feotida</i> türü solucanlar ile vermikompostlanması süresince solucanların biyomasındaki değişimler	40
Şekil 4.2. İnkübasyon süresince vermikompostun toplam organik C kapsamındaki değişimler.....	42
Şekil 4.3. İnkübasyon süresince vermikompostun toplam N kapsamındaki değişimler.....	43
Şekil 4.4. İnkübasyon denemesinde vermikompostun NH ₄ -N kapsamındaki değişimler.....	44
Şekil 4.5. İnkübasyon denemesinde vermikompostun NO ₃ -N kapsamındaki değişimler.....	45
Şekil 4.6. İnkübasyon denemesinde vermikompostun C/N oranlarındaki değişimler.....	46
Şekil 4.7. İnkübasyon denemesinde vermikompostun suda çözünebilir organik madde kapsamındaki değişimler.....	48
Şekil 4.8. İnkübasyon denemesinde vermikompostun toplam çinko (T-Zn) kapsamındaki değişimler.....	49
Şekil 4.9. İnkübasyon denemesinde vermikompostun solucanlar (<i>E. feotida</i>) tarafından akümüle edilen Zn miktarlarındaki değişimler.....	50
Şekil 4.10. 90 günlük inkübasyon çalışmasında çinko (Zn) için biyoakümülyasyon faktörlerdeki (BAF) değişimler.....	51
Şekil 4.11. İnkübasyon denemesinde vermikompostun mikrobiyal solunumunda (MS) meydana gelen değişimler.....	52
Şekil 4.12. İnkübasyon denemesinde vermikompostun Mikrobiyal Biyomas C'unda (C _{mic}) meydana gelen değişimler.....	53
Şekil 4.13. İnkübasyon denemesinde vermikompostun dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana gelen değişimler.....	55
Şekil 4.14. 90 günlük İnkübasyon denemesinde vermikompostun β-glikosidaz aktivitesinde (GA) meydana gelen değişimler.....	57

Şekil 4.15. 90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostun üreaz aktivitesinde (UA) meydana gelen değişimler.....	58
Şekil 4.16. 90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostun alkalin fosfataz aktivitesinde (APA) meydana gelen değişimler.....	60
Şekil 4.17. 90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostun arilsülfataz aktivitesinde (ASA) meydana gelen değişimler.....	62
Şekil 4.18. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane verimleri.....	66
Şekil 4.19. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane verimleri.....	68
Şekil 4.20. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin sap verimleri.....	69
Şekil 4.21. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin sap verimleri.....	70
Şekil 4.22. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane+sap verimleri.....	71
Şekil 4.23. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane+sap verimleri.....	72
Şekil 4.24. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerinden alınan tane örneklerinin Zn içerikleri.....	74
Şekil 4.25. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerinden alınan tane örneklerinin Zn içerikleri.....	75
Şekil 4.26. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerinden alınan sap örneklerinin Zn içerikleri.....	76
Şekil 4.27. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerinden alınan sap örneklerinin Zn içerikleri.....	77
Şekil 4.28. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin toplam çinko (T-Zn) içerikleri.....	78
Şekil 4.29. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin toplam çinko (T-Zn) içerikleri.....	79
Şekil 4.30. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin değişebilir (EX-Zn) içerikleri.....	80

Şekil 4.31. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin değişebilir çinko (EX-Zn) içerikleri.....	81
Şekil 4.32. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin organik bağlı çinko (OM-Zn) içerikleri.....	82
Şekil 4.33. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin organik bağlı çinko (OM-Zn) içerikleri.....	83
Şekil 4.34. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin sudaçözünebilir çinko (W-Zn) içerikleri.....	84
Şekil 4.35. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin suda çözünebilir çinko (W-Zn) içerikleri.....	85
Şekil 4.36. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin DTPA ile ekstrakte edilebilir çinko (DTPA-Zn) içerikleri.....	86
Şekil 4.37. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin DTPA ile ekstrakte edilebilir çinko (DTPA-Zn) içerikleri.....	87
Şekil 4.38. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin toplam organik C içeriği.....	88
Şekil 4.39. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin toplam organik C içeriği.....	89
Şekil 4.40. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin toplam N içeriği.....	90
Şekil 4.41. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin toplam N içeriği.....	91
Şekil 4.42. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin C/N oranlarındaki değişimler.....	92
Şekil 4.43. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin C/N oranlarındaki değişimler.....	93
Şekil 4.44. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin toprak solunumu seviyelerindeki değişimler.....	94
Şekil 4.45. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin toprak solunumu seviyelerindeki değişimler.....	95

Şekil 4.46. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin mikrobiyal biyomas C seviyelerindeki değişimler.....	96
Şekil 4.47. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin mikrobiyal biyomas C seviyelerindeki değişimler.....	97
Şekil 4.48. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin DHA düzeylerindeki değişimler...	98
Şekil 4.49. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin DHA düzeylerindeki değişimler...	99
Şekil 4.50. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin β -GA düzeylerindeki değişimler...	100
Şekil 4.51. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin GA düzeylerindeki değişimler....	101
Şekil 4.52. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin UA düzeylerindeki değişimler.....	102
Şekil 4.53. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin UA düzeylerindeki değişimler.....	103
Şekil 4.54. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin APA düzeylerindeki değişimler.....	104
Şekil 4.55. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin APA düzeylerindeki değişimler...	105
Şekil 4.56. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneğinin ASA düzeylerindeki değişimler.....	106
Şekil 4.57. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneğinin ASA düzeylerindeki değişimler...	107

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa no

Çizelge 3.1. Organik atıkların özelliklerinin saptanması amacıyla uygulanan yöntemler.....	34
Çizelge 3.2. İnkübasyon süresince karışımlardan alınan örneklerde uygulanan analizler.....	36
Çizelge 3.3. Sera denemesinde kullanılan toprağın özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler.....	40
Çizelge 3.4. Denemede kullanılan vermikompostların ve organik materyal karışımlarının özelliklerinin belirlenmesi için yapılan analizler.....	41
Çizelge 3.5. Hasat sonu alınan toprak ve bitki örneklerinde uygulanan analizler....	42
Çizelge 3.6. Hasat sonu alınan toprak örneklerinde uygulanan biyolojik analizler	42
Çizelge 4.1. İnkübasyon denemesinde kullanılan organik atıkların özellikleri	46
Çizelge4.2. Araştırmada kullanılan organik atıkların toplam ağır metal kapsamları	47
Çizelge 4.3. Sera ve tarla denemelerinde kullanılan toprağın bazı özellikleri	70
Çizelge 4.4. Sera ve tarla denemelerinde kullanılan vermikompostların özellikleri	71
Çizelge 4.5. Sera ve tarla denemelerinde kullanılan vermikompostlanmamış karışımların özellikleri.....	71

1. GİRİŞ

Günümüzde dünyanın pek çok bölgesinde nüfus artışına, ekolojik koşullara ve tarımsal kaynaklara bağlı olarak besin sıkıntısı görülmekte, ayrıca gelecekte de bu besin sıkıntısının artacağı tahmin edilmektedir. İnsanoğlu ihtiyaç duyduğu besinleri karşılarken aynı zamanda doğal yaşamı ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini de düşünmek zorundadır.

Hem şimdiki hem de gelecekteki dünya nüfusunun besin açığını kapatmak için çok çeşitli çözümler üretilmektedir. Bazı çevrelerin sıklıkla telafuz ettiği çözümlerden biri de tarım alanlarının genişletilmesidir. Bu çözüm, tarımsal ürün miktarını artırmak için daha fazla tarım alanı açmak, ormanlık alanların azalması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, bu durum su ve rüzgar erozyonu ile kısmen küresel ısınma gibi bir çok olumsuz çevresel sonuçları da beraberinde getirmektedir. Beklenen bir sonuç olarak, bu süreçte doğal hayat da zarar görmektedir. Bu nedenle, tarım alanlarını genişletmek yerine; mevcut arazi varlığının korunması, problemlili alanlarda yapılacak ıslah uygulamaları, uygun tohumluk seçimi, gübre ve pestisit gibi tarımsal girdilerin düzenli ve planlı kullanılması, hasat kayıplarının en aza indirilmesi gibi uygulamalar dikkate alınmalıdır.

Tarımda birim alandan alınan ürün miktarının artırılması ve eksik olan besinlerin teminini etkileyen pek çok agronomik ve çevresel faktör olmakla beraber, bunlar içerisinde kimyasal gübre ve tarımsal mücadele ilaçlarının kullanımı çok önemli bir yer tutmaktadır. Ancak, kimyasal gübre ve ilaç gibi endüstriyel ürünlerin tarımsal alanlarda sıklıkla kullanılması, toprakta ve doğada bazı sorunların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, dünyada pek çok ulus artık, temel tarımsal üretimde çevresel kapasiteyi tehlikeye atmadan ürün verimindeki artışta alternatif yollar bulmak için yeni adımlar atmakta ve kimyasalların tarımda kullanımının oluşturduğu olumsuzlukların önüne gelmek için çözüm önerileri geliştirmeye çalışmaktadır.

Dünya çapında üyeleri olan Dünya Tarım Zirvesi, 1984'te çevre korunumunu geliştirmek için Rio' da toplanmıştır. Toplantının amacı, yeni teknolojileri ortaya çıkarmak için içerik araştırması ve bunlardan sürdürülebilirlik kriterlerine uygun olanlarının (çevre sağlığı, ekonomik sürdürülebilirlik, kültürel hassasiyet, sosyal haklar, insani bilim temelleri gibi) belirlenmesidir. Sürdürülebilir kriterleri için düşünülen teknolojiler arasında topraklara çeşitli organik materyal uygulamaları ve bunların kullanımı en geniş ve en etkili olan konu başlığıdır. Topraklara uygulanacak

olan organik materyaller içerisinde, bitkisel ve hayvansal orijinli organik artık ve atıklar ile bu materyallerin doğal veya yapay yollarla işlenmiş halleri (kompost, malç vs) sayılabilir. Ayrıca, evsel ve kentsel atıklardan elde edilen çeşitli organik materyallerin işlenmesi sonucu elde edilen ve besin değeri taşıdığı için bazı çevreler tarafından tarımda gübreleme materyali olarak kullanılabilirdiği söylenen çöp gübreleri ile atık su arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurları da tarım topraklarında bir süredir kullanılır hale gelmiştir. Arıtma çamuru, her ne kadar yapısında yüksek oranda besin maddesi ile organik madde içermese de bu materyallerin toprakta güvenli kullanımını sınırlandıran pek çok faktör bulunmaktadır. Bu sınırlayıcı faktörlerin başında ise, arıtma çamurunun kapsadığı yüksek ağır metal içerikleri gelmektedir.

Topraklara ilave edilebilecek organik materyaller arasında bulunan fındık zurufu, ülkemizde Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en önemli atıklarındandır. Ayrıca, Ankara Büyükşehir Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisi'nde üretilen ve Zn başta olmak üzere içeriğinde yüksek düzeyde potansiyel toksik metal bulunduran arıtma çamuru ise, bir kısım yöre çiftçisi tarafından organik materyal olarak kullanılmaktadır. Gerek fındık zurufunun ve gerekse arıtma çamurlarının vermikompost eldesinde kullanılmasına ve arıtma çamurundaki toksik metallerin bir kısmının solucanlar ile biyoakümüle edilerek sistemden uzaklaştırılmasına ilişkin çalışmalar ise Ülkemiz koşullarında yok denecek kadar azdır. Bu tez çalışmasında; fındık zurufu, arıtma çamuru ve *Eisenia* türü solucanlara yataklık olarak kullanılacak olan ahır gübresinin birlikte kompostlanması ve deneysel birikimi artırmak ve pratikte üretime dönük bazı kazançlar sağlamak amacıyla;

1. Farklı oranlardaki fındık zurufu-arıtma çamuru-ahır gübresi karışımlarının solucanlar ile kompostlanması (vermikompost üretimi),
2. Arıtma çamurundan kaynaklanan Zn'nin yine solucanlar tarafından sistemden uzaklaştırılması (biyoakümülyasyon),
3. En uygun kompost bileşeni ve kompostlama süresinin belirlenerek elde edilen vermikompostun, sera ve tarla koşullarında buğday bitkisinin verimi ile bitki ve toprağın Zn kapsamına etkisinin saptanması,
4. Sera ve tarla denemeleri sonunda vermikompostun toprakların biyolojik özellikleri üzerinde meydana getirdiği değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Bitkisel ve Hayvansal Atıkların Kompostlanması

Bitkisel üretimi artırmak için organik atıkların geleneksel yöntemlerle kompostlanarak topraklara uygulanması bilinen en eski tarımsal uygulamalardandır. Ancak termofilik bir süreçten geçen geleneksel kompostun topraklara uygulanmasında ortaya çıkan bazı olumsuz etkilerin, yeni metodlarla kompostlama teknikleri ile bir kısmının elimine edilmesi, modern yöntemlerle elde edilen kompost kullanımını son yıllarda çok daha popüler bir hale getirmiştir (Decker, 2000).

Geleneksel tarım sistemlerinde hayvansal ve bitkisel çiftlik atıklarının gübre olarak kullanılması ve bu uygulama ile elde edilen ürün arasında önemli pozitif bir ilişki mevcuttur. Ancak kimyasal gübre endüstrisinin gelişimi ile organik gübrelerle inorganik gübreler hızlıca yer değiştirerek düşük maliyetle bitki besin elementlerinin sağlanması fırsatı yaratılmıştır. Bu modern tarımsal uygulamalar; çevre kirliliği, toprakta organik maddenin azalması, erozyon, tuzluluk gibi olumsuz sonuçlar da doğurmuştur. Kimyasal gübrelemenin bu olumsuz etkilerinin yanısıra geleneksel gübrelemede ise kötü koku ve bazı kirlilik problemleri de oluşabilmektedir (Garg ve Kaushik, 2005; Hinesly ve ark., 1972).

2.1.1. Organik Materyallerin Aerobik Koşullarda Kompostlanması

Aerobik kompostlama, organik materyallerin biyolojik olarak ayrışmasıdır. Biyolojik aktivite sonucu açığa çıkan ısının bir sonucu olarak termofilik sıcaklık artışına izin veren koşullar altında meydana gelen son ürün stabildir. Bunun yanısıra oluşan son ürün patojen mikroorganizmalar ve yabancı bitki tohumlarından da arınmıştır. Stabil kompost ürününde organik materyal tamamen parçalanmış ve ayrışma süreci tamamlanmıştır. Stabil kompost yığının sıcaklığı sabit olup daha fazla yükselmekte ve topraklara uygulanabilir durumdadır (Haug, 1993). Pek çok organik atığın toprağa uygulanması ile kompostların uygulanması karşılaştırıldığında; kompost uygulaması, çevre sağlığı, düşük maliyet ve bitkisel verim açısından daha avantajlıdır (Hoitink, 1993). Aerobik kompostlamada hızlı ayrışma ve kompostlama boyunca artan sıcaklıklar ile, kötü koku ve patojenlerin ortamda bulunmamasının yanı sıra oransal olarak kompost yığını daha homojen şekilde oluşmaktadır. Topraklara kompost uygulaması, toprakların yüzey alanında artış pH'da düzenlenme, su tutma kapasitesinde artış ve toprak hacim ağırlığında azalmalar sağlamaktadır. Topraklara kompost

uygulamasının, bitkisel ürün veriminde meydana getirdiği etkilerin araştırıldığı çalışmalarda da benzer sonuçlara rastlanmaktadır.

Hoitink ve Fahy (1986), topraklara kompost uygulamasının *Puthium* ve *Rhizoctonia* gibi toprak kökenli bitki zararlılarını baskıladığını saptamışlardır. Kompostlanmış materyallerin bitki zararlılarını baskılarken *Cephaloids* ve *Rhabditids* gibi yararlı nematodların gelişimini ise artırdığı belirlenmiştir.

Bevacqua ve Mellano (1993) topraklara kompost ilavesinin artan toprak organik madde düzeylerine bağlı olarak bitki besin maddeleri ve çözünebilir tuz seviyelerinde artış ve toprak pH'sında düşüşlerine sebep olduğunu belirlemiştir. Bryan ve Lance (1991), kompost ilave edilmiş topraklarda domates veriminde önemli artışların bulunduğunu saptamışlardır.

Tarımda verimliliği artırmak için yapılan organik gübreleme, bitkisel ve hayvansal atıkların yanı sıra tüm endüstri kaynaklı katı ve sıvı atık materyallerini de içermektedir. Bu endüstriyel atıkların düzenlenmesi ve çevre ile dost yönetimi ciddi bir küresel problem haline gelmiştir. Bununla beraber son yıllarda endüstriyel atıkların yönetiminde, düşük girdili çevreye dost teknolojilerin gelişimine odaklanılmıştır. Sürdürülebilir toprak gübreleme yönetiminde, bu endüstriyel atık materyaller dönüşüme uğratarak toprak düzenleyici olarak kullanılabilir (Suthar, 2007). Toprakta ve organik atık yığınlarında bakteriler ve mantarlar kompostlamada görev alan önemli mikroorganizma gruplarıdır. Biyolojik aktivite ile kompostlamada meydana gelen son ürünler karbondioksit, su, ve sıcaklıktır. Geleneksel olarak kompostlamanın amacı; bitki patojen organizmaları ortadan kaldırmak, organik materyalleri stabilize formlara dönüştürmek, organik atık fraksiyonların besin içeriğinin devamlılığı (N, P,K ve diğer mineraller) sağlamak, topraklara uygulanmasında ürün artışını sağlamak ve toprak özelliklerini düzeltmektir. Stabil bir komposttaki N-P-K yüzdeleri oransal olarak düşük olmasına rağmen, kompostlarda P ve N'un topraklara yavaşça salınması bitkiler için daha yararlıdır (Martin ve Gershuny, 1996). Kontrollü koşullar altında yapılan kompostlamada, son ürünün (kompost) hızlıca elde edilmesiyle birlikte bu ürün geleneksel yollarla elde edilen komposttan daha stabildir. Kompostlama ancak organik materyaller, nem ve aerobik koşullar bir araya getirildiğinde başlamaktadır. Ortamdaki mikroorganizmalar organik maddenin parçalanma ve ayrışmasını sağlarken, oksijeni de tüketmektedirler ve ayrışmış maddeler çökelirken açığa çıkan CO₂'te atmosfere karışmaktadır. Süreç aerobik koşullarda devam ederken kullanılan O₂ miktarı azalmakta

ve aerobik bozunma yavaşlamakta ve sonunda durmaktadır. Bu yüzden sürekli havalandırma yapılarak ortama oksijen girişi sağlanmalıdır. Süreç termofilik olduğundan son ürün, bitki tohumları ve patojen organizmalardan büyük ölçüde arındırılmıştır (Haug, 1993). Son ürünün oluştuğu anda kompost yığınının sıcaklığı düşerek termofilik koşullardan mesofilik koşullara geçmektedir. Oluşan son ürün ise kompost olarak adlandırılmakta ve topraklara uygulandığında toprakların fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinde önemli iyileşmeler sağlamakla beraber içerdiği besin maddeleri ile de bitkisel üretime önemli katkılarda bulunmaktadır.

Organik materyallerin aerobik kompostlamasının gerçekleşebilmesi için gerekli çevresel faktörler sıcaklık, havalanma, nem, ortamın C/N oranı ve pH düzeyidir. Sıcaklık, ortamdaki mikroorganizma tipini, metabolik aktivite oranını ve organik atığın parçalanma-ayırışma oranını belirleyen temel bileşenlerdendir (Hobson ve Wheatly, 1993). Havalanma ile ortama sağlanan serbest oksijen girdisi, hem aerobik mikroorganizmaların solunumları için gereklidir hem de kompost yığınının sıcaklığının kontrol altına alınması ve organik bileşiklerin aerobik ayrışmasındaki sürekliliğini sağlamak için önemlidir (Haug, 1993). Nem, mikroorganizmalarda protoplazmanın temel unsurudur ve mikrobiyal aktivitenin sürekliliğinin sağlanması için oldukça önemlidir, eksikliği ise süreci yavaşlatmaktadır. Kompostlama için gerekli nem genellikle %40-60 seviyesinde olmalıdır (Hobson ve Wheatly, 1993). Organik materyallerin veya ortamın C/N oranları kompostlamada dikkat edilecek önemli unsurlardan biridir. Karbon hücrenin temel yapıtaşını oluştururken hücre sentezi için de N gereklidir (Haug, 1993). Ortamda N eksikliğinde veya yokluğunda mikrobiyal aktivite büyük oranda gerilemektedir. (Diaz ve ark., 2002). Dolayısıyla bu durum kompostlama sürecini sınırlandırmaktadır. Organik materyallerin C/N oranları daraldıkça parçalanma-ayırışma hızı artmakta ve kompostlanma süreci kısalmaktadır. Kompostlama için C/N oranının <30 olduğu durumlar idealdir ve süreç hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Inbar ve ark., 1991). Çok düşük veya çok yüksek pH seviyeleri mikrobiyal aktiviteyi sınırlandırmaktadır. Bu durumda kompostlamanın başarısına yansımaktadır. Bakteri popülasyonu için optimum pH 6-7.5, funguslar için ise 5.5-8 arasındadır (Diaz ve ark., 2002). Kompostlanan organik materyallerde C'lu bileşiklerin ayrışması sonunda açığa çıkan CO₂ veya protein dokularının ayrışmasından açığa çıkan NH₃ ortamdaki pH'nın dalgalanmasına sebep olmakta ancak, kompostlanmanın ilerleyen süreçlerinde ortam pH'sı dengelenmektedir (Haug, 1993). Kontrollü olarak

yapılan aerobik kompostlama da C/N oranını daraltmak için C/N oranı dar olan organik materyaller karışıma ilave edilmektedir veya kimyasal N'lu gübre ilavesi yapılmaktadır, mikrobiyal aktivitenin devamlılığını sağlamak için ise yığın sürekli havalandırılmaktadır. Kompostlama organik atıkları stabil bir organik materyale, inorganik elementlere ve CO₂, H₂O, NH₃'e indirgeyen biyolojik aerobik bir ayrışma sürecidir (Senesi, 1989) ve son ürün olarak kompost bitki besinlerince zengin, homojen, KDK 'sı yüksek, iyi bir strüktüre sahip, başlangıç materyaline göre patojen ve hastalık bulaşma riski düşük bir üründür (Ndegwa ve ark., 2000).

Kentsel ve endüstriyel organik atıkların geri kazanımında solucanlar varlığında kompost yönetimi, hem işlem hem de ürün açısından solucansız aerobik komposttan daha üstün özelliklere sahiptir (Dominguez ve ark., 1997). Solucan sürecinden geçmiş olan atık yani vermikompost ürünü, solucansız termofilik kompost ürünlerinden fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan çok daha üstün niteliklere ve ekonomik değere sahiptir.

2.1.2. Vermikompost

Solucanlı kompostlama işleminde çıkan ürün için kullanılan vermikültür, vermitekoloji ve vermikompost gibi birbirine çok benzeyen ancak farklı anlamlar taşıyan kavramlar bulunmaktadır (Loehr ve ark., 1985; Neuhauser ve ark., 1988). Vermikültür belli amaçlar için toprak solucanlarının kültürünün yapılması işlemidir. Vermitekoloji terimi ise vermikültür faaliyetlerinde uygulanan teknik/yöntemler için kullanılır. Vermikültür çalışmaları atık işleme, toprak detoksifikasyon ve rejenerasyonu ve sürdürülebilir tarım uygulamaları için kullanılmaktadır. Vermikültür çalışmaları iki amaçla yapılmaktadır; birincisi kompost eldesi, ikincisi ise solucan biyokütle üretimidir. (Edwards ve Neuhauser, 1988). Solucan biyokütle üretimi protein kaynağı olarak tavukçuluk ve balık yetiştiriciliğinde solucanların kullanımı amacıyla yapılmaktadır. Diğer taraftan vermistabilizasyon, lağım, atık çamur veya benzeri diğer atıkların vermikompost işleminden geçirilmesidir. Vermikompost işleminde organik artık/atıklar ortamdaki mikroorganizmalarca fermentasyona uğratılmaktadır ve daha sonrasında yer solucanlarının sindirim sisteminden geçerken hızlandırılmış bir humifikasyon ve detoksifikasyon işlemine tabi tutulmaktadır.

Geleneksel aerobik kompostlama süreci; atık çamur, hayvan gübresi ve agroendüstriyel atıklar gibi farklı orjinli organik atıkların yönetim sürecini

düzenlemektedir (Parades ve ark., 1996; Bernal ve ark., 1998). Ancak, kompostlama süresince NH₃ formunda N kaybı gibi besin maddelerinin kaybının azaltılması için gübre yığınının sürekli karıştırılması gereklidir ve süreç en az 6 ay sürmektedir. Tüm *Annalide* (solucan) türleri organik materyalleri ve toprağı bağırsaklarından geçirerek hızlıca parçalamakta ve ince materyallere dönüştürmektedir (Ndegwa ve Thompson, 2001; Satchell, 1983). Bu süreçte solucanlar ortamdaki patojen mikroorganizma sayısını da azaltmakta, benzer etki sıcaklığın artmasından dolayı geleneksel kompostlamada da görülmektedir. Vermikompostlama da farklı organik atıklar, en ideal karışım oranlarında ve bu işlem için kullanılan solucanların optimum nem düzeyinde başarıyla kullanılmaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996; Elvira ve ark., 1998).

Vermikompostlama, organik atıkların daha zengin besin maddeleri ile etkin mikroflora içeren ve termofilik olmayan kompostlama süreci olup, bu işlem solucanların varlığında gerçekleşmektedir. Bitkisel ve hayvansal atıklar ile çeşitli endüstriyel atıklar ve arıtma çamurları da solucanlar ile kompostlanabilmektedir. Çeşitli organik parçalanması ve besin elementlerinin salınımında solucanların etkileri uzun süredir bilinmektedir (Darwin, 1881). Organik maddenin parçalanması sürecindeki bazı solucan türleri daha etkin olarak kullanılmaktadır. Toprak solucanları besin maddelerinin topraktaki alınabilir miktarlarını artırmakta ve topraklara daha fazla ince partikül sağlayabilmektedirler (Edwards and Bohlen,1996). Bazı solucan türleri ise organik atıkları parçalamaktadır. Bu organik atıklar içerisinde arıtma çamuru (Neuhauser ve ark., 1988), bira endüstrisi üretim atığı (Butt, 1993); patates üretim atığı (Edwards, 1983); kağıt endüstrisi atığı (Butt, 1993); market ve restoran atıkları (Edwards, 1995); kümes, at, sığır, çiftlik, domuz, koyun, keçi, tavşan atıkları (Edwards ve ark., 1985; Edwards, 1998); ölü bitkilerden oluşan bahçe atıkları (Edwards, 1995); mantar endüstri atığı (Edwards, 1998) sayılabilir.

2.1.3. Vermikompost İşlemine Gerçekleştiren Solucan Türleri

Vermikültür endüstrisi faaliyetlerinde kullanılan ve aerobik kompost veya sığır gübresi yığınlarında sıklıkla rastlanan kompost solucanı diğer adıyla gübre solucanı türleri şunlardır: a) *Eisenia fetida** (tiger worm), b) *Eisenia andrei* (red tiger worm), c) *Dendrobaena veneta*, *Lumbricus rubellus* (red worm), d) *Perionyx excavatus* (Indian blue worm), e) *Eudrilus eugeniae* (African nightcrawler), f) *Fletcherodrilus* spp, g) *Heteropodrilus* spp, h) *Pheretima excavatus*.

E. fetida, *E. andrei*, *D. veneta* türleri ılıman iklim kuşağındaki bölgelere iyi adapte olurken, *L. rubellus* and *P. excavatus* sıcak tropik iklim alanlarında daha fazla görülür. Bu beş tür, organik atık/artıkları indirmek için yapılan vermikompost çalışmalarında en iyi sonuçları veren türlerdir (Edwards ve Bohlen, 1996; Kale ve ark., 1982; Mana ve ark., 1997). Bu beş türün monokültür veya polikültür olarak denendiği çalışmalar da bulunmaktadır (Suthar, 2007). Yukarıda sayılan türler içinde, ticari amaçla kurulan vermikültür/ vermikompost işletmelerinde en fazla tercih edilen tür, *Eisenia* spp. ve ikinci olarak da *Lumbricus rubellus*'tur. *Eisenia* spp'nin en fazla tercih edilen tür olmasının sebepleri; 1) Hızlı besin tüketmekte ve daha yüksek üreme ve populasyon artış oranlarına sahiptirler. 2) Adaptasyon yetenekleri yüksektir. 3) Uygun çevre koşulları ve kolay ulaşılan yeterli miktarda besin kaynağı mevcut ise populasyon artışı çok hızlı olmaktadır. 4) Dünya çapında dağılım gösterirler ve çoğu organik atıklarda doğal olarak kolonize olabilirler. 5) Sıcaklığa toleranslıdırlar ve nem içeriği yüksek tüm organik atıklarda yaşayabilirler (Edwards ve Bohlen, 1996).

Bu sebeplerden dolayı *Eisenia* spp, özellikle ılıman iklim kuşağındaki coğrafyalarda olmak üzere tüm dünyada ticari olan veya olmayan vermikompost işletmelerinde en fazla tercih edilen ve en fazla kültürü yapılan solucan türüdür (Şimşek Erşahin, 2007).

2.1.4 Organik Atıkların ve Arıtma Çamurunun Toprakların Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Topraklara organik atık uygulamasının, toprakların gerek fiziko-kimyasal ve gerekse biyolojik özelliklerinde meydana getirdiği olumlu etkiler uzun süredir denenmiş ve bilinen kültürel uygulamalardandır. Organik atıkların toprak özelliklerinde meydana getirdiği etkiler büyük ölçüde uygulanan materyalin cinsine, parçacık büyüklüğüne ve kimyasal özelliklerine göre değişmekle beraber, toprak özelliklerindeki değişiklikler sonucunda da yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar çoğu zaman birbirlerinden farklı olmaktadır.

Guan (1989), topraklara bitkisel (buğday sapı ve mısır sapı) ve hayvansal atık (at, domuz ve inek dışkısı) uygulamasının toprakların enzim aktivitesi (ürez, fosfataz ve invertaz aktivitesi) üzerinde meydana getirdiği değişiklikleri araştırdığı çalışmada tüm

* *Eisenia foetida* türü solucanların isimleri, referans kullanılan kaynakların özüne sadık kalmak için metin içinde bazen *Eisenia fetida* olarak kullanılmıştır.

organik atık uygulamalarının kontrole göre toprakların tüm enzimlerin aktivitelerini artırdığı, artışın üreaz ve fosfataz aktivitesinde en fazla, invertaz aktivitesinde ise en az olduğu saptanmıştır.

Wong ve ark. (1998), 60 günlük bir inkübasyon çalışmasında kumlu bir toprağa (pH 7.03, organik C %1.22) farklı düzeylerde (25, 50, 150 ve 350 g kg⁻¹) arıtma çamuru (pH 8.02, toplam organik C %21.20) uygulamasının toprakların mikrobiyal aktivitesi ile besin maddesi mineralizasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, inkübasyonun başında CO₂ üretimi artarken, ilerleyen inkübasyon dönemlerinde azaldığını, NH₄ kapsamının azalmasına rağmen NO₃ oluşumunun arttığını belirlemişlerdir.

Monero ve ark. (1999), topraklara organik materyal ilavesinin dehidrogenaz aktivitesindeki meydana getirdiği değişimleri araştırmışlar ve dehidrogenaz aktivitesinde önemli artışların olduğunu ve inkübasyon süresince ise dehidrogenaz aktivitesinin ortamda azalmadığını belirlemişlerdir.

Albiach ve ark. (2000), beş farklı organik materyalin (kentsel katı atık, humik asit, vermikompost, arıtma çamuru ve koyun gübresi) bahçe toprağına uygulamasından 4 ve 5 yıl sonra toprakların enzim aktivitelerinde (dehidrogenaz, alkalın fosfomonoesteraz, fosfodiesteraz, arilsülfataz ve üreaz) ve mikrobiyal biyomas içeriğı üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, söz konusu organik artıkların tamamının toprak enzim aktivitelerinde ve mikrobiyal biyomasta artışa neden olduğu en yüksek etkinin ise sırasıyla kentsel katı atık, koyun gübresi ve arıtma çamuru uygulamasından sağlandığını belirlemişlerdir. Humik asit uygulamasının ise toprakların biyolojik özelliklerinde fazla bir değişime neden olmadığını saptamışlardır.

Ataman ve Arcak (2000), tarafından yapılan 140 günlük inkübasyon çalışmasında Ankara Büyükşehir Belediyesi'ne ait arıtma çamurunun farklı uygulama dozlarının (0, 20, 40, 80 ve 160 t.ha⁻¹) toprakların (pH 7.90, organik madde %1.21) biyolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Üreaz aktivitesinin, denemenin ilk 14 gününde doz artışına bağlı olarak önemli oranda arttığı, fakat ilerleyen dönemlerde engellendiğı, buna karşın inkübasyon sonunda fosfataz aktivitesinin arıtma çamuru uygulama dozlarında kontrole göre önemli oranda artış gösterdiği belirlenmiştir.

Munn ve ark. (2000), tarafından yapılan bir çalışmada metallerce zenginleştirilmiş arıtma çamurunun farklı topraklardaki N mineralizasyonu üzerine

etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar topraklara arıtma çamuru ilavesinin toprakların N, organik C, değişebilir katyonların kapsamını arttırdığını saptamışlardır.

Albiach ve ark. (2001), farklı özelliklerdeki iki ayrı arıtma çamurunun, bahçe toprağına yapılan farklı uygulama düzeylerinin 10 yıl süre ile toprakların organik madde içeriğı, agregat stabilitesi ve toprakların biyolojik aktivitesi üzerine etkilerini araştırdığı çalışmada; biyolojik özelliklerin çok değişkenlik gösterdiğini saptamışlardır. Çalışmada 10 yılın sonunda üreaz, alkalin fosfataz ve arilsülfataz aktivitesi kontrole göre önemli farklılıklar göstermez iken, fosfodiesteraz aktivitesinin her iki çamur uygulamasında da önemli artış gösterdiği ortaya konulmuştur.

Kunito ve ark. (2001), çalışmalarında arıtma çamurunun kumlu tın bünyeli bir toprağına uygulanması sonucu toprakların mikrobiyal biyomas-C ve enzim aktiviteleri üzerine etkilerini araştırmışlar ve arıtma çamuru uygulamasının mikrobiyal biyomas-C kapsamını arttırdığını ancak dehidrogenaz, üreaz ve β -glikosidaz aktivitelerini önemli oranda azalttığını saptamışlardır.

Rost ve ark. (2001), çalışmalarında kumlu toprağına (pH 7.1, organik C %1.4) farklı düzeylerde Zn ile zenginleştirilmiş arıtma çamuru (toplam organik C %18.4) uygulamasının toprakların mikrobiyal biyomas ve mikrobiyal aktivite üzerine etkilerini araştırmışlar ve arıtma çamurunun içerdiği düşük Zn kapsamının mikrobiyal biyomas, CO₂ üretimi ve proteaz aktivitesini artırdığını, çamurun Zn kapsamındaki artışın ise bu biyolojik özellikler üzerine olumsuz etkide bulunduğunu saptamışlardır.

Hernández ve ark. (2002), yürüttükleri 20 haftalık inkübasyon çalışmasında farklı tekstüre sahip kireçli topraklarda arıtma çamuru uygulamasının azot mineralizasyonu üzerine etkisini araştırmışlar ve inorganik N formlarındaki değişimleri belirlemişlerdir. Organik N mineralizasyonun toprak tekstrüne bağlı olarak önemli değişkenlikler gösterdiği, kumlu topraktaki mineralizasyonun (%30-41) killi toprağına oranla (%13-24) daha yüksek olduğu saptanmıştır. N mineralizasyonunun inkübasyonunun ilk 2 haftasında ani bir düşüş gösterdiğini, ilerleyen dönemlerde ise daha yavaş bir düşüş gerçekleştiğini saptamışlardır.

2.2. Organik Atıkların ve Arıtma Çamurunun Solucanlar İle Kompostlanması ve Vermikompostların Bitki Gelişimine Etkileri

Topraklara uygulanan vermikompostların bitki gelişim ve verimi üzerinde meydana getirdiği olumlu etkilere ait çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Edwards, 1998). Vermikompost uygulamasının (bitkisel üretimdeki) yararlı etkileri topraktaki besin maddesi miktarındaki artıştan daha çok pH ve EC, havalanma, su tutma kapasitesi, porozite, partikül büyüklüğü, agregatlaşma gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki olumlu etkisinden kaynaklanmaktadır (Bryan ve Lance, 1991; Gallagher ve Wollenhaupt, 1997; Gouin, 1998). Organik atıkların gerek aerobik ve anaerobik koşullarda yapılan standart kompostlama işlemleri ve gerekse solucanlar kullanılarak yapılan kompostlama işlemleri sonunda topraklara uygulanması sonucunda, toprakların başta biyolojik özellikleri olmak üzere tüm özellikleri büyük ölçüde düzenlenmektedir. Ancak, arıtma çamurları gibi organik atıklarda bulunan toksik bileşikler ise, uzun süreli kullanımlar sonucu ilerleyen yıllarda önemli çevresel risk taşıyacağı da yine yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Tarım topraklarında arıtma çamurlarından kaynaklanabilecek toksik metal kirliliğinin önüne geçmenin en temel yolu ise, arıtma çamurlarının toksik metallere arındırılmasıdır. Solucanlar, hem arıtma çamurlarıyla beraber organik atıkları kompostlamakta hem de toksik metalleri bünyelerinde toplama yolu ile (biyoakümülyasyon) ortamdaki toksik metal düzeyi azalabilmektedir. Arıtma çamuru 1970'lerde Amerika'da vermikültür alanında çalışılan ilk organik atıktır (Harstenstein, 1978). Bu laboratuvar çalışmalarında, aerobik olarak elde edilen atık çamurların *Eisenia fetida* türü solucanlar tarafından hızlıca sindirildiği ve ortamdaki solucan dışkılarının (kest) yüksek bitki besin maddesi ile yüksek mikrobiyal aktivite içerdiği, buna karşın patojen organizmaların baskılandığı ve başlagıçtaki kötükokunun giderildiği belirlenmiştir (Hartenstein, 1978). Vermikompostlamada başarı bu amaçla kullanılan solucan türlerinin ideal yaşam ortamlarının sağlanmasıdır. Bu amaçla, Neuhauser ve ark. (1998) tarafından solucanların optimal gelişim için nem koşullarını belirlemek amacıyla farklı nem içeriklerine sahip arıtma çamurları 25 °C sabit ortam sıcaklığında tutularak *Eisenia foetida* gelişimi test edilmiştir. Çalışma sonunda, solucan gelişimi için optimal nem içeriğinin en düşük % 6.3-7.9 ve en yüksek % 17.9- 25.1 olduğu belirlenmiştir. Ancak ortamda likit atık çok fazlaysa aerobik koşulların devam edebilmesi için likitin drene edilmesi ve pratikte ortam kuru olmayacak kadar nem eklenmesi gerektiği de saptanmıştır. Ayrıca atığın yaşı ile solucan gelişimi arasında

önemli bir ilişki olduğu ve atık yaşlandıkça solucanlar için besin değerinin de hızlıca düştüğü ve zamanla atığın kül içeriğinde artış olduğu saptanmıştır.

Kale (1992), sera ve tarla koşullarında yetiştirilen bazı bitkilerde vermikompostlamanın ürün verimi üzerine etkilerini araştırmıştır. Vermikompost uygulanmış arazide mikrobiyal populasyonların (N fikse ediciler, aktinomisetler ve spor formlar) aktivitesinin arttığını, oratmda artan N fiske edici mikroorganizmaların artışına bağlı olarak toprağın toplam N içeriğinde arttığını belirlemiştir.

Buckerfield ve Webster (1998), vermikompost ve kum karışımlarının turp bitkisi gelişimi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, turpta çimlenmenin vermikompost konsantrasyonlarının artırılmasıyla azaldığını ancak turp hasat ağırlığının vermikompostun uygulama oranıyla doğrudan orantılı olduğunu, %100 vermikompost uygulamasında bitkisel ürünün %10 vermikompost uygulamasından 10 kat daha büyük olduğunu belirlemiştir.

Atiyah ve ark. (1999), domates bitkisi yetiştiriciliğinde vermikompost uygulaması ile geleneksel kompost uygulamasını karşılaştırdıkları çalışmalarında iki uygulama arasında önemli farklılıklar saptamışlardır. Bitki gelişiminin vermikompost uygulamasında çok daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Gelişmedeki bu farklılık ise azotun, vermikomposttan nitrat formunda, geleneksel komposttan ise amonyum formunda salınıyor olmasından ve aynı zamanda kompostlama ve vermikompostlama süreçlerinde görevli olan mikrobiyal komünitelerin temel farklılıklardan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Benitez ve ark. (1999), yürütmüş oldukları 18 haftalık inkübasyon çalışmasında arıtma çamurlarının *Eisenia foetida* solucanları tarafından kompostlanması ile ortamın enzim aktivitesinde meydana gelen değişimleri araştırmışlar ve inkübasyon süresince hidrolazlar (üreaz, fosfataz ve β -Glikosidaz) ile dehidrogenaz aktivitelerinde, ortamdaki yarayışlı organik karbon miktarındaki azalmaya bağlı olarak düşüş saptamışlardır.

Atiyah (2000a), vermikompost uygulamasının sebze ve süs bitkileri gelişimini ticari gübre uygulamasından daha fazla artırdığını belirlemiştir. Ticari bitki gelişim ortamları ile vermikompostların belli oranlarda karıştırılması durumunda ise vermikompost oranının yüksek olmasının her zaman büyük gelişim oranları sağlamadığı hatta bazen karışımda vermikompostun %5 oranında katılmasının bile üründe düşüslere sebep olduğunu saptamıştır.

Atiyeh ve ark. (2000b), ticari bir bitki gelişim ortamı (peat/perlit karışımı veya coir/perlit karışımı olan metro-mix 360) ile bu ticari ortamın vermikompost (domuz gübresinden elde edilmiş) ilaveli karışımlarında domates bitkisi gelişimini karşılaştırdığı çalışmada, %100 ticari saksı ortamındaki bitki gelişimine göre %10 vermikompost ilaveli karışımda domates gelişiminin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Vermikompostların %10, %20 ve %50 oranlarında ticari ortama katılması besin sağlamaya bağlı olarak bitki gelişimini teşvik ettiği için, bitki boyu, kökü ve sürgün biyomasında önemli artışlar belirlenmiştir. Ayrıca, bitki gelişimi hem peat-perlit hemde coir-perlit karışımlarına vermikompostun %10 ve %20 oranlarında katıldığında önemli artışların olduğunu saptamışlardır.

Scullion ve Malik (2000), açık kömür madeni olarak kullanılan alanlardaki topraklarda meydana gelen fiziksel bozulmanın ıslah edilebilmesi amacıyla solucanların kullanılabilme olanaklarının araştırıldığı 9 yıllık çalışmada, topraklara solucan ilavesinin topraklarda agregasyonu ve toprakların organik madde kapsamını arttırdığını ve bunun bir sonucu olarak solucanların bozulmuş alanların ıslahında kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Araştırmada, toprak organik maddesinin kapsamındaki artışın özellikle solucan aktivitesinin yoğun olduğu alt toprak katlarında daha yoğun olduğunu saptamışlardır.

Benitez ve ark. (2002), zeytinyağı üretiminden elde edilen ve lignoselülotik atık olan kuru zeytin ezmesi ve arıtma çamuru karışımlarının *Eisenia andrei* türü solucanlar ile vermikompostlanması üzerine yaptıkları laboratuvar çalışmada, solucan sayısı ve biyoması ile ortamın enzim aktivitesinde meydana getirdiği değişimleri ara dönemlerde yaptıkları örneklemelemlerle belirlemişlerdir. Karışımlardaki toplam solucan biyomasının başlangıçtaki ilk aşılama yapılan düzeye göre 9 ile 12 kat arasında artış gösterdiğini ve vermikompostlama süresince ise hidrolitik enzimlerin (β -Glikosidaz ve fosfataz) aktivitesinde ise önemli artışların olduğunu saptamışlardır. Arancon ve ark., (2004a), evsel atık, kağıt ve çiftlik atığından ticari olarak üretilmiş vermikompostu kullanarak; 8,25m²'lik parsellere ilk yıl 10-20 ton/ha ve 2. yıl 5-10 ton/ha vermikompost uygulaması yapılmış ve biber bitkisinin ürün ve gelişimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda vermikompost uygulamasının biber bitkisine ait ürün verimi ile toprakta mikrobiyal biyomas ve dehidrogenaz aktivitesini artırdığını belirlemişlerdir. Bununla beraber çalışma sonunda, vermikompostlama süresince hümik

materyaller ve hormonlar gibi bitki gelişim düzenleyicilerin mikroorganizmalarca üretildiğini belirlemişlerdir.

Chaoui ve ark. (2003), 70 günlük inkübasyon denemesinde, vermikompost, geleneksel kompost ve mineral gübre uygulamalarının buğday bitkisinin bulunduğu ortamda mikrobiyal solunum ve biyoması üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda araştırmacılar, vermikompostun diğerlerine göre daha etkili bir bitki besin kaynağı olduğunu, geleneksel kompost ve sentetik gübre ile karşılaştırıldığında ise az miktarda tuz stresine sebep olduğunu ve mikrobiyal solunum ve biyoması daha fazla artırdığını belirlemişlerdir.

Arancon ve ark. (2004b), evsel atık ve kağıt atığı vermikompostunun çileğin (*Fragia ananasa*; "chandler") gelişim ve ürün verimine etkilerini belirlemek için yüksek plastik tüneller kullanılarak 4.5 m²'lik parsellere 5-10 ton/hektar vermikompost uygulaması yapmışlardır. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre farklı tekstüre sahip 2 arazide (silt ve siltli kil) 4 paralelli olarak yürütülmüştür. Vermikompost uygulamalarının çilek verimini önemli derecede (yaklaşık %40) artırdığını saptamışlardır. Çalışma sonunda; 5 ve 10 ton/hektar vermikompost uygulamasının çilek ürün miktarında birbirine benzer sonuçlar elde etmiş ve dolayısıyla çileğin gelişim hızı ve ürün miktarınının vermikompost dozuna bağlı olmadığını saptamışlardır.

Hashemimajd ve ark. (2004), bitki yetiştirme ortamına *Eisenia foetida*'dan elde edilen vermikompost ile diğer kompostların sera koşullarındaki domates bitkisinin bitki beslenmesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada işlenmemiş mandıra atığı, seren yaprağı, tütün atığı, çeltik kavuzu, arıtma çamuru gibi çeşitli organik atıklar ile bunların farklı karışımlarının etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda,

Kızılkaya (2004), 30 günlük inkübasyon çalışmasında topraklara farklı düzeylerde uygulanan arıtma çamurlarındaki Cu ve Zn'nin solucanlar (*Lumbricus terrestris*) tarafından biyoakümüasyonu ile toprakların ve solucan dışkısının Cu ve Zn fraksiyonlarındaki değişimlerini araştırmış, arıtma çamuru dozu arttıkça solucan dokusundaki Zn ve Cu'nun arttığını, biyoakümüasyon faktörün ise Zn için en yüksek 25 gr/kg düzeyindeki arıtma çamuru uygulamasında, Cu için ise 50 gr/kg düzeyinde olduğunu saptamıştır. Tüm arıtma çamuru uygulamalarında ise solucan dışkısının değişebilir ve organik bağlı Cu ve Zn fraksiyonlarının kontrol topraklarındaki seviyeden daha fazla olduğunu belirlemiştir.

Kızılkaya ve Hepşen (2004), tarafından yapılan çalışmada topraklara artan düzeyde verilen arıtma çamurunun toprakların ve solucan (*Lumbricus terrestris*) dışkısının besin maddesi ve enzim aktivitesi üzerine etkilerini araştırmışlar, tüm arıtma çamuru uygulamalarında solucan dışkısının toprağa oranla daha fazla seviyede organik madde, N ve P içerdiği buna karşın enzim aktivitelerinde ise önemli oranda farklılıkların bulunduğunu saptamışlardır. Tüm arıtma çamuru uygulamalarında üreaz ve fosfataz aktivitesinde artış belirlenirken yüksek çamur dozlarında arilsülfataz aktivitesinde azalmaların bulunduğu ancak tüm arıtma çamuru uygulamalarında solucan dışkısının dehidrogenaz aktivitesinin toprağa göre daha düşük seviyede bulunduğunu saptamışlardır.

Parvaresh ve ark. (2004), kurdukları 9 haftalık inkübasyon denemesinde kentsel atık su arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurlarına *Eisenia fetida* türü solucan aşılmasının ortamın besin kapsamı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, *Eisenia fetida* aşılmasının alınabilir fosfor kapsamını artırmasına rağmen toplam N üzerinde her hangi bir değişikliğe sebep olmadığını saptamışlardır.

Contreras-Ramos ve ark. (2005), tarafından tekstil endüstrisi ve evsel atık sularından elde edilen arıtma çamurları ile yulaf samanı ve yataklık olarak kullanılan ahır gübresinin farklı oranlarda karışımlarının *Eisenia fetida* solucanları ile kompostlanması ve elde edilen kompostun kalitesinin USEPA standartlarına uygunluklarının araştırıldığı 2 ay süreli inkübasyon çalışmalarında, tüm karışımların metal kapsamının USEPA standartlarına uygun olduğunun belirlenmesine karşın, inkübasyon süresince bazı karışımların kimyasal özelliklerinde stabilite sağlanamadığı, bununla birlikte hem USEPA standartlarına uygunluk ve hem de stabilite açısından en uygun karışımın 1400 gr arıtma çamuru +200 gr yulaf samanı +200 gr ahır gübresi (%77 AÇ+ %11 YS+ %11 AG) karışımından elde edildiği belirlenmiştir.

Garg ve ark. (2005), çeşitli hayvansal atıklarda vermikompostlama süreci boyunca epijeik solucan türü olan *Eisenia foetida*'nın gelişim ve çoğalmalarındaki değişimleri araştırdıkları çalışma da, araştırmacılar hayvansal atık olarak inek, bufalo, at, eşek, koyun, keçi ve deve dışkısını kullanmışlardır. Çalışmada, 15 haftalık inkübasyon süresi boyunca solucanlardaki ölüm, seksüel çoğalma, kokon oluşumu ve solucan biyomasındaki değişimleri takip edilmiştir. Araştırma sonunda, hiçbir hayvansal dışkıda solucan ölümü olmadığı, buna karşın solucan gelişim hızının en fazla inek dışkısında olduğunu bunu ise sırasıyla koyun ve keçi dışkısının takip ettiği belirlenmiştir. Ayrıca,

her gün meydana gelen kokon üretiminin hayvansal atıklara göre değişiklik (koyun > inek = at = keçi > deve > eşek > bufalo) gösterdiği, solucan sayısındaki artışın inek dışkısında başlangıca göre 26 kat, at dışkısında ise 39,5 kat daha fazla olduğunu belirlenmiştir.

Garg ve Kaushik (2005), kümes gübresi ile tekstil atığının *E. fetida* ile vermikompostlanabilme olanaklarının araştırıldığı çalışmada, farklı besin karışımlarında *E. fetida*'nın gelişim ve üremesi kontrollü koşullar altında 77 günde izlenmiştir. Çalışma sonunda, maksimum gelişiminin %100 inek gübresi karışımında olduğu belirlenmiştir. Besin karışımlarında inek gübresinin kümes gübresi yerine kullanılmasının solucan gelişim oranı ve üreme potansiyelinde çok fazla etkisinin az veya hiç etkisi bulunmadığını, solucanların %70 kümes + %30 tekstil ve %60 kümes + %40 tekstil besin karışımlarında en iyi gelişim ve üreme gösterdiğini, %100 inek gübresinde ise canlı net ağırlık artışının diğer tüm karışımlara göre 3-18 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Kızılkaya (2005), inkübasyon çalışmasında toprağa artan düzeylerde ilave edilen Zn'nin (0, 50, 100, 250, 500 ve 1000 $\mu\text{g g}^{-1}$) solucanlar (*Lumbricus terrestris*) tarafından biyoakümülyasyonu üzerine farklı organik materyallerin etkisini araştırmıştır. C/N oranı geniş olan (buğday sapı ve fındık zuru) organik atık uygulamasında solucan dokusunda C/N oranı dar olanlara (çay atığı ve tütün atığı) göre daha yüksek seviyede Zn akümüle ettiğini, en yüksek biyoakümülyasyon faktörün ise 100 $\mu\text{g g}^{-1}$ Zn dozunda olduğunu belirlemiştir.

Loh ve ark. (2005), tarafından yapılan 5 haftalık inkübasyon denemesinde keçi dışkısı ile tavuk dışkısının solucanlar tarafından kompostlanmasının *Eisenia foetida* türü solucanların gelişimi ve ortamdaki besin maddesi değişimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, tavuk gübresinden elde edilen vermikompostun ortama daha fazla N sağladığı ve *E. fetida* için tavuk gübresinin daha uygun bir ortam olduğu saptanmıştır.

Matuseviciute ve Eitminaviciute (2005), tarafından yapılan laboratuvar çalışmasında farklı düzeylerde (5 ve 50 mg kg^{-1}) Cd bulunan arıtma çamurları içerisinde *Eisenia foetida* türü solucanların yaşaması, aktivitesi ve ortama adaptasyonunun ve solucan dokularında biriken Cd konsantrasyon miktarını araştırmışlar, solucan dokularında biriken Cd konsantrasyonu üzerinde arıtma çamuru içerisinde bulunan diğer metallere önemli düzeyde etkili olduğu, 5 mg kg^{-1} düzeyinde Cd kapsayan

arıtma çamurundaki solucan dokusunda 4.1 mg kg⁻¹ Cd ve 50 mg kg⁻¹ Cd kapsayan arıtma çamurundaki solucan dokusunda ise 2.8 mg kg⁻¹ Cd bulunduğunu saptamışlardır. Aynı zamanda solucanların 2. generasyonlarının arıtma çamuru ortamında yaşama düzeylerinin ve aktivitelerinin arıtma çamuru ortamına ilave edilen 1. jenerasyonlara oranla daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Aira ve ark. (2006), 36 haftalık çalışmalarında vermikompostlamada kullanılan organik materyallerin C/N oranlarının *Eisenia foetida*'nın gelişimi ve aktivitesi üzerine etkilerini araştırmışlar ve materyal olarak farklı C/N oranlarına sahip domuz altlığından elde edilen çamuru kullanmışlardır. Çalışma sonunda, C/N oranlarındaki değişimin vermikompost üretimini ve *Eisenia foetida* gelişmesi, aktivitesi üzerinde her hangi bir değişikliğe sebep olmadığını ancak ortamdaki mikrobiyal popülasyonu ve bunların aktivitesini büyük ölçüde değiştirdiğini saptamışlardır.

Singh ve ark. (2008), vermikompost uygulamasının çilek bitkisinin verimi ve kalitesine etkisini belirlemek için 4 farklı vermikompost miktarı (2.5, 5, 7.5 ve 10 ton.ha⁻¹) kullanmışlardır. Denemelerinde Kuzey Hindistan semiarid bölge koşulları altında çileğin gübre ihtiyacını ayarlamak için inorganik gübreleme uygulaması yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre vermikompost uygulamasının çilek bitkisinin yayılımı, lif miktarı, kuru madde miktarı ve toplam meyve miktarını artırdığını saptamışlardır.

Suthar (2009b), 5 farklı atığın vermikompostlanabilmesinde *A. parva*'nın kullanılabilirlik olanaklarını araştırdığı çalışmada, vermikompostlama sonunda organik materyallerin C/N oranını düşürdüğünü, vermikomposttaki besin maddesi miktarlarını artırdığını saptamıştır.

2.2.1. Organik Atıkların ve Arıtma Çamurunun Vermikompostlanmasının Toprakların Biyolojik ve Kimyasal Özelliklerine ve Metal Kapsamları Üzerine Etkisi

Pek çok araştırmacı, ağır metallerin toprak ekosisteminde uzun vadede zararlı etkilere sebep olduğunu ve toprakların biyolojik özelliklerini olumsuz etkilediğini bildirmiştir (Chen ve ark., 2005; D'Ascoli ve ark., 2006; de Mora ve ark., 2005; Efron ve ark., 2004; Geiger ve ark., 1998; Huang ve Shindo, 2000; Kunito ve ark., 2001; Kuperman ve Carreiro, 1997; Lorenz ve ark., 2006; Malley ve ark., 2006; Shen ve ark., 2005; Speir ve ark., 1999). Toprakta ağır metaller toprak mikrobiyal komünite

yapılarını olduğunu kadar toprak enzim aktivitelerini de etkilemektedir (Khan ve ark., 2007; Hinojosa ve ark. 2004). Toprak enzim aktivitelerinin ağır metallerce engellendiği yine pek çok araştırmada belirlenmiştir (Effron ve ark., 2004; Kahkonen ve ark., 2008; Kızılkaya, 2008; Kunito ve ark, 2001; Malley ve ark., 2006; Oliviera ve Pampulha, 2006; Wang ve ark., 2008).

Guan (1989), çalışmasında bitkisel materyal olarak seçmiş olduğu buğday sapı ve mısır sapının hayvansal materyal olarak ise seçtiği at, domuz ve inek dışkısının topraklara uygulanmasının toprakların enzim aktivitesi (ürezaz, fosfataz ve invertaz aktivitesi) üzerine etkisini araştırmıştır. Araştırma sonunda, tüm organik atık uygulamalarının kontrole göre toprakların tüm enzimlerin aktivitelerini artırdığı, artışın en fazla ürezaz ve fosfataz aktivitesinde, en az ise invertaz aktivitesinde olduğunu belirlemiştir.

Hendriksen (1997), toprağa karıştırılmış sığır gübresi üzerine farklı sayılarda solucan ilavesinin toprakların CO₂ üretimi üzerine etkisini araştırdığı 48 günlük inkübasyon denemesinde, solucan sayısının artmasına bağlı olarak üretilen CO₂ miktarının da arttığını belirlemiştir.

Wessells ve ark. (1997), mısır yetiştirilen toprakta farklı organik atıklar ile inorganik gübre (NH₄ ve NO₃) kullanımının toprak solunumu üzerine solucanların etkisini araştırdıkları arazi çalışmalarında, organik atıkların bulunduğu parsellerde solucanlar tarafından üretilen CO₂'in kimyasal gübre uygulanmış parsellere oranla çok daha yüksek seviyelerde bulunduğu, buna karşın üretilen CO₂ miktarının mevsimlere bağlı olarak değiştiğini ve en yüksek etkinin ise Temmuz-Ağustos aylarında meydana geldiğini saptamışlardır.

Haynes ve Fraser (1998), farklı organik atıkların (buğday ve yonca samanı) toprakların ve solucan (*Aporrectodea caliginosa*) dışkılarının biyolojik özellikleri ve besin maddesi kapsamı üzerine etkilerini araştırdıkları 56 günlük bir laboratuvar çalışması yürütmüşlerdir. Dışkı örneklerinin toprak örneklerine oranla daha yüksek biyolojik aktiviteye ve besin maddesine sahip olduğunu, buna karşın mikrobiyal biyomasın inkübasyonun başında daha yüksek seviyelerde bulunmasına karşın ilerleyen dönemlerde düştüğünü saptamışlardır. Kontrol toprağı ile karşılaştırıldığında dışkı örneklerinin mineral N ve alınabilir P kapsamının daha yüksek seviyelerde bulunmasına karşın, değişebilir K kapsamında önemli değişikliklerin olmadığını belirlemiştir.

Jégou ve ark. (2000), tarafından farklı solucan türlerinin (*Lumbricus terrestris* ve *Aporrectodea giardi*) toprakta karbon dönüşümü üzerine etkilerini araştırdıkları 246 günlük laboratuvar çalışmalarında, her iki solucanında gerek galerileri etrafında ve gerekse dışıklarının C kapsamının önemli oranda artış göstermekle birlikte bu artışın türlere göre önemli oranda da farklılık gösterdiğini belirlemişlerdir. *L.terrestris* türü solucanların dışkı ve galeri etrafındaki C artışına katkısının *A. giardi* 'ye oranla daha fazla olduğunu saptamıştır.

Ndegwa ve ark. (2000), *E. foetida* kullanılarak kağıt atığı ve aktif arıtma çamurunun vermikompostlanabilmesi için en uygun C/N oranını araştırmışlardır. Çalışma sonunda, C/N oranı 25 olması durumunda en yüksek ürün stabilitesi, en iyi gübreleme değeri ve çevre kirliliği için en düşük potansiyele sahip ürün eldesinin sağlanmasıyla sonuçlanmıştır.

Tiunov ve Scheu (2000), tarafından, farklı yaşlardaki *L. terrestris* dışıklarının mikrobial biyomas ve CO₂ üretiminin belirlenmesi amacı ile yapmış oldukları 100 günlük inkübasyon denemesinde, taze dışıkların biyolojik özelliklerinin daha yüksek düzeyde bulunduğunu fakat inkübasyonun ilerleyen dönemlerinde mikrobiyal biyomas ve CO₂ üretiminde önemli oranda düşmelerin meydana geldiğini saptamışlardır.

Zhang ve ark. (2000), tarafından yapılan çalışmada, farklı solucan türleri (*Metaphire guillelmi* ve *Eisenia fetida*) ile inkübasyona bırakılan toprak örneklerinin biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimleri araştırmışlardır. Araştırmacılar deneme sonunda, solucan aşılmasının mikrobiyal biyoması düşürdüğü buna karşın, selülaz, kitinaz, asit ve alkalin fosfataz ile proteaz enzim aktivitelerinin ise kontrol toprağına oranla daha yüksek seviyede meydana geldiğini, değişimin ise solucan türlerine göre önemli oranda farklılıklar gösterdiğini saptamışlardır.

Jégou ve ark. (2001), iki farklı anesik solucan türü olan *Lumbricus terrestris* ve *Aporrectodea giardi*'nin açtıkları galerilerin etrafındaki toprakların morfolojik, fiziksel ve biyokimyasal özelliklerindeki değişimin araştırıldığı çalışmalarında, kontrol toprağına oranla, solucanların aşılacağı topraklardaki galeri duvarlarının C, N ve enzim aktiviteleri (dehidrogenaz, asit ve alkalin fosfataz) bakımından daha zengin olduğu, buna karşın porozitenin düştüğünü belirlemişlerdir.

Materchera (2002), tarafından solucan dışkısı (pH 6.4, Organik C 1.47, % 1.16 N, 17.4 ppm P) uygulanmış bir toprakta (pH 5.7, Organik C 0.89, % 0.12 N, 4.1 ppm P) yetişen mısır bitkisinin ürün verimine ve topraktaki besin maddesi yayılabilirliği üzerine

etkisinin araştırdığı çalışmasında, solucan dışkısı uygulamasının kontrol toprağına oranla mısır verimini ve topraktaki besin maddesi konsantrasyonunu (N, P, K, Ca, Mg, Zn ve Mn) arttırdığı belirlemiştir. Kaushik ve Garg (2003), *E. fetida* kullanarak tekstil atığı ve inek gübresinin farklı oranlarda karışımlarının vermikompostlamasının ortamın kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla yürüttükleri 90 günlük inkübasyon denemesinde, vermikompostlama sonucu karışımların C/N oranlarının düştüğü, toplam N ve P'un arttığı, toplam K ve Ca'nın ise azaldığını saptamışlardır. Dehidrogenazın ise, inkübasyonun 75.güne kadar arttığını ve ilerleyen dönemlerde ise azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca ortamın toplam ağır metal içeriği ise vermikompostlanmış karışımda başlangıç karışımına göre daha düşük belirlemişlerdir. Sonuçta katı tekstil atığının %30 inek gübresi (kuru ağrılık üzerinden) ile karıştırıldığında vermikompostlamada potansiyel hammadde olarak kullanılabilieceğini belirlemişlerdir.

Garg ve Kaushik (2005), farklı çiftlik gübrelerinin (inek, bufalo, at, eşek, koyun, keçi ve deve) *E. foetida* türü solucan ile vermikompostlanması sırasında N,P içeriğinde artış, pH, EC, K ve C/N oranında ise azalma olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, bufalo, eşek ve deve dışkılarında 90. günden sonra DHA'ne göre mikrobiyal aktivitenin arttığını bununla birlikte koyun ve keçi atıklarında 60. günde en yüksek seviyeye ulaştığı, daha sonra düştüğünü saptamışlardır. Çalışma kapsamında elde edilmiş olan farklı vermikompostlarda *E. fetida*'nın ürettiği kokon sayısı ve yumurtlama seviyesi de araştırılmıştır. Kokon üretiminde en yüksek sayı ve biyomas sırasıyla inek, keçi ve koyun dışkısını takiben at dışkısında bulunduğunu saptanmıştır.

Gupta ve ark. (2005), termal enerji istasyonlarından gelen uçucu kül maddesinden *E. foetida* kullanılarak elde ettiği vermikompostu farklı oranlarda inek dışkısı ile karıştırarak (%20, 40, 60, 80) bu farklı karışımlarda ve solucan bünyelerindeki ağır metal konsantrasyonlarında meydana gelen değişimleri belirlemek amacıyla yürütölen denemede, 30 gün sonra ise vermikest miktarı, solucan ağrılığı ve yavru sayısını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, %20 kül içeriğine sahip ortamlarda solucan ağrılığı maksimum iken %40 düzeyine sahip reaktörde vermikest ve yavru üretiminin maksimum olduğunu saptamışlardır. Ayrıca %60'lık kül karışımında ağır metal seviyesinin %30-50 ve %80 'lik kül karışımında %10-30 azaldığını belirlemişlerdir.

Jordao ve ark. (2006), Cu, Ni ve Zn ile zenginleştirilmiş sığır gübresi vermikompostunun kullanımının bitkisel ürün üzerine etkisini belirlemek için sera denemesi yürütmüşlerdir. Metalce zenginleştirilmiş vermikompost 0, 25, 50, 65 ve 80 t.ha⁻¹ olmak üzere 5 farklı dozda toprağa uygulamış, bitki materyali olarak ise marul (*Lactuca sativa l.*) kullanmıştır. Denemenin sonunda, 50, 65, 80 t.ha⁻¹ dozlarında vermikompost uygulaması yapılan topraklarda, metal ilavesi yapılmamış vermikompost uygulamasına göre doz artışına bağlı olarak marul ürününde artış belirlemiştir. Cu ile zenginleştirilmiş vermikompost uygulaması yapılan saksıdaki marul yapraklarındaki Cu konsantrasyonu köklerden daha yüksek (76-244 ppm) olmasına rağmen bitkide normal seviyede (5,9-13,9 ppm) bulunmuştur. Ni konsantrasyonunun ise bitkide toksik kritik seviyede (10-50 ppm) olduğunu belirlemiştir.

Suthar (2007), sakız ağacı endüstriyeletliğinin *Periyonix sensibericus* (perier) türü solucanlar ile vermikompostlanabilmeolanaklarının araştırdığı çalışmada, endüstriyel lignoselülotik atıkları diğer organik materyaller ile (buğday samanı ve inek gübresi) karıştırarak 3 tip solucan yataklığı hazırlamıştır. Sakız endüstriyel atığı, inek gübresi, buğday samanı atıklarından sırasıyla %40 + %30 + %30 (T1), %60+ %20 + %20 (T2) ve %75 + %15 + %10 (T3), oranlarında karşılaştırılarak vermikompostlar elde edilmiştir. Vermikompostlama sonunda organik karbon (%5-11) ve C/N (%11-24) oranında düşüş ve toplam azotta (%18-22) alınabilir fosfor %39-92 ve değişebilir K (%9-19) içeriğinde artış gösterdiğini belirlemiştir.

Tajbakash ve ark. (2008), farklı tarımsal atıklar ile mantar kompostunun vermikompostlanmasında *E. foetida* ve *E. andrei* türü solucanların kullanılabilme mikarlarını araştırdıkları çalışmada, vermikompostlama sonunda ortamın C/N, pH, tuzluluk ve toplam organik C içeriklerinde önemli derecede azalma, toplam N ve diğer besin maddesi içeriklerinde ise önemli artış saptamışlardır.

Suthar (2009c), *E. fetida*'lar kullanarak buğday samanı, inek dışkısı ve biyogaz atığı ile birlikte sebze katı atıklarının vermikompostlanmasının araştırıldığı çalışmada, sebze atıklarını diğer organik materyallerle 8 farklı oranda karıştırılarak 15 hafta laboratuvar koşullarında vermikompostlamışlardır. Çalışma sonunda, vermikompostlamanın organik C, C/N oranında düşüşe sebep olurken toplam N, alınabilir P ve değişebilir K'da artışa sebep olduğunu saptamıştır. Ayrıca tüm atık karışımlarının solucan gelişim ve üremesini de arttırdığı saptamıştır.

Tejada ve ark. (2009), yeşil yem atığı ve şeker pancarı vermikompostunun toprakların fiziksel (strüktür stabilitesi ve hacim ağırlığı), kimyasal (değişebilir Na yüzdesi), ve biyolojik (MBC, toprak solunumu ve toprak enzim aktivitesi) özellikleri üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, topraklara organik madde ilavesi olarak 5-10 t.ha⁻¹ düzeyinde vermikompost uygulaması yapmışlardır. Yeşil yem atığı vermikompostu ile şekerpancarı atığının birlikte kompostlanmasının toprakların fiziksel kimyasal ve biyolojik özelliklerinde toprak kaybının azalmasında ve ayrışmanın artmasında pozitif bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir.

2.3. Toprakta Ağır Metallerin Solucan Dokularında Biyoakümülyasyonu

Topraklarda ağır metal birikimi, litojenik olarak meydana gelmekle beraber kirletilmemiş pek çok toprakta ise ağır metal seviyeleri endüstrileşme (Cemek ve Kızılkaya, 2006) kadar tarımsal aktiviteler (özellikle kimyasal gübreleme ve arıtma çamuru kullanımı (Karaca ve ark., 2002; Kızılkaya ve Bayraklı, 2005)) ile de artışlar göstermektedir (Özdemir ve ark., 2007; Tarakçıoğlu ve ark., 2006). Kaynağı ne olursa olsun, ağır metaller toprak organizmalarının dokularında ve besin zincirinin diğer bileşenlerinde birikmektedir. Toprakta biyolojik ve biyokimyasal aktiviteleri etkileyerek pek çok çevresel probleme yol açmaktadır (Kızılkaya ve Aşkın, 2002; Kızılkaya ve ark., 2004). Solucanlar, toprak fauna ve florasının diğer üyelerinin aksine topradaki ağır metal konsantrasyonlarından çok daha az etkilenmektedirler (Kızılkaya, 2004; 2005). Solucanların beslendikleri ortamlarda bulunan ağır metaller bazen dışkı ile toprağa geri atılırken çoğu zaman solucan dokularında birikmektedir. Bu durum ortamdaki ağır metal konsantrasyonuna bağlıdır. Pek çok solucan türünde ise metaller dışkı ile vücuttan atılmaktadır ve dışkıdaki ağır metal konsantrasyonları bünyelerindenkinden daha yüksek olabilmektedir (Tessier ve ark., 1994). Bu solucan popülasyonlarının bir sonraki jenerasyonu ağır metal bulaşması olmayan veya nispeten daha az olan alanlara doğru hareket etmektedir.

Solucan dokularında ağır metal birikimi solucan türlerine göre farklılık göstermekle beraber söz konusu metallere göre de değişkenlik göstermektedir. Örneğin; Zn ve Cu ile Cd ve Pb'un birikim düzeyleri karşılaştırıldığında, dışkıda Zn ve Cu dokularında ise Cd ve Pb daha yüksektir. Bunun sebebi, solucanların fizyolojik metal

kontrol mekanizmalarıdır, çünkü Zn ve Cu organizmaların yaşamsal faaliyetlerinde gerekli elementlerdir (Karaca ve ark., 2010b).

Solucanların yaşadığı ortamlarda ağır metal düzeyleri ne kadar yüksek ise solucan dokularında biriken miktarlar da o kadar yüksek olmaktadır (Crommentuijn ve ark., 1997). Bu ilişki solucanların toprakların metal kirlilik düzeylerini belirlemek için de bir gösterge olarak kullanılabilceğini göstermektedir (Wang ve ark., 1998; Paoletti, 1999).

Solucan dokularında ağır metal birikimi, solucanların akümülyasyon kapasitelerine, metallerin solucanlardaki toksisitesine, ağır metal tipine (Kızılkaya, 2004; 2005) ve solucanların ekolojik kategorilerine (Morgan ve Morgan, 1992) göre de değişkenlik göstermektedir. Örneğin; endojeik türler Cd’u epijeik ve anecic türlere göre daha yüksek miktarlarda biriktirirken, anecic türler Zn’yu diğer iki türden daha yüksek miktarlarda biriktirmektedirler. *L. rubellus* ise Cu kirliliğini *A. caliginosa*’dan daha çok tolere etmektedir. *E. fetida*’ların ise en az toksisiteyi Pb’da gösterdikleri belirlenmiştir (Neuhauser ve ark., 1985).

Solucanlar metallerce kirletilmiş topraklarda metal mobilitesini ve bitkiye metal transferini artırmakla beraber toprak faunasının diğer üyelerine bakarak metal toksisitesine karşı daha dirençlidirler, metalleri bünyelerinde akümüle edebilmekte ve alınabilir metal varlığını artırabilmektedirler. Dolayısıyla fitoremedasyon için kullanımları büyük yarar sağlayabilmektedir (Karaca ve ark., 2010a).

Kızılkaya (2004), çalışmasında farklı dozlarda arıtma çamuru uygulaması yaptığı topraklarda arıtma çamurlarının içerdiği metal konsantrasyonlarının solucan (*Lumbricus terrestris* L.) dokularındaki Cu ve Zn birikimine, solucan dışkısında Cu ve Zn fraksiyonlarına ve solucanların yaşadığı galeri çevreleyen topraklardaki Cu ve Zn fraksiyonlarına etkisini araştırmıştır. Arıtma çamuru uygulamasından 30 gün sonra toprak, dışkı ve solucan dokusundan alınan örneklerde en yüksek metal miktarlarını en yüksek arıtma çamuru dozunda (400 g.kg⁻¹) belirlemiştir. Özellikle dışkılarda ve toprakta değişebilir Zn ve organik bağlı Cu fraksiyonları miktarlarının tüm arıtma çamuru uygulaması yapılan topraklarda diğer fraksiyonlardan daha yüksek olduğunu saptamıştır.

Becquer ve ark. (2005), metallerce kirlenmiş topraklarda metallerin biyoyararlılığı üzerine solucanların etkisini araştırdıkları çalışmada toprak örneklerinde farklı metal miktarlarını, solucan performansları ve 2 solucan türünün (*Aporrectodea*

calliginosa ve *Lumbricus rubellus*) dokularındaki metal konsantrasyonlarını karşılaştırmışlardır. Suda çözünebilir ve değişebilir metal formlar arasında solucanların dokularındaki metal birikimi ile zayıf bir ilişki belirlenirken, Cd hariç, organik bağlı formdaki metaller arasında ise önemli bir ilişki belirlemişlerdir. Ayrıca, solucanların toprak bileşenlerine bağlı metallere biyoakümüledikleri miktarları dermal yolla kaldırdıkları iyon miktarlarından önemli derecede daha yüksek olduğunu saptamışlardır.

Kızılkaya (2005), farklı organik atıklar kullandığı çalışmada toprağa ilave ettiği Zn dozlarının (0, 50, 100, 250, 500 ve 1000 mg kg⁻¹) solucan dokularında Zn akümülyasyon miktarı ve solucan dışkılarındaki Zn kapsamı üzerine etkisini araştırmıştır. Organik atıklar uygulandıktan 21 gün sonra solucan dokusu ve dışkılarındaki en yüksek Zn dozunu belirlemiştir. Elde ettiği verilere göre Zn ilave uygulaması yapılmış topraklarda solucan doku ve dışkısında uygulama yapılmamış topraklardan önemli derecede daha yüksek Zn kapsamı saptamıştır. En yüksek Zn konsantrasyonunun tüm Zn dozlarında yüksek C/N oranına sahip organik atıklarla (saman ve fındık zuru) uygulama yapılmış topraklardaki solucanlarda olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte, en düşük BAF'ı ise düşük C/N oranına sahip organik atıklarda (çay ve tütün atığı) saptamıştır. kontrol dozu hariç en yüksek BAF değerini tüm organik atık uygulamalarında 100 mg Zn kg⁻¹ dozunda belirlemiştir.

Liu ve ark. (2005), verimliliğin artırılması için solucanların (*Eisenia foetida*) kullanım potansiyeli ve atık çamurlarda solucanların Cu ve Cd miktarlarına etkisini belirlemek amacıyla bir laboratuvar çalışması yürütmüşlerdir. 60 günlük inkübasyon sonunda solucan dokularında 250 mg Cu kg⁻¹ ve 10 mg Cd kg⁻¹ kadar artış saptamışlardır. Ayrıca, solucan uygulamasının kabak bitki biyomasını artırdığı ve kabak bitkisinin Cd ve Cu kapsamını düşürdüğünü belirlemiştir.

Hobbelen ve ark. (2006), çalışmada yüksek metal konsantrasyonları içeren topraklarda *Lumbricus rubellus* ve *Aporrectodea calliginosa* solucanlarının dokularında önemli metal miktarlarının biriktiğini belirlemiştir. Fazla metal kirliliğinin olduğu 15 farklı alanda solucan dokularında ve *Urtica dioica* bitkisi yapraklarında ve topraklar örneklerinde saf su ve CaCl₂ ekstraktlarında Cd, Cu, Zn miktarlarını belirlemiştir. Elde edilen sonuçlara doğrultusunda, solucan dokularında Zn konsantrasyonlarının tüm alanlarda birbirlerine göre önemli bir farklılık göstermediğini belirlemiştir.

Vijver ve ark. (2007), sel basma sıklığı ve vejetasyon tipinde farklılık gösteren 3 sel havzasında yaşayan solucanların dokularındaki metal konsantrasyonlarında meydana

gelen farklılıkların ana sebeplerini araştırmışlardır. Elde ettiği sonuçlara göre epijeik solucanların biyoakümüle ettiği metal konsantrasyonlarının endojeik solucanlara oranla, mevsimsel olarak miktarlar değişmekle birlikte, daha yüksek olduğunu saptamıştır. Sel basmasının sık olduğu alanlarda yaşayan solucanların dokularında biriken metal miktarlarının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Sel basan alanlardaki vejetasyon tipinin *Lumbricus rubellus* türü solucanların metal akümüasyonu üzerine bir etkisi olmadığını belirlemiştir.

Ruiz ve ark. (2009), yürüttükleri bir saksı denemesinde daha önce maden ocağı olarak kullanılmış ve ağır metallerce kirlenmiş bir alandan aldıkları toprak örneklerinde mısır ve arpa bitkisinin Pb, Zn, Cd ve Cu kaldırımı üzerine solucanların etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, toprağın metal kapsamının solucanlar tarafından önemli derecede değiştiğini, toplam akümüasyon oranlarının (Pb, Zn, Cd ve Cu) her 2 bitkide de *Eisenia fetida* varlığında önemli derecede daha yüksek olduğunu saptamışlardır.

Giovaretti ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada hem doğal yollarla hem antropojenik olarak uranyuma maruz kalan solucanlarda (*Eisenia foetida*) uranyum akümüasyonunun karşılaştırmalı olarak biyolojik etkilerini araştırmışlardır. Çalışmasında uranyum konsantrasyonunu $1.86-600 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak saptamışlardır. 28 günlük çalışmanın ilk 7 gününden sonra biyolojik özellikler (ölüm, membran stabilitesi gibi) belirlenmiş ve solucanların ölüm ve üremeleri üzerine bir etkisi olmadığını saptamışlardır. Ancak düşük uranyum konsantrasyonlarında dahi solucan dokularında sitotoksik ve genetik etkiler tanımlamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, uranyuma maruz kalan solucanlarda istatistiksel olarak önemli derecede yüksek etkiler gösterdiğini belirlemişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma; inkübasyon denemesi, sera denemesi ve tarla denemesi olmak üzere 3 aşamada planlanmış ve yürütülmüştür.

3.1. İnkübasyon Denemesi

3.1.1. Materyal

İnkübasyon denemesinde materyal olarak; arıtma çamuru, fındık zurufu, ahır gübresi ve *Eisenia foetida* türü solucanlar kullanılmıştır. Arıtma çamuru, Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinden (AMAAT); fındık zurufu, Ordu ilindeki fındık bahçelerinden; ahır gübresi ise Samsun ilindeki büyükbaş hayvan işletmelerinden temin edilmiştir. Organik materyallerin özelliklerinin belirlenmesinde ve ağır metal içeriklerinin saptanmasında Çizelge 3.1.'de verilen yöntemler uygulanmıştır.

Çizelge 3.1. Organik atıkların bazı kimyasal özelliklerinin saptanması amacıyla uygulanan yöntemler (Kacar, 1972, 1995; Ryan ve ark., 2001)

Analiz	Uygulanan Yöntem
Organik madde	Kuru yakma yöntemi ile
Toplam azot	Kjeldahl yöntemi ile
C/N	Hesaplama ile
pH	1:10 (w/v), organik atık:su karışımında
EC	1:10 (w/v), organik atık:su karışımında
Toplam fosfor	Kuru yakma yöntemi ile
Toplam potasyum	Kuru yakma yöntemi ile
Toplam Zn, Cu, Ni, Pb, Cd	Kuru yakma yöntemi ile

Eisenia foetida türü solucanlar, büyükbaş hayvanlara ait gübre yığınlarından toplanmış ve denemede kullanılıncaya değin orijinal yataklıkları olan ahır gübresinin içerisinde uygun nem ve sıcaklıkta depolanmıştır. İnkübasyon denemesinde kullanılacak olan organik atıklar tamamen kurutulduktan ve öğütüldükten sonra (<0,5mm) karıştırılmıştır.

Karışım oranları aşağıdaki gibidir:

1. Karışım-% 0 arıtma çamuru + % 50 fındık zurufu + % 50 ahır gübresi
2. Karışım-% 10 arıtma çamuru + % 45 fındık zurufu + % 45 ahır gübresi
3. Karışım-% 20 arıtma çamuru + % 40 fındık zurufu + % 40 ahır gübresi
4. Karışım-% 30 arıtma çamuru + % 35 fındık zurufu + % 35 ahır gübresi
5. Karışım-% 40 arıtma çamuru + % 30 fındık zurufu + % 30 ahır gübresi
6. Karışım-% 50 arıtma çamuru + % 25 fındık zurufu + % 25 ahır gübresi
7. Karışım-% 60 arıtma çamuru + % 20 fındık zurufu + % 20 ahır gübresi
8. Karışım-% 70 arıtma çamuru + % 15 fındık zurufu + % 15 ahır gübresi
9. Karışım-% 80 arıtma çamuru + % 10 fındık zurufu + % 10 ahır gübresi
10. Karışım-% 90 arıtma çamuru + % 5 fındık zurufu + % 5 ahır gübresi
11. Karışım-% 100 arıtma çamuru + % 0 fındık zurufu + % 0 ahır gübresi

3.1.2. İnkübasyon Denemesinin Kurulması

İnkübasyon denemesinin kurulması amacıyla, 1L'lik ışık geçirmeyen silindirik plastik saksılara (8 cm iç çap ve 25 cm yükseklik) 500 g karışım konulmuştur. Her bir karışımın içerisine eşit ağırlıkta 3'er adet *Eisenia foetida* türü solucan ilavesi yapılmıştır. Saksıların üst kısmı ise havalanmayı engellemeyecek şekilde tül ile kapatılmış ve solucan için optimum koşulları sağlamak amacıyla (Reinecke ve ark. 1992; Kaplan ve ark., 1980) saksılara su ilavesi yapılmıştır. Su ilavesi, her bir karışım ağırlık yüzdesi cinsinden %80 oranında su kapsayacak şekilde yapılmıştır. Saksılar, 20 °C'de 90 gün süre ile karanlıkta inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresince saksılar her gün tartılarak eksilen su miktarı ilave edilmiştir. *Eisenia foetida* bir günde ağırlığının en fazla %75'i kadar vermikompost ürettiği için (Ndegwa ve ark., 1999) inkübasyon, toplam 90 gün ile sınırlandırılmıştır. İnkübasyonun 15., 30., 45., 60., 75. ve 90. günlerinde vermikompost örnekleri alınarak bazı kimyasal ve biyolojik analizler yapılmıştır (Çizelge 3.2). İnkübasyon denemesi toplam 198 saksıdan [6 (inkübasyon) x 3 (paralel) x 11 (karışım) = 198] oluşturulmuş ve toplam 594 adet solucan kullanılmıştır.

3.1.3. İnkübasyon Denemesi Boyunca Alınan Vermikompost Örneklerinde Uygulanan Analizler

90 günlük inkübasyon periyodu süresince inkübasyonun 15., 30., 45., 60., 75. ve 90. günlerinde alınan vermikompost örneklerinin bazı kimyasal ve biyolojik özellikleri ile ortamın Zn formlarında meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amacıyla Çizelge 3.2.'de verilen analizler yapılmıştır.

Çizelge 3.2. İnkübasyon süresince karışımlardan alınan örneklerde uygulanan analizler

Uygulanan Analizler	Kaynak
Toplam solucan biyomasındaki değişim	Gravimetrik olarak
Genel kimyasal analizler	
Toplam Organik C	Ryan ve ark. (2001)
Suda çözünebilir organik madde	ISO 4098:2006
Toplam N	Bremner (1965)
Mineral N (NH ₄ ve NO ₃)	Bremner (1965)
C/N	Rowell (1996)
Enzim aktiviteleri	
Dehidrogenaz aktivitesi	Pepper ve ark. (1995)
Üreaz aktivitesi	Hofmann ve Teicher (1961)
Alkalen fosfataz aktivitesi	Tabatabai ve Bremner (1969)
Arylsülfataz aktivitesi	Tabatabai ve Bremner (1970)
β-Glikosidaz aktivitesi	Eıvazı ve Tabatabai (1988)
Mikrobiyolojik analizler	
Mikrobiyal solunum	Anderson (1982)
Mikrobiyal biyomas C	Anderson ve Domsch (1978)
Zn analizleri	
Toplam Zn	Ryan ve ark. (2001)
Suda çözünebilir Zn	Kacar (1972, 1995)
Organik bağlı Zn	Shuman (1983)
Değişebilir Zn	Chao ve Zhou (1983)

3.1.4. İnkübasyon Denemesi Boyunca Alınan Solucanların Zn Kapsamlarının Belirlenmesi ve Biyoakümülyasyon Faktörlerin Hesaplanması

Eisenia feotida türü solucanların organik materyallerden hazırlanan karışımlardaki Zn' yu, bünyesinde biriktirip biriktirmediğini ve biriktirme düzeyini saptamak amacıyla her bir inkübasyon döneminde alınan solucanların bünyelerindeki metal kapsamları Scaps ve ark. (1997) tarafından bildirildiği şekli ile belirlenmiştir. Bu amaçla, solucanlar 105 °C'de kurutulmuş, her bir g solucan dokusunun üzerine 1 mL HNO₃ ilave edilerek bir gece bekletilmiş ve bu süre sonunda 120 °C'de buharlaştırılmıştır. Daha sonra ortama 1 mL HNO₃/H₂SO₄/HCl (10/2/3; v/v/v) asit karışımı ilave edilerek 180 °C'de yaş yakılmıştır. Yanma sonunda çözelti 25 mL'ye saf su ile tamamlanmış ve çözeltinin metal konsantrasyonu Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde (AAS) belirlenmiş ve solucan dokusundaki metal kapsamı kuru ağırlık üzerinden hesaplanmıştır. Vermikompostta ve solucanda belirlenen toplam metal kapsamından hareketle Biyoakümülyasyon faktörler (BAF) yine her bir inkübasyon dönemi için ayrı ayrı olmak üzere Pearson ve ark. (2000) tarafından bildirildiği şekli ile belirlenmiştir:

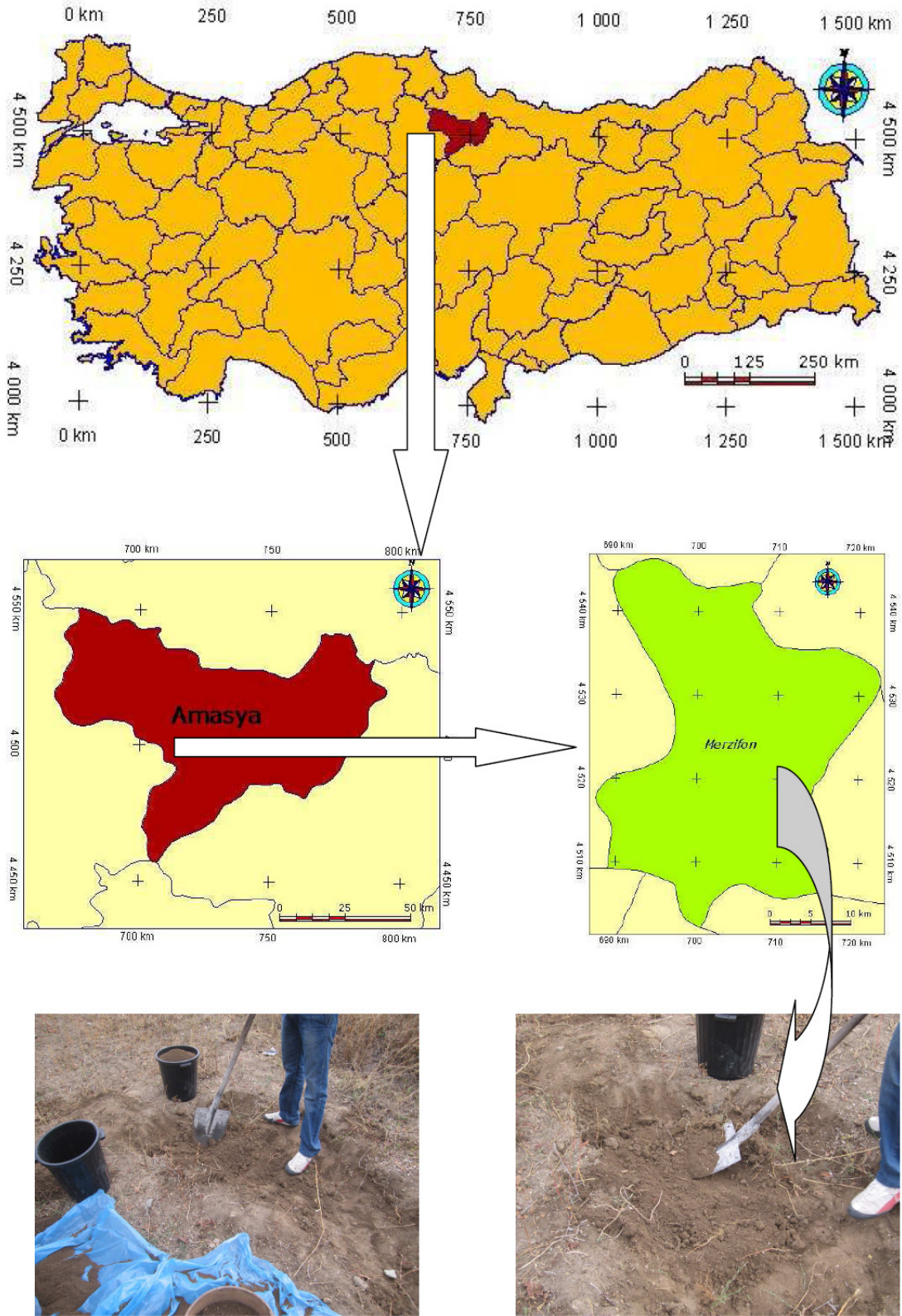
$$BAF = \frac{\text{Solucan dokusundaki metal konsantrasyonu}}{\text{Vermikomposttaki toplam metal konsantrasyonu}}$$

3.2. Sera Denemesi

Sera ve tarla denemelerinde kullanılmak amacıyla, inkübasyon denemesinde kullanılan organik atıkların farklı oranlarda karıştırılması ve solucanlar ile kompostlanması ile vermikompostlar elde edilmiştir. Bu amaçla; 20 kg'lık karışımlar üzerine 120 adet *Eisenia foetida* türü solucan ilavesi yapılmıştır. Ortamın su kapsamı optimum nem olan %80 seviyesinde tutulmuş ve 20 °C'de karanlıkta 3 ay süre ile inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresince her gün tartım alınarak eksilen su miktarı ilave edilmiştir. İnkübasyon sonunda karışımların içerisinde solucanlar ayrılmış, vermikompostlar ise kurulacak sera ve tarla denemesi için serin, güneş görmeyen bir ortamda ve siyah polietilen kaplar içerisinde ağzı kapalı olarak muhafaza edilmiştir.

Arıtma çamuru ile beraber fındık zurufu ve solucanlara yataklık olarak kullanılan ahır gübresinin *Eisenia foetida* türü solucanlar kullanılarak kompostlanması (vermikompost eldesi) ve bu karışımların vermikompostlanmamış durumlarının buğday bitkisinin (*Triticum aestivum*) verimi ile deneme sonunda hasat edilen bitki ve saksılardan alınan toprak örneklerinin biyolojik özellikleri ile toprak ve bitki örneğinin Zn kapsamı üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla sera denemesi kurulmuştur.

Sera denemesinde kullanılan toprak, Amasya ili Merzifon ilçesinden alınmıştır (Şekil 3.1.). Deneme toprağının özellikleri Çizelge 3.3'de verilen yöntemlere göre belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Sera denemesinde kullanılan toprağın alındığı yer

Çizelge 3.3. Sera denemesinde kullanılan toprağın özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler (Rowell, 1996; Kick ve ark., 1980; Kacar, 1995; Shuman, 1983; Chao ve Zhou, 1983)

Uygulanan Analizler	Yöntem
Tekstür	Hidrometre yöntemi
Organik madde, %	Walkey-Black yöntemi ile
EC, dS m ⁻¹	1:1 (w/v) toprak : saf su karışımında EC-metre ile
pH	1:1 (w/v) toprak : saf su karışımında pH-metre ile
Kireç kapsamı, %	Scheibler kalsimetresi ile
Toplam N, %	Kjeldahl yöntemi ile
Toplam Zn (mg.kg ⁻¹)	Toprak örneğinin kral suyu ile yaş yakılması ile
Suda çöz. Zn (mg.kg ⁻¹)	1: 10 (w/v) toprak : saf su ekstraksiyonunda
Organik bağlı Zn (mg.kg ⁻¹)	1:2 (w/v) toprak:0.7 M NaOCl ekstraksiyonunda
Değişebilir Zn (mg.kg ⁻¹)	1:4 (w/v)toprak:1M Mg(NO ₃) ₂ ekstraksiyonunda

3.2.1. Sera Denemesinin Kurulması

Sera denemesinde bitki materyali olarak buğday bitkisi (*Triticum aestivum*) seçilmiştir. Buğday olarak ise yazlık buğday çeşidi olan “Pandas” kullanılmıştır. Ayrıca organik materyallerin inkübasyon denemesinde kullanılan karışımlarının vermikompostlanmış halleri ile vermikompostlanmamış karışımlar, uygulama materyali olarak seçilmiştir. Organik materyallere ait karışımların vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış durumlarının bazı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 3.4.’teki yöntemler uygulanmıştır.

Sera denemesinin kurulması amacıyla, toprakların 5 kg’lık miktarları plastik saksılara konulmuş, ve topraklar üzerine organik artıkların farklı karışımlarından elde edilen vermikompostlar ile vermikompostlanmamış karışımlardan 100 g (toprak organik maddesini %2 oranında artırmak için) ilave edilmiştir. Buğday tohumları (*Pandas*) her bir saksıya 30 adet olacak şekilde elle ekim yapılmıştır. Kompost ilavesi yapılmamış saksılar ise kontrol olarak kabul edilmiştir. Deneme süresince herhangi bir kimyasal gübreleme ve ilaçlama işlemi gerçekleştirilmemiştir. Tohumların topraktan ilk çıkışından sonra her saksıda eşit sayıda (15 adet/saksı) bitkinin bulunması amacı ile seyreltme işlemi yapılmıştır. Deneme süresince toprakların nem kapsamı ağırlık esasına göre maksimum su tutma kapasitesinin %40’ı seviyesinde tutulmuştur. Deneme süresi

boyunca, saksılardan eksilen su miktarı her gün sabah ve akşam tartım yapılarak tamamlanmış, saksı yüzeylerinde zaman zaman oluşan olan kaymak tabakası ayrı spatüller kullanılmak suretiyle kırılmış ve bitki köklerinin havalanması sağlanmıştır. Deneme, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü seralarında tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 paralelli olarak kurulmuş ve yürütülmüş olup toplam 39 saksı'dan [(organik atık karışımlarından elde edilen 6 adet vermikompost + 6 adet vermikompostlanmamış organik atık karışımları + kontrol) x 3paralel = 39 saksı] oluşturulmuştur.

Çizelge 3.4. Denemede kullanılan vermikompostların ve organik materyal karışımlarının özelliklerinin belirlenmesi için yapılan analizler (Ryan ve ark. 2001; Kacar, 1972)

Uygulanan Analizler	Yöntem
pH	1:10 (w/v) vermikompost : saf su karışımında EC-metre ile
EC, dSm ⁻¹	1:10 (w/v) vermikompost : saf su karışımında pH-metre ile
Toplam N, %	Kjeldahl yöntemi ile
Organik C, %	Walkey-Black yöntemi ile
C/N	Hesaplama ile
NO ₃ -N (µg g ⁻¹)	Kjeldahl yöntemi ile
NH ₄ -N (µg g ⁻¹)	Kjeldahl yöntemi ile
Suda çözü. Org. Madde, %	1:10 (w/v) vermikompost : saf su karışımında
Toplam Zn mg kg ⁻¹	Örneğinin yaş yakılması ile

3.2.2. Sera Denemesinin Sonlandırılması ve Hasat Sonu Uygulanan Analizler

Yürütülen sera denemesinde, yazlık buğdaylar 90 gün sonunda hasat edilmiştir. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerine ait verim ile saksılardan alınan toprak ve bitki örneklerinde Çizelge 3.5.'ve 3.6'da verilen analizler yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Hasat sonu alınan toprak ve bitki örneklerinde uygulanan analizler

Uygulanan Analizler	Yöntem
BİTKİ ANALİZLERİ	
Tane ve sap verimleri	Gravimetrik olarak
Tane ve Sapta Zn	Kuru yakma sonucu çıkartılan ekstraktta
TOPRAK ANALİZLERİ	
Organik karbon, %	Walkey-Black yöntemi ile
Toplam N, %	Kjeldahl yöntemi ile
NH ₄ -N ve NO ₃ -N, mg kg ⁻¹	1 N KCl ekstraktında destilasyon ile
C/N	Hesaplama ile
Toplam Zn	Toprak örneğinin kral suyu ile yaş yakılması ile
Suda çözünebilir Zn	1: 10 (w/v) toprak : saf su ekstraksiyonunda
Organik bağlı Zn	1:2 (w/v) toprak : 0.7 M NaOCl ekstraksiyonunda
Değişebilir Zn	1:4 (w/v) toprak : 1M Mg(NO ₃) ₂ ekstraksiyonunda
DTPA – Zn	0.005M DTPA + 0.01M CaCl ₂ + 0.1M TEA ekstraktında

Çizelge 3.6. Hasat sonu alınan toprak örneklerinde uygulanan biyolojik analizler

Uygulanan Analizler	Kaynak
Mikrobiyal solunum (MS)	Anderson (1982)
Mikrobiyal biyomas C (Cmic)	Anderson ve Domsch (1978)
Dehidrogenaz aktivitesi (DHA)	Pepper ve ark. (1995)
β-Glikosidaz aktivitesi (GA)	Eivazi ve Tabatabai (1988)
Üreaz aktivitesi (UA)	Hofmann ve Teicher (1961)
Alkalen fosfataz aktivitesi (APA)	Tabatabai ve Bremner (1969)
Arilsülfataz aktivitesi (ASA)	Tabatabai ve Bremner (1970)

3. Tarla Denemesi

Tarla denemesi sera denemesinin tarlaya aktarılmış hali olarak planlanmış ve sera denemesi için toprak örneğinin alındığı alanda tarla denemesi kurulmuştur. Deneme arazisinin bazı özelliklerinin belirlenmesinde Çizelge 3.3.'de verilen analizler yapılmıştır.

3.3.1. Tarla Denemesinin Kurulması

Tarla denemesinde materyal olarak tıpkı sera denemesinde olduğu gibi buğday bitkisi (*Triticum aestivum*) kullanılmıştır. Bu amaçla, deneme arazisi hazırlanarak (sürülüp, tesviyesi yapılarak) deneme için uygun hale getirilmiş ve deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 3 paralelli olarak kurulmuştur. Deneme toplam 39 parsel'den [*organik atık karışımlarından elde edilen 6 adet vermikompost + 6 adet vermikompostlanmamış organik atık karışımları + kontrol*] \times 3paralel = 39 parsel] oluşmuştur. Tarla denemesinde parsellerin birbirleri ile arasındaki homojenizasyonun sağlanması açısından parsel büyüklüğü 1 m² olarak belirlenmiştir. Her bir parsele 5 kg vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış organik materyallerin (toprak organik maddesini %2 oranında artırmak için) ilavesi yapılarak çapa ile karıştırılmıştır. Buğday tohumları her bir parsele 500 adet olacak şekilde elle ekim yapılmıştır. Vermikompost ilavesinin yapılmadığı parsel kontrol kabul edilmiştir. Denemenin kuruluşundan hasada kadar geçen sürede her hangi bir kimyasal gübreleme ve ilaçlama işlemi gerçekleştirilmemiştir. Deneme süresince topraklara bitkinin su ihtiyacını karşılamak amacıyla tüm parsellere eşit miktarlarda su verilmiştir.

3.3.2. Tarla Denemesinin Sonlandırılması ve Hasat Sonu Uygulanan Analizler

Yürütülen tarla denemesinde, yazlık buğdaylar 100 gün sonunda hasat edilmiştir. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerine ait verim ile parsellerden alınan toprak ve bitki örneklerinde Çizelge 3.5.'ve 3.6'da verilen analizler yapılmıştır.

3.4. İstatistiksel Analizler

Çalışma kapsamında yürütülen inkübasyon, sera ve tarla denemeleri ve diğer laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen bulgulara ait istatistiksel değerlendirmeler (Varyans analizi, LSD testi) SPSS paket programında yapılmış ve elde edilen bulgular Düzgüneş (1963) tarafından bildirildiği şekilde değerlendirilmiştir.

3.5. Yöntem

Çalışma kapsamında inkübasyon denemesi ile sera ve tarla denemelerinde ortamın biyolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılarak Çizelge 3.2. ve 3.6'da verilen biyolojik analizlere ait yöntemlerin esasları aşağıda verilmiştir.

3.5.1. Mikrobiyal Solunum: 50 g toprak, maksimum su tutma kapasitesi %55 oluncaya değin saf su ile nemlendirilmekte ve 1 L'lik izermayer kavanozları içerisine konulmaktadır. Kavanozun alkali tüpüne 25 mL 0,05 M NaOH ilave edilmekte ve kavanozlar 25 °C'de 3 gün süreyle inkübasyona bırakılmaktadır. Mikrobiyal solunum sonucu açığa çıkan CO₂ alkali tarafından tutulmakta ve arta kalan OH⁻ fenol ftaleyn indikatörü eşliğinde standarize edilmiş HCl ile titre edilmektedir. Sonuç µg CO₂-C g⁻¹ kuru toprak olarak ifade edilmektedir (Anderson, 1982).

3.5.2. Mikrobiyal Biyomas C: 50 g toprak, maksimum su tutma kapasitesi %55 oluncaya değin saf su ile nemlendirilmekte, üzerine 200 mg glikoz ilave edilmekte ve 1 L'lik izermayer kavanozları içerisine konulmaktadır. Topraktan salınan CO₂ miktarı saatlik olarak 3.5.1.'de belirtildiği şekilde belirlenmektedir. 4 saat sonundaki maksimum solunum 40.04 mg CO₂ g⁻¹ + 3,75 eşitliği yardımı ile hesaplanmakta ve sonuç µg CO₂-C g⁻¹ kuru toprak olarak ifade edilmektedir (Anderson ve Domsch, 1978).

3.5.3. Dehidrogenaz Aktivitesi: 6 g toprak örneği üzerine 30 mg glikoz, 1 mL of %3'lük 2,3,5-triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) substrat çözeltisi ve 2.5 mL saf su ilave edildikten sonra karışım 37 °C'de 24 saat süre ile inkübe edilmektedir. İnkübasyon sonunda açığa çıkan 1,3,5 triphenylformazan (TPF) spektrofotometrik olarak 485 nm dalga boyunda belirlenmekte ve sonuç µg TPF g⁻¹ kuru toprak olarak ifade edilmektedir (Pepper ve ark. 1995).

3.5.4. β -Glikosidaz (EC 3.2.1.21) Aktivitesi: 1 g toprak örneği üzerine 0,25 mL toluen, 4 mL TRIS (hidroksimetil) aminometan tampon çözeltisi (pH, 12) ve 1 mL 0.05 M *p*-nitrophenyl β -D-glucopyranoside çözeltisi (substrat çözeltisi) ilave edildikten sonra karışım 37 °C'de 1 saat süre ile inkübe edilmektedir. İnkübasyon sonunda açığa çıkan *p*-nitrophenol spektrofotometrik olarak 410 nm dalga boyunda belirlenmekte ve sonuç $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak olarak ifade edilmektedir (Eivazi ve Tabatabai, 1988).

3.5.5. Üreaz (EC 3.5.1.5) Aktivitesi: 1 g toprak örneği üzerine 0,25 mL toluen, 0,75 mL sitrat tampon çözeltisi (pH, 6,7) ve 1 mL %10'luk üre çözeltisi (substrat çözeltisi) ilave edildikten sonra karışım 37 °C'de 3 saat süre ile inkübe edilmektedir. İnkübasyon sonunda açığa çıkan amonyum spektrofotometrik olarak 578 nm dalga boyunda belirlenmekte ve sonuç $\mu\text{g N g}^{-1}$ kuru toprak olarak ifade edilmektedir (Hofmann ve Teicher, 1961).

3.5.6. Alkale Fosfataz (EC 3.1.3.1) Aktivitesi: 1 g toprak örneği üzerine 0,25 mL toluen, 4 mL fosfat tampon çözeltisi (pH, 8) ve 1 mL 0.05 M *p*-nitrophenyl phosphate (disodium salt hexahydrate) çözeltisi (substrat çözeltisi) ilave edildikten sonra karışım 37 °C'de 1 saat süre ile inkübe edilmektedir. İnkübasyon sonunda açığa çıkan *p*-nitrophenol spektrofotometrik olarak 410 nm dalga boyunda belirlenmekte ve sonuç $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak olarak ifade edilmektedir (Tabatabai ve Bremner, 1969).

3.5.7. Arilsülfataz (EC 3.1.6.1) Aktivitesi: 1 g toprak örneği üzerine 0,25 mL toluen, 4 mL asetat tampon çözeltisi (pH, 5,5) ve 1 mL 0.05 M *p*-nitrophenyl sulphate (potassium salt) çözeltisi (substrat çözeltisi) ilave edildikten sonra karışım 37 °C'de 1 saat süre ile inkübe edilmektedir. İnkübasyon sonunda açığa çıkan *p*-nitrophenol spektrofotometrik olarak 410 nm dalga boyunda belirlenmekte ve sonuç $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak olarak ifade edilmektedir (Tabatabai ve Bremner, 1970).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İnkübasyon Denemesi

4.1.1. İnkübasyon Denemesinde Kullanılan Organik Atıkların Özellikleri

Araştırmada materyal olarak kullanılan organik atıkların bazı özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Bu organik atıklardan arıtma çamuru toplam N içeriği en yüksek ve C/N oranı en düşük (9.0) olanıdır. Arıtma çamuru aynı zamanda, yüksek miktarda mineral N'ta içermektedir. Buna karşın, fındık zurufunun parçacık büyüklüğü çok yüksek ve fizyolojik asit reaksiyon göstermektedir. Fındık zurufu, arıtma çamuru ve ahır gübresi ile karşılaştırıldığında nispeten daha düşük düzeylerde P, Ca ve Mg içermektedir.

Çizelge 4.1. İnkübasyon denemesinde kullanılan organik atıkların bazı özellikleri

ÖZELLİKLER	Arıtma Çamur	Fındık Zurufu	Ahır Gübresi
Organik madde, %	39,490	92,880	35,746
Organik karbon (C), %	22,907	53,875	20,734
Suda çözünür org. mad., mg L ⁻¹	24,533	97,600	47,200
Toplam Azot (N), %	2,544	1,136	1,695
Mineral N ((NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻)-N), %	0,406	0,287	0,248
NH ₄ ⁺ - N, mg kg ⁻¹	2184,00	378,560	189,280
NO ₃ - N, mg kg ⁻¹	1873,39	2489,76	2293,93
Organik - N, %	2,326	1,098	1,676
Toplam Fosfor (P), %	2,426	0,343	2,662
Toplam Potasyum (K), %	1,136	2,193	3,941
Toplam Kalsiyum (Ca), %	4,276	1,389	1,989
Toplam Magnezyum (Mg), %	2,050	0,183	6,165

4.1.2. Organik Atıkların Toplam Ağır Metal Kapsamları

Araştırmada materyal olarak kullanılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin bazı ağır metal kapsamları Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kullanılan arıtma çamurunun toplam Zn kapsamı 7596,1 mg kg⁻¹, fındık zurufunun 124,64 mg kg⁻¹ ve ahır gübresinin ise 559,1 mg kg⁻¹ 'dir. Denemelerde kullanılan arıtma çamuru, Ankara Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden elde edilmiş olup

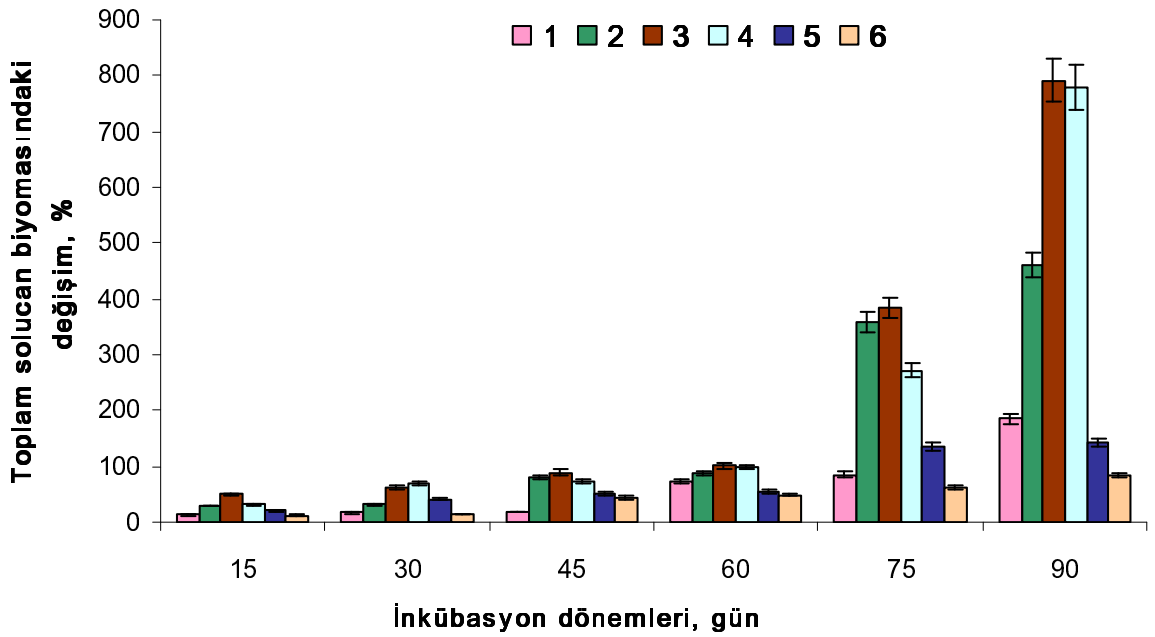
başta Zn olmak üzere ağır metalleri yüksek oranda kapsamaktadır. Bu çamurun yüksek oranda ağır metal içermesine neden olarak, Ankara-Ostim Sanayisi işletmelerinden çıkan kirleticilerin arıtma sistemine girmesi ve bunun sonucunda çamurun ağır metallerce zenginleşmesi gösterilebilir. Denemelerde kullanılan bu arıtma çamurunu kullanan diğer bazı araştırmacılar (Karaca ve Haktanır, 2000; Kızılkaya, 2004), bazen aynı seviyelerde bazen ise daha düşük veya yüksek seviyelerde ağır metal miktarları belirlemişlerdir. Bu durum ise arıtma sistemine giren suların kirlenmesindeki heterojenlik ve arıtma tesisinden alınan numunelerin tamamının aynı özellikleri göstermeyişinden kaynaklanmış olabilir.

Çizelge 4.2. Araştırmada kullanılan organik atıkların bazı toplam ağır metal kapsamaları

Ağır metaller (mg kg ⁻¹)	Arıtma çamuru	Fındık Zurufu	Ahır Gübresi
Fe	46833,23	1185,93	39849,28
Cu	392,35	18,86	135,87
Zn	7596,17	120,64	559,14
Mn	1603,20	342,56	1717,89
Cr	718,13	28,60	105,14
Ni	111,14	35,73	60,91

4.1.3. Vermikompostlama Süresince *Eisenia foetida* Türü Solucanların Biyomasındaki Değişimler

İnkübasyon denemesi ile arıtma çamurunun fındık zurufu ve ahır gübresi ile karıştırılması ve ortama *Eisenia foetida* türü solucanlar ilave edildikten sonra meydana gelen vermikompostlanma periyodu boyunca ortamdaki solucanların toplam biyomasları Şekil 4.1.'de verilmiştir (Ek 1).



Şekil 4.1. Farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia foetida* türü solucanlar ile vermikompostlanması süresince solucanların biyomasındaki değişimler

Arıtma çamurunun %60 ve üzerindeki düzeylerde ortamda bulunması halinde (karışım numaraları 7, 8, 9, 10, 11), aynı ortama vermikompost eldesi için ilave edilen solucanlar bu karışımların içerisine girmemiş ve bu karışım oranlarına sahip olan ortamlarda ölmüşlerdir. Dolayısıyla, inkübasyon denemesinde, arıtma çamurunun %60 ve üzerindeki oranlarında vermikompost eldesi sağlanamamıştır.

Arıtma çamurunun, karışımın bileşiminde >%60 oranında meydana gelen ölümlerin temel sebebi, arıtma çamuru ile ortama giren yüksek Zn miktarı ve yüksek amonyum olabilir. Denemede kullanılan arıtma çamuru AMAAT tesislerinden elde edilmiş olup, bu tesiste arıtma çamuru eldesi sonrası anaerobik olarak olgunlaştırma

uygulanmaktadır. Dolayısıyla anaerobik olgunlaştırma sisteminden geçirilerek elde edilen arıtma çamurunun yüksek dozları solucanların ölümüne sebep olmuş olabilir. Yapılan çalışmalar (Harstenstein ve Mitschell, 1978) anaerobik olarak olgunlaştırılan arıtma çamurlarının *Eisenia foetida* türü solucanlar için akut toksisite oluşturduğunu ve toksisitenin ilk 2 aydan sonra ortama hava girişi ile tamamen ortadan kalktığını ortaya koymuştur. Denemede kullanılan arıtma çamurunun da, Ankara Atık Su Arıtma Tesisi'nden (AMAAT) anaerobik olarak olgunlaştırılan çamur olması, bu olgunlaştırma şekli itibariyle *E. foetida* türü solucanlar için toksisite etkisi göstermiş olabilir. Ayrıca, Edwards (1998) arıtma çamurlarının içerdiği yüksek $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarının ($>500 \text{ mg kg}^{-1}$) *E. foetida* türü solucanlara toksik etki yaptığını bildirmiştir. Denemede kullanılan arıtma çamuru, yüksek seviyede (2184 mg kg^{-1}) amonyum içermesinden dolayı, karışımların içerisindeki solucanlar için toksik etki yapmış olabilir. Aynı şekilde arıtma çamurunun başta Zn olmak üzere, içerdiği yüksek ağır metallerle solucan aktivitesini engelleyebilmektedir.

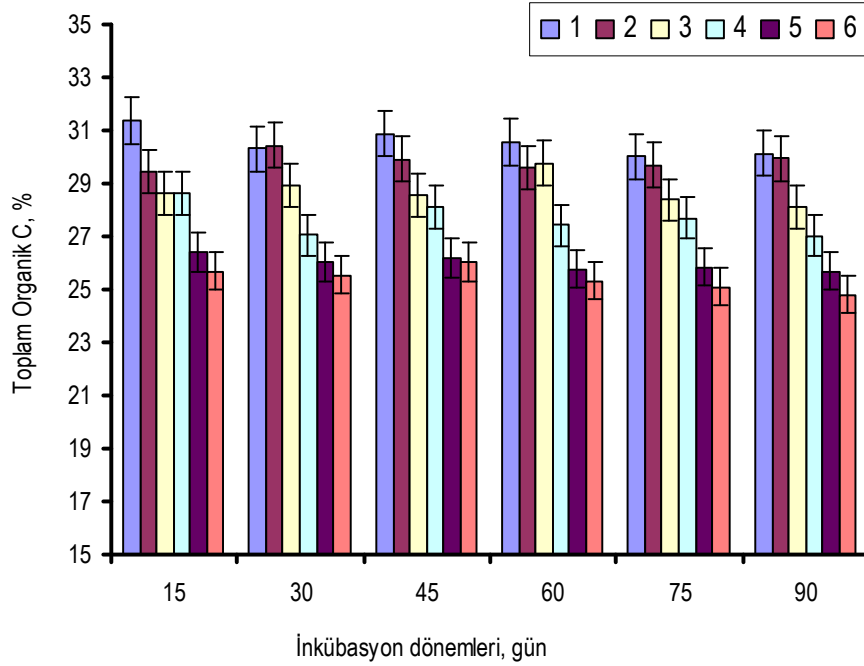
90 günlük inkübasyon denemesindeki vermikompostlama süresince, inkübasyon süresinin artışına bağlı olarak solucan biyomasında önemli artışların olduğu saptanmıştır. Tüm karışımlarda ise en yüksek *E. foetida* biyomasının, inkübasyonun 90. gününde elde edilmiştir. Bu artışın temel sebebi, ideal sıcaklık ve nem koşullarında yürütülen denemede solucanlar için ortamdaki karışımların besin materyali olarak kullanılması ve artan popülasyona bağlı olarak solucan biyomasındaki artış olabilir. Solucan biyomasındaki artışların ise, karışım oranlarına bağlı olarak değişkenlikler gösterdiği de saptanmıştır. Solucan biyomasının en fazla 3 No'lu karışımda (%20 arıtma çamuru + %40 ahır gübresi + %40 fındık zuru) olduğu ve karışımların bileşenine giren arıtma çamuru konsantrasyonunun artması ile solucan biyomasında önemli azalmaların meydana geldiği saptanmıştır. Yapılan diğer çalışmalarda (Arancon ve ark., 2004a; Garg ve ark., 2005; Garg ve ark., 2008; Gupta ve ark., 2005; Kaushik ve Garg, 2003; Suthar, 2007) bu çalışmadaki bulgulara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bahse konu bu çalışmalarda; solucanlar kullanılarak organik atıkların kompostlanması işlemlerinde, vermikompostlamanın inkübasyon süresince arttığı, bu süre içerisinde solucan biyomasının da önemli artışlar gösterdiği, meydana gelen bu artışların organik atığın cinsine bağlı olarak değişiklikler gösterdiği belirlenmiştir. Garg ve ark (2005), inek, bufalo, at, eşek, koyun, keçi ve deve gibi hayvansal atıklardan *Eisenia foetida*'lar ile vermikompost eldesi sürecinde, hayvansal atıkların hiç birisinde solucanlarda

ölümün gerçekleşmediğini, başlangıca göre at dışkısında solucan sayısındaki artışın 39,5 kat, inek dışkısında ise 26 kat olduğunu saptamışlardır.

4.1.4. İnkübasyon Süresince Vermikompostun C ve N Kapsamındaki Değişmeler

4.1.4.1. İnkübasyon süresince vermikompostun toplam organik C kapsamındaki değişimler

90 günlük inkübasyon denemesinde, vermikompost üretimi boyunca 6 farklı karışımın toplam organik C kapsamlarındaki değişimler Şekil 4.2’de, istatistiksel analizlerin sonuçları ise Ek 2’de verilmiştir.



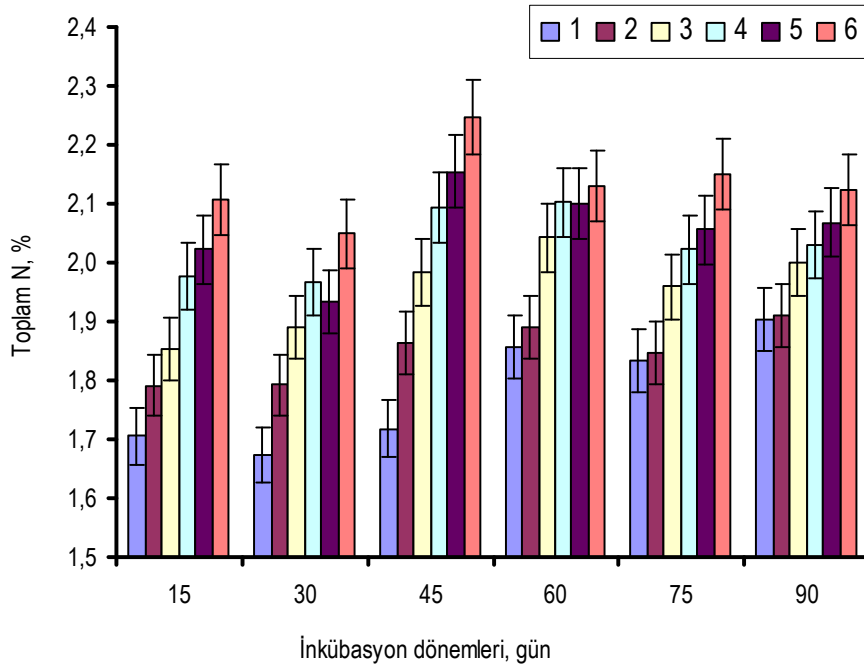
Şekil 4.2. Vermikompostun inkübasyon süresince toplam organik C kapsamındaki değişimler

Elde edilen sonuçlara göre, 90 günlük inkübasyon süresince her 15 günde bir yapılan örneklemelerde ortamın toplam organik C kapsamı arasında önemli farklılıklar ($P<0,001$) saptanmıştır. Bunun yanısıra tüm inkübasyon dönemlerinde karışımların bileşimine giren artıma çamurunun miktarı arttıkça, vermikompostun toplam organik C kapsamlarının önemli derecede ($P<0,001$) azaldığı da belirlenmiştir. Bu durum muhtemelen inkübasyon denemesinde kullanılan arıtma çamurunun, fındık

zurufu ve ahır gübresine göre daha düşük düzeyde (%22,91) organik C içermesi ile ilgilidir. Benzer şekilde Kaushik ve Garg (2003) ve Suthar (2007) organik atıklardan elde edilen vermikompostların organik C içeriklerinin, kullanılan organik atığa göre değişiklikler gösterdiğini ve vermikompostlama süresi boyunca ortamın organik C içeriğinde düşüşlerin meydana geldiğini bildirmişlerdir.

4.1.4.2. İnkübasyon süresince vermikompostun toplam N kapsamındaki değişimler

90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostlama sürecinde ortamın toplam N kapsamındaki değişimler Şekil 4.3'te, istatistiksel analizlerin sonuçları ise Ek 3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. İnkübasyon süresince vermikompostun toplam N kapsamındaki değişimler

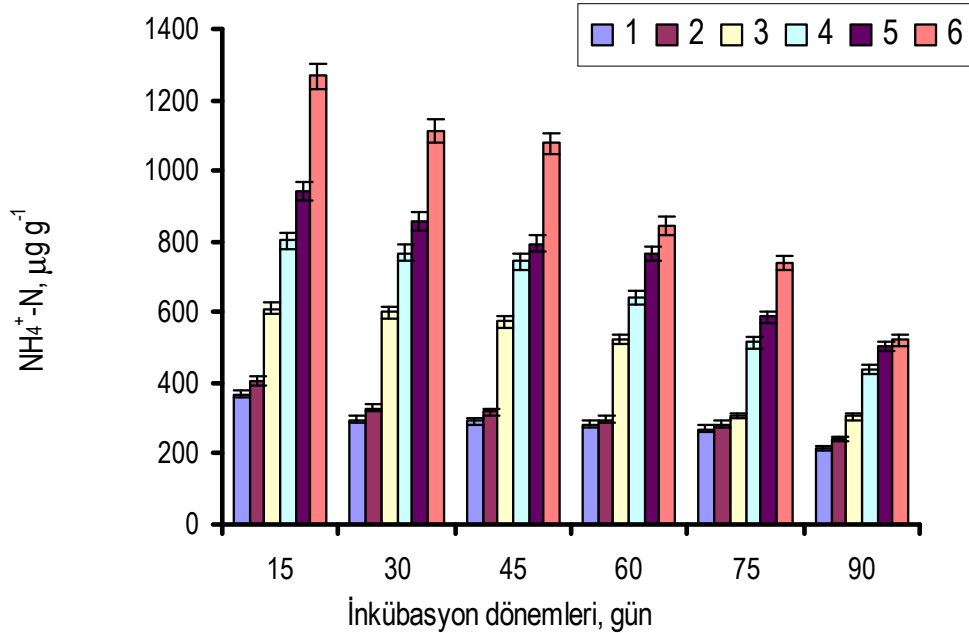
Sonuçlara göre; inkübasyonun 45. günündeki örneklemede toplam N kapsamının diğer örnekleme dönemlerine göre daha fazla ($P<0,001$) olduğu, bununla beraber tüm inkübasyon dönemlerinde karışımlar arasında önemli ($P<0,001$) farklılıkların bulunduğu belirlenmiştir. Bu farklılık ise, tüm inkübasyon dönemlerinde karışımların bileşimine giren ve N'ce zengin arıtma çamurunun (Çizelge 4.1.) oranı arttıkça vermikompostun toplam N içeriğindeki artışa bağlanabilir.

Yapılan çalışmalarda da bu çalışmalardakine benzer sonuçlar elde edilmiştir (Arancon ve ark., 2004b; Garg ve ark., 2005). Kaushik ve Garg (2003) tarafından

yürütülen 90 günlük inkübasyon denemesinde, tekstil atığı ve ahır gübresinden farklı oranlarda karışımlar hazırlanmıştır (%10TA+%90AG;%20TA+%80AG;.....;%100TA+%0AG). Araştırmacılar bu çalışmada elde ettikleri sonuçlara göre; %50, %60 ve %70 tekstil atığı bulunan karışımlarda organik maddenin mineralizasyonu sebebiyle, vermikompostlama sonunda toplam N düzeyinin arttığını saptamışlardır.

4.1.4.3. İnkübasyon süresince vermikompostun NH₄-N kapsamındaki değişimler

İnkübasyon denemesinde vermikompostlama süresince ortamın amonyum azotu kapsamındaki değişimler, Şekil 4.4'de ve istatistiksel analiz sonuçları Ek 4'de verilmiştir.



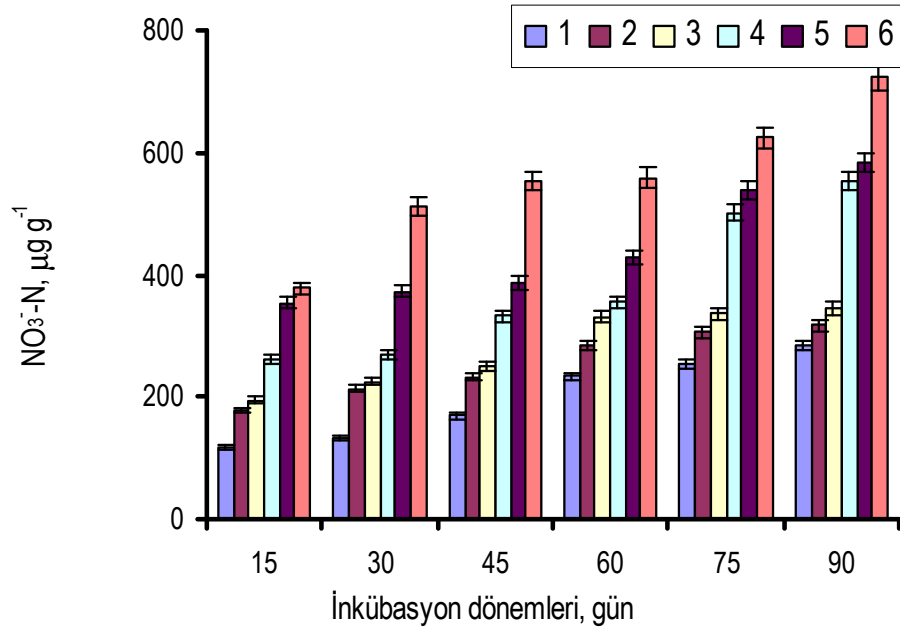
Şekil 4.4. İnkübasyon denemesinde vermikompostun NH₄-N kapsamındaki değişimler

Elde edilen sonuçlara göre, 90 günlük inkübasyon denemesi süresince karışımların amonyum azotu kapsamında önemli ($P<0,001$) düşüşler saptanmış ve tüm dönemlerde karışımların içerisindeki arıtma çamuru oranı arttıkça, NH₄-N kapsamında da önemli ($P<0,001$) artışlar belirlenmiştir. İlerleyen inkübasyon dönemlerine bağlı olarak, vermikompostun amonyum içeriğinde meydana gelen azalmaların temel sebebinin, ortamdaki amonyumun nitrata oksitlenmesi sürecine (nitrifikasyon) bağlı olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, karışımlardaki arıtma çamuru miktarı arttıkça, vermikompostların da NH₄ içeriğindeki artışın temel kaynağı olarak arıtma çamurunun içerdiği yüksek NH₄ miktarından (Çizelge 4.1.) kaynaklanmaktadır.

Chaoui ve ark., (2003), 70 günlük inkübasyon denemesiyle vermikompost ile geleneksel kompostun, buğday bitkisinin yetiştirildiği koşullarda N mineralizasyonunu karşılaştırdığı çalışmalarında; vermikompost ile geleneksel kompostun N mineralizasyonlarının birbirlerinden farklılıklar gösterdiğini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; inkübasyon süresince geleneksel kompost uygulamasında amonyum seviyesi düşerken, vermikompost uygulamasında amonyum seviyesinin aynı kaldığı saptanmıştır.

4.1.4.4. İnkübasyon süresince vermikompostun NO₃-N kapsamındaki değişimler

90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostlama sürecinde NO₃-N kapsamındaki değişiklikler Şekil 4.5'te ve istatistiksel analiz sonuçları Ek 5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. İnkübasyon denemesinde vermikompostun NO₃-N kapsamındaki değişimler

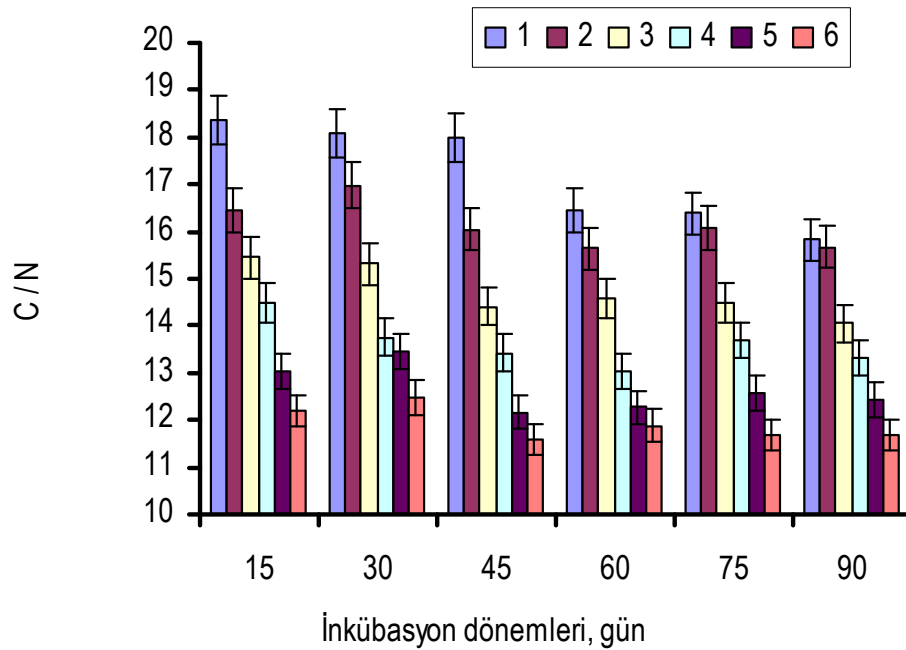
Elde edilen sonuçlara göre; 90 günlük inkübasyon denemesi süresince karışımların nitrat azotu kapsamında önemli ($P<0,001$) artışlar saptanmış, bununla birlikte tüm dönemlerde karışımların arıtma çamuru oranı arttıkça NO₃-N kapsamında da önemli ($P<0,001$) artışlar belirlenmiştir. Bu durumun tıpkı, toplam N (şekil 4.3) ve amonyum azotu (şekil 4.4) sonuçlarında olduğu gibi arıtma çamurunun içerdiği yüksek N kapsamından kaynaklandığı ve ortamdaki yüksek organik N'un mineralizasyonu ve

yüksek NH_4 'un nitrifikasyonu sonucunda ortamdaki NO_3 kapsamının artmasından kaynaklanmaktadır.

Suthar (2008), 21 günlük inkübasyon çalışmasında polikültür (eşit sayıda anecic ve epigeic solucan) ve 2 farklı monokültür (sadece anecic solucanlar ve sadece epigeic solucanlar) kullanarak 3 farklı vermireaktör ile bir vermikompostlama denemesi yürütmüştür. 21 günlük inkübasyon süresi sonunda elde edilen sonuçlara göre; tüm vermireaktörlerde nitrat kapsamının arttığı ve 3 farklı vermireaktörde ise en yüksek artışın polikültürde saptandığı belirtilmiştir. Chaoui ve ark. (2003) ise, vermikompost ile geleneksel kompostun buğday bitkisi yetiştirilerek N mineralizasyonu üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarında; yetiştirilen buğday bitkisi tarafından NO_3 alımı nedeniyle ortamın NO_3 içeriğinin azaldığını belirlemişlerdir.

4.1.4.5. İnkübasyon süresince vermikompostun C/N oranlarındaki değişimler

İnkübasyon denemesinde vermikompostlama süresince C/N oranındaki değişimler Şekil 4.6'da ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 7'de verilmiştir.



Şekil 4.6. İnkübasyon denemesinde vermikompostun C/N oranlarındaki değişimler

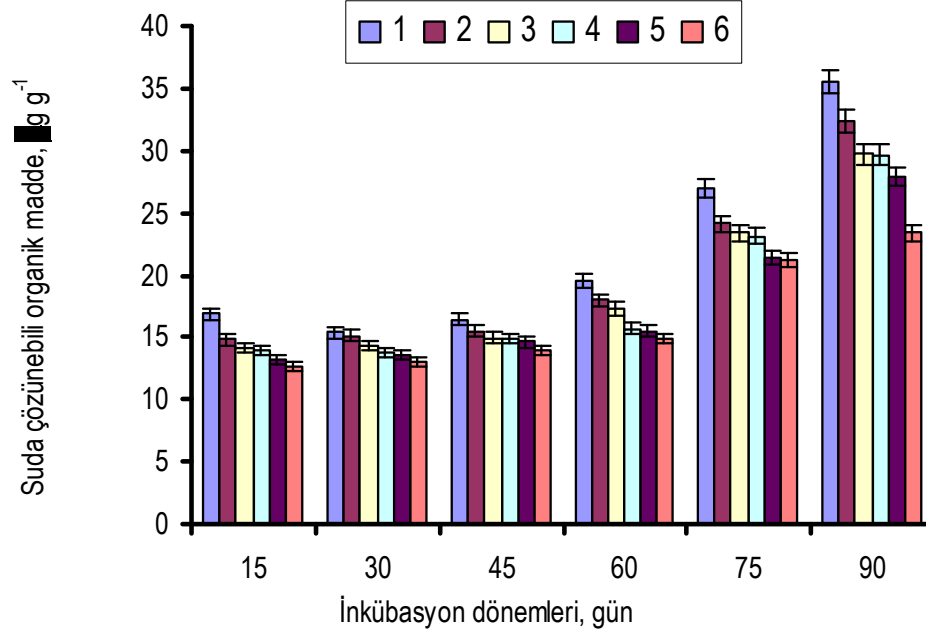
Elde edilen sonuçlara göre, 90 günlük inkübasyon denemesi süresince karışımların C/N oranında ilk 45 günden sonra önemli ($P<0,001$) düşüşler saptanmış ve tüm dönemlerde karışımların artıma çamuru oranı arttıkça C/N oranında önemli ($P<0,001$) düşüşler elde edilmiştir. Karışımların bileşimine giren artıma çamuru ve

diğer organik atıkların oranı, bu organik atıklardan veya karışımlarından elde edilen vermikompostların bileşimini etkileyen en temel faktördür. Denemelerde kullanılan organik atıklar içerisinde N'ce en zengin olan atık, arıtma çamurudur (Çizelge 4.1.). Karışımların bileşimine giren arıtma çamuru miktarı arttıkça, vermikompostun N içeriği artmakta ve buna bağlı olarak ta C/N oranında önemli azalmalar meydana gelmektedir.

Organik atıklardan elde edilen vermikompostlar ile vermikompostlaşma süresince ortamın C/N oranında meydana gelen değişimlerin araştırıldığı bazı çalışmalarda da (Atiyeh ve ark., 2000; Bansal ve Kapoor, 2000; Chaoui ve ark., 2003; Gupta ve Garg, 2008; Kaushik ve Garg 2003; Morais ve Queda, 2003; Suthar, 2006, 2008) inkübasyon süresi ilerledikçe C/N oranının azaldığı saptanmıştır. Bu çalışmalarda, C/N oranında meydana gelen azalmanın tamamen organik C'lu bileşiklerin mineralizasyonu sonucu organik C'den CO₂ oluşumu ve solucan dışkılarındaki artan N'e bağlı olarak C/N oranında meydana gelen azalmadan kaynaklanmaktadır.

4.1.4.6. İnkübasyon süresince vermikompostun suda çözünebilir organik madde kapsamındaki değişimler

90 günlük inkübasyon periyodu boyunca her 15 günde bir elde edilen vermikompostların suda çözünebilir organik madde kapsamındaki değişimler Şekil 4.7’de ve istatistiksel analiz sonuçları da Ek 8’de verilmiştir.



Şekil 4.7. İnkübasyon denemesinde vermikompostun suda çözünebilir organik madde kapsamındaki değişimler

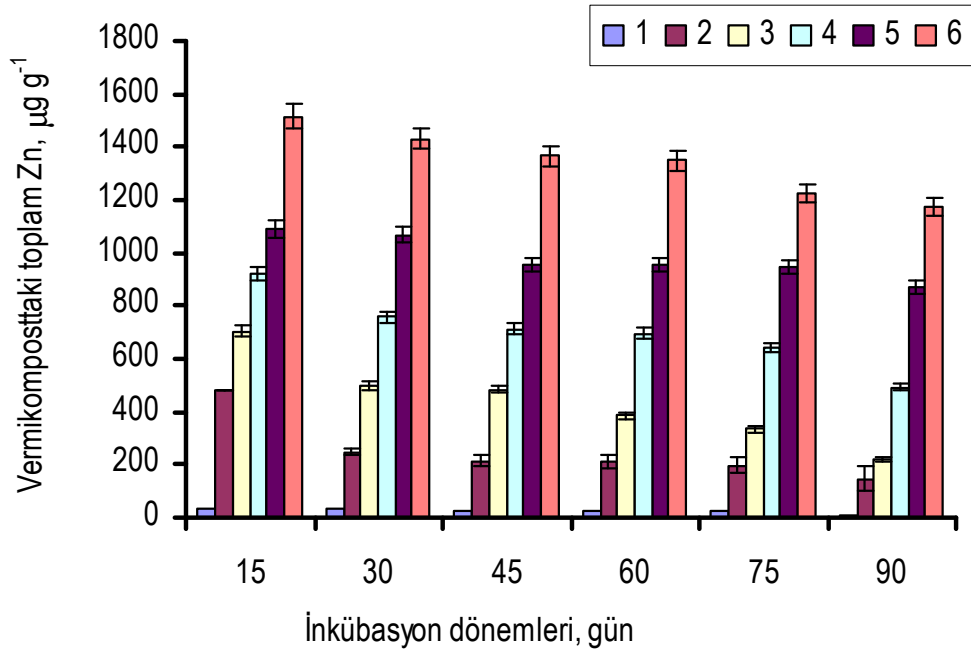
Vermikompost örneklerinde, yapılan analiz sonuçlarına göre; 90 günlük inkübasyon süresince ortamın suda çözünebilir organik madde kapsamında ilk 45 günlük süreden sonra önemli ($P<0,001$) artışlar ve tüm inkübasyon dönemlerinde karışımların içeriğine giren arıtma çamuru miktarı arttıkça suda çözünebilir organik madde kapsamında düşüşler saptanmıştır. Arıtma çamuru karışımların bileşimine giren organik atıklar içerisinde, fındık zurufu ve ahır gübresine göre en az seviyede organik madde içerdiği için arıtma çamurunun oranı arttıkça suda çözünebilir organik madde kapsamının azaldığı belirlenmiştir.

Tajbakash ve ark. (2008), mantar kompostu ve farklı tipte tarımsal atıklardan hazırladıkları karışımlardan vermikompost üretimi için *E. foetida* ve *E. andrei* kullanarak 90 günlük bir inkübasyon denemesi yürütmüşlerdir. Araştırmacılar, inkübasyon süresi boyunca denemelerinde kullandıkları karışımların organik madde kapsamlarında önemli azalmaların bulunduğunu belirlemişlerdir.

4.1.5. İnkübasyon Süresince Vermikompostun Çinko (Zn) Kapsamındaki Değişmeler

4.1.5.1. Toplam çinko (T-Zn)

90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompost üretimi boyunca ortamın toplam Zn kapsamındaki değişimler Şekil 4.8’de ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 9’da verilmiştir.



Şekil 4.8. İnkübasyon denemesinde vermikompostun toplam çinko (T-Zn) kapsamındaki değişmeler

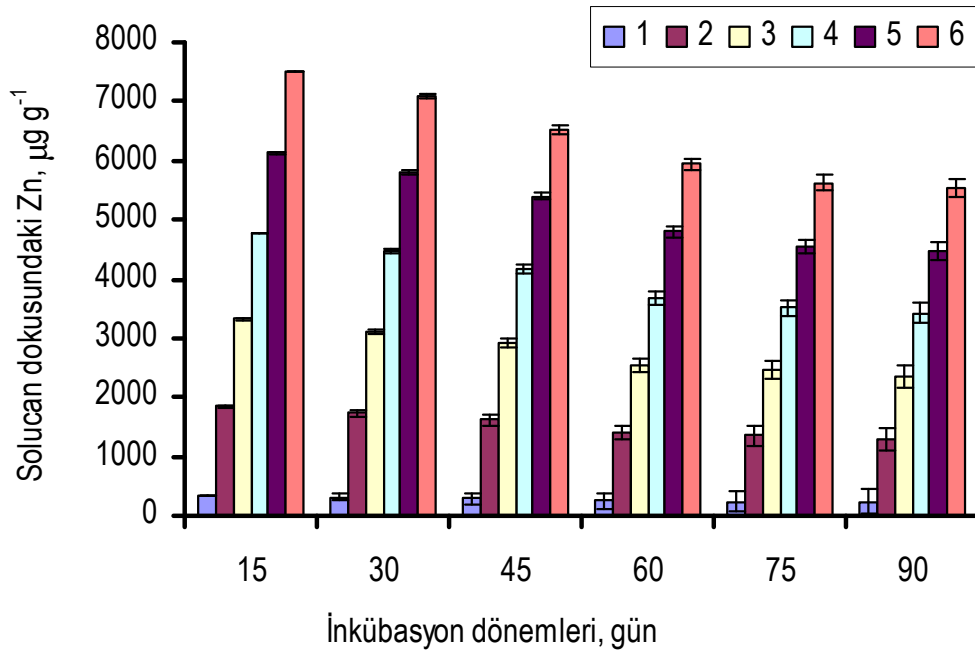
Elde edilen sonuçlara göre; 90 günlük inkübasyon denemesi süresince inkübasyon süresindeki artışa bağlı olarak tüm karışımların toplam Zn kapsamında önemli ($P<0,001$) azalmalar saptanmıştır. Bu durum; vermikompostlama esnasında ortamda bulunan solucanların bir kısım ağır metali bünyelerine almak suretiyle vermikompostdan uzaklaştırması ile ilgili olabilir. Ayrıca, tüm inkübasyon dönemlerinde karışımlardaki arıtma çamuru oranı arttıkça ortamın (vermikompostun) toplam çinko kapsamında önemli ($P<0,001$) artışların olduğu da belirlenmiştir. Bu ise, karışımlarda kullanılan arıtma çamurunun Zn içeriğinin, fındık zuru ve ahır gübresine göre çok daha fazla seviyede bulunmasından kaynaklanmış olabilir (Çizelge 4.1).

Benzer şekilde, farklı organik atıkların vermikompostlanması süresince elde edilen ürünlerin toplam Zn içeriğinin araştırıldığı pek çok çalışmada (Contreras-Ramos ve ark., 2005; Jordao ve ark., 2006; Kaushik ve Garg 2003; Malley ve ark., 2006;

Marinussen ve ark., 1997) vermikompostlama süresindeki artışın ortamın Zn içeriğinde önemli azalmalar meydana getirdiği ortaya koymuştur.

4.1.5.2. Solucan (*E. foetida*) dokularında biriktirilen çinko (Zn) miktarları

Vermikompost üretiminde inkübasyon süreleri boyunca *E. foetida* türü solucanlar tarafından kendi bünyelerinde biriktirilen Zn miktarları Şekil 4.9'da ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 10'da verilmiştir.



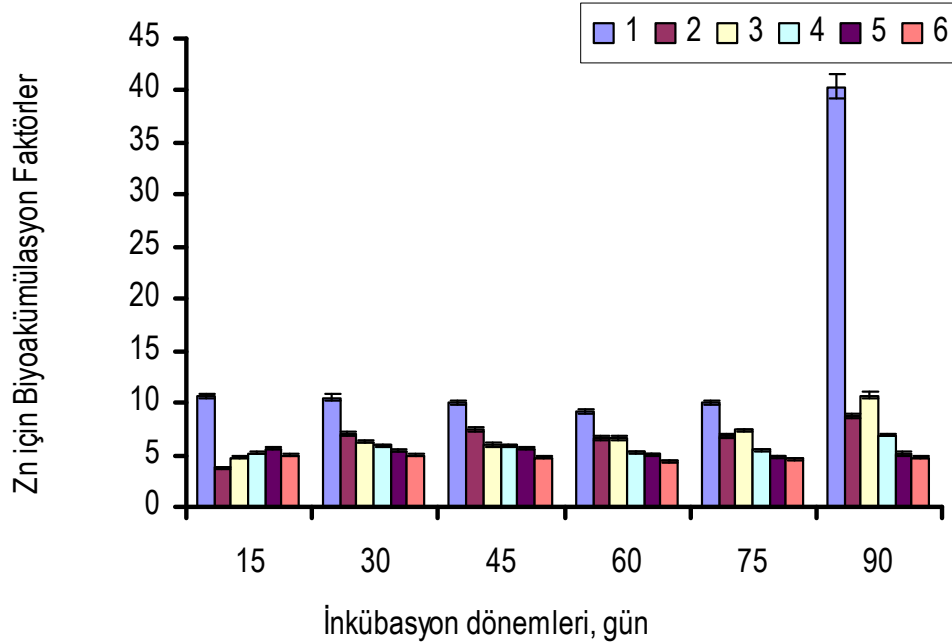
Şekil 4.9. İnkübasyon denemesinde vermikompostlaşmada solucanlar (*E. foetida*) tarafından akümüle edilen Zn miktarlarındaki değişimler

Elde edilen sonuçlara göre; 90 günlük inkübasyon süresince solucan dokusunda biriktirilen Zn miktarlarında önemli ($P < 0,001$) azalmaların olduğu saptanmıştır. Bu durum muhtemelen; inkübasyonun başlarında ortamdaki Zn'nun bir kısmının solucanlar tarafından bünyelerine alınması ve dokularında tutulması, ilerleyen inkübasyon dönemlerinde ise az bir kısım Zn'nun dışkı ile ortama tekrar bırakılmasından kaynaklanmıştır. Dolayısıyla, inkübasyonun henüz ilk dönemlerinde ortamdaki toplam Zn fazla olduğu için, solucanlar tarafından dokularında biriktirilen Zn'da fazla olmaktadır. Ayrıca, inkübasyonun bütün dönemlerinde karışımların bileşimine giren arıtma çamuru oranı arttıkça, solucan bünyesinde biriktirilen Zn miktarında da önemli ($P < 0,001$) artışların olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, gerek vermikompostlama süreçlerinde ve gerekse solucanların beslenme ortamlarında Zn gibi ağır metallerin

bulunması halinde, ortamdaki ağır metallerin bir kısmının solucan dokusunda biriktirildiğine dair, çok sayıda araştırma (Gupta ve ark., 2005; Kızılkaya, 2004, 2005; Matusевичiute ve Eitminaviciute, 2005) mevcuttur. Bu çalışmalarda, vermikompostlama süresine bağlı olarak, solucanların Zn biriktirme düzeylerinde önemli farklılıkların bulunduğu da saptanmıştır.

4.1.5.3. Biyoakümülyasyon Faktör (BAF)

Solucan dokusundaki toplam metal konsantrasyonunun, komposttaki toplam metal konsantrasyonuna oranlanması suretiyle hesaplanan biyoakümülyasyon faktörler, Şekil 4.10'da ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 11'de verilmiştir.



Şekil 4.10. 90 günlük inkübasyon denemesinde Zn için biyoakümülyasyon faktörlerdeki (BAF) değişimler

Elde edilen sonuçlara göre; inkübasyon denemesinde vermikompost üretimi boyunca BAF, inkübasyonun tüm dönemlerinde önemli farklılıklar ($P < 0,001$) göstermekle beraber; 6. inkübasyon döneminde artıma çamurunun bulunmadığı karışımda (1 nolu karışım) BAF değerinin, diğerlerine oranla önemli derecede yüksek olduğu görülmüştür. İnkübasyon periyodu boyunca, BAF değerleri incelendiğinde özellikle inkübasyonun 30. gününden sonra, karışımların bileşimine giren artıma çamuru miktarı arttığında, BAF'ın önemli oranda azaldığı belirlenmiştir. Bu durum; solucanın dokusundaki Zn içeriğinin sabit kabul edilmesi durumunda, solucanın

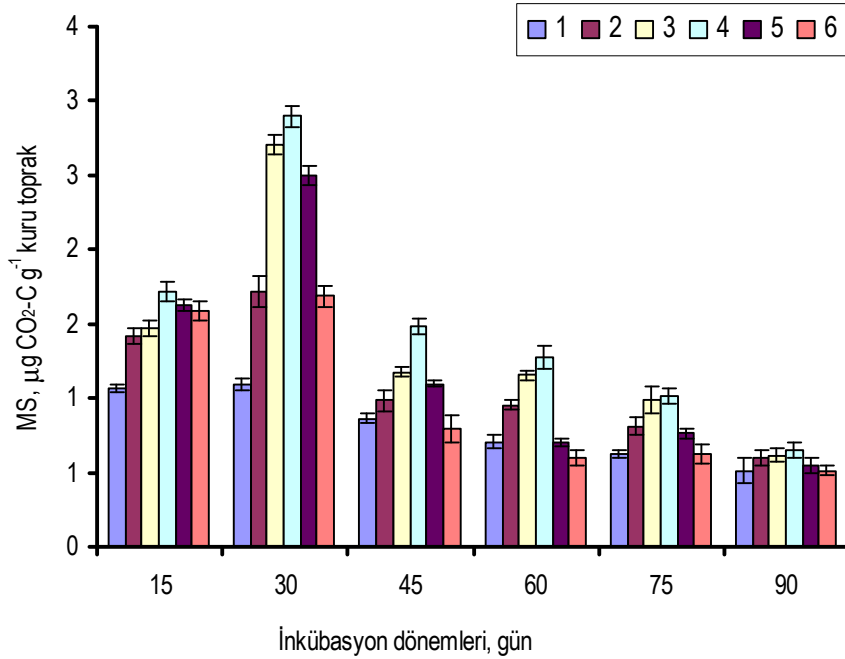
beslenme amacıyla kullandığı karışımlar içerisinde, karışımların bileşimindeki arıtma çamuru oranının artması durumunda solucan tarafından tercih edilmeyen bir besin olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Solucanların ağır metalleri bünyelerinde biriktirme kabiliyetlerinden hareketle hesaplanan BAF, hem solucan ve metal türüne, hem de inkübasyon süresine göre değişebilmektedir (Gupta ve ark. 2005). Kızılkaya (2005) gerçekleştirdiği bir çalışmada *L. terrestris* türü solucanlar için topraklara uygulanan arıtma çamurunda en yüksek BAF'ı 25 mg.kg⁻¹ dozunda elde etmiştir.

4.1.6. Vermikompost Üretimi Boyunca Ortamın Biyolojik Özelliklerindeki Değişmeler

4.1.6.1. Mikrobiyal solunum (MS)

Vermikompostlama süresince mikrobiyal solunumdaki değişimler Şekil 4.11'de ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 12'de verilmiştir.



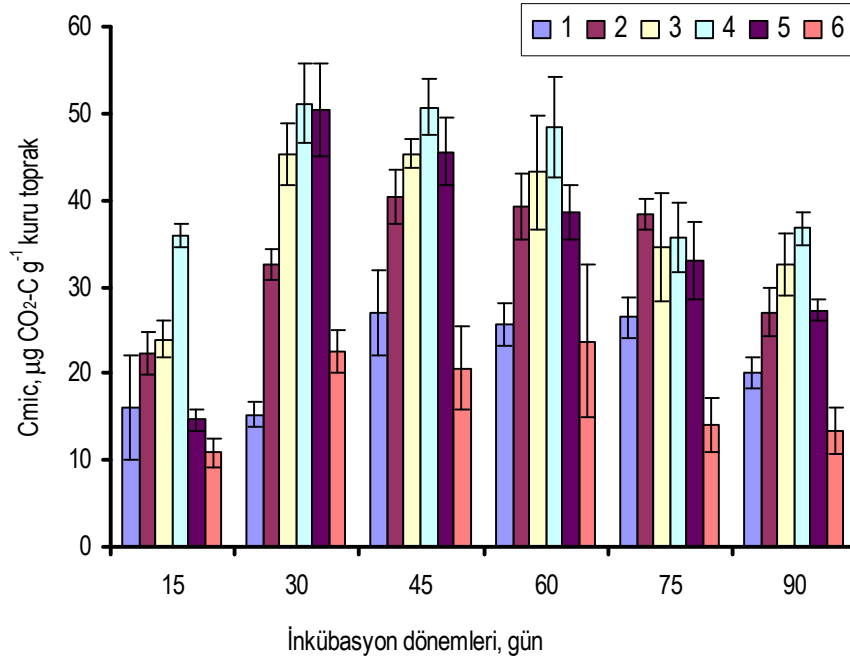
Şekil 4.11. İnkübasyon denemesinde vermikompostun mikrobiyal solunumunda (MS) meydana gelen değişimler

90 günlük inkübasyon periyodunun 6 farklı örnekleme zamanları bakımından mikrobiyal solunum seviyelerinde önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır. Ortamların mikrobiyal solunum içeriklerinde inkübasyonun 30. gününde önemli artışlar belirlenirken sonraki dönemlerde ise önemli düşüşler saptanmıştır. Tüm inkübasyon

dönemlerinde karışımlar arasında ortamın mikrobiyal solunum içeriğinde önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmış, %30 arıtma çamuru içeren karışımlarda (4 nolu karışım; %30 AÇ+ %35 FZ+ %35 AG) solunum miktarının diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, Chaoui (2005), vermikompost, kompost ve mineral gübre uygulamalarının mikrobiyal solunum ve mikrobiyal biyomasa üzerine etkilerini araştırdıkları bir inkübasyon çalışmasında, en yüksek mikrobiyal solunum ve mikrobiyal biyomas içeriklerini vermikompost uygulamasında inkübasyonun 35. gününde elde etmiştir. Tejada ve ark. (2009), çeşitli bitkisel kaynaklardan elde edilen vermikompostların topraklara uygulanmasıyla toprağın mikrobiyal solunum içeriklerinin arttığını saptamışlardır.

4.1.6.2. Mikrobiyal biyomas C (C_{mic})

Vermikompostlama süresince karışımların mikrobiyal biyomas C düzeylerindeki değişimler Şekil 4.12’de ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 13’de verilmiştir.



Şekil 4.12. İnkübasyon denemesinde vermikompostun Mikrobiyal Biyomas C’da (C_{mic}) meydana gelen değişimler

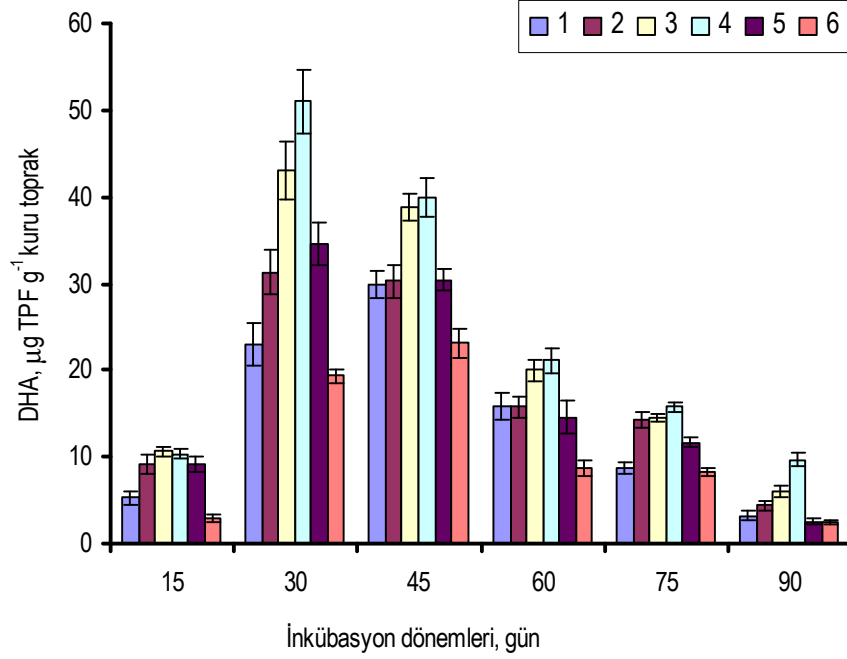
90 günlük inkübasyon periyodu süresince mikrobiyal biyomas C seviyelerinde önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır. Ortamın mikrobiyal biyomas C içeriğinde inkübasyonun 30. gününde önemli artış belirlenirken sonraki dönemlerde önemli

düşüşler saptanmıştır. Tüm inkübasyon dönemlerinde karışımlar arasında ise ortamın mikrobiyal biyomas C içeriğinde önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmış ve 4 nolu karışımlarda (%30 AÇ+ %35 FZ+ %35 AG) mikrobiyal biyomas seviyesinin diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Yakushev ve ark. (2009), tarafından farklı organik materyallerin vermikompostlanması süresince, karışımdaki mikrobiyal biyomas C içeriklerinin araştırıldığı çalışmada, peat materyallerden elde edilen vermikompostların daha yüksek mikrobiyal biyomas C içerdiğini ve organik materyallerin vermikompostlanması durumunda mikrobiyal biyomas C'nin vermikompostlanmamış karışımlarına göre 2,7 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Chaoui ve ark. (2003), 70 günlük inkübasyon denemesiyle vermikompost ile geleneksel kompostun, buğday bitkisinin yetiştirildiği koşullarda mikrobiyal biyomas üzerine etkilerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, inkübasyonun ilk 15 gününde en yüksek mikrobiyal biyomas belirlemişler, geleneksel kompost uygulamasındaki mikrobiyal biyomasın vermikomposta göre daha yüksek seviyelerde olduğu saptamışlardır.

4.1.6.3. Dehidrogenaz aktivitesi (DHA)

90 günlük vermikompostlama süresince karışımların dehidrogenaz aktivitesindeki (DHA) değişimler Şekil 4.13’de ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 14’te verilmiştir.



Şekil 4.13 İnkübasyon denemesinde vermikompostun dehidrogenaz aktivitesinde (DHA) meydana gelen değişimler

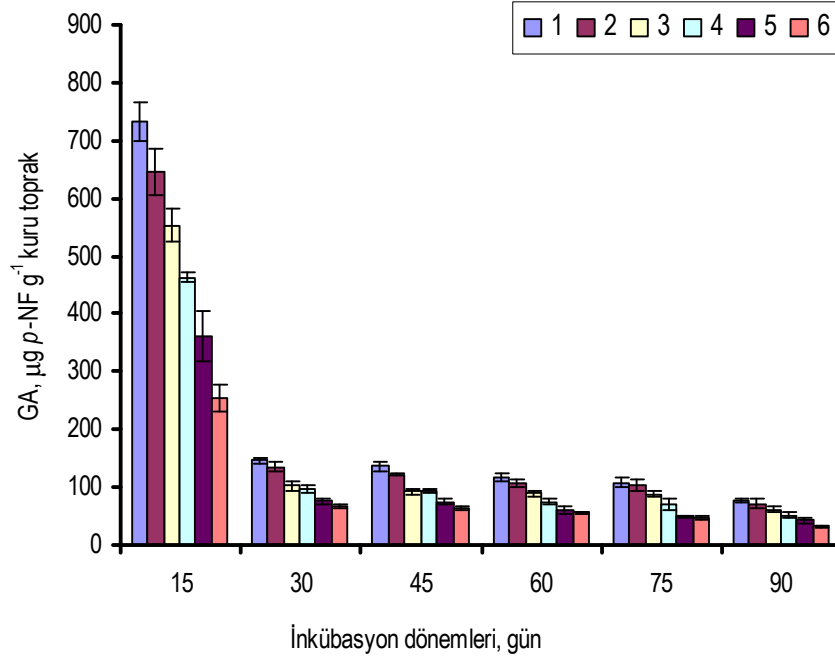
Elde edilen sonuçlara göre, inkübasyon dönemleri arasında önemli ($P<0,001$) farklılıklar belirlenmiştir. 90 günlük inkübasyon süresince 30. güne kadar DHA'nın arttığı sonraki dönemlerde ise azaldığı belirlenmiştir. Her bir dönemde yapılan örneklemede karışımlar arasında önemli ($P<0,001$) değişimler saptanmıştır. Tüm dönemlerde en yüksek DHA, 4 no'lu karışımda (%30 arıtma çamuru+%35 fındık zurufu+%35 ahır gübresi) belirlenmiştir. Dehidrogenaz aktivitesi, organik bileşiklerin biyolojik oksidasyonu şeklinde gerçekleşmekte olduğu için vermikompostlamada önemli bir enzimdir (Benitez ve ark., 1999). Toprakta ve diğer biyolojik sistemlerde, DHA oksidatif fosforilasyon süreçlerine bağlı, intrasellüler bir enzimdir ve tüm mikrobiyal popülasyonunun değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir (Bandick ve Dick, 1999; Garcia ve ark., 1997; Glinsky ve ark., 1986).

Moore ve Russel (1972), yaptıkları bir çalışmada inek gübresi ve tekstil çamurunun vermikompostlanma sürecinde DHA'nın inkübasyonunun 75. gününe kadar arttığını fakat 90 günden sonra ise azaldığını belirlemişlerdir. DHA'daki ilk artış, mikrobiyal aktivitenin yükseldiğini göstermekte olup, DHA substrat varlığına bağlı

olduğu için ve vermikompost sürecinin 90. gün örneklemelerinden önce mevcut organik maddenin büyük bir kısmı kolayca ayrışmış olduğundan DHA' da düşme meydana gelmektedir (Benitez ve ark., 1999). Suthar (2007), vermikompostlamanın mikrobiyal aktiviteye etkisini belirlemek için DHA'ni belirleyerek polikültür kullanılan vermikompostların monokültür kullanılanlara göre çok daha yüksek aktivite gösterdiğini saptamıştır. Monero ve ark. (1999) tarafından yapılan bir inkübasyon çalışmasında, organik madde ilavesi yapılmış topraklarda dehidrogenaz aktivitesini araştırmışlar ve organik madde ilavesinin DHA'da önemli artışların sağlandığını ve inkübasyon sonunda ise azalmadığını belirlemişlerdir. Kızılkaya ve ark. (2004) tarafından topraklara artan düzeylerde verilen arıtma çamurunun toprakların ve solucan (*Lumbricus terrestris*) dışkısının besin maddesi ve enzim aktivitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı inkübasyon çalışmasında, tüm arıtma çamuru uygulamalarında solucan dışkısının dehidrogenaz aktivitesinin toprağa göre daha düşük seviyede bulunduğu saptamışlardır. Jégou ve ark. (2001), iki farklı anesik solucan türü olan *Lumbricus terrestris* ve *Aporrectodea giardi*'nin açtıkları galerilerin etrafındaki toprakların morfolojik, fiziksel ve biyokimyasal özelliklerindeki değişimin araştırıldığı çalışmalarında; kontrol toprağına oranla, solucanların aşılандığı topraklardaki galeri duvarlarının dehidrogenaz enzim aktivitesi bakımından daha zengin olduğunu belirlemişlerdir. Keplin ve Broll (1997), farklı alanlardan alınan toprak (çimenlik, tarım arazisi ve bahçe arazisi) örneklerinde DHA ile solucan yoğunluğunu arasındaki ilişkileri araştırdıkları çalışmalarında; bahçeden alınan toprak örneğinde solucan biyoması ve DHA'nin daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Meydana gelen farklılığın temel sebebinin ise, topraklardaki atık miktarı ve kalitesi ile diğer toprak özelliklerine bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Tejada ve ark. (2009), vermikompostlama çalışmalarında DHA'sinde meydana gelen değişimleri araştırdıkları çalışmada, vermikompost uygulanan saksılarda üç yıl içinde DHA'da önemli artış belirlerken, uygulama yapılmayan alanlarda oransal olarak önemli derecede daha az artış belirlemişlerdir. Kaushik ve Garg (2003), vermikompost uygulanmış alanlarda ilk 75. günde mikrobiyal aktivitede önemli artışlar saptanırken 90. günde düşüş olduğunu belirlemişlerdir.

4.1.6.4. β -Glikosidaz aktivitesi (β -GA)

90 günlük vermikompostlama süresince karışımların β -Glikosidaz aktivitesindeki (GA) değişimler Şekil 4.14'te ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 15'de verilmiştir.



Şekil 4.14. 90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostun β -glikosidaz aktivitesinde (GA) meydana gelen değişimler

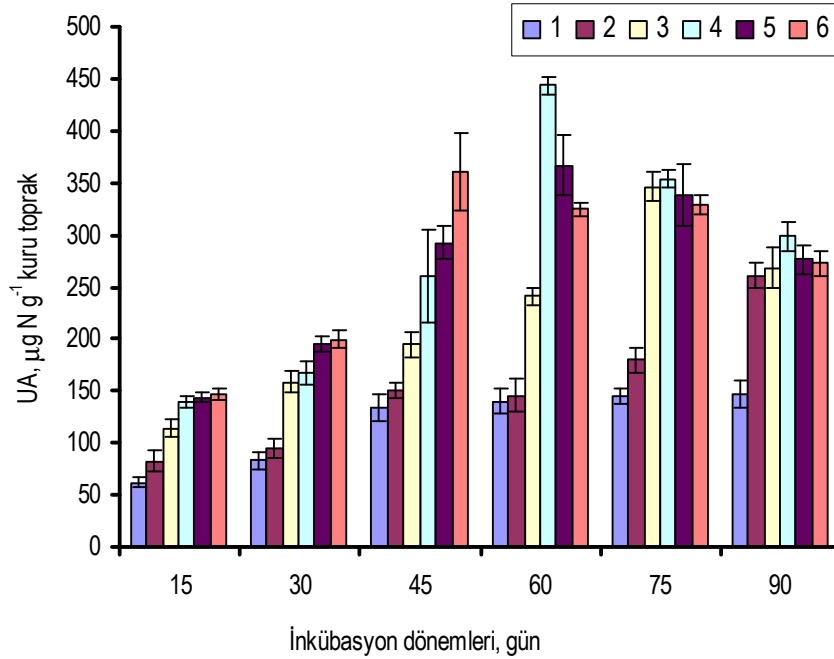
Elde edilen sonuçlara göre; inkübasyon dönemleri arasında önemli ($P<0,001$) farklılıklar belirlenmiştir. Sonuçlara göre, inkübasyon süresi ilerledikçe ortamların β -glikosidaz aktivitesinde önemli azalmalar belirlenmiş ve bu azalmalar inkübasyonun son dönemlerinde birbirine yakın sonuçlar gösterdiği saptanmıştır. Tüm dönemlerde karışımlar arasında da önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmış, karışımlarda arıtma çamuru oranındaki artışının aksine GA'da azalmalar belirlenmiştir. Inkübasyonun ilk 15. günündeki yüksek β -Glikosidaz aktivitesi muhtemelen ortama glukoz salınımından kaynaklanmaktadır. İlerleyen inkübasyon dönemlerinde GA ortamdaki organik substratların hızlıca parçalandığı için düştüğü belirlenmiştir (Edwards, 2004).

Benitez ve ark. (2002), zeytinyağı üretiminden elde edilen ve lignoselülotik atık olan kuru zeytin kekinin yalnız başına ve atık su arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurlarıyla birlikte farklı oranlarda karıştırılması sonucu elde edilen karışımların *Eisenia andrei* türü solucanlar ile vermikompost üretimi üzerine etkilerini araştırdıkları

laboratuvar çalışmaları; β -glikosidaz aktivitesinde önemli artışların olduğunu saptamışlardır. Kunito ve ark. (2001), arıtma çamurunun kumlu tın bünyeli bir toprağa uygulanması sonucu toprakların enzim aktiviteleri üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, arıtma çamuru uygulamasının β -glikosidaz aktivitesini önemli oranda azalmalar meydana getirdiğini saptamışlardır.

4.1.6.5. Üreaz aktivitesi (UA)

90 günlük vermikompostlama süresince karışımların üreaz aktivitesindeki (UA) değişimler Şekil 4.15'te ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 16'da verilmiştir.



Şekil 4.15. 90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostun üreaz aktivitesinde (UA) meydana gelen değişimler

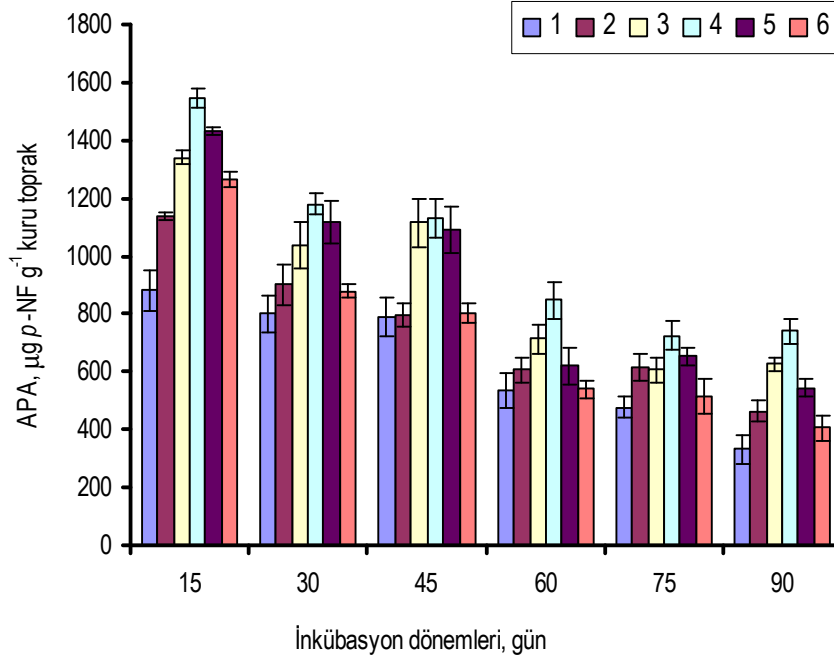
Elde edilen sonuçlara göre; inkübasyon dönemleri arasında önemli ($P<0,001$) farklılıklar belirlenmiştir. İnkübasyon süresince ilk üç dönemde en yüksek UA, 6 nolu karışımda (%50 arıtma çamuru+%25 fındık zurufu+%25 ahır gübresi) belirlenirken inkübasyonun son üç döneminde ise en yüksek UA, 4 nolu karışımda (%30 arıtma çamuru+%35 fındık zurufu+35 ahır gübresi) saptanmıştır. İnkübasyonun tüm dönemlerinde karışımlar arasında da önemli ($P<0,001$) farklılıklar belirlenmiştir. İnkübasyonun ilk üç döneminde ise karışımlardaki üreaz aktivitesi arıtma çamuru konsantrasyonu arttıkça artış göstermiş son üç dönemde ise karışımlar arasında farklılıklar saptanmıştır. Üreaz, ürenin hidrolizini katalizleyen bir enzimdir. Bu

aktiviteyi fenolik bileşikler gibi toksik maddelerin yüksek miktarlarını içeren materyaller de engellemektedirler. Bu bileşiklerin parçalanması, vermikompostlama süresince enzim aktivitesinde düşümlere sebep olabilmektedir. Bu nedenle vermikompostlamanın ilk dönemlerinde artış saptanmıştır (Edwards, 2004; Banerjee ve ark., 1997).

Kızılkaya ve ark. (2004), topraklara artan düzeylerde verilen arıtma çamurunun, toprakların ve solucan (*Lumbricus terrestris*) dışkısının besin maddesi ve enzim aktiviteleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bir inkübasyon çalışmasında, tüm arıtma çamuru uygulamalarında solucan dışkısının toprağa oranla enzim aktivitelerinde önemli oranda farklılıklara neden olduğu saptanmıştır. Yine bu çalışmada, tüm arıtma çamuru uygulamalarında üreaz aktivitesinde artışlar elde edilmiştir. Ataman ve Arcak (2000) tarafından yapılan ve Ankara Büyükşehir Belediyesine ait arıtma çamurunun farklı uygulama dozlarının (0, 20, 40, 80 ve 160 t.ha⁻¹) toprakların (pH 7.90, organik madde %1.21) biyolojik özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı 140 günlük inkübasyon denemesinde; üreaz aktivitesinin, denemenin ilk 14. gününde doz artışına bağlı olarak önemli oranda arttığı, fakat ilerleyen dönemlerde ise engellendiği belirlenmiştir. Kunito ve ark. (2001), arıtma çamuru uygulamasının toprakların üreaz aktivitesini önemli oranda azalttığını saptamışlardır.

4.1.6.6. Alkalen fosfataz aktivitesi (APA)

90 günlük vermikompostlama süresince karışımların Alkalen Fosfataz aktivitesindeki (APA) değişimler Şekil 4.16 ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 17'de verilmiştir.



Şekil 4.16. 90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostun alkalen fosfataz aktivitesinde (APA) meydana getirdiği değişimler

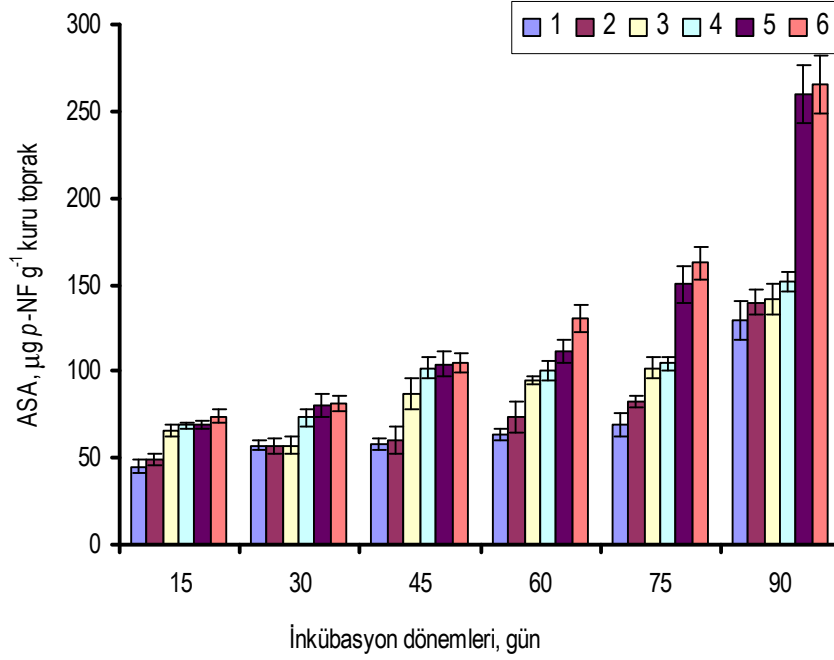
Elde edilen sonuçlara göre; inkübasyon dönemleri arasında önemli ($P < 0,001$) farklılıklar belirlenmiş ve inkübasyon süresince APA'da azalmalar saptanmıştır. Karışımlar arasındaki değişimlere bakıldığında ise, önemli farklılıklar elde edilmiştir. İnkübasyonun tüm dönemleri için 4 no'lu karışımda (%30 arıtma çamuru+%35 fındık zurufu+%35 ahır gübresi) en yüksek APA belirlenmiştir. Fosfataz aktivitesinin ölçümü toprakta potansiyel P varlığı için bir indeks sağlamaktadır. Toprak fosfataz aktivitesinin yükselmesi, temelde mikroorganizmalarca P üretiminden kaynaklanmaktadır. Taze toplanmış solucan dışkısında, daha farklı mikroorganizma ve P_2O_5 içeriği olduğundan fosfataz aktivitesi de yükselebilmektedir (Edwards, 2004). Guan (1989), topraklara bitkisel atık olarak buğday sapı ve mısır sapının, hayvansal atık olarak da at, domuz ve inek dışkısı ilavesinin toprakların fosfataz aktivitesini artırdığını belirlemiştir.

Benitez ve ark. (2002), zeytinyağı üretiminden elde edilen ve lignoselülitik atık olan kuru zeytin ezmesinin yalnız başına ve atık su artıma tesislerinden elde edilen arıtma çamurlarıyla farklı oranlarda karıştırılması sonucu elde edilen karışımların

Eisenia andrei türü solucanlar ile vermikompost üretimi üzerine etkilerini araştırdıkları laboratuvar çalışmalarında, vermikompostlaşma süresince fosfataz aktivitesinde ise önemli artışların olduğunu saptamışlardır. Yine Benitez ve ark. (1999), tarafından yürütülen ve arıtma çamurlarının *Eisenia foetida* solucanları tarafından kompostlanması süreçlerinde enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimleri araştırıldığı 18 haftalık bir inkübasyon çalışmasında; inkübasyonun sonlarına doğru fosfataz aktivitesinde, ortamdaki yarayırlı organik karbon miktarındaki azalmaya bağlı olarak düşüşlerin meydana geldiği saptanmıştır. Jégou ve ark. (2001), iki farklı anesik solucan türü olan *Lumbricus terrestris* ve *Aporrectodea giardi*'nin açtıkları galerilerin etrafındaki toprakların morfolojik, fiziksel ve biyokimyasal özelliklerindeki değişimi araştırdıkları çalışmalarında; kontrol toprağına oranla, solucanların aşılandığı topraklardaki galeri duvarlarının alkale fosfataz bakımından daha zengin olduğunu belirlemişlerdir. Zhang ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada ise, farklı solucan türleri (*Metaphire guillelmi* ve *Eisenia fetida*) ile inkübasyona bırakılan toprak örneklerinin biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmış ve sonuçta solucan aşılmasının fosfataz enzim aktivitesini kontrol toprağına oranla yükselttiği saptanmıştır.

4.1.6.7. Arilsülfataz aktivitesi (ASA)

İnkübasyon denemesinde 90 günlük vermikompostlama süresince karışımların arilsülfataz aktivitesinde meydana gelen değişimler Şekil 4.17’de gösterilmiş ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 18’de verilmiştir.



Şekil 4.17. 90 günlük inkübasyon denemesinde vermikompostun Arilsülfataz aktivitesinde (ASA) meydana gelen değişimler

Arilsülfataz, O-S bağlarındaki esterlerin hidrolizini sağlayan bir enzim olup, ortamdaki ester sülfatlarının mineralizasyonu sağlamaktadır (Tabatabai, 1994). Elde edilen sonuçlara göre; inkübasyon dönemleri arasında önemli ($P<0,001$) farklılıklar belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, ASA’de vermikompost üretimi boyunca 90 günlük periyotta APA’nın aksine inkübasyon süresince artışlar belirlenmiştir. Karışımlar arasındaki farklılık ise istatistiksel anlamda önemli ($P<0,001$) bulunmuş ve karışımların bileşenine giren arıtma çamuru oranının artışına bağlı olarak ASA’da artışlar saptanmıştır. Diğer tüm ekstrasellüler enzimlerde olduğu gibi arilsülfataz aktivitesi de ortamdaki substrat miktarına bağlıdır ve bu sebeple muhtemelen ASA’da meydana gelen bu artışlar karışımların bileşenlerinde bulunan arıtma çamuru oranının artması ve inkübasyon süresinin uzamasıyla substrat olan materyallerin ortamdaki konsantrasyonlarının da artmasıyla ilgili olabilir.

Kızılkaya ve ark. (2004), tarafından topraklara artan düzeyde verilen arıtma çamurunun toprakların ve solucan (*Lumbricus terrestris*) dışkısının besin maddesi ve

enzim aktivitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir inkübasyon çalışmasında; tüm arıtma çamuru uygulamalarında solucan dışkısının enzim aktivitelerinde önemli oranda farklılıkların bulunduğu ve yüksek atık çamur dozlarında arilsülfataz aktivitesinde azalmaların bulunduğunu saptanmıştır. Benzer şekilde yapılan diğer bazı çalışmalarda da, vermikompostlama sürecinin, ortamın mikrobiyolojik ve biyokimyasal özelliklerinde büyük değişimlere sebep olduğu ortaya koyulmuştur (Kızılkaya ve ark. 2004; Kızılkaya ve Hepşen, 2007; Satchell ve Martin 1984).

4.2. Sera ve Tarla Denemesi

4.2.1. Sera ve Tarla Denemelerinde Kullanılan Toprağın Özellikleri

Araştırmada sera ve tarla denemelerinde kullanılan toprağın özellikleri çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sera ve tarla denemelerinde kullanılan toprağın bazı özellikleri

Tane Büyüklük				
Dağılımı	Kil, %	14,09	Yarayışlı P (mg kg ⁻¹)	36,85
	Silt, %	10,02	Alınabilir Ca (me 100gr ⁻¹)	36,20
	Kum, %	75,89	Alınabilir Mg (me 100gr ⁻¹)	3,80
	Sınıfı	Kumlu tın	Alınabilir K (me 100gr ⁻¹)	1,02
Organik madde, %		2,67	Alınabilir Na (me 100gr ⁻¹)	0,25
EC, dS m ⁻¹		0,29	Toplam Zn (mg kg ⁻¹)	56,51
pH		7,90	Suda çözünebilir Zn (mg kg ⁻¹)	0,104
Kireç kapsamı, %		22,52	Organik bağlı Zn (mg kg ⁻¹)	0,139
Toplam N, %		0,18	Değişebilir Zn (mg kg ⁻¹)	0,088

4.2.2. Sera ve Tarla Denemelerinde Kullanılan Vermikompostlanmış ve Vermikompostlanmamış Karışımların Özellikleri

Sera ve tarla denemelerinde kullanılan vermikompostların (Çizelge 4.4), toplam N içeriği 6 nolu karışımda (%50 AÇ+ % 25 FZ+ %25 AG) en yüksek düzeyde belirlenmiş iken en yüksek organik C içeriği ise 1 nolu karışımda (%0 AÇ+ % 50 FZ+ %50 AG) saptanmıştır. En düşük C/N oranı ise yine 6 nolu karışımda elde edilmiştir. Amonyum ve nitrat azotu ise yine 6 nolu karışımda en yüksek olarak saptanmıştır. Karışımlar arasında en yüksek toplam Zn kapsamı, arıtma çamurunu en yüksek oranda içeren 6 nolu karışımda, yüksek tuzluluk (EC) ve en düşük pH değerleri de yine 6 nolu karışımdan elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. Sera ve tarla denemelerinde kullanılan vermikompostlanmamış karışımların özellikleri

	Karışım No					
	1	2	3	4	5	6
Toplam N, %	1,41	1,52	1,64	1,75	1,86	1,98
Organik C, %	39,30	35,86	34,42	26,98	31,54	30,10
C/N	27,77	23,48	20,99	15,36	16,87	15,17
NO₃-N, mg g⁻¹	2391,8	2339,93	2288,15	2236,30	2184,46	2132,61
NH₄-N, mg g⁻¹	284,18	473,92	663,90	853,94	1043,94	1234,16
Suda çözü. org.mad.,%	72,40	67,61	62,82	163,03	143,25	123,46
Toplam Zn, mg kg⁻¹	339,89	1065,51	1791,14	2516,77	3242,40	3968,03

Sera ve tarla denemelerinde kullanılan vermikompostlanmamış karışımların özelliklerine (Çizelge 4.4) bakıldığında ise; yine en yüksek toplam N ve en düşük organik C içerikleri 6 nolu karışımda belirlenmiş ve en düşük C/N oranının da 6 nolu karışımda olduğu saptanmıştır. Ancak vermikompostlanmış karışımların özellikleri ile karşılaştırıldığında organik atıkların vermikompostlanmış karışımlarının C/N oranı daha düşük olduğu belirlenmiştir.

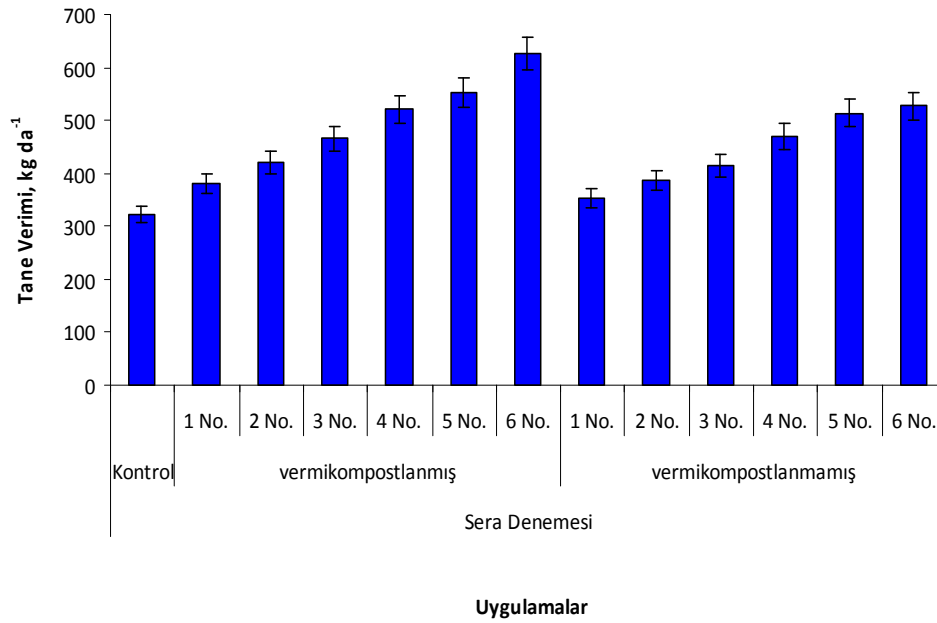
Çizelge 4.5. Sera ve tarla denemelerinde kullanılan vermikompostların özellikleri

	Karışım No					
	1	2	3	4	5	6
Toplam N, %	1,90	1,91	2,00	2,03	2,07	2,12
Organik C, %	30,15	29,93	28,12	27,02	25,70	24,82
C/N	15,83	15,67	14,06	13,31	12,43	11,69
NO₃-N, mg g⁻¹	284,25	317,40	345,21	553,87	583,62	723,21
NH₄-N, mg g⁻¹	213,84	241,92	304,56	438,47	505,43	520,55
Suda çözü. org.mad.,%	35,54	32,40	29,70	29,60	27,90	23,40
Toplam Zn, mg kg⁻¹	5,80	147,38	220,13	494,19	869,70	1173,76

4.2.3. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Hasat Edilen Buğday Bitkisinin Verim Özellikleri

4.2.3.1. Buğday bitkisinin tane verimleri

Farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia feotida* türü solucanlar ile vermikompostlanması ve bu atıkların vermikompostlanmamış karışımlarının topraklara uygulanması sonucu, buğday bitkisinin tane veriminde kontrol uygulamasına göre önemli artışların bulunduğu ($P<0,001$) sera denemesiyle belirlenmiş (Şekil 4.18) ve bu denemeye ait istatistiksel analiz sonuçları Ek 19'da verilmiştir.



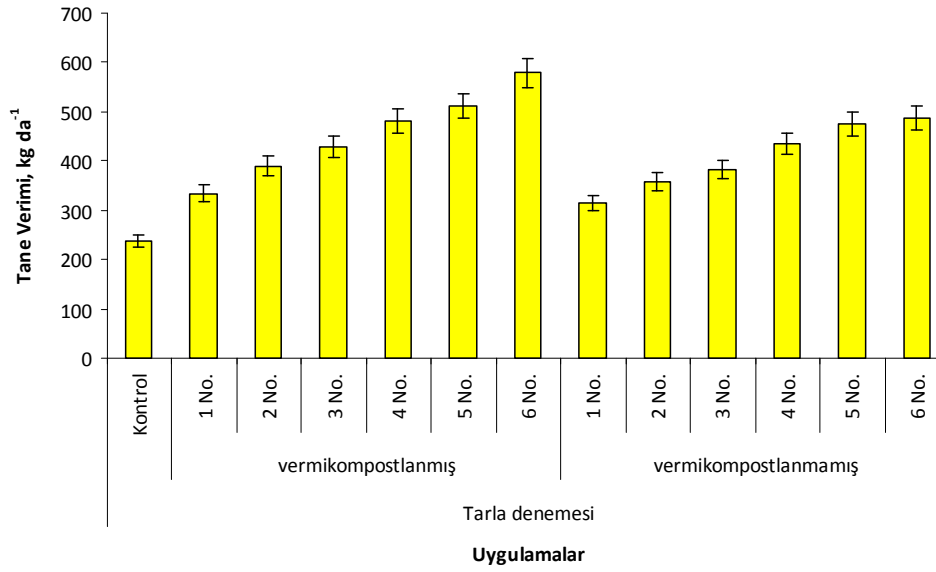
Şekil 4.18. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane verimleri, kg da⁻¹

Karışımların bileşenine giren arıtma çamurunun oranının artmasıyla sera ve tarla denemesi sonunda buğday bitkisinin tane veriminin arttığı, organik atıkların vermikompostlanması sonucunda buğday veriminin, vermikompostlanmadan yapılan uygulamaya göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte vermikompostlanmamış karışımların uygulandığı saksılarda da kontrole göre ve arıtma çamuru oranlarına bağlı olarak buğday bitkisinin dane veriminde artışlar belirlenmiştir. Karışımlardaki arıtma çamuru miktarlarının artışına bağlı olarak gerçekleşen buğday

bitkisi verim artışları, muhtemelen arıtma çamurunun özellikle N başta olmak üzere diğer besin elementleri kapsamının diğer atıklardan yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Organik atıkların toprağa ilavesinin, bitkisel üretimi artırdığı pek çok çalışmayla ortaya konulmuştur (Jamil ve ark., 2004; Kumar, 1994; Sharma ve ark., 2001). Ancak bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre; organik atıkların solucanlar vasıtasıyla vermikompostlanarak toprağa ilavesinin daha yüksek verim artışları sağladığı saptanmıştır. Vermikompostların besin maddesi içerikleri başlangıç materyalinden çok farklı olup, içerik bakımından çok daha zengindir. Bu durum, atığın bitkisel üretimdeki etkilerinin daha kısa sürelerde ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Pek çok araştırmacı tarafından farklı orjinli vermikompostların tahıllar (Chan ve Griffiths, 1988), sebzeler (Atiyeh ve ark., 2000; Edwards ve Burrows, 1988; Subler ve ark., 1998; Wilson ve Carlile, 1989), süs bitkileri (Atiyeh ve ark., 2000; Edwards ve Neuhauser ve ark., 1988) ve tarla bitkileri (Mba, 1996) üzerine etkisi sera ve tarla koşulları altında araştırılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre; vermikompostun özellikle tarımsal değeri bulunan pek çok ürün (hububat, sebze, baklagil, bahçe bitkileri ve süs bitkileri) üzerine verim ve kaliteyi artırıcı yönde etki yaptığı belirlenmiştir. Ayrıca vermikompost uygulaması, bitkisel üretimi artırmasının yanı sıra toprağın su tutma kapasitesi, boşluk miktarı gibi fiziksel özelliklerini düzenlemekte ve toprağın sürdürülebilirliğine de katkıda bulunmaktadır (Lee, 1985; Sumner, 2000).

Sera denemesinin aynikonularını ve uygulamalarını içerecek şekilde kurulan tarla denemesinde, vermikompostlanmış karışımlar ile vermikompostlanmamış karışımlar arasında buğday bitkisinin tane veriminde kontrole göre önemli artışların bulunduğu ($P<0,001$) belirlenmiş (Şekil 4.19) ve denemeye ait istatistiksel analiz sonuçları Ek 19'da verilmiştir. Karışımların bileşenine giren arıtma çamurunun oranı arttığı zaman tarla denemesi sonunda buğday bitkisinin tane veriminin arttığı, organik atıkların vermikompostlanması sonucunda buğday veriminin vermikompostlanmadan yapılan uygulamaya göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

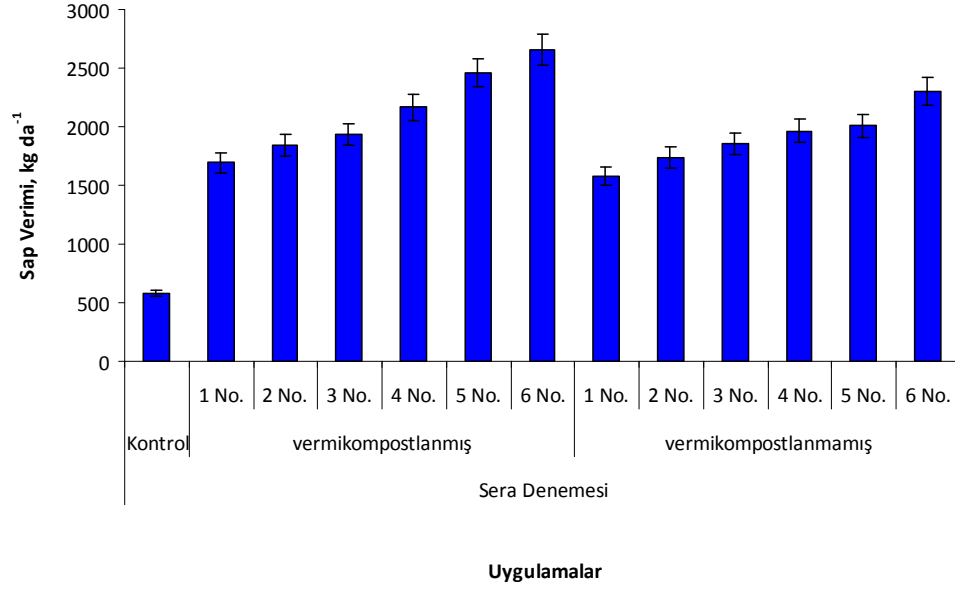


Şekil 4.19. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane verimleri, kgda⁻¹

Pek çok araştırma sonuçları, sera koşullarında olduğu gibi tarla koşullarında da vermikompost uygulamasının bitkisel verime etkisinin, organik atıkların topraklara doğrudan veya geleneksel kompostlama yapılarak uygulanmasından daha yüksek olduğunu göstermektedir. Vadiraj (1998), yürüttüğü bir arazi çalışmasında 5, 10, 15, 20 ve 25 ton ha⁻¹ düzeylerinde vermikompost uygulaması yaparak üç kişniş çeşidinde kişniş ürününe etkilerini araştırmıştır. Tüm uygulamalarda üç kişniş çeşidinde farklı olmakla beraber, kontrole göre üründe atışlar saptamıştır. Buckerfield ve ark. (1999), çalışmalarında çilek ve üzüm atığı kompostunun toprağa yüzeyden uygulama ile üzüm çeşitinde (*Pinot noir*) ürüne etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara göre; vermikompost uygulamasının kontrole göre %55 ürün artışı sağlanabildiğini bildirmişlerdir. Yine aynı araştırmacılar, aynı alanda kurdukları ikinci bir denemede hayvan gübresi vermikompostu kullanarak farklı bir üzüm türünde (*Chardonnay*) >%35 ürün artışı sağlamışlardır. Mba (1996), çalışmasında cassova bitkisi kabuğundan elde ettiği vermikompostun tarla koşullarında nohut bitkisinin gelişimi ve ürün verimine etkisini araştırmıştır. Araştırmacı uygulamanın, nohutun ürün biyomasını artırdığını, fakat bunun yanısıra vermikompost uygulamasının toprağın asitleşmesine yol açtığını belirlemiştir.

4.2.3.2. Buğday bitkisinin sap verimleri

Vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış organik atıkların buğday bitkisinin sap veriminde kontrole göre önemli artışların bulunduğu sera denemesi sonunda ($P<0,001$) belirlenmiş olup (Şekil 4.20), istatistiksel sonuçları ise Ek 20’de verilmiştir.



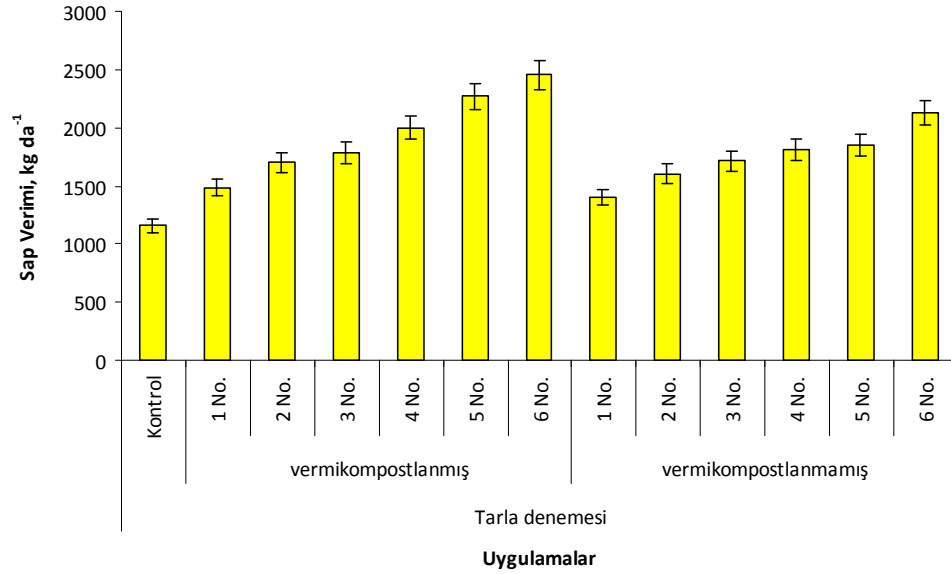
Şekil 4.20. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin sap verimleri, kg da⁻¹

Karışımların bileşenine giren arıtma çamurunun oranının artmasıyla sera denemesi sonunda buğday bitkisinin sap veriminin arttığı, organik atıkların vermikompostlanması sonucunda buğday veriminin vermikompostlanmadan yapılan uygulamaya göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Aynı zamanda vermikompostlanmamış organik atık karışımların uygulandığı saksıların buğday sapverimlerinin kontrole göre artış gösterdiği belirlenmiştir.

Materechera (2002), çimenlik alandan elde ettiği vermikompostun, mısır bitkisi gelişimine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada vermikompost uygulanmış alandaki mısır gelişiminin ve topraktan bitki besin elementleri alımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yine araştırmacı elde ettiği sonuçlardan hareketle özellikle küçük üretim sistemlerinde P, Mg, Zn ve Mn kapsamı yüksek olan topraklarda, vermikompost uygulamasının yapılmasını önermiştir. Atiyah ve ark. (2000), domuz dışkısı vermikompostunun toprakların bitki besin elementi kapsamına etkisini belirlemek

amacıyla yürüttükleri bir sera çalışmasında; domuz dışkısı vermikompostununkontrole göre bitki verimini %20 oranında artırdığını belirlemişlerdir.

Sera denemesine benzer şekilde yürütülen tarla denemesinde ise, vermikompostlanmış karışımlar ile vermikompostlanmamış karışımlar arasında, buğday bitkisinin sap veriminde kontrole göre önemli artışların bulunduğu ($P<0,001$) belirlenmiş (Şekil 4.21), istatistiksel değerlendirilmeleri ise Ek 20’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin sap verimleri, kg da⁻¹

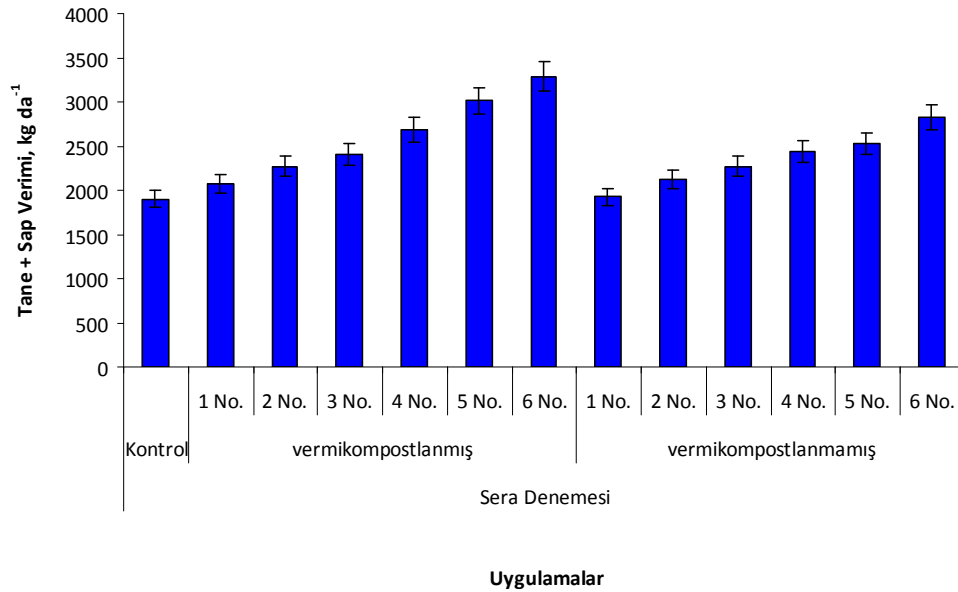
Tıpkı buğday bitkisine ait tane verimi sonuçlarında olduğu gibi, sap verimi sonuçları da hem sera koşullarında hem de tarla koşullarında, karışımların bileşenine giren arıtma çamurunun oranı arttığı zaman buğday bitkisinin sap veriminin arttığı, organik artıkların vermikompostlanması sonucunda buğday veriminin vermikompostlanmadan yapılan uygulamaya göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte organik atıkların vermikompostlanmamış karışımlarında da kontrole göre artışlar belirlenmiştir.

Chan ve Griffiths (1988), domuz gübresinden elde ettikleri vermikompostu kullanarak bir kök çalışması yürütmüşlerdir ve domuz atığı vermikompostunun, soya fasülyesi gelişimine etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlara göre; kök uzaması, yan kök sayısı ve sürgün uzunluğunun arttığı dönemde vermikompostun, gelişimi teşvik edici bir etkisinin olduğunu belirlemişlerdir. Jeyabal ve Kuppaswamy (2001), çeltik alanlarında yürüttüğü arazi denemesinden elde ettiği sonuçlara göre, ürün

gelişimi ve toprak özellikleri açısından %50 vermikompost ve %50 mineral N+biyolojik gübre (azotobacter ve fosfobacterin) kombinasyonunun en iyi karışım olduğunu saptamıştır. Masciandaro ve ark. (1997), çalışmalarında arıtma çamuru vermikompostundan elde edilen hümik ekstraktların, sulama yoluyla toprağa uygulanması ile arıtma çamuru vermikompostunun doğrudan uygulanmasının *Lepidium sativum* bitkisinin çimlenmesine etkisini araştırmışlar ve kontrole göre en yüksek gelişimin, vermikompostun doğrudan uygulandığı alanlarda olduğunu saptamışlardır. Yine aynı çalışmada; deneme sonunda yapılan toprak analizlerinde, doğrudan vermikompost uygulamasının, toprağın biyokimyasal özelliklerinin yanı sıra fiziksel özelliklerinde de, önemli pozitif etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

4.2.3.3. Buğday bitkisi tane+ sap verimleri

Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane+sap veriminde kontrole göre önemli artışların bulunduğu ($P<0,001$) belirlenmiş (Şekil 4.22), istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 21’de verilmiştir.

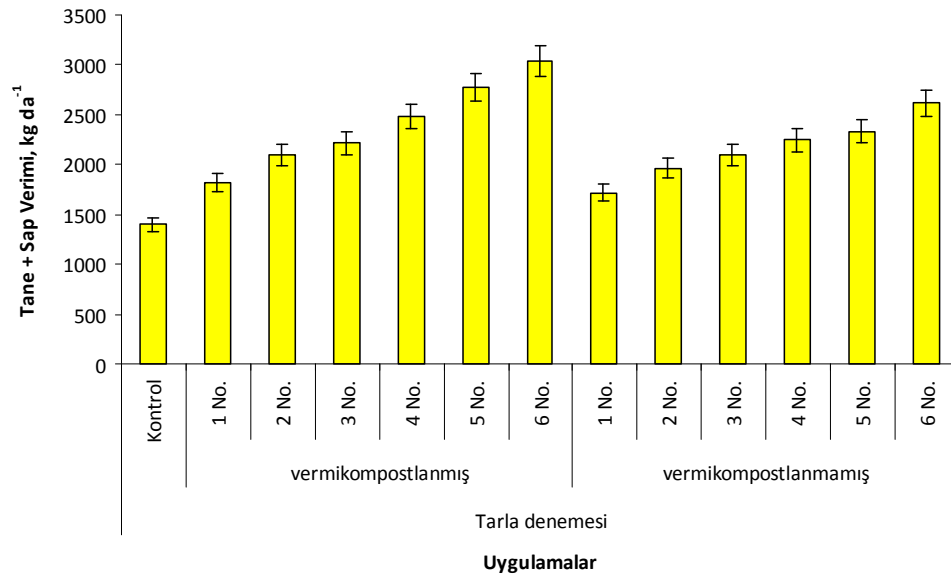


Şekil 4.22. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane+sap verimleri, kg da⁻¹

Sera denemesi sonunda karışımların bileşenine giren arıtma çamuru oranının artışına bağlı olarak, buğday bitkisinin tane+sap veriminin arttığı, organik atıkların

vermikompostlanması sonucunda buğday veriminin vermikompostlanmadan yapılan uygulamaya göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Subler ve ark. (1998), seren atığı ve biokati karışımı ile ticari bir gübre ve vermikompost karışımında domates bitkisi gelişimini karşılaştırdıkları bir çalışmada; vermikompostlu karışımlarda bitki gelişiminin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Karışımlarda %80 ve %90 vermikompost oranlarında, domatesin çekirdeksiz ağırlığında önemli artışlar saptanmıştır. Atiyah ve ark. (2000), domates bitkisinin gelişim ve veriminde geleneksel kompost ile vermikompostu karşılaştırdıkları çalışmada, bitki gelişiminde bazı farklılıklar belirlenmiştir. Kompost ile vermikompostun bitki gelişiminde yaptığı farklılığın, bitkinin kaldırdığı alınabilir N formunun büyük bir kısmının vermikompostta NO₃-N formunda, kompostlarda ise NH₄-N formunda salınması sonucu oldukça farklı mikrobiyal komüniteleri kullanan vermikompostlama süreci ile kompostlama arasındaki temel farklılıktan kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, domates bitkisinin vermikompost uygulamasında daha fazla gelişim gösterdiği saptanmıştır. Tarla denemesi sonuçlarına göre, vermikompostlanmış karışımlar ile vermikompostlanmamış karışımlar arasında, hasat edilen buğday bitkisinin tane+sap veriminde kontrole göre önemli artışların bulunduğu ($P<0,001$) belirlenmiş (Şekil 4.23) ve denemeye istatistiksel analiz sonuçları Ek 21’de verilmiştir.



Şekil 4.23. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin tane+sap verimleri, kg da⁻¹

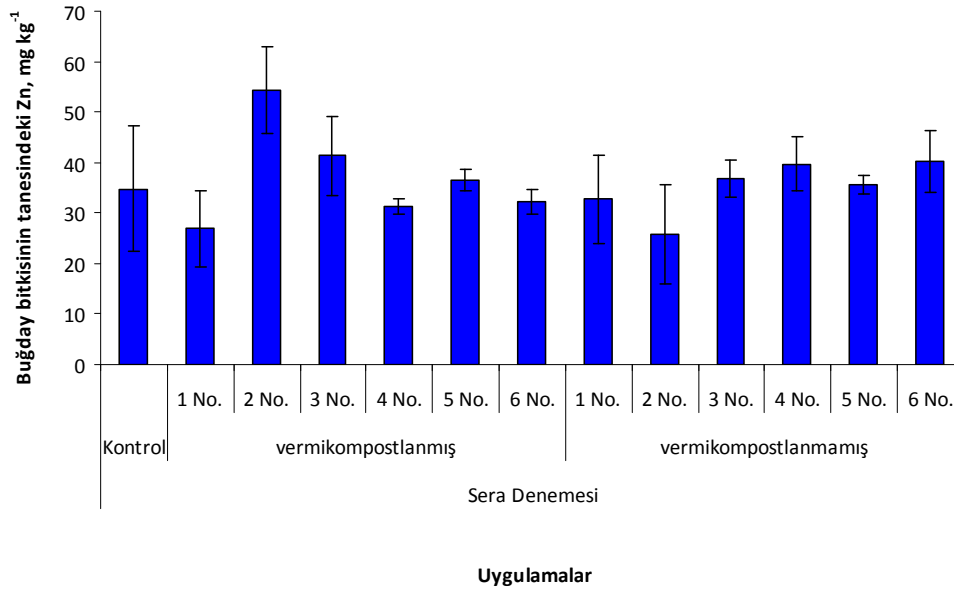
Sera denemesinin tane+sap verimine benzer şekilde, tarla denemesinde de karışımların bileşenine giren arıtma çamurunun oranı arttığında buğday bitkisinin tane+sap veriminin arttığı, vermikompost uygulamasındaki buğday veriminin vermikompostlanmamış karışım uygulamasındakine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Garcia-Gomez ve ark. (2002), çalışmalarında bira ve zeytin endüstri atığından elde ettikleri vermikompostu kullanarak iki farklı bahçe bitkisinin gelişimini araştırmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri verilere göre; vermikompost uygulamasının kontrole göre bitki gelişimini artırdığını ve vermikompost uygulaması yaptıkları parsellerde yabancı ot, bitki hastalık gelişimi ve fitotoksisite olmadığını belirlemişlerdir. Wilson ve Carlile (1989), çalışmalarında; ördek gübresi vermikompostu ve peat karışımlarının hazırlandığı bitki gelişim ortamlarında domates, biber ve kıvırcık marul gelişiminin sırasıyla %8-10, %8 ve %10 vermikompost karışımı uygulamalarında optimum olduğunu daha yüksek vermikompost uygulamalarının ise bitki gelişimini engellediğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumun sebebinin ördek atığı vermikompostunun karışımlara katıldığı oran artışına bağlı olarak elektriksel iletkenlik değerlerindeki artıştan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

4.2.4. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Alınan Toprak ve Bitki Örneklerinin Zn İçerikleri

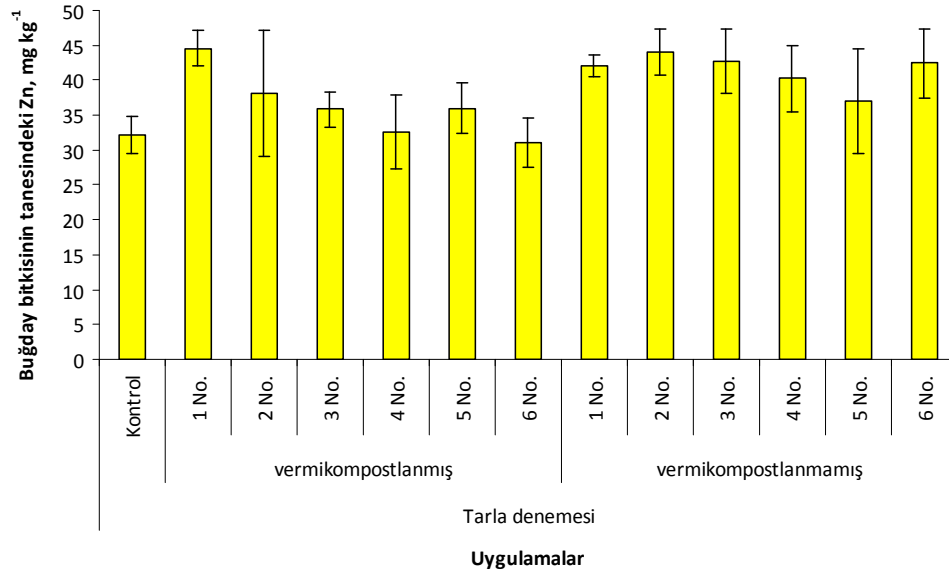
4.2.4.1. Buğday bitkisinin tanesinin çinko (Zn) içeriği

Sera denemesinde, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinden *Eisenia foetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompostun ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, buğday bitkisinin tanesindeki toplam Zn içeriğinde meydana gelen değişimler ($P<0,01$) önemli (Şekil 4.24) bulunmuş ve denemeye ait istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 22’de verilmiştir.



Şekil 4.24. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerinden alınan tane örneklerinin Zn içerikleri, mg kg^{-1}

Sera denemesi sonunda buğday bitkisinin tanesindeki Zn içeriği, vermikompostlanmış karışımlarda kontrole göre %10 arıtma çamuru oranına sahip karışımda ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise %30 arıtma çamuru oranına sahip karışımda en yüksek miktarlarda olduğu belirlenmiştir. Tarla denemesi sonunda ise, vermikompostlanmış karışımlar ile vermikompostlanmamış karışımlar arasında buğday bitkisinin tanesinde toplam çinko içeriğinde önemli farklılıklar ($P<0,01$) Şekil 4.25’te gösterilmiş ve istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 22de verilmiştir.

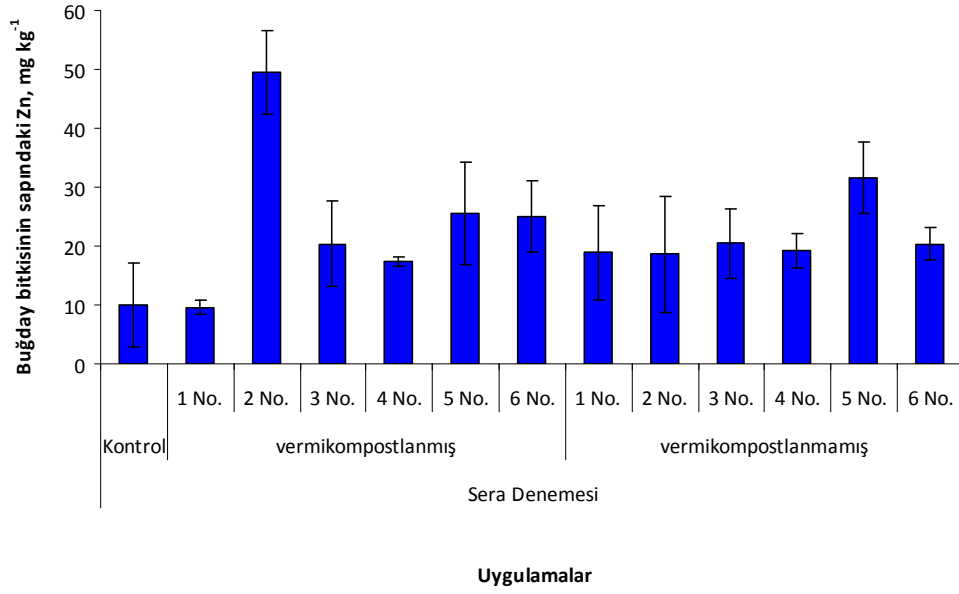


Şekil 4.25. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerinden alınan tane örneklerinin Zn içerikleri, mg kg⁻¹

Tarla denemesi sonunda buğday bitkisi tanesindeki Zn içeriği, vermikompostlanmış karışımlarda kontrole göre 1 nolu karışımda (%0 AÇ+ % 50 FZ+ %50AG) ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise 2 nolu karışımda (%10 AÇ+ %45 FZ+ %45 AG) en yüksek miktarlarda olduğu saptanmıştır. Karışımlar arasında ise, buğday bitkisi tanesinde en yüksek arıtma çamuru oranına sahip olan 6 nolu karışımda (%50 AÇ+ %25 FZ+ %AG) daha düşük ($P<0,01$) Zn içeriği elde edilmiştir.

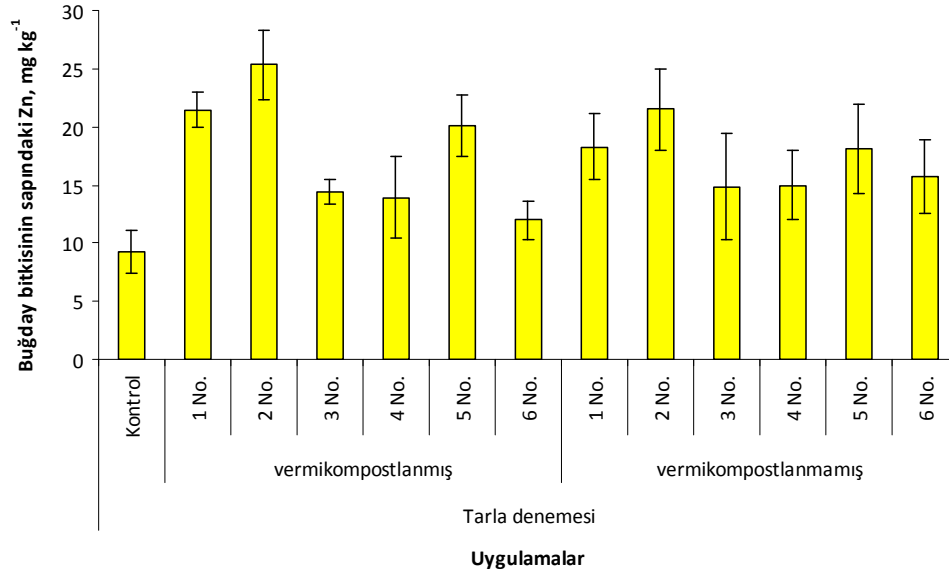
4.2.4.2. Buğday bitkisinin sapının çinko (Zn) içeriği

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia fetida* türü solucanlar ile vermikompostlanması ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, buğday bitkisinin sapındaki Zn içeriğindeki değişimler istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş ve Zn içeriğindeki değişimler Şekil 4.26'da ve denemeye ait istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 23'te verilmiştir.



Şekil 4.26. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerinden alınan sap örneklerinin Zn içerikleri, mg kg⁻¹

Sera denemesi sonunda, buğday bitkisi sapının Zn içeriği, vermikompostlanmış karışımlarda %10 oranında arıtma çamuru içeren karışımın ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise %40 oranında arıtma çamuru kapsayan uygulamanın, diğer karışımlardan daha yüksek miktarlarda Zn içerdiği saptanmıştır. Tarla denemesi sonunda ise vermikompostlanmış karışımlar ile vermikompostlanmamış karışımlar karşılaştırıldığında; buğday bitkisinin sapının Zn içeriğindeki değişimlerin istatistiksel açıdan önemsiz olduğu (Şekil 4.27) saptanmış ve Ek 23'te istatistiksel değerlendirmeler verilmiştir.



Şekil 4.27. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkilerinden alınan sap örneklerinin Zn içerikleri, mg kg⁻¹

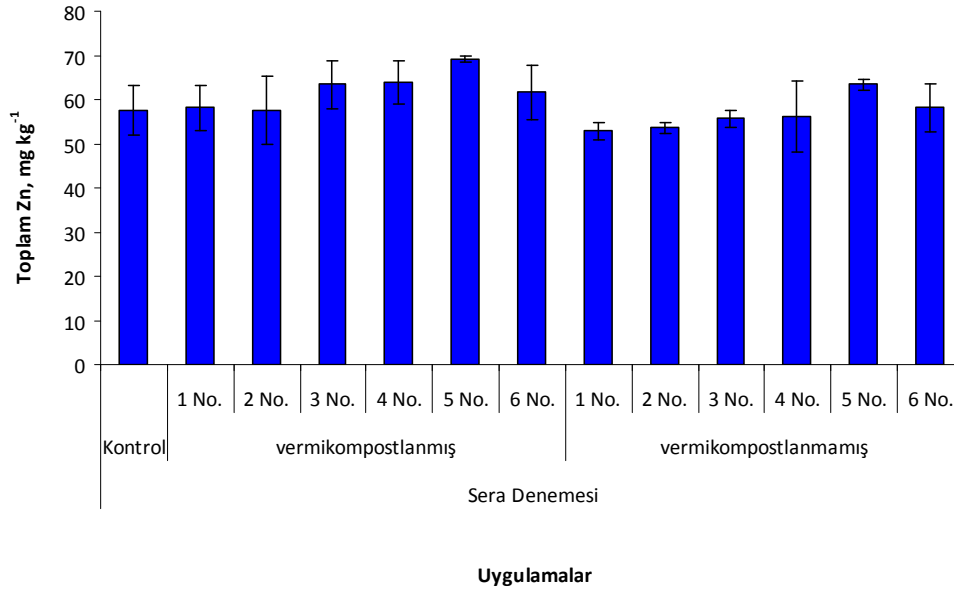
Tarla denemesi sonunda, buğday bitkisinin sapındaki Zn içeriğinin, vermikompostlanmış karışımlarda kontrole göre %10 oranında arıtma çamurunun bulunduğu karışımda (2 nolu karışım) ve vermikompostlanmamış karışımlarda yine %10 oranında arıtma çamurunun bulunduğu karışımlarda diğer karışımlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Karışımlar karşılaştırıldığında ise; buğday bitkisinin sapında 6 nolu vermikompostlanmış karışımda daha düşük ($P<0,01$) Zn saptanmıştır.

Liu ve ark. (2005), verimliliğin artırılması için solucanların (*Eisenia foetida*) kullanım potansiyeli ve atık çamurlarda solucanların Cu ve Cd miktarlarına olası etkilerini belirlemek amacıyla yürüttükleri laboratuvar çalışmasında; 60 günlük inkübasyon sonunda solucan dokularında 250 mg Cu kg⁻¹ ve 10 mg Cd kg⁻¹ kadarlık bir artış saptamışlardır. Biyokonsantrasyon faktörlerde ise; solucanların dokusundaki Cd miktarının, arıtma çamuru ilave edilmiş alanda Cd miktarının düşük olması halinde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar bu sonuçlara dayanarak; solucan uygulamasıyla kabak bitkisinde biyomasın artırılabilirliğini ve kabak bitkisinin Cd ve Cu kapsamının düşürülebilirliğini saptamışlardır.

4.2.5. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Alınan Toprak Örneklerinin Çinko (Zn) İçerikleri

4.2.5.1. Toplam çinko içeriği (T-Zn)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia fetida* türü solucanlar ile vermikompostlanması ile elde edilen vermikompostların ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanmasıyla toprakta toplam Zn içeriğinde meydana gelen değişimler Şekil 4.28'de ve denemelere ait istatistiksel analiz sonuçları Ek 24'te verilmiştir.

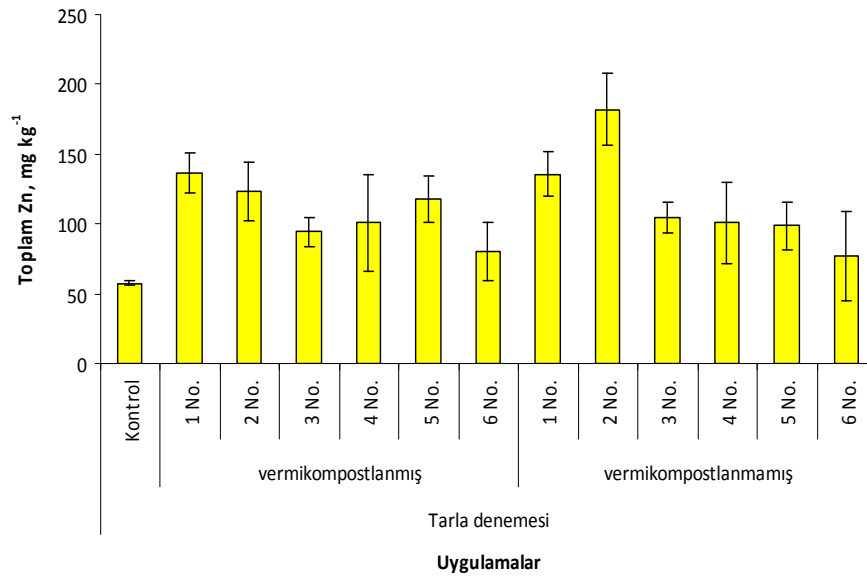


Şekil 4.28. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin toplam çinko T-Zn içerikleri, mg kg⁻¹

Sera denemesi sonunda, bitki hasatından sonra saksılardan alınan toprak örneklerinin toplam Zn içeriği, kontrolle karşılaştırıldığı zaman vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış karışımlar içerisinde en yüksek 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ +30 FZ+ %30 AG) belirlenmiştir. Sera denemesi sonunda vermikompostlanmış karışımların uygulandığı toprakların toplam Zn kapsamının, vermikompostlanmamış karışımlardan daha yüksek ve istatistiksel anlamda önemli ($P<0,05$) olduğu saptanmıştır.

Kızılkaya (2005), farklı organik atıklar kullanarak toprağa ilave ettiği Zn dozlarının (0, 50, 100, 250, 500, 1000 mg kg⁻¹) solucan dokularında Zn akümülyasyon miktarına ve solucan dışındaki Zn kapsamına etkisini araştırmıştır. Araştırmacı;

solucan dokusu ve dışkıdaki en yüksek T-Zn miktarlarını, organik atıklar uygulandıktan 21 gün sonra belirlemiştir. Yine bu çalışmada; Zn ilavesi yapılmış topraklarda solucan doku ve dışkısında, uygulama yapılmamış topraklardan önemli derecede daha yüksek Zn miktarları saptanmıştır. En yüksek Zn konsantrasyonunun, tüm Zn dozlarında yüksek C/N oranına sahip organik atıklarla (saman ve fındık zurufu) uygulama yapılmış topraklardaki solucanlarda olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte; en düşük BAF ise, düşük C/N oranına sahip organik atıklarda (çay ve tütün atığı) saptanmıştır. Kontrol uygulaması hariç en yüksek BAF değeri, tüm organik atık uygulamalarında 100 mg kg^{-1} Zn dozunda belirlemiştir. Tarla denemesi sonunda, vermikompostlanmış karışımlar ile vermikompostlanmamış karışımların toprakların toplam Zn içeriğinde meydana getirdiği değişimler, Şekil 4.29'da ve denemeye ait ve istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 24'te verilmiştir.



Şekil 4.29. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin toplam çinko (T- Zn) içerikleri, mg kg^{-1}

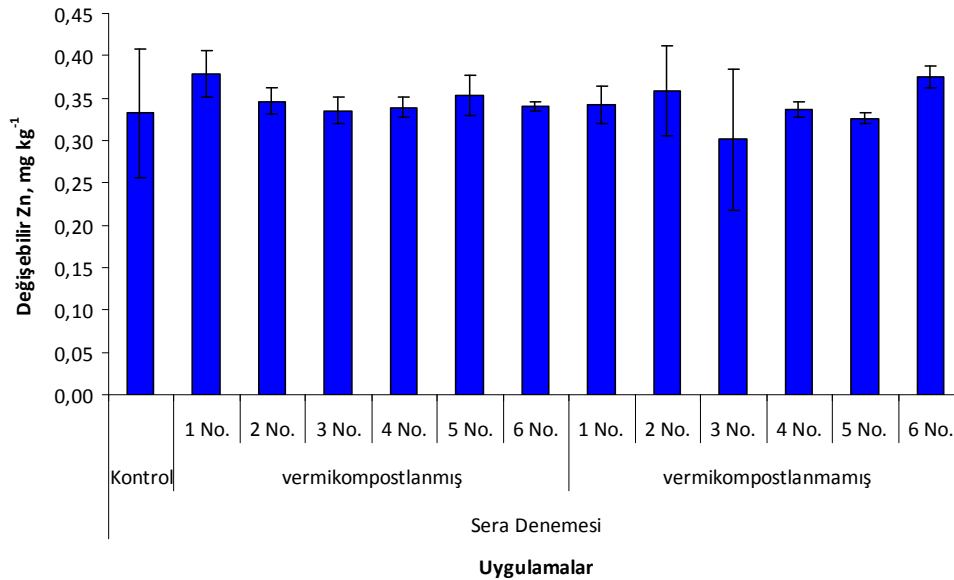
Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin T-Zn içerikleri, vermikompostlanmış karışımlarda, 1 nolu karışımda (%0 AÇ+ %50 FZ+ %50 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise 2 nolu karışımda (%10 AÇ+ %45 FZ+ %45 AG) kontrolle karşılaştırıldığında diğer karışımlardan daha yüksek olarak belirlenmiştir. Tarla denemesi sonunda, sera denemesinin aksine vermikompostlanmış karışımların

toplam Zn kapsamının, vermikompostlanmamış karışımlardan daha düşük olduğu belirlenmiştir ($P<0,01$).

Arıtma çamuru kullanılarak gerçekleştirilen pek çok çalışmada Zn kapsamlarındaki değişimler araştırılmıştır (King ve Morris, 1972). Ruiz ve ark. (2009), arazi çalışmalarında daha önce madencilik yapılmış ve kirlenmiş topraklarda, mısır ve arpa bitkisi kullanarak toprakların Pb, Zn, Cd, ve Cu kapsamlarına *Eisenia foetida* türü solucanların etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara göre; toprağın ağır metal kapsamının solucanlar tarafından önemli derecede değişikliğe uğratıldığını belirlemişlerdir. Pb, Zn, Cd, ve Cu'nun solucan dokusunda toplam akümülyasyon oranlarının her 2 bitkinin de yetiştirildiği alandan önemli derecede yüksek çıktığı saptanmıştır.

4.2.5.2. Değişebilir çinko (EX-Zn)

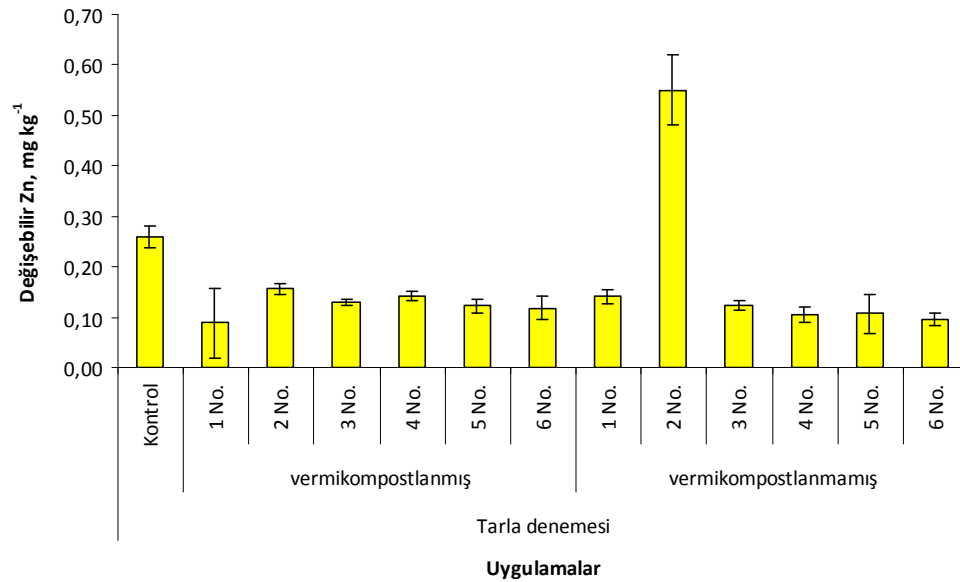
Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinden *Eisenia fetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompost ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, topraktaki değişebilir Zn içeriğindeki değişimler Şekil 4.30'da ve denemeye ait istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 25'te verilmiştir.



Şekil 4.30. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin değişebilir çinko (EX- Zn) içerikleri, mg kg⁻¹

Sera denemesi sonunda, topraktaki değişebilir Zn içerikleri, vermikompostlanmış karışımlarda 1 nolu karışımda (%0 AÇ+ %50 FZ+ %50 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise 6 nolu karışımda (%50 AÇ+ %25 FZ+ %25 AG) diğer karışımlara göre daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Kızılkaya (2004), çalışmasında farklı dozlarda ağır metallerce zengin arıtma çamuru uygulaması yaptığı topraklarda, solucan (*Lumbricus terrestris L.*) dokularındaki Cu ve Zn birikimine, solucan dışkısında Cu ve Zn fraksiyonlarına ve solucanların yaşadığı galerileri çevreleyen topraklardaki, Cu ve Zn fraksiyonlarına etkilerini araştırmıştır. Araştırmacı, arıtma çamuru uygulamasından 30 gün sonra toprak, dışkı ve solucan dokusundan alınan örneklerde en yüksek ağır metal miktarlarını en yüksek arıtma çamuru dozunda (400 g kg^{-1}) belirlemiştir. Yine bu çalışmada, özellikle dışkılarda ve toprakta, değişebilir Zn ve organik bağlı Cu fraksiyonu miktarlarının, tüm arıtma çamuru uygulaması yapılan topraklarda, diğer fraksiyonlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Sera denemesine benzer şekilde kurulan tarla denemesinde ise, bitkilerin hasatı sonrasında alınan toprak örneklerinin değişebilir Zn içeriğindeki değişimler Şekil 4.31’de ve istatistiksel analizleri ise Ek 25’te verilmiştir.



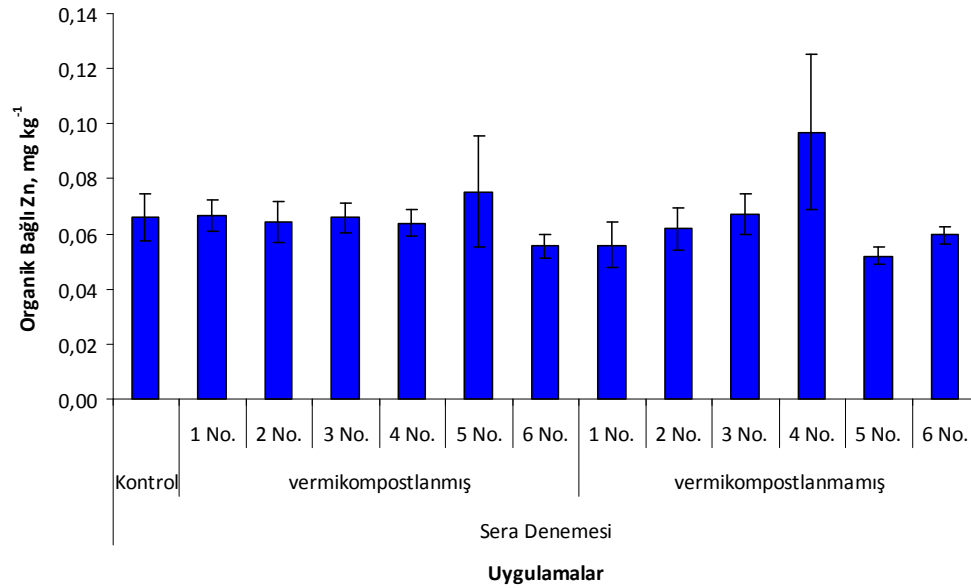
Şekil 4.31. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin değişebilir çinko (EX- Zn) içeriklerindeki değişimler, mg kg^{-1}

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin değişebilir Zn içerikleri, kontrolle karşılaştırıldığında, vermikompostlanmış tüm karışımlarda daha düşük ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise 2 nolu karışım (%10 AÇ+ %45 FZ+ %45 AG) hariç daha düşük olduğu saptanmıştır. Tarla denemesinde sera denemesine oranla, değişebilir Zn içeriği bakımından önemli oranda azalmaların olduğu belirlenmiştir.

Li ve ark. (2010), tarafından yürütülen bir çalışmada, serada domuz gübresinde beslenen *Eisenia foetida* solucanının Cu, Zn, Pb, Cd biyoakümülyasyonunda (BAF) gerçekleştirdiği değişimler araştırılmıştır. Solucanlara ait BAF değerleri; Cd (2,749+0,441), Zn (0,594+0,2), Pb (0,274+0,101) ve Cu (0,76+0,030) şeklinde hesaplanmıştır. Pb ve Cd'a ait değişebilir fraksiyon değerleri ise diğer fraksiyonlara göre en yüksek sonuçları verirken değişebilir Zn fraksiyonunun diğer fraksiyonlarla benzerlik gösterdiğini saptamışlardır.

4.2.5.3. Organik bağlı çinko (OM-Zn)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinden *Eisenia fetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompostun ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, topraktaki organik bağlı Zn içeriklerindeki değişimler, Şekil 4.32'de ve istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 26'da verilmiştir.

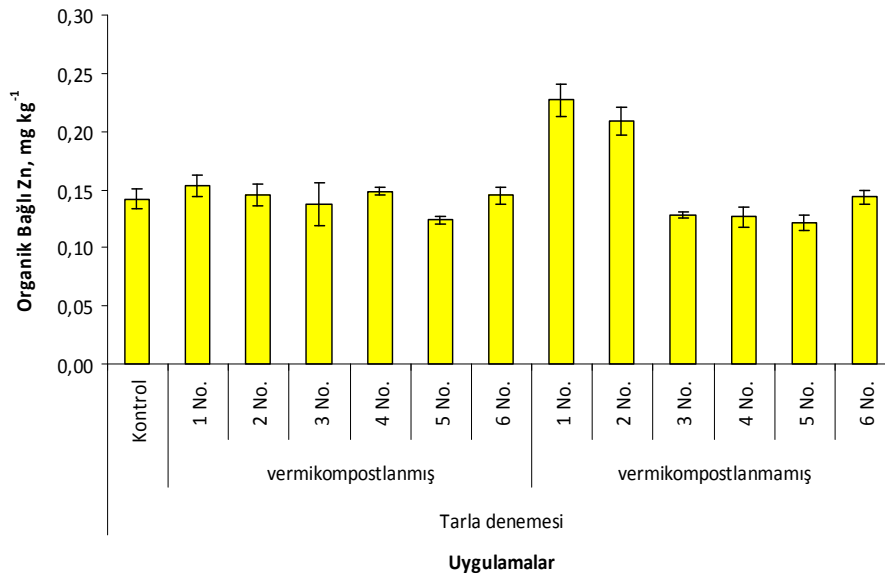


Şekil 4.32. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin organik bağlı çinko (OM-Zn) içeriklerindeki değişimler, mg kg⁻¹

Sera denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin organik bağlı Zn içerikleri, vermikompostlanmış karışımlarda 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise 4 nolu karışımda (%30 AÇ+ %35 FZ+ %35 AG) en yüksek olarak belirlenmiştir.

Becguer ve ark. (2005), metallerce kirlenmiş topraklarda metallerin biyoyararlılığı üzerine solucanların etkisini araştırdıkları çalışmalarında, toprak örneklerinde farklı metal miktarlarını, solucan performansları ve iki solucan türünün (*Aporrectodea calliginosa* ve *Lumbricus rubellus*) dokularındaki metal konsantrasyonlarını karşılaştırmışlardır. Bu araştırmada, suda çözünebilir ve değişebilir metal formlarında, solucanların dokularındaki metal birikimi ile zayıf bir ilişki belirlenirken; Cd hariç, organik bağlı formlarda ise önemli ilişkiler belirlenmiştir. Toprak bileşenlerine bağlı metaller bakımından; solucan dokularına giren metallerin, solucanların dermal yolla kaldırdıkları iyon miktarlarından daha yüksek olduğu yine bu çalışmayla saptanmıştır.

Tarla denemesi sonunda ise toprakların organik bağlı Zn içeriğindeki değişimler Şekil 4.33'de ve denemeye ait istatistiksel değerlendirmeler Ek 26'da verilmiştir.



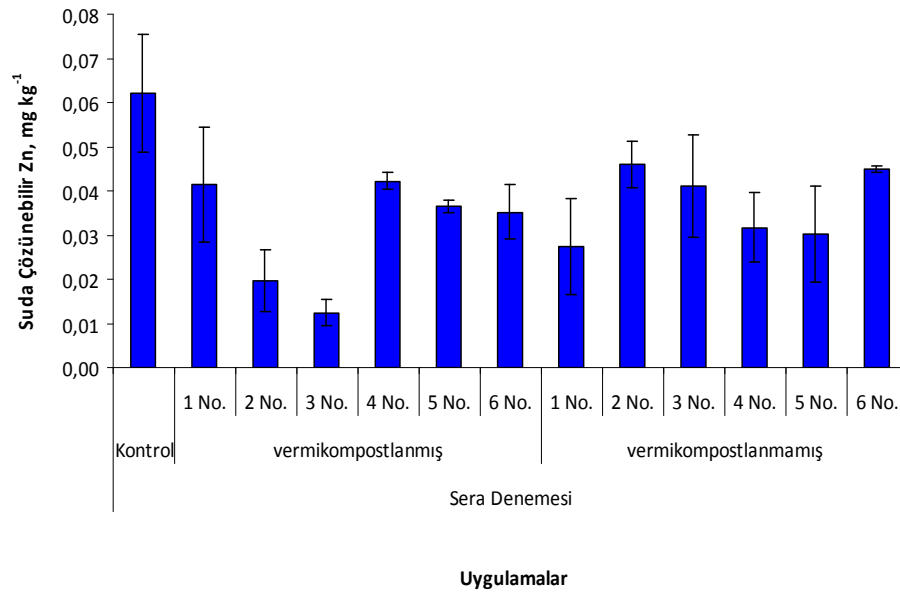
Şekil 4.33. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin organik bağlı çinko (OM-Zn) içeriklerindeki değişimler, mg kg⁻¹

Tarla denemesi sonunda toprakların organik bağlı Zn içerikleri bakımından, vermikompostlanmış karışımlarda kontrole göre önemli bir farklılık saptanmazken,

vermikompostlanmamış karışımların 1 ve 2 nolu karışımlarının uygulandığı parsellerden alınan toprakların, organik bağlı Zn içerikleri diğer karışımlardan daha yüksek miktarlarda olduğu belirlenmiştir.

4.2.5.4. Suda çözünebilir çinko (W-Zn)

Sera denemesinde; farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia fetida* türü solucanlar ile vermikompostlanması ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanmasıyla, toprakların suda çözünebilir Zn içeriklerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.34'de verilmiş ve denemeye ait istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 27'de verilmiştir.



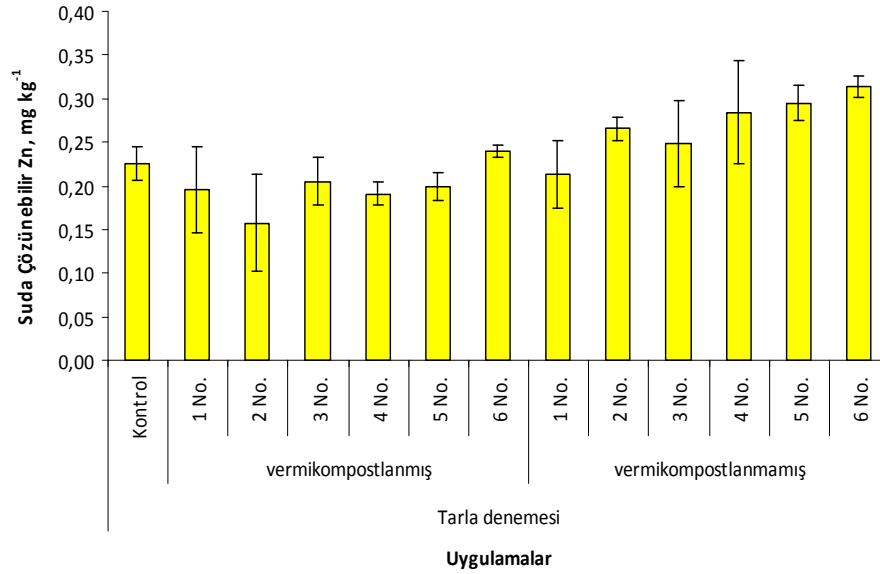
Şekil 4.34. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin suda çözünebilir çinko (W-Zn) içeriklerindeki değişimler, mg kg⁻¹

Sera denemesi sonunda alınan toprakların suda çözünebilir Zn içerikleri, vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış tüm karışımlarda önemli ($P<0,001$) farklılıklar göstermiştir. Kontrolle karşılaştırıldığında tüm uygulamaların W-Zn içeriklerinin daha düşük seviyelerde olduğu saptanmıştır.

Hobbelen ve ark. (2006), yüksek metal konsantrasyonlarına sahip 15 farklı alandan aldığı topraklarda *Lumbricus rubellus* ve *Aporrectodea calliginosa* solucanlarının dokularında biriken, metalleri belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; solucan dokularında, *Urtica dioica* bitkisinin yapraklarında ve toprak

örneklerinde saf su ve CaCl₂ ekstraktlarında Cd, Cu, Zn miktarlarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, solucan dokularında biriken Zn konsantrasyonlarının örnekleme alanları arasında önemli bir farklılık göstermediğini saptamışlardır.

Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerindeki, suda çözünebilir Zn içeriğindeki değişimler, Şekil 4.35’de vebunlara ait istatistiksel analiz sonuçları ise Ek 27’de verilmiştir.



Şekil 4.35. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin suda çözünebilir çinko (W-Zn) içeriklerindeki değişimler, mg kg⁻¹

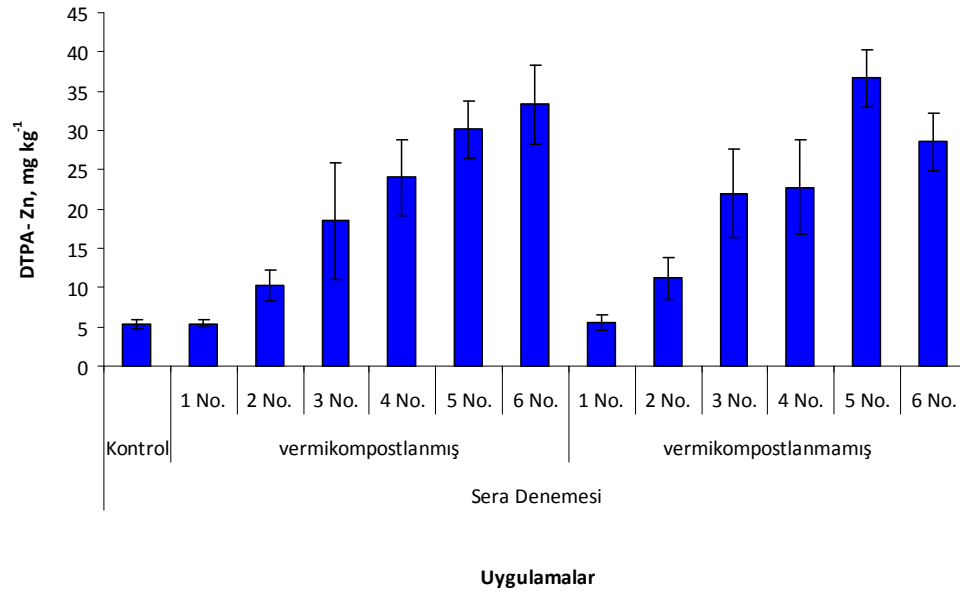
Tarla denemesi sonunda toprakların suda çözünebilir Zn içeriklerinin vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış tüm karışımlarda önemli farklılıklar gösterdiği saptanmıştır. Vermikompostlanmamış karışım uygulanmış toprakların suda çözünebilir Zn içeriklerinin, vermikompostlanmış karışım uygulanmış topraklara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yine, vermikompostlanmış karışım uygulanan toprakların çinko kapsamı, kontrolden daha düşük düzeylerde bulunduğu saptanmıştır.

Vijver ve ark. (2007), sel basma sıklığı ve vejetasyon tipinde farklılık gösteren üç sel havzasında yaşayan solucanların dokularındaki metal konsantrasyonlarında meydana gelen farklılıkların ana sebeplerini araştırmışlar ve epijeik solucanların biyoakümüle ettiği metal konsantrasyonlarının endojeik solucanlardan daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Sel basmasının sık olduğu alanlarda yaşayan solucanların

dokularında biriken metal miktarlarının, daha yüksek olduğu da yine bu çalışmayla ortaya konulmuştur. Sel basan alanlardaki vejetasyon tipinin *Lumbricus rubellus* türü solucanların, Cd hariç metal akümülyasyonu üzerine bir etkisinin olmadığını ve bahar aylarında solucan dokusundaki ğır metal birikiminin daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

4.2.5.5. DTPA ile ekstrakte edilebilir çinko (DTPA-Zn)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia fetida* türü solucanlar ile vermikompostlanması ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, topraktaki DTPA-Zn içeriğindeki değişimler Şekil 4.36’da ve denemeye ait istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 28’de verilmiştir.

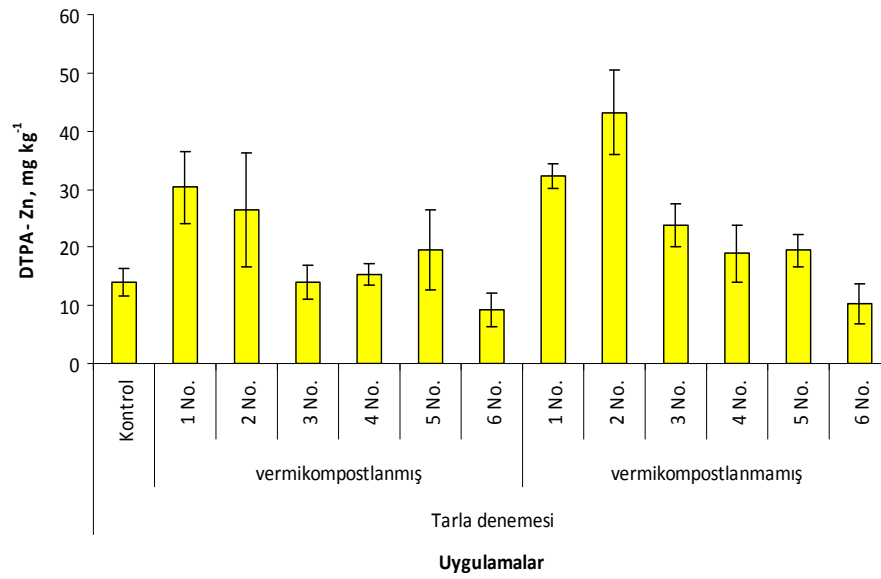


Şekil 4.36. Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin DTPA ile ekstrakte edilebilir çinko (DTPA-Zn) içeriklerindeki değişimler, mg kg⁻¹

Sera denemesi sonunda saksılardan alınan toprak örneklerinin DTPA-Zn içeriklerinde önemli ($P<0.001$) farklılıklar saptanmıştır. Vermikompostlanmış karışımların uygulandığı topraklarda karışımların bileşimine giren arıtma çamuru oranı arttıkça kontrole göre DTPA-Zn içeriğinde artışlar saptanmış ve 6 nolu karışımda ise (%50 AÇ+ %25 FZ+ %25 AG) DTPA- Zn’nin en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir.

Suthar ve Singh (2008), kültüre alınmış alanlarda, kentsel bahçe ve atık uygulaması yapılmış topraklarda bulunan solucanların, dokusu, dışkısı ve solucan galerilerini çevreleyen topraklarında DTPA-ekstraksiyonu ile metal seviyeleri belirlemişlerdir. Çalışmada araştırmacılar, sırası ile solucan dışkılarında belirlenen metal konsantrasyonları; atık uygulamalı toprak > kültürel alan > kentsel bahçe şeklinde bir sıralamayı takip ettiğini saptamışlardır. Ayrıca, DTPA-ekstraksiyonu ile en yüksek metal içeriğine sahip topraklarda, solucan dokusu arasında önemli ilişkiler saptamışlar ve endojen türlerin metalleri anecik türlerden çok daha fazla miktarlarda dokularında biriktirdiğini saptamışlardır.

Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin DTPA-Zn içeriğindeki değişimler, Şekil 4.37’de ve istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 28’de verilmiştir.



Şekil 4.37. Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin DTPA ile ekstrakte edilebilir çinko (DTPA-Zn) içeriklerindeki değişimler, mg kg⁻¹

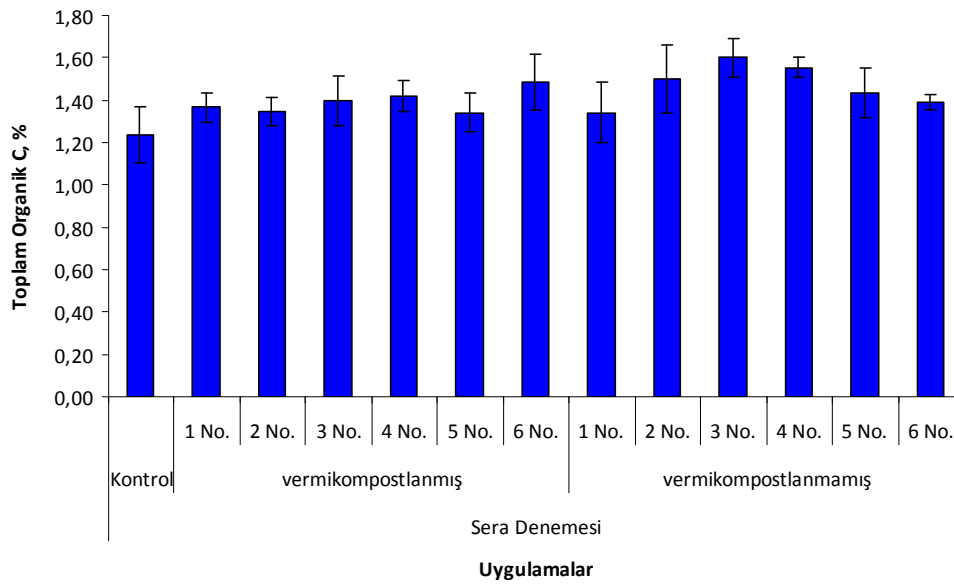
Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin DTPA-Zn içeriğinde, vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış karışımlar arasında farklılıkların olduğu belirlenmiş ve vermikompostlanmamış karışımların topraklara uygulanmaları sonunda belirlenen DTPA-Zn içeriklerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Giovaretti ve ark. (2010), hem doğal yollarla hem de insan eliyle uranyuma maruz bırakılan solucanlarda (*Eisenia foetida*), uranyum akümülyasyonunun karşılaştırmalı olarak biyolojik etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, uranyum konsantrasyonunun 1.86-600 mg kg⁻¹ arasında olduğu ve uranyuma maruz kalan solucanların toksik ve genetik etkilere de maruz kaldığı belirlenmiştir.

4.2.6. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Alınan Toprak Örneklerinin Organik C ve N Kapsamındaki Değişimler

4.2.6.1. Organik karbon (C)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia fetida* türü solucanlar ile eldesinden sağlanan vermikompostun ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprakların toplam organik C içeriğindeki değişimler, Şekil 4.38’de ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 29’da verilmiştir.

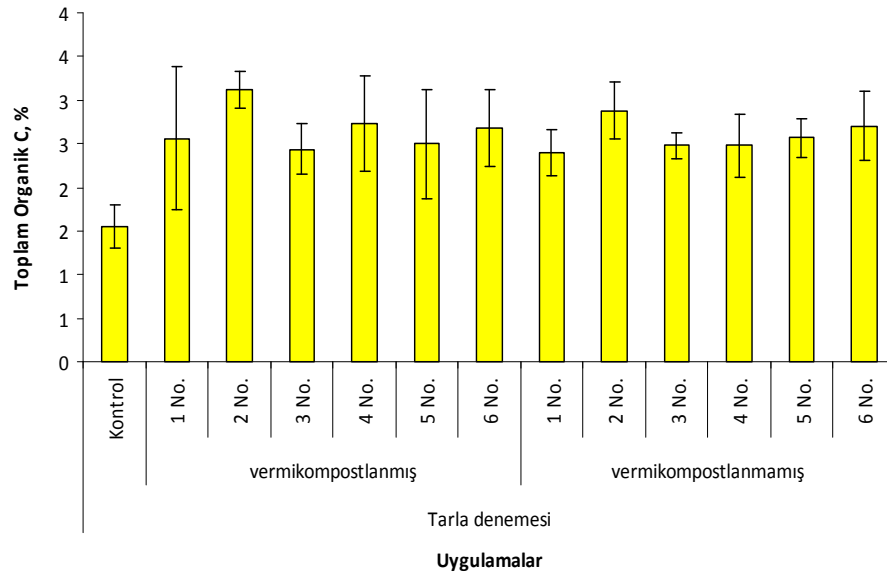


Şekil 4.38. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin toplam organik C kapsamındaki değişimler, %

Sera denemesi sonunda alınan toprak örneklerindeki toplam organik C içeriği, vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış karışımlarda farklılıklar göstermekle birlikte, birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Vermikompostlanmış karışımların

uygulandığı toprakların toplam organik C içeriğinde uygulamalar arasındaki farklılıklar önemsiz bulunmuş iken, vermikompostlanmış karışımlardan 3 nolu karışımın uygulandığı toprağın organik C içeriği (%20 AÇ+ %40 FZ+ %40 AG) diğer tüm karışımlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde yapılan çalışmalarda (Lavelle ve Martin, 1992; Orozco ve ark., 1996) topraklara vermikompost uygulamasının topraklardaki organik C ve besin elementlerinin alınabilir konsantrasyonlarının önemli ölçüde artırılabilirdiği ortaya konulmuştur.

Tarla denemesi sonunda alınan toprakların, toplam organik C içeriğindeki değişimler, Şekil 4.39'da ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 29'da verilmiştir.



Şekil 4.39. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin toplam organik C içeriğindeki değişimler, %

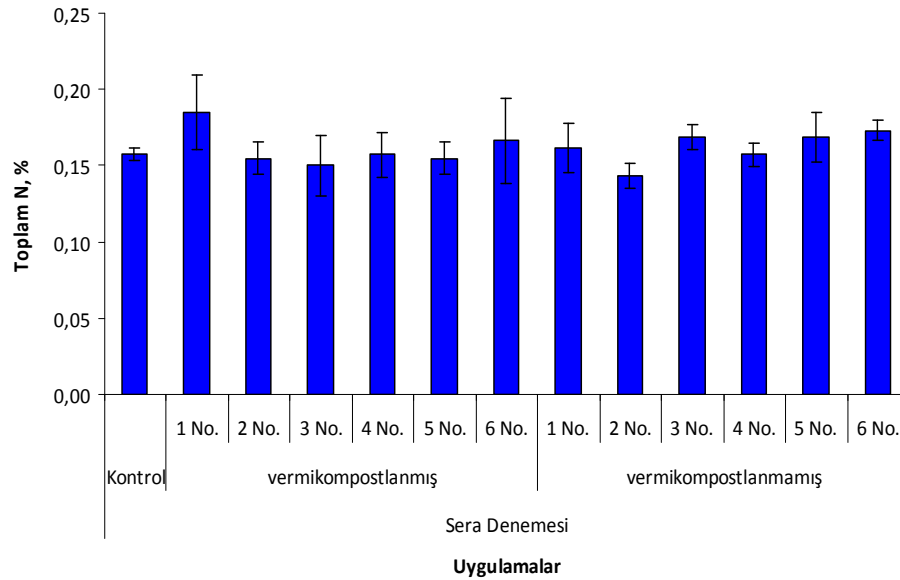
Tarla denemesi sonunda, toprakların toplam organik C içeriğinin, vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış karışımların uygulandığı parsellerde farklılıklar ($P < 0.001$) gösterdiği belirlenmiştir. Her iki uygulama şeklinde de 2 nolu karışımda (%10 AÇ+ %45 FZ+ %45 AG), diğer karışımlardan daha yüksek seviyede toprak organik C içeriği saptanmıştır.

Benzer şekilde organik atıkların bitkisel üretimi artırdığını ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Jamil ve ark., 2004; Sharma ve ark., 2001). Bitkisel üretimde meydana gelen bu artışlar, organik atıkların topraklara uygulanmasıyla

toprakların besin maddesi kapsamındaki artış ile toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana getirdiği iyileşmelerle ilgilidir (Puget ve ark., 2000; Tejada ve Gonzalez, 2003, 2004).

4.2.6.2. Toplam azot (N)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia fetida* türü solucanlar ile vermikompostlanması ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprakların toplam N içeriğinde meydana gelen değişimler, Şekil 4.40'da ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 30'da verilmiştir.



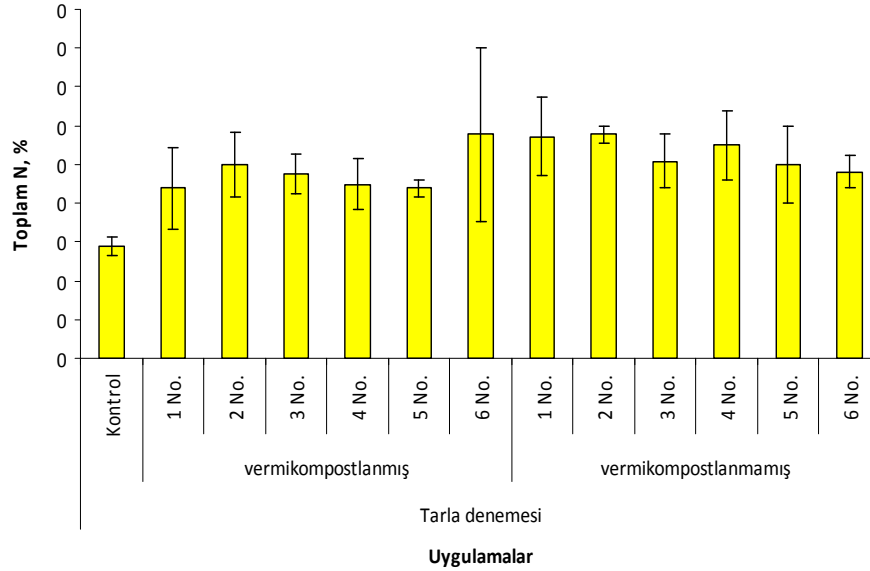
Şekil 4.40. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin toplam N içeriğindeki değişimler, %

Sera denemesi sonunda saksılardan alınan topraklardaki toplam N içeriğinin vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış karışımlaruygulanmasıyla önemsiz farklılıklar gösterdiği saptanmıştır.

Liu ve ark. (2005), verimliliğin artırılması amacıyla solucanların (*Eisenia foetida*) kullanım potansiyelini araştırdıkları çalışmada, solucan aktivitesinin toprakların mineral N ve P kapsamını artırdığını, fakat organik madde ve toplam N kapsamını

azalttığını, bununla birlikte toplam P, toplam K ve yarıyırlı K üzerine ise önemli bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir.

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin toplam N içeriğindeki değişimler Şekil 4.41’de ve istatistiksel değerlendirmeleri Ek 30’da verilmiştir.

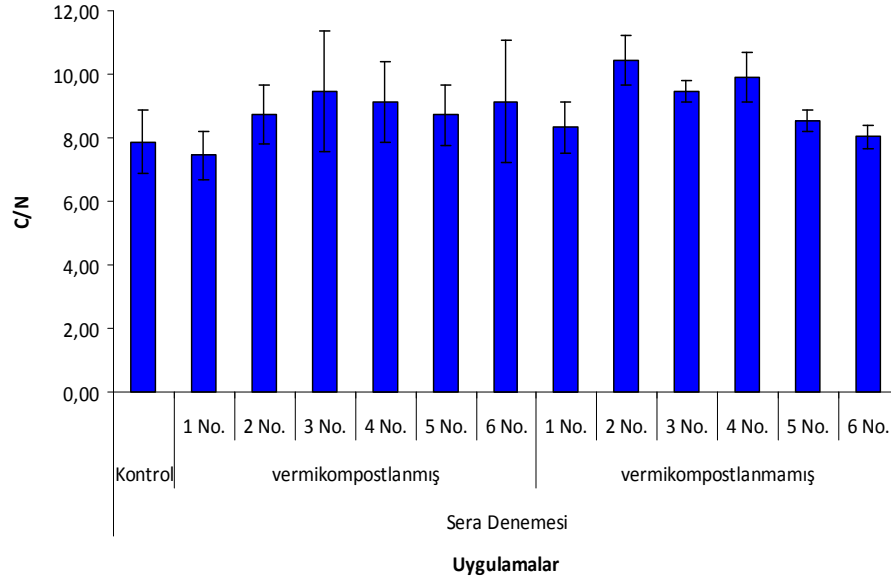


Şekil 4.41. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin toplam N içeriklerindeki değişimler, %

Tarla denemesi sonunda, toprakların toplam N içeriklerinin vermicompostlanmış karışımların uygulandığı parsellerden 6 nolu karışımda (%50 AÇ+ %25 FZ+ %25 AG) ve vermicompostlanmamış karışımların uygulandığı parsellerden ise 2 nolu karışımda (%10 AÇ+ %45 FZ+ %45 AG) en yüksek düzeylerde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, pek çok çalışmada olduğu gibi, organik atıkların vermicompostlanarak topraklara uygulanması sonucu toprakların toplam N kapsamındaki artışın bu organik atıkların vermicompostlanmadan topraklara uygulanmasına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır (Arancon ve ark., 2004b; Garg ve ark., 2005; Kaushik ve Garg, 2003).

4.2.6.3. C/N

Sera denemesi sonunda, kullanılan organik atıkların vermikompostlanmış karışımlarının ve bu atıkların vermikompostlanmamış durumlarının uygulandığı toprakların C/N oranındaki değişimler Şekil 4.42’de ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 31’de verilmiştir.

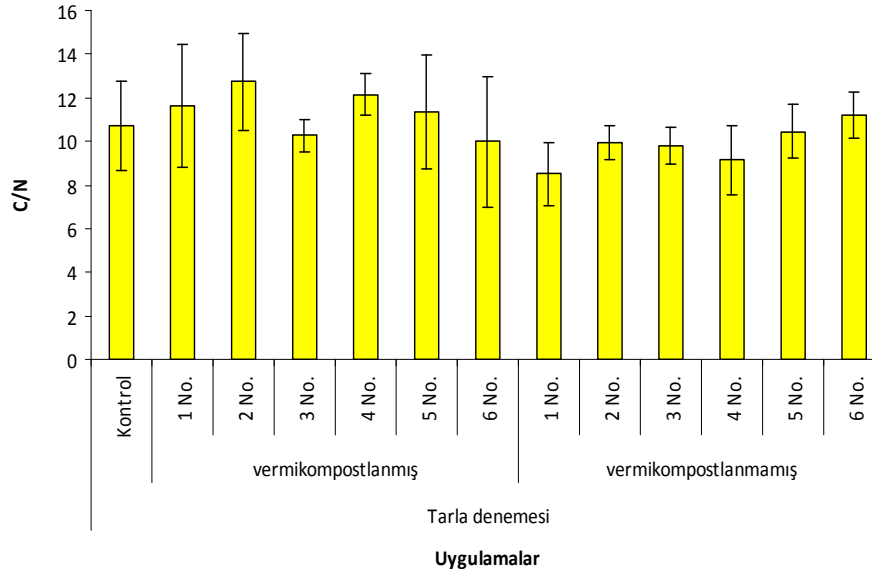


Şekil 4.42. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin C/N oranlarında meydana gelen değişimler

Sera denemesi sonunda hasat edilen bitkilerin bulunduğu toprakların C/N oranlarında farklılıklar ($P<0,05$) saptanmış ve vermikompostlanmış karışımlar içerisinde 3 nolu karışım da (%20 AÇ+ %40 FZ+ %40 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlar içerisinde ise 2 nolu karışım da (%10 AÇ+ %45 FZ+ %45 AG) diğer karışımlardan daha geniş C/N değerleri belirlenmiştir.

Tajbakash ve ark. (2008), mantar kompostu ve farklı tipteki tarımsal atıklardan hazırlanan karışımlardan vermikompost üretimi amacıyla *E. foetida* ve *E. andrei* türü solucanlar kullanarak 90 günlük bir inkübasyon denemesi yürütmüşler ve inkübasyon süresince karışımların C/N değerlerinde önemli azalmaların olduğunu saptamışlardır.

Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprakların C/N oranlarında meydana gelen değişimler, Şekil 4.43’de ve denemeye ait istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 31’de verilmiştir.



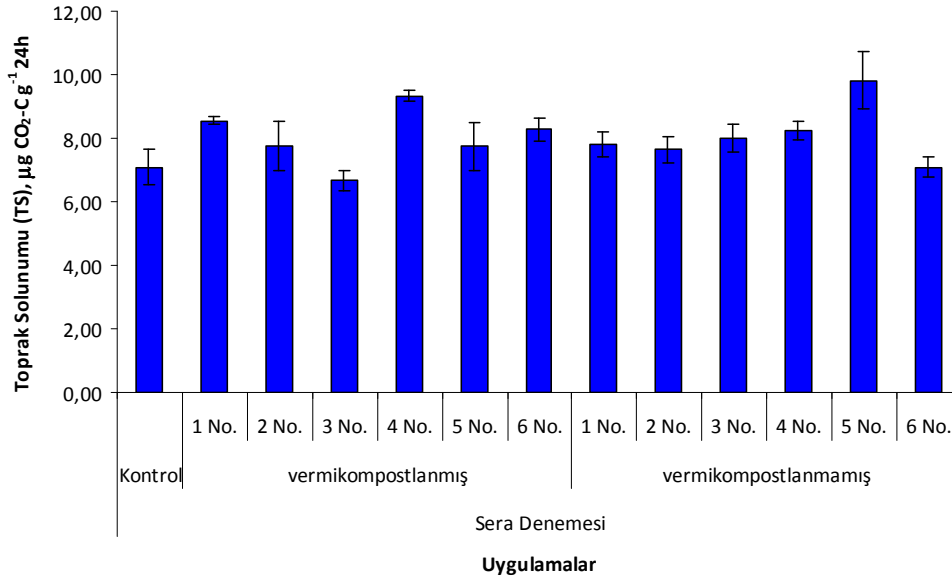
Şekil 4.43. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin C/N oranlarında meydana gelen değişimler

Tarla denemesi sonunda topraklarının C/N oranları, vermikompostlanmış karışımlar içerisinde 2 nolu karışımda ise (%10 AÇ+ %45 FZ+ %45 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlar içerisinde ise 6 nolu karışımların (%50 AÇ+ %25 FZ+ %25 AG) uygulandığı topraklarda daha geniş elde edilmiştir. Toprakların C/N oranları esas alınarak, organik atıkların vermikompostlanması ile vermikompostlanmaması arasında da önemli ($P<0.05$) farklılıklar belirlenmiştir. Aynı şekilde, Coleman (1973), Curry ve Bryne (1997), Gupta ve Garg (2008), Morais ve Queda (2003), Suthar (2006; 2008) tarafından da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

4.2.7. Sera ve Tarla Denemeleri Sonunda Alınan Toprak Örneklerinin Biyolojik Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler

4.2.7.1. Toprak solunumu (TS)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinde *Eisenia fetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompostun ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprak örneklerindeki toprak solunumu (mikrobiyal solunum) değişimleri, Şekil 4.44’de ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 32’de verilmiştir.

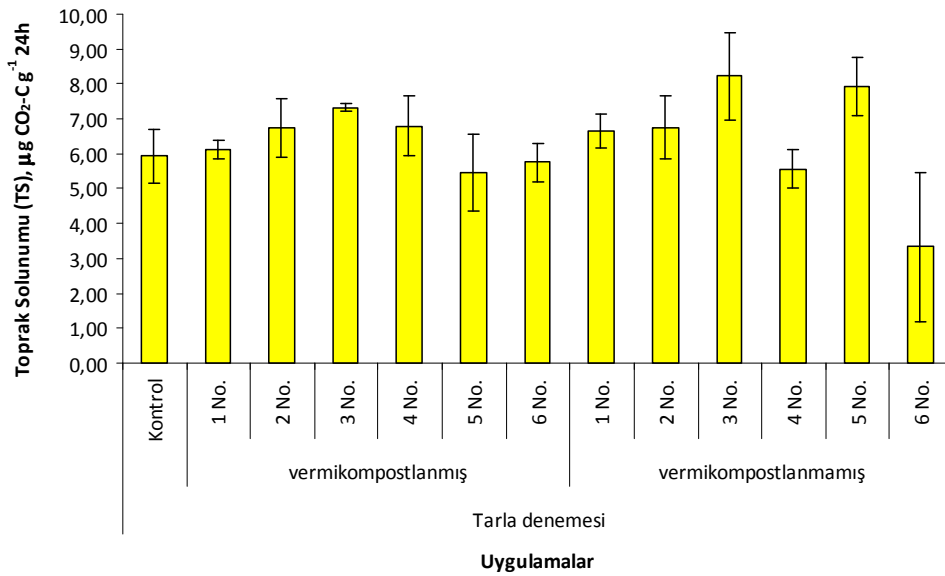


Şekil 4.44. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin mikrobiyal solunum seviyelerindeki değişimler

Sera denemesi sonunda, karışımların uygulandığı parsellere ait toprak örneklerinin mikrobiyal solunum düzeyleri; vermikompostlanmış karışımlar içerisinde 4 nolu karışımda (%30 AÇ+ %35 FZ+ %35 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) en yüksek değerlerde belirlenmiştir. Organik atıkların vermikompostlanarak veya vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu mikrobiyal solunumda meydana gelen değişimlerönemsiz bulunmuş iken, karışımların bileşimine giren organik materyal oranlarındaki değişimler önemli ($P<0.001$) bulunmuştur. Topraklarda üretilen CO_2 'in 2/3'ünü toprak fauna ve mikroflorası üretmekte olup, 1/3'ü de bitki kökleri tarafından

üretilmektedir (Haktanır ve Arcak, 1997). Bu nedenle toprak solunumunun belirlenmesi, aynı zamanda toprakların biyolojik aktivitesinin belirlenmesinde de sıklıkla kullanılan bir değerlendirme şeklidir (Anderson, 1982; Tiunov ve Sheu, 1999). Suthar (2008), vermikompostlaşmada inkübasyon süresinin mikrobiyal solunum üzerine olası etkilerini araştırdığı, 21 günlük bir inkübasyon denemesinde; inkübasyonun 3. gününden sonra mikrobiyal solunumda önemli azalmaların bulunduğunu belirlemiştir.

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin mikrobiyal solunum düzeylerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.45’de ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 32’de verilmiştir.

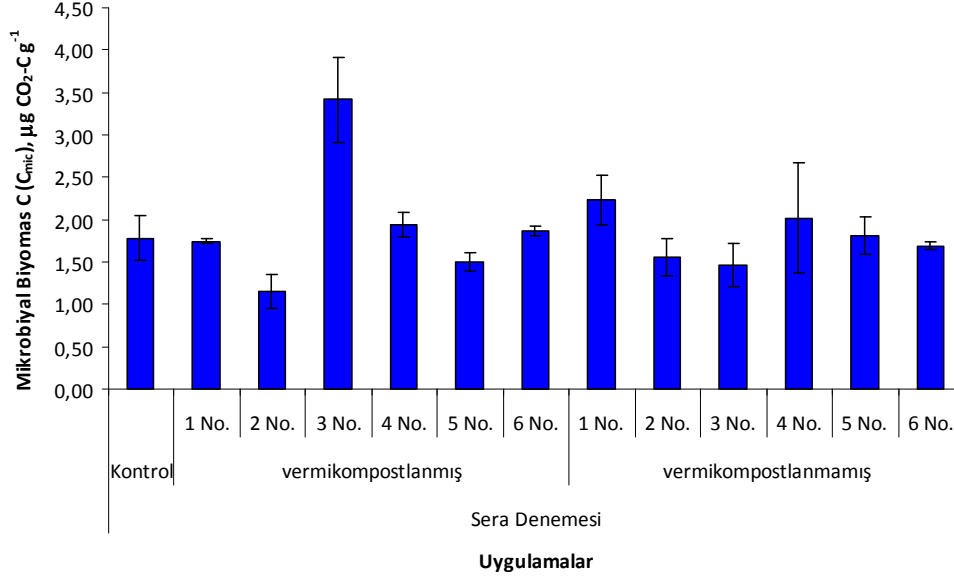


Şekil 4.45. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin mikrobiyal solunum seviyelerindeki değişimler

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerine ait mikrobiyal solunum düzeyleri, vermikompostlanmış karışımlar içerisinde 4 nolu karışımda (%30 AÇ+ %35 FZ+ %35 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) en yüksek seviyelerde belirlenmiştir. Sera denemesinde olduğu gibi iki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) bakımından önemsiz farklılıklar elde edilmekle beraber karışımlar arasında önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır

4.2.7.2. Mikrobiyal biyomas C (C_{mic})

Sera denemesi sonunda, organik atık karışımlarından *Eisenia foetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompostun ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprak örneklerindeki mikrobiyal biyomas C değişimleri Şekil 4.46’da ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 33’de verilmiştir.

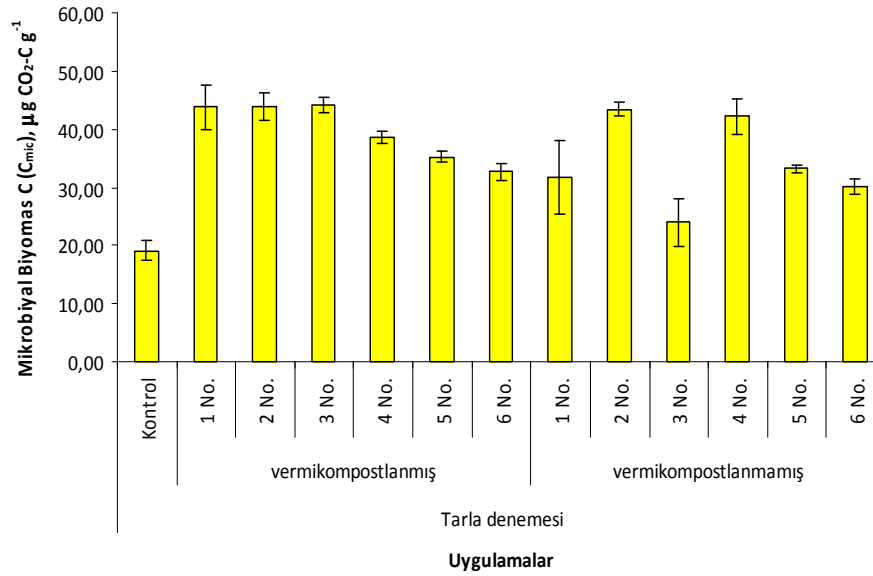


Şekil 4.46. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin mikrobiyal biyomas C (C_{mic}) seviyelerindeki değişimler

Sera denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin mikrobiyal biyomas C’u, vermikompostlanmış karışımlar içerisinde 3 nolu karışımda (%20 AÇ+ %40 FZ+ %40 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlar içerisinde ise 1 nolu karışımda (%0 AÇ+ %50 FZ+ %50 AG) en yüksek seviyelerde saptanmıştır. İki karışım tipi (vermicompostlanmış ve vermikompostlanmamış) arasında önemsiz farklılıklar bulunmakla beraber, karışımlar arasında önemli ($P<0,05$) farklılıklar elde edilmiştir. Toprak mikroorganizmalarının sayısal dağılımı, toprakların fiziko-kimyasal özellikleri ile çok sıkı bir ilişki içerisinde olmakla birlikte topraklara organik madde veya atık uygulamaları gibi kültürel faaliyetler de mikroorganizmaların sayısal dağılımlarını etkileyebilmektedir (Vekemans ve ark., 1989). Toprak mikroorganizmalarının sayısal dağılımı, aynı tip mikroorganizmalar karşılaştırılırken yeterli bir gösterge olmasına karşın, toprak mikroflorasının tamamı değerlendirildiğinde, çok fazla bir anlam ifade

edememektedir. Bu nedenle; toprakların mikrobiyolojik özelliklerinde, toplam mikrobiyal biyomas C belirlenmesi, sıklıkla tercih edilen bir işlemdir (Perucci, 1992; Rogers ve Li, 1985; Nannipieri ve ark., 1990). Tejada ve ark. (2009), vermikompost uygulanmış ve uygulanmamış toprakları kontrole göre kıyasladıkları üç yıllık çalışmalarında, uygulama yapılmış saksıların mikrobiyal biyomas C düzeylerinde önemli artışlar belirlemişlerdir.

Tarla denemesi sonunda ise, toprak örneklerinin mikrobiyal biyomas C değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.47’de ve denemeye ait istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 33’te verilmiştir.



Şekil 4.47. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin mikrobiyalbiyomas C (C_{mic}) seviyelerindeki değişimler

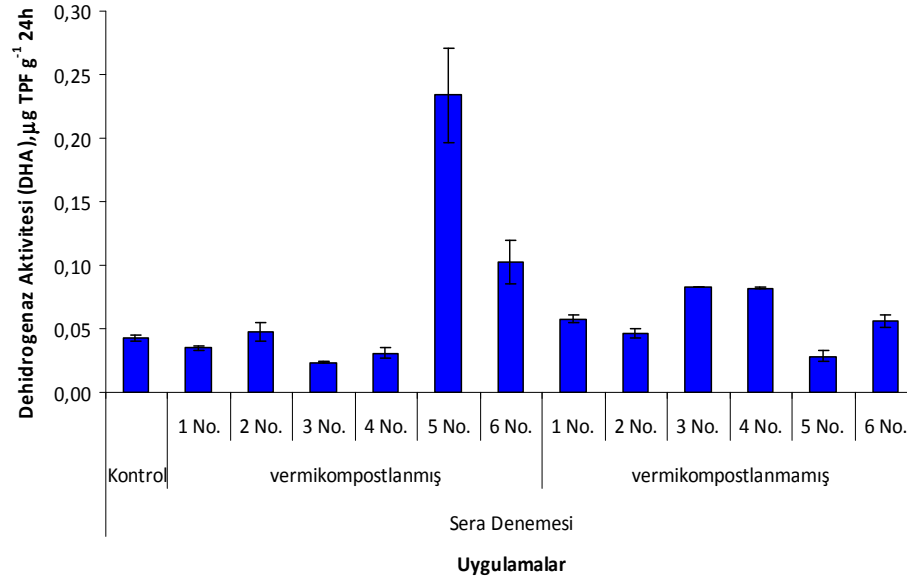
Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyomas C’un, vermikompostlanmış karışımlar içerisinde 1, 2, ve 3 nolu karışımlarda eşit ve en yüksek düzeylerde ve vermikompostlanmamış karışımlar içerisinde ise yine 2 nolu karışımda (%10 AÇ+ %45 FZ+ %45 AG) en yüksek seviyede olduğu saptanmıştır. İki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) arasındaki farklılıklar önemsiz belirlenmiş iken karışımlar arasında önemli ($P<0,001$) farklılıklar belirlenmiştir.

Arancon ve ark. (2005), çalışmalarında besin, kağıt ve çiftlik atığını vermikompostlayarak uyguladıkları alanlarda biber bitkisi yetiştirmişlerdir. Uygulama

yaptıkları toprak örneklerinde, mikrobiyal biyomas C seviyesinde kontrole göre önemli artış olduğunu saptamışlardır. Yapılan pek çok çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Anderson ve Domsch, 1989; Daniel ve Anderson, 1992; Knight ve ark. 1997; Lalande ve ark., 1998).

4.2.7.3. Dehidrogenaz aktivitesi (DHA)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresi karışımlarından *Eisenia fetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompostların ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprak örneklerinde meydana gelen DHA değişimleri Şekil 4.48’de gösterilmiş ve denemeye ait istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 34’te verilmiştir.

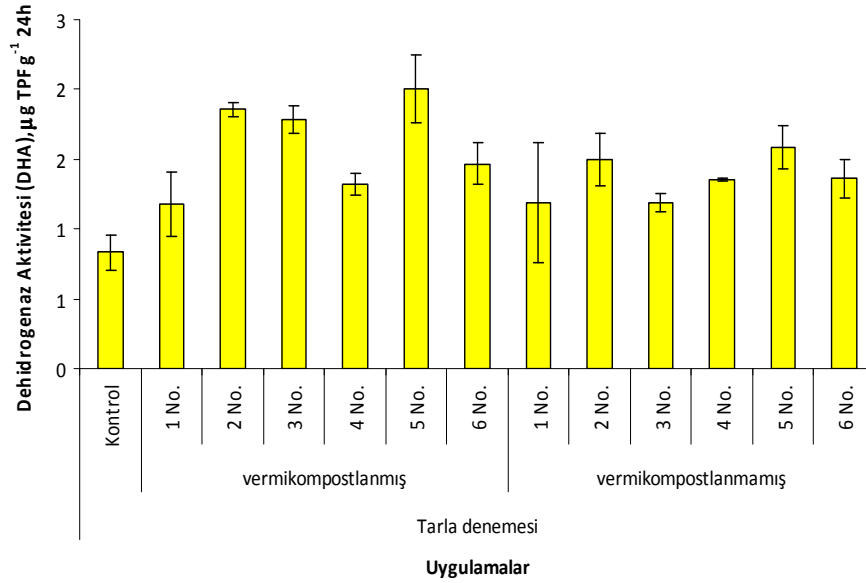


Şekil 4.48. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin dehidrogenaz aktivitesindeki (DHA) değişimler

Sera denemesi sonunda, hasat sonu alınan toprak örneklerine ait en yüksek DHA seviyeleri, vermikompostlanmış karışımlar içerisinde 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlar içerisinde ise 3 nolu karışımda (%20 AÇ+ %40 FZ+ %40 AG) belirlenmiştir. Vermikompostlanmış karışımlardan 1, 2, 3 ve 4 nolu karışımların uygulandığı saksılardan deneme sonunda alınan toprak örneklerinde DHA seviyesinin 5 ve 6. karışımlardan daha düşük olduğu saptanmıştır. İki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) arasında önemli

($P<0,001$) farklılık bulunmakla beraber karışımlar arasında da önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır. Topraklarda DHA, o toprağın mikrobiyolojik aktivitesinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan bir intrasellüler bir enzim olup, toprak mikroflorasının oksidatif aktivitesinin toplam miktarını da göstermektedir (Skujins 1973; Trevors, 1984). Yapılan pek çok çalışmada (Garcia ve ark. 1997; Kaushik ve Garg, 2003; Kızılkaya ve ark., 2004; Moore ve Russel, 1972; Pancholy ve rice, 1973; Rogers ve Li, 1985) dehidrogenaz aktivitesinde benzer sonuçla elde edilmiştir.

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinde ise, toprak örneklerinin DHA değişimleri, Şekil 4.49'da ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 34'te verilmiştir.



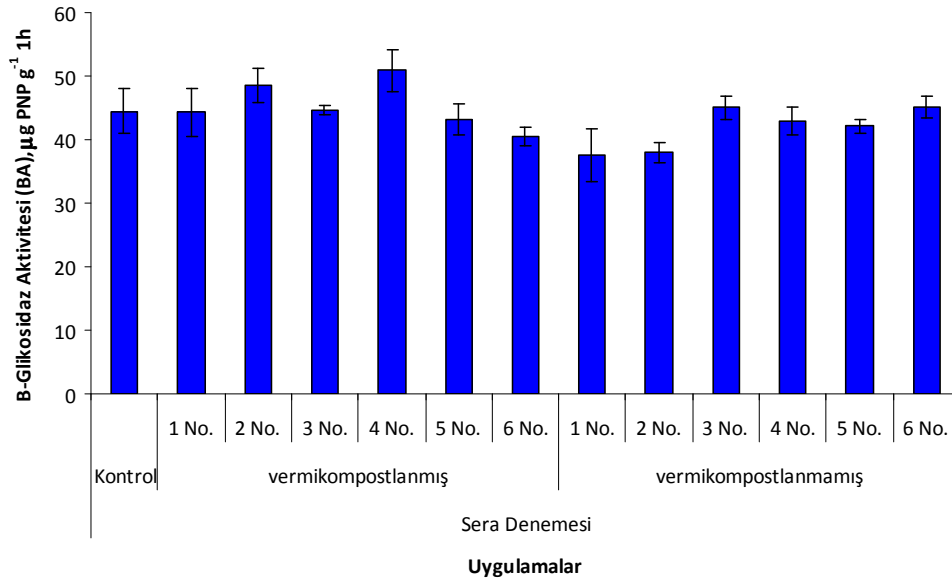
Şekil 4.49. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin dehidrogenaz aktivitesi (DHA) değişimleri

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerindeki en yüksek DHA seviyesi, vermikompostlanmış karışımlardan 5 nolu karışımında (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlardan ise yine 5 nolu karışımında belirlenmiştir. İki karışım tipi karşılaştırıldığında ise vermikompostlanmış karışım uygulanan toprak örneklerinde DHA değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Sera denemesinden elde edilen sonuçlara benzer şekilde iki karışım tipi (vermikompostlanmış ve

vermikompostlanmamış) arasında önemli ($P<0,001$) farklılıklar belirlenmiş iken karışımlar arasında da önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır.

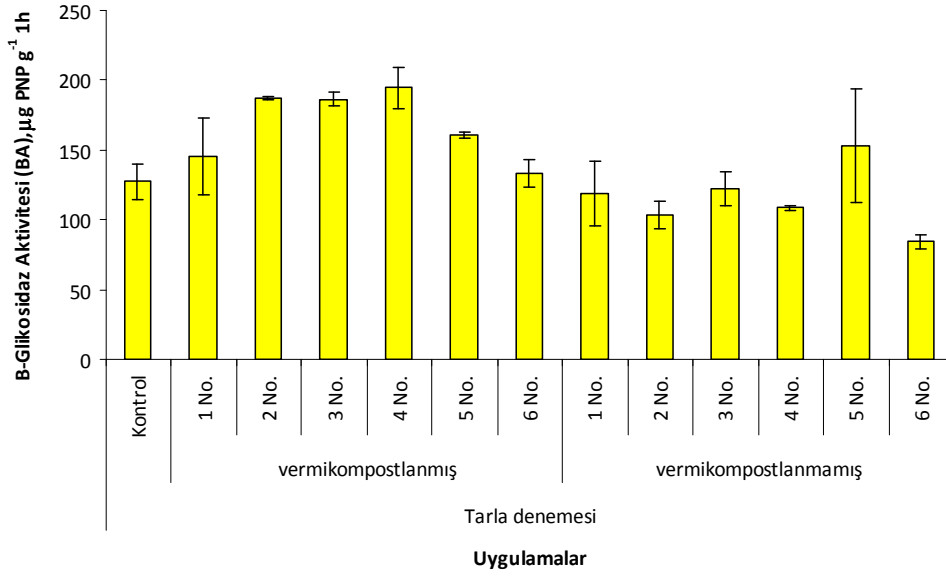
4.2.7.4. β -Glikosidaz aktivitesi (β -GA)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinin *Eisenia fetida* türü solucanlar ile vermikompostlanması ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprak örneklerinin β -Glikosidaz aktivitesi (GA)'deki değişimleri Şekil 4.50'de ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 35'te verilmiştir.



Şekil 4.50. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin β -Glikosidaz aktivitesindeki (GA) değişimler

Sera denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin β -GA değerleri, vermikompostlanmış karışımlardan 4 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlardan ise 3 nolu karışımda (%20 AÇ+ %40 FZ+ %40 AG) en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. İki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) arasında önemli ($P<0,05$) fark ve karışımlar arasında da çok önemli ($P<0,01$) farklılıklar saptanmıştır. Tarla denemesi sonunda ise, toprak örneklerindeki GA değişimleri Şekil 4.51'de ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 35'te verilmiştir.



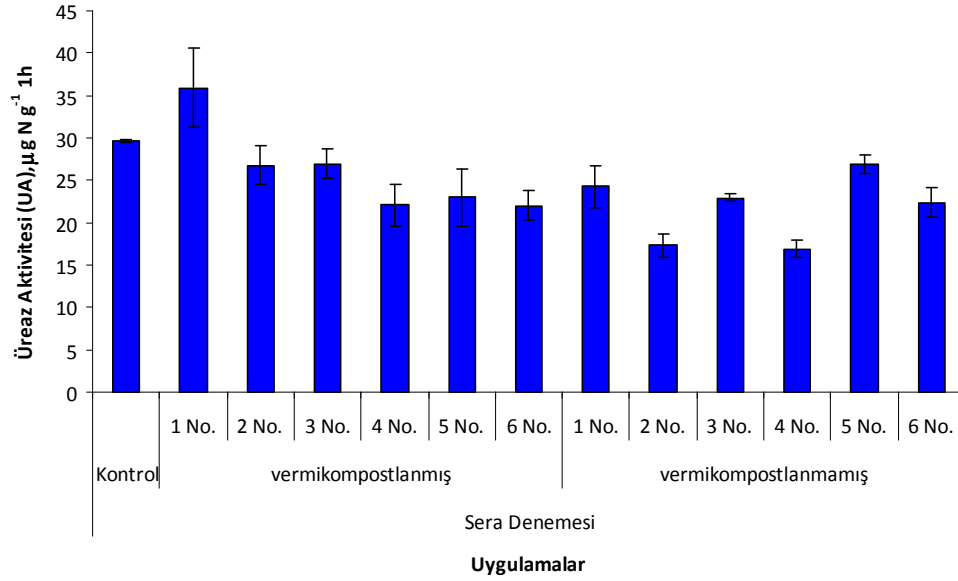
Şekil 4.51. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin β -Glikosidaz aktivitesindeki (GA) değişimler

Tarla denemesi sonunda parsellerden alınan toprak örneklerinin GA, vermikompostlanmış karışımlardan 4 nolu karışımda (%30 AÇ+ %35 FZ+ %35 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlardan ise 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) en yüksek değerler elde edilmiştir. Vermikompostlanmış karışımlardan 1, 2, 3 ve 4 nolu karışımın uygulandığı toprak örneklerinde GA2'nin diğerlerine göre daha yüksek seviyede olduğu saptanmıştır. İki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) ve karışımlar arasında çok önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır.

Benitez ve ark. (1999), tarafından arıtma çamurlarının *Eisenia foetida* solucanları tarafından kompostlaştırılması süreçlerinde enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimlerin araştırıldığı 18 haftalık bir inkübasyon çalışmasında; inkübasyon süresinin sonlarına doğru, β -Glikosidaz aktivitesinde, ortamdaki yarayışlı organik karbon miktarındaki azalmaya bağlı olarak, düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir.

4.2.7.5. Üreaz aktivitesi (UA)

Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinden *Eisenia fetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompostun ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprak örneklerindeki üreaz aktivitesindeki (UA) değişimleri, Şekil 4.52’de ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 36’da verilmiştir.

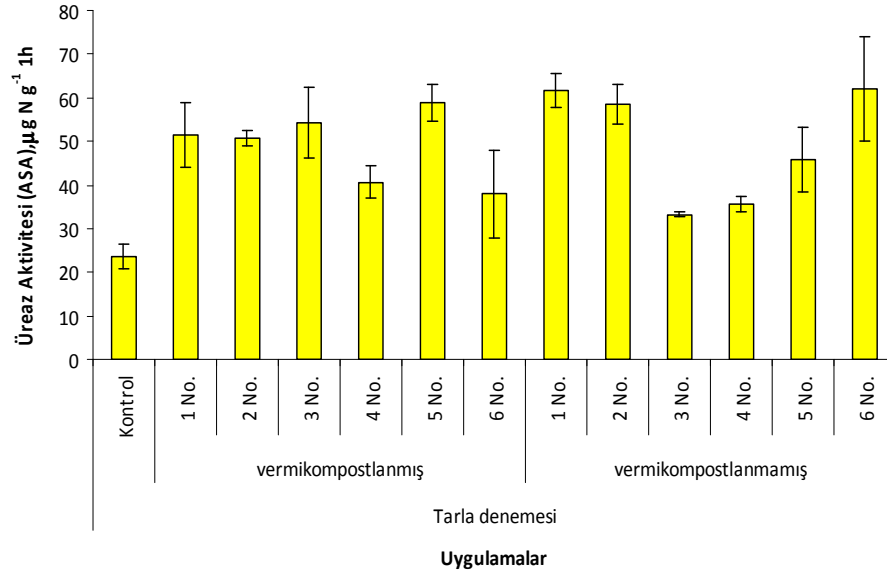


Şekil 4.52. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin üreaz aktivitesindeki (UA) değişimler

Sera denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin UA, vermikompostlanmış karışımlardan karışımın bileşenine arıtma çamuru girmeyen 1 nolu karışımda ve vermikompostlanmamış karışımlardan ise 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) en yüksek düzeylerde belirlenmiştir. İki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) ve karışımlar arasında çok önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır.

Üreaz, ürenin hidrolizini sağlayan ve toprakta özellikle N dönüşümünde görev alan ekstrasellüler (hücre dışı) bir enzimdir (Bremner ve Mulvaney, 1978). Ayrıca, organik maddenin mineralizasyonunda görev almasından dolayı mikrobiyal aktivitenin değerlendirilmesinde de dikkate alınan önemli bir enzimdir.

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerindeki UA değişimleri Şekil 4.53'te ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 36'da verilmiştir.



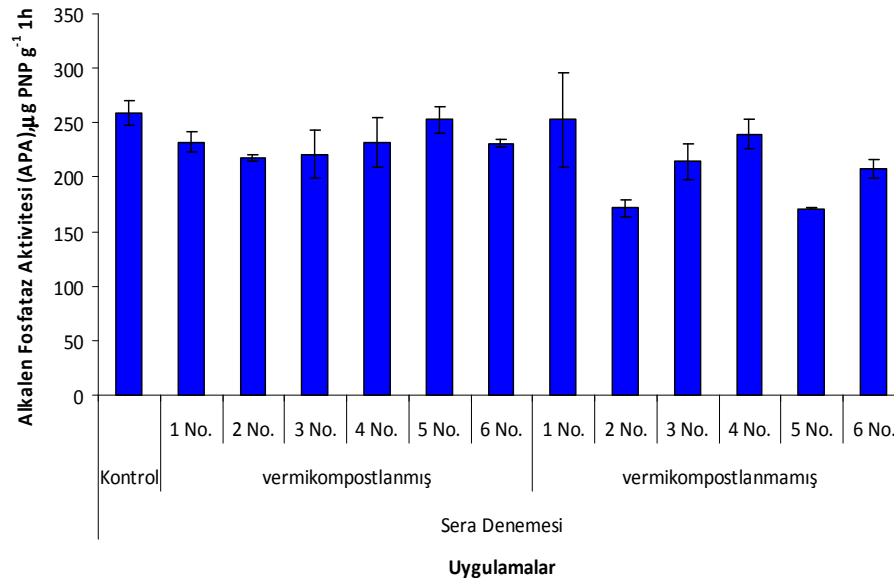
Şekil 4.53. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin üreazaktivitesindeki (UA) değişimler

Tarla denemesi sonunda toprak örneklerinin UA, vermikompostlanmış karışımlardan 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlarda ise 6 nolu karışımda (%50 AÇ+ %25 FZ+ %25 AG) en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. İki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) arasındaki farklılıklar önemsiz iken, karışımlar arasında ise çok önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır.

Bremner ve Mulvaney (1978) ve Tejada ve ark. (2009), tarafından yapılan çalışmalarda, vermikompost uygulaması yapılan saksılarda üreaz aktivitesinde kontrole göre önemli derecede artış belirlemişler ve uygulama yapılmayan topraklarda meydana gelen artışın ise çok düşük düzeylerde olduğunu saptamışlardır.

4.2.7.6. Alkalen fosfataz aktivitesi (APA)

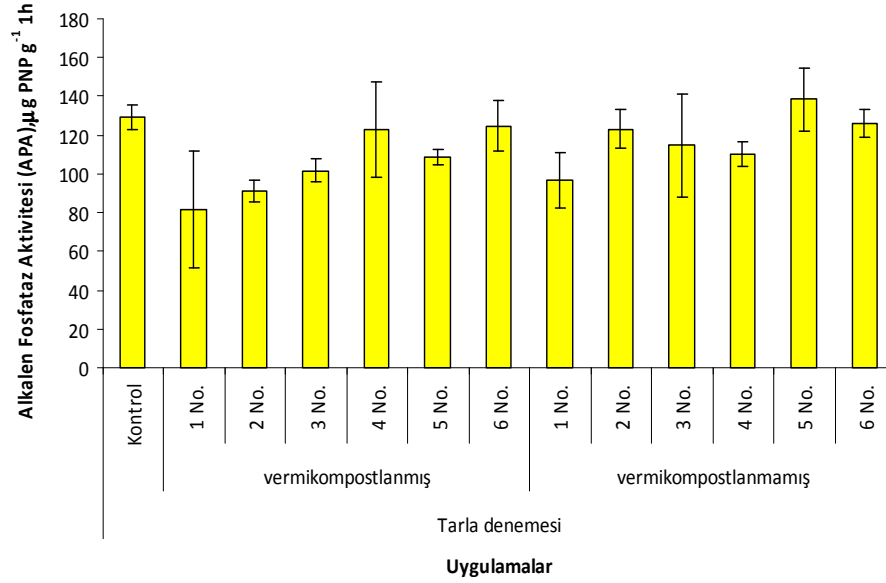
Sera denemesi sonunda farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinden *Eisenia fetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompostun ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprak örneklerinde alkalen fosfataz aktivitesi (APA) değişimleri Şekil 4.54'te ve denemelere ait istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 37'de verilmiştir.



Şekil 4.54. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin alkalen fosfataz aktivitesi (APA) değişimleri

Sera denemesi sonunda, toprak örneklerinin en yüksek APA, hem vermikompostlanmış karışımların hem de vermikompostlanmamış karışımların kontrol saksılarına ait topraklarda elde edilmiştir. Her iki uygulamada da APA kontrolden daha yüksek belirlenmiş ancak vermikompostlanmış karışımlardan 5 nolu karışımda vermikompostlanmamış karışımlardan ise 1 nolu karışımda kontrole benzer sonuçlar saptanmıştır. İki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) ve karışımlar arasında çok önemli ($P < 0,001$) farklılıklar saptanmıştır. Topraklara organik atık ilavesinin, özellikle vermikompost uygulamalarının toprakların fiziksel özelliklerinde (agregatlaşma, su tutma kapasitesi gibi) olumlu etkiler yaparak, mikrobiyal popülasyonu ve bunların aktivitesi ile enzim aktivitesini uyardığı yapılan pek çok çalışma ile ortaya koyulmuştur (Satchell ve Martin, 1984; Alef ve Nannipieri, 1995; Amador ve ark., 1997; Tejada ve ark., 2009; Garcia ve ark., 1997).

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin APA değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.55'te ve denemelere ait istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 37'de verilmiştir.

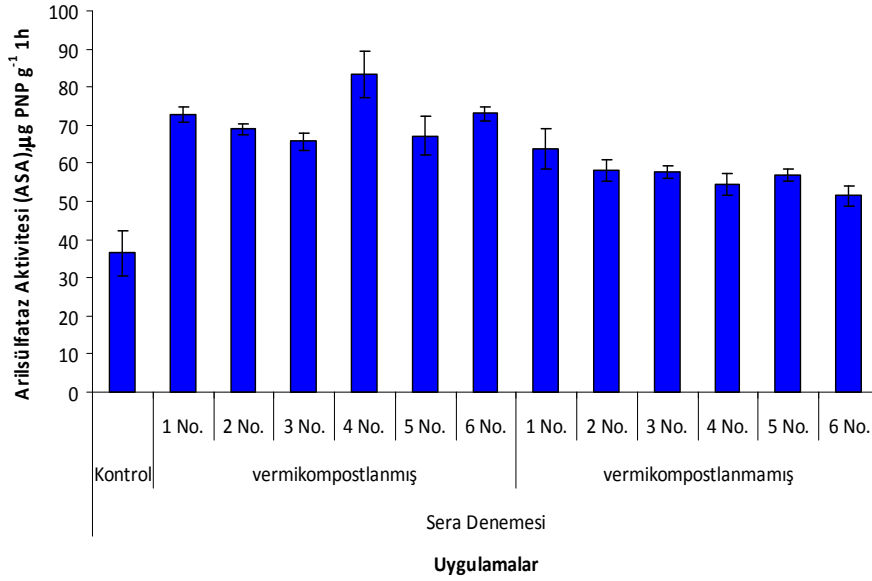


Şekil 4.55. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin alkalen fosfataz aktivitesi (APA) değişimleri

Tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin APA, vermikompostlanmış karışımlarda en yüksek kontrol uygulamasında elde edilmiş ve vermikompostlanmamış karışımlardna ise 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) belirlenmiştir. İstatistiksel açıdan iki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) arasında çok önemli ($P<0,01$) karışımlar arasında da önemli ($P<0,05$) farklılıklar saptanmıştır. Arancon ve ark. (2005), çeşitli organik atıkların (ahır gübresi, besin atığı ve kağıt atığı) vermikompostlanarak arazi koşullarında toprağa uygulanmasının, biber verim ve ürününe etkilerini araştırdıkları çalışmalarında; uygulama yapılmış ve yapılmamış alanların fosfataz aktivitesinin, vermikompost uygulaması yapılmış alanlarda daha yüksek değerlerde olduğunu saptamışlardır.

4.2.7.7. Arilsülfataz aktivitesi (ASA)

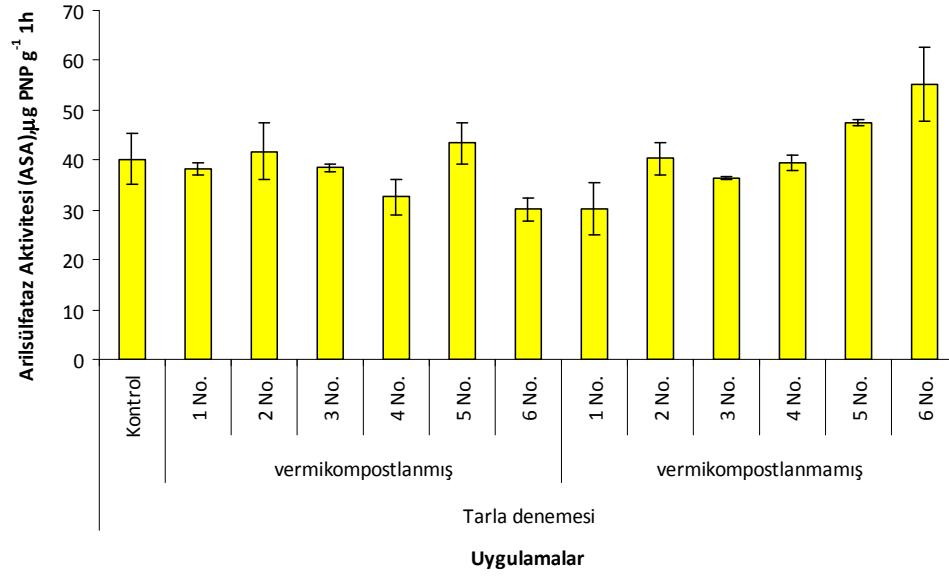
Sera denemesi sonunda, farklı oranlarda karıştırılan arıtma çamuru, fındık zurufu ve ahır gübresinden *Eisenia foetida* türü solucanlar ile elde edilen vermikompostun ve bu atıkların vermikompostlanmadan topraklara uygulanması sonucu, toprak örneklerindeki arilsülfataz aktivitesinde (ASA) meydana gelen değişimler Şekil 4.56'da ve istatistiksel değerlendirmeleri ise Ek 38'de verilmiştir.



Şekil 4.56. Sera denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu saksılardan alınan toprak örneklerinin arilsülfataz aktivitesindeki (ASA) değişimler

Sera denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin ASA, vermikompostlanmış karışımlardan 4 nolu karışımda (%30 AÇ+ %35 FZ+ %35 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlardan ise 1 nolu karışımda (%0 AÇ+ %50 FZ+ %50 AG) en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmelere göre, iki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) arasında ve karışımlar arasında çok önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır. Arilsülfataz enzimi toprakta kükürt (S) dönüşümünde görev alan ekstrasellüler bir enzim olup, organik sülfür formlarındaki O-S bağlarını kırarak, bunların hidrolizini sağlayan mikrobiyal orjinli önemli bir parametredir (Benitez ve ark., 1999; Tejada ve ark., 2009).

Tarla denemesi sonunda ise, alınan toprak örneklerinin ASA değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.57'de ve denemelere ait istatistiksel değerlendirmeler ise Ek 38'de verilmiştir.



Şekil 4.57. Tarla denemesi sonunda hasat edilen buğday bitkisinin bulunduğu parsellerden alınan toprak örneklerinin arilsülfataz aktivitesindeki (ASA) değişimler

Tarla denemesindeki toprak örneklerinin ASA değerleri, vermikompostlanmış karışımlardan 5 nolu karışımda (%40 AÇ+ %30 FZ+ %30 AG) ve vermikompostlanmamış karışımlardan ise 6 nolu karışımda (%50 AÇ+ %25 FZ+ %25 AG) en yüksek aktivite değerleri belirlenmiştir. İki karışım tipi (vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış) arasında önemli ve karışımlar arasında çok önemli ($P<0,001$) farklılıklar saptanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma; fındık zurufu ve arıtma çamurunun solucanlar (*Eisenia foetida*) ile kompostlanması, elde edilen vermikompostun sera ve tarla koşullarında toprakların biyolojik aktivitesi, toprakların ve buğday bitkisinin verim ve Zn kapsamı üzerine etkisinin ortaya koyulması amacıyla yürütülmüştür. Organik materyal olarak kullanılan arıtma çamuru Ankara Büyükşehir Atık Su Arıtma Tesisi'nden (AMAAT), fındık zurufu Ordu ilindeki fındık bahçelerinden, ahır gübresi ise Amasya ili Merzifon ilçesinden temin edilmiştir. Solucan türü, kompostlayıcı bir solucan olan *Eisenia foetida* olarak seçilmiş ve doğal ortam ve yataklıklarının sağlanması için organik atık olarak kullanılan ahır gübresinin içerisinde toplanmıştır. Uygun vermikompost eldesi ve uygun vermikompostlaşma süresinin belirlenmesi amacıyla, organik atıklar (fındık zurufu, ahır gübresi ve arıtma çamuru) farklı oranlarda karıştırılmış ve solucan (*Eisenia foetida*) ilavesi ile 90 günlük inkübasyon denemesi kurulmuştur. İnkübasyon denemesinin sonunda toprağın biyolojik ve kimyasal özelliklerinde ideal organik atık karışım oranının % 30 arıtma çamuru + % 35 fındık zurufu + % 35 ahır gübresi içeren karışım olduğu ve en uygun vermikompostlaşma süresinin ise 90 gün olduğu saptanmıştır. Organik atıkların karışıma giren oranlarından % 60 ve daha üzerinde arıtma çamuru oranı içeren karışımlarda solucanların tamamı ölmüş, dolayısıyla da vermikompost eldesi bu uygulamalarda sağlanamamıştır. Bu durumda AMAAT arıtma çamuru kullanılarak vermikompost eldesinde, arıtma çamurunun diğer organik atıklarla karıştırılması gerektiği ve arıtma çamurunun bu karışıma en fazla % 50 oranında katılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, arıtma çamurundan kaynaklanan Zn zenginleşmesinin, solucanların dokularında ağır metalleri biriktirebilme (biyoakümülyasyon) yeteneği nedeniyle, solucan dokusunda arttığı ve elde edilen vermikompostta ise azaldığı da saptanmıştır. Bu durum, ağır metal içeren arıtma çamurunun içeriğindeki Zn varlığının bir kısmının, solucanlar vasıtasıyla ortamdaki uzaklaştırılabildiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

İnkübasyon denemesi sonuçlarına göre, sera ve tarla denemelerinde kullanılmak üzere, arıtma çamurunun farklı oranlarını içeren karışımlar hazırlanmış ve solucan ilavesiyle vermikompost eldesi sağlanmıştır. Karışımların vermikompostları ve vermikompostlanmamış hallerinin, buğday bitkisinin (*Triticum aestivum*) verimi, besin elementi ve Zn kapsamı üzerine etkisini belirlemek amacıyla sera ve tarla denemesi

kurulmuştur. İnkübasyon denemesi sonunda fındık zurufu, arıtma çamuru ve ahır gübresinin farklı oranlarda karışımlarından, solucanlar ile elde edilen vermikompost ve kullanılan karışımların toprakların biyolojik özellikleri, buğday bitkisinin verimi, organik C ve N kapsamlarıyla Zn kapsamları üzerine etkisi değerlendirildiğinde; vermikompostlanmış karışımların buğday bitkisi verimi üzerine olumlu etkisinin vermikompostlanmamış karışımlarda daha yüksek olduğu, vermikompostlama ile bitki yetiştirme ortamından bitkiye taşınan Zn miktarının daha az olduğu ve karışımlardaki arıtma çamuru oranının artmasıyla buğday bitkisi veriminin de arttığı ortaya konulmuştur.

Toprak biyolojik aktivitesi toprak verimliliğinin en önemli unsurlarından birisi olup toprakta organik maddenin parçalanıp ayrışması, bitki besin elementlerinin açığa çıkması, bu elementlerin bitkinin alabileceği formlara dönüşmesi ve pek çok oksidasyon redüksiyon tepkimelerinde çok önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla toprak biyolojik aktivitesi toprak verimliliği ve toprak sağlığı için dikkate alınan önemli bir parametredir. Toprakta mikrobiyal solunum, mikrobiyal biyomas ve bazı intrasellüler ve ekstrasellüler toprak enzimlerinin aktiviteleri, toprak biyolojik aktivitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada; inkübasyon, sera ve tarla denemelerinde toprak solunum (TS) , mikrobiyal biyomas C (C_{mic}), dehidrogenaz (DHA), glikosidaz (GA), üreaz (UA), alkalin fosfataz (APA) ve arilsülfataz (ASA) aktiviteleri değerlendirilmiştir. İnkübasyon denemesinde UA hariç diğer parametrelerin inkübasyon süresi arttıkça, düşüşler gösterdiği oysa üreaz aktivitesinin 90 gün süresince artış gösterdiği sonucu belirlenmiştir. İnkübasyon süresi arttıkça saksılarda enzim aktivitesi için gerekli substrat azalması ortaya çıkmıştır. Ancak üreaz aktivitesinde ise 90 gün süresince N salınımı devam etmiştir. Vermikompostlanmış ve vermikompostlanmamış karışımların uygulandığı sera ve tarla denemelerinin toprak örneklerinde ise, aynı parametreler kullanılmış ve toprak mikrobiyal aktivitesi organik madde ilavesinden dolayı, hem vermikompostlanmış ve hem de vermikompostlanmamış karışım ilaveli alanlarda kontrole göre daha yüksek düzeylerde belirlenmiştir. Bununla birlikte, vermikompostlanmış karışım uygulanan topraklarda mikrobiyal aktivitenin, diğerlerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla, kompostlanmış karışımların topraklara uygulanmasıyla biyolojik aktivitenin daha yüksek düzeylerde gerçekleşeceği sonucu da ortaya çıkmıştır.

Öneriler,

Aritma çamurunun *Eisenia foetida* türü solucanlar ile vermikompostlanması bu tez çalışmasında gerçekleştirilebilmiştir. Ülkemizde ağır metallerce, özellikle de Zn kapsamı zengin olan AMAAT arıtma çamurunun bu tez kapsamında vermikompostlanabildiğinin belirlenmesi ile Ülkemizdeki diğer şehirlere ait arıtma çamurlarının da vermikompostlanabileceği sonucunu da ortaya çıkarmaktadır. Arıtma çamurları vermikompostlanırken, solucan yaşamı ve vermikompost eldesini sınırlandıran faktörün arıtma çamurlarının yüksek ağır metal içeriğinin yanı sıra büyük ölçüde NH₄-N içeriğine bağlıdır. Alınabilir formlarda fazlaca bitki besin elementi kapsamı nedeniyle organik atık olarak tercih edilen arıtma çamurları, tarımda kullanılmak üzere vermikompostlanacak ise, amonyum içeriğinin yüksek olmaması da dikkat edilmesi gereken önemli noktaların başında gelmektedir.

Tüm organik atıkların vermikompostlanması sürecinde, kompost solucanlarının yaşamsal faaliyetlerini ve vermikompost üretimini sınırlandıran ana faktör, ortamın O₂ seviyesidir. Çünkü bir kompostlama solucanı olan *Eisenia foetida* obligat aerobtur. Kompost solucanları, toprak solucanlarına nazaran havalanmanın yüksek olduğu alanlarda bulunmaktadır. Toprak solucanları mikroaerofil oldukları için toprağın alt katmanlarında (3m'ye kadar) dahi bulunabilmektedirler. Ancak, toprak solucanlarının kompostlayıcı etkileri de bulunmamaktadır. Dolayısıyla her solucan türü, kompostlama işleminde kullanılamaz sonucu da ortaya çıkmaktadır. *Eisenia foetida* ve birkaç tane daha kompostlayıcı tür bulunmaktadır. Ancak bu türler arasında da kompostlama kapasiteleri bakımından farklar bulunmaktadır. Bu çalışma; bir tür etkinliği çalışması olmamakla birlikte, *Eisenia foetida* türü solucanlar, kompostlayıcı türler arasında bilinen en iyi adaptasyonu sağlayan, en hızlı üreyebilen ve en çok organik atık tüketen tür olması nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Bunların yanı sıra vermikompostlama tesisi kurulurken, yığın yüksekliği ve yığının havalanma düzeneği de ortamın oksijen seviyesini kontrol altına almak için iyi şekilde tesis edilmelidir.

Vermikompostlama için kullanılacak solucanların, doğal ortamlarından toplanması gerekir. Tüm organik atık (hayvansal ve bitkisel) yığınlarında ise *Eisenia foetida* kompostlayıcı solucanları, diğer türlerle birarada bulunmaktadır. Vermikompostlama için solucan toplanırken, solucanların cins ve türlerinin tanımlanması, profesyonel bir bilgi gerektirecektir. Dolayısıyla, bilimsel çalışmaların dışında pratikte kullanım için, solucanlar toplanarak vermikompost elde edilmesinde,

solucan çiftliklerinden solucan temin edilmesi ve bu çiftliklerin de tamamı aynı tür olan solucanları sağlayabilmeleri oldukça önemlidir. Aksi halde vermikompostlamanın başarısı, daha solucan temini aşamasında iken düşük kalacaktır.

Profesyonel vermikompost işletmelerinin, Ülkemizde de kurulmasının tarım sektörüne büyük katkıları olacağı düşünülmektedir.

Farklı organik atıkların birlikte kompostlanabilmesi için, söz konusu organik atıklar ve bunların farklı karışımlarının ideal oranlarının ve en uygun vermikompostlama sürelerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan atık fındık zurufu, arıtma çamuru ve ahır gübresi için karışıma girecek en uygun süre ve miktarlar saptanmıştır. Çalışmada, 500 gr organik atık karışımında atıkların ideal oranlarının, % 30 arıtma çamuru + % 35 fındık zurufu + % 35 ahır gübresi olduğu ve 3 adet ergin *Eisenia foetida* solucan türü ile vermikompostlama işleminin en ideal sürenin, 90 gün olduğu ortaya koyulmuştur.

Kompostlamada solucan kullanımının yararları sadece ağır metalleri solucanların bünyelerinde biriktirmeleri, toprak mikrobiyal aktivitesini artırmaları ve ortamın besin elementi konsantrasyonunu arttırarak, bitkisel ürünü arttırması değil aynı zamanda ortamda hastalık etmeni olan patojenleri de baskılamalarıdır. Bu yöndeki çalışmalarında artırılması da toprakların sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik pek çok eksikliği de tamamlayabilecektir.

6.KAYNAKLAR

- Aira, M., Monroy, F., Domingez, J., 2006. C and N ratio strongly affects population structure of *Eisenia foetida* in vermicomposting systems. *European Journal of Soil Biology* 42, 127-131.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F., 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology* 75, 43-48.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F., 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology* 79, 125-129.
- Alef, K., Nanniperi, P., 1995. *Methods in applied soil. Microbiology and Biochemistry* Academic Press. San Diago.
- Amador, J.A., Glucksman, A.M., Lyons J.B., Gorres, J.H., 1997. Spatial distribution of soil phosphatase activity within a riparian forest. *Soil Science* 162, 808-825.
- Anderson, J.P.E., 1982. Soil respiration. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical And Microbiological Properties*, (Page, A.L. (ed.), ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, p. 831-871.
- Anderson, J.P.E., Domsch, K.H., 1978. A physiological method for the quantative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10, 215 - 221.
- Anderson, T.H., Domsch, K.H., 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21, 471-479.
- Arancon, N.Q., 2001. Influences of field applications of vermicomposts on soil microbiological, chemical and physical properties and the growth and yield of strawberries, peppers and tomatoes. The Ohio State University, Environmental Sciences Graduate Program Ph. D. Thesis, USA. p. 298.
- 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. *Pedobiologia* 47, 731-735.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R., Metzger, J.D., 2004(a). Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology* 93, 139-144.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., Metzger, J.D., 2004(b). The influence of vermicompost applications to strawberries: Part 1. Effects on growth and yield. *Bioresource Technology* 93, 145-153.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D., Lucht, C., 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia* 49 (4), 297-306.

- Ataman, Ş., Arcaç, S., 2000. Effects of the sewage sludge of Ankara waste water treatment plant on some soil biological properties. Proceeding of International Symposium on Desertification, 13-17 June 2000, Konya, Turkey, pp. 350-355.
- Atiyeh, R.M., Subler, S., Edwards, C.A., Metzger, J., 1999. Growth of tomato plants in horticultural potting media amended with vermicompost. *Pedobiologia* 43,1-5.
- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S., Metzger, J., 2000 (a). 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., Arancon, N., Edwards, C.A., Metzger, J.D., 2000 (b). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology* 75 (3), 175-180.
- Bandick, A.K., Dick, R.P., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1471-1479.
- Banerjee, M.R., Burton, D.L., Depoe, S., 1997. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 66, 241-249.
- Bansal, S., Kapoor, K.K., 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology* 73, 95-98.
- Beguer, T., Dai, J., Cecile, Q., Lavelle, P., 2005. Sources of bioavailable trace metals for earthworms from a Zn-, Pb- and Cd- contaminated soil. *Soil Biology and Biochemistry* 37(8), 1564-1568.
- 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*. *Bioresource Technology* 67 (3), 297-303.
- Benitez, E., Saizn, H., Melayar, R., Nagales, R., 2002. Vermicomposting of a lignocellulosic waste from olive oil industry: a pilot scale study. *Waste Management and Research*, 20, 134-142.
- Bernal M. P., Parades C., Sanchez-Monedero M. A., Cegarra J., 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic waste. *Bioresource Technology* 63, 91-99.
- Bevacqua R. F., Mellano, V., 1993. Sewage sludge compost's cumulative effects on crop growth and soil properties. *Compost Science and Utilization* 183, 34-40.
- Black C.A., 1965. Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, *Agronomy* 9, American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Bremner, J.M., 1965. Total Nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical And Microbiological Properties*. C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger, F.E. Clark (Eds.), , *Agronomy* 9, ASA, Madison, Wisconsin, USA, p. 1149-1176.

- Bremner, J.M., Mulvaney, R.L., 1978. Urease activity in soils. In: Soil Enzymes, Burns, R.G. (eds), New York: Academic Press, New York, USA. pp. 149-196.
- Bryan, H.H., Lance, C.J., 1991. Compost trials on vegetables and tropical crops. *Biocycle* 32, 36-37.
- Buckerfield, J.C., Webster, K.A., 1998. Worm-worked waste boosts grape yields: prospects for vermicompost use in vineyards. *Australia and New Zealand Wine Industry Journal* 13, 73–76.
- Buckerfield, J.C., Flavel, T.C., Lee, K.E., Webster, K.A., 1999. Vermicompost in solid and liquid forms as a plant-growth promoter. *Pedobiologia* 43, 753–759.
- Butt, K.R., 1993. Utilization of solid paper mill sludge and brewery yeast as a feed for soil-dwelling earthworms, *Bioresource Technology* 44,105-107.
- Cemek B., Kizilkaya R., 2006. Spatial variability and monitoring of Pb contamination of farming soils affected by industry. *Environment Monitoring Assessment* 117, 357–375.
- Chan, P.L.S., Griffiths, D.A., 1988. The vermicomposting of pre-treated pig manure. *Biological Wastes* 24, 57-69.
- Chao, T.T., Zhao, L., 1983. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. *Soil Science Society American Journal* 47, 225-232.
- Chaoui, H.I., Zibilske L.M., Ohno, T., 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 295–302.
- Chaoui, H.I., 2005. Separating earthworms from organic media using an electric field. The Ohio State University, Philosophy in the Graduate School, Ph. D. Thesis, USA.
- Chen, C.L., Liao, M., Huang, C.Y., 2005. Effect of combined pollution by heavy metals on soil enzymatic activities in areas polluted by tailings from Pb-Zn-Ag mine. *Journal of Environmental Sciences* 17, 637–640.
- Coleman, D.C., 1973. Soil carbon balance in a successional grassland. *Oikos* 24,195-199.
- Contreras-Ramos, S.M., Escamilla-Silva E.M., Dendooven, L., 2005. Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw. *Biology and Fertility of Soils* 41,190-198.
- Crommentuijn, T., Doornekamp, A., Van Gestel, C.A.M., 1997. Bioavailability and ecological effects of cadmium on *Folsomia candida* (Willem) in an artificial soil substrate as influenced by pH and organic matter. *Applied of Soil Ecology* 5, 261–271.
- Curry, J.P., Byrne, D., 1997. Role of earthworms in straw decomposition in a winter cereal field. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 555-558.

- Daniel, O., Anderson, J.M., 1992. Microbial biomass and activity in contrasting soil material after passage through the gut of earthworm *Lumbricus rubellus hoffmeister*. *Soil Biology and Biochemistry* 24, 465-470.
- Darwin, C., 1881. The formation vegetable mould through the action of worms with observation of their habits, Murray, London, p.326.
- D'Ascoli, R., Rao, M.A., Adamo, P., Renella, G., Landi, L., Rutigliano, F.A., Terribile, F., Gianfreda, L., 2006. Impact of river overflowing on trace element contamination of volcanic soils in South Italy: Part II. Soil biological and biochemical properties in relation to trace element speciation. *Environmental Pollution* 144,317-326.
- Decker, S.J., 2000. Vermicomposting of cod (*Gadus morhua*) offal mixed with sphagnum peat. Environmental Science Program Memorial University of Newfoundland, MsC thesis, Canada, p. 104.
- de Mora, A.P., Ortega-Calvo, J.J., Gabrera, F., Madejon, E., 2005. Changes in enzyme activities and microbial after "in situ" remediation of a heavy metal-contaminated soil. *Applied of Soil Ecology* 28,125-137.
- Diaz, L., Savage, M., Golueke, C.G., 2002. Composting of municipal solid wates. In: Kreith, F. (Ed.) *Handbook of Solid Waste Management*. Mcgraw-Hill, Inc. New York, USA.
- Dominguez, J., Briones, M.J.I., Mato, S., 1997. Effect of the diet on growth and reproduction *Eisenia andrei* (Oligocheta, Lumbricidae), *Pedobiologia* 41, 566-576.
- Düzgüneş, O., 1963. Bilimsel araştırmalarda istatistik prensipleri ve metodları. Ege Üniversitesi Matbaası. İzmir.
- Edwards, C.A., 1983. Utilization of earthworm composts as plant growth media. In: *International Symposium on Agricultural and Environmental Prospects in Earthworm*. Tomati, U., Grappelli, A. (Eds.), Rome, Italy, pp. 57-62.
- Edwards, C.A., 1995. Historical overview of vermicomposting. *Biocycle*, 36, 56-58.
- Edwards, C.A., 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: *Earthworm Ecology*. Edwards, C.A. (Ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 327-354.
- Edwards, C. A., 2004. *Earthworm ecology*. CRC Press, USA, pp. 441.
- Edwards, C.A., Burrows, I., 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. In: *Earthworms in Waste and Environmental Management*. Edwards, C.A., Neuhauser, E. (Eds.), SPB Academic Press, The Hague, The Netherlands, pp. 21-32.
- Edwards, C.A., Bohlen, P.J., 1996. *Biology and ecology of earthworms*, Chapman&Hall, London.

- Edwards, C.A., Neuhauser, E.F., 1988. Earthworm in waste and environmental management. ISPB Academic Publ. Co, The Hague, Netherlands.
- Edwards, C. A., Dominguez, J., Neuhauser, E. F., 1998. Growth and reproduction of *Perionyx excavatus* (Perr.) (Megascolecidae) as factors in organic waste management. *Biology and Fertility of Soils* 27, 155–161.
- Effron, D., de la Horra, A.M., Defrieri, R.L., Fontanive, V., Palma, P.M., 2004. Effect of cadmium, copper, and lead on different enzyme activities in a native forest soil. *Communication in Soil Science Plant Analysis* 35,1309–1321.
- Elvira , C., Sampedro, L., Benitez, E., Nogales, R., 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A Pilot Scale Study. *Bioresource Technology* 63, 205-211.
- Eivazi, F., Tabatabai, M.A., 1988. Glucosidases and galactosidases in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 20, 601-606.
- FAO, 1982. Application of nitrogen-fixing systems in soil improvement and management. food and agriculture organization of The United Nations. FAO Soils Bulletin 49, Rome.
- Gallagher, A.V., Wollenhaupt, N.C., 1997. Surface alfalfa residue removal by earthworms *Lumbricus Terrestris* L. In A No-Till Agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 471-419.
- Garcia, C., Hernandez, T., Costa, F., 1997. Potential use of Dehydrogenase Activity as an Index of Microbial Activity in Degraded Soils. *Communication in Soil Science Plant Analysis* 28, 123-134.
- Garcia, C., Ceccanti, B., Masciandaro, G., Hernandez, T., 1995. Phosphatase and beta glycosidase activities in humic substances from animal wastes. *Bioresource and Technology* 53, 79-87.
- Garcia-Gomez, A., Bernal, M.P., Roig, A., 2002, Growth of ornamental plants in two composts prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology* 83, 81-87.
- Garg, V.K., Chand, S., Chillar, A., Yadav, A., 2005. growth and reproduction of *Eisenia foetida* in various animal wastes during vermicomposting. *Applied Ecology and Environmental Research* 3 (2),51-59.
- Garg, V. K., Kaushik, P., 2005. Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology* 96, 1063-1071.
- Garg, V.K. , Gupta, R., Yadav A., 2008. Potantial of vermikomposting technology in solid waste management. *Current Developments in Solid-State Fermentation*, Springer, India 468-511.

- Geiger, G., Brandi, H., Furner, G., Schulin, R., 1998. The effect of copper on the activity of cellulase and β -glucosidase in the presence of montmorillonite or Al-montmorillonite. *Soil Biology and Biochemistry* 30,1537–1544.
- Giovanetti, A., Fesenko, S., Cozzella, M.L., Asencio, L.D., Sansone, U., 2010. Bioaccumulation and biological effects in the earthworm *Eisenia fetida* exposed to natural and depleted uranium. *Journal of Environmental Radioactivity* 101(6), 509-516.
- Glinsky, J., Stepniewska, Z., Brzezinska M., 1986. Characterization of the dehydrogenase and catalase activity of the soils of two natural sites with respect to the soil oxygenation status. *Polish Journal of Soil Science* 2, 47-52.
- Gouin, F.R., 1998. Using compost in the ornamental horticulture industry. In: *Beneficial Co-utilization of Agricultural, Municipal and Industrial Bioproducts*. Brown, S., Angle, J.S., Jacobs, L. (Eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 131-138.
- Guan, S. Y., 1989. Studies on the factors influencing soil enzyme activities: 1. effects of organic manures on soil enzyme activities and N and P transformations. *Acta Pedologica Sinica* 26, 72-78.
- Gupta, S. K., Tewari, A., Srivastava, R., Muthy, R. C., Chandra, S., 2005. Potential of *Eisenia fetida* for sustainable and efficient vermicomposting of fly ash. *Water, Air, and Soil Pollution* 163,293-302.
- Gupta, R., Garg, V.K., 2008. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. *Journal of Hazardous Materials* 162, 430-439.
- Haktanır, K., Arcaç, S., 1997. *Toprak Biyolojisi (Toprak Ekosistemine Giriş)* Ankara Üniversitesi Yayınları No. 1486. Ankara.
- Hartenstein, R., 1978. The most important problem in sludge management as seen by a biologist, in utilization of soil organisms in sludge management. Hartenstein, R. (Ed.), National Technical Information Service, Pb286932, Springfield, Virginia, pp. 2-8.
- Hartenstein, R., Mitchell, M.J., 1978. Utilization of earthworms and microorganisms in stabilization, decontamination and detoxification of residual sludges from treatment of wastewater. Final report, US Department of Commerce, National Technical Information Services, BP 286018, Springfield, Virginia. p. 34.
- Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Golchin, A., Shariatmadari, H., 2004. Comparison of vermicompost and composts as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition* 27, 1107-1123.
- Haug, R.T., 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Florida: Lewis Publishers.
- Haynes, R., Fraser, P., 1998. A comparison of aggregate stability and biological activity of the earthworms *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea giardi* and consequences on C transfer in soil. *European Journal of Soil Biology* 36, 27-34.

- Hendriksen, N.B., 1997. Earthworm effects on respiratory activity in a dung-soil system. *Soil Biology and Biochemistry* 29,347-351.
- Hernández, T., Moral, R., Perez-Espinosa, A., Moreno-Calles, J., Perez-Murcia, M.D., Garcia, C., 2002. Nitrogen mineralization on potential in calcereous soils amended with sewage sludge. *Bioresource Technology* 83,213-219.
- Hinesly, T. D., Jones, R.L., Ziegler, E.L., 1972. Effects on corn applications of heated anaerobically digested sludge. *Compost Science* 13, 26-30.
- Hinojosa, M.B., Carreira, J.A., Garcia-Ruiz, R., 2004. Soil moisture pre-treatment effects on enzyme activities as indicators of heavy metal-contaminated and reclaimed soils. *Soil Biology and Biochemistry* 36,1559–1568.
- Hobbolen, P.H.F., Koolhass, J. E., Gestel, C.A., 2006. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworms *L. Rubellus* and *A. caliginosa* in relation to total and available metal concentrations in field soils. *Environmental Pollution* 144, 639-646.
- Hobson, P.N., Wheatly, A.D.,1993. *Anaerobik Digestion: Modern theory end practice*. Elsevier Science Publishers Ltd. London.UK.
- Hoffman, G.G., Teickher, K., 1961. Ein Colorometrisches Verfahren zur Bestimmung der urease Aktivitat in Böden. *Zeitschrift Für Pflanzenernahrung und Bodenkunde* 91, 55-63.
- Hoitink, H. A. J., 1993. Proceedings review: international symposium on composting research. *Compost Science and Utilization* 37.
- Hoitink, H.A.J., Fahy, P., 1986. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Annual Review of Phytopathology* 24,93-114.
- Huang, Q., Shindo, H., 2000. Effects of copper on the activity and kinetics of free and immobilized acid phosphatase. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1885–1892.
- Inbar, Y., Chen, Y., Hadra, Y., Hoitink, H.A.J., 1991. Approaches to determining compost maturity. In: staff of Biocycle (Ed.), *The Biocycle Guide to the Art and Science of Composting*. p. 183-187.
- Jackson, M.C. 1962. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall. Inc.Eng.Cliff. USA.
- Jamil, M., Qasim, M., Umar., Subhan, A., 2004. Impact in organic wastes (bagasse ash) on the yield of wheat (*Triticum aestivum*) in a calcaceous soil. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6 (3), 468-470.
- Jégou, D., Cluzeau, D., Hallaire, V., Balesdent, J., Tréhen, P., 2000. Burrowing activity of the earthworms *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea giardi* and consequences on C transfer in soil. *European Journal of Soil Biology* 36, 27-34.
- Jégou, D., Schrader, S., Diestel, H., Cluzeau, D., 2001. Morphological, physical and biochemical characteristics of burrow walls formed by earthworms. *Applied Soil Ecology* 17,15-174.
- Jeyabal, A., Kuppuswamy, G., 2001. *European Journal of Agronomy* 15, 153-170.

- Jordao, C.P., Fialho, L.L., Cecon, P.R., Matos, A.T., Neves, J.C.L., Mendonca, E.S., Fontes, R.L.F., 2006. Effects of Cu, Ni and Zn on lettuce grown in metal-enriched vermicompost amended soil. *Water, Air, and Soil Pollution* 172, 21-38.
- Kacar, B., 1972. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri I. Bitki Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No. 453, Ankara.
- Kacar, B., 1995. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri II. Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No. 3, Ankara.
- Kahkonen, M.A., Lankinen, P., Hatakka, A., 2008. Hydrolytic and lignolytic enzyme activities in the Pb contaminated soil inoculated with litter-decomposing fungi. *Chemosphere* 72, 708–714.
- Kale, R.D., Bano, K., Krishnamoorthy, R.V., 1982. Potential of *Perionyx excavatus* for Utilization of Organic Wastes, *Pedobiologia* 23, 419-425.
- Kale, R.D., Mallesh, B.K., Bagyaraj, D.J., 1992. Influence of vermicompost application on the available macro nutrients and selected microbial population in a paddy field. *Soil Biology and Biochemistry* 24, 1317-1320.
- Kaplan, D., Hartenstein, R., Neuhauser, E.F., Malecki, M.R., 1980. Physiochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biology and Biochemistry* 12, 165-171.
- Karaca, A., Haktanır, K., 2000. Aritma çamurlarının toprakta alınabilir kurşun ve dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerine etkileri. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(3), 13-19.
- Karaca, A., Naseby, D., Lynch, J., 2002. Effect of cadmium contamination with sewage sludge and phosphate fertiliser amendments on soil enzyme activities, microbial structure and available cadmium. *Biology and Fertility Soil* 35, 435-440.
- Karaca, A., Kizilkaya, R., Turgay, O.C., Cetin, S.C., 2010(a). Effects of Earthworms on the Availability and Removal of Heavy Metals in Soil. In: *Soil Heavy Metals, Soil Biology*, I. Sheremati and A. Varma (Eds.), Vol. 19., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 369-388.
- Karaca, A., Çetin, S.C., Turgay, O.C., Kizilkaya, R., 2010(b). Effects of Heavy Metals on Soil Enzyme Activities. In: *Soil Heavy Metals, Soil Biology*, I. Sheremati and A. Varma (Eds), Vol. 19., Springer Verlag Berlin Heidelberg, p. 237-267.
- Kaushik, P., Garg V.K., 2003. Vermicomposting of mixed solid textile mill sludge and cow dung with epigeic earthworm *Eisenia foetida*, *Bioresource Technology*, 90, 311-316.
- Kaushik, P., Garg, V.K., 2004. Dynamics of biological and chemical parameters during vermicomposting of solid textile mill sludge mixed with cow dung and agricultural residues. *Bioresource Tecnology* 94, 203-209.
- Keplin, B., Broll, G., 1997. Earthworms and dehydrogenase activity of urban biotops. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 533-536.

- Khan, S., Cao, Q., Hesham, A.E.L., Xia, Y., He, J., 2007. Soil enzymatic activities and microbial community structure with different application rates of Cd and Pb. *Journal of Environmental Sciences* 19,834–840.
- Kızılkaya, R., 2004. Cu and Zn accumulation in earthworm *L. Terrestris* L. in sewage sludge amended soil and fractions of Cu and Zn in casts and surrounding soil. *Ecological Engineering* 22, 141-151.
- Kızılkaya, R., 2005. The role of different organic wastes on zinc bioaccumulation by earthworm *Lumbricus Terrestris* L. (Oligochaeta) in successive Zn added soil. *Ecological Engineering* 25, 322-331.
- Kızılkaya, R., 2008. Dehydrogenase activity in *Lumbricus terrestris* casts and surrounding soil affected by addition of different organic wastes and Zn. *Bioresource Technology* 99, 946-953.
- Kızılkaya R., Bayraklı B., 2005. Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. *Applied Soil Ecology* 30,192–202.
- Kızılkaya, R., Hepşen, Ş., 2004. Effect of biosolid amendment on enzyme activities in earthworm (*Lumbricus terrestris*) casts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 16, 202-208.
- Kızılkaya, R., Askin, T., 2002. Influence of cadmium fractions on microbiological properties in Bafra plain soils. *Archives of Agronomy and Soil Science* 48,263-272.
- Kızılkaya, R., Aşkın, T., Bayraklı, B., Sağlam, M., 2004. Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology* 40, 95-102.
- Kızılkaya, R., Bayraklı, B., 2005. Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. *Applied Soil Ecology* 30, 192-202.
- Kızılkaya, R., Hepşen, Ş., 2007. Microbiological properties in earthworm *Lumbricus terrestris* L. cast and surrounding soil amended with various organic wastes. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 38, 2861-2876.
- Kick, H., Burger, H., Sommer, K., 1980. Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, hg, Cu, Ni, Cr und Co in landwirtschaftlich und gaertnerisch genutzten. Böden Nordrehin-Westfalens *Landwirtsch Forschung* 33,12-22.
- King, L.D., Morris, H.D., 1972. Land disposal of liquid sewage sludge: 2. the effects on soil pH, manganese, zinc, and growth and chemical composition of rye. *Journal of Environmental Quality* 1, 325-329.
- Knight, B.P., Mcgrath, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Haris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Biomass carbon measurements and substrate utilization patterns of microbial populations from soils amended with cadmium, copper, or zinc. *Applied Environmental Microbiology* 63, 39-43.
- Kumar, A.C., 1994. State of the art report on vermiculture in India, Council for Advancement of Peoples Action and Rural Technology (CAPART), New Delhi.

- Kunito, T., Saeki, K., Gato, S., Hayashi, H., Oyaizu, H., Matsumoto, S., 2001. Copper and zinc fractions affecting microorganisms in long term sludge amended soils. *Bioresource and Technology* 79, 135-146.
- Kuperman, R.G., Carreiro, M.M., 1997. Soil heavy metal concentrations, microbial biomass and enzyme activities in a contaminated grassland ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 29,179–190.
- Lalande, B., Gagon, B., Simard, R.R., 1998. Microbial biomass C and alkaline phosphatase activity in two compost amended soils. *Canadian Journal Soil Science* 78, 581-587.
- 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 Biology and Biochemistry* 24, 1491-1498.
- Lee, K. E., 1985. Earthworms their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Sydney.
- Li, L., Xu, Z., Wu, J., Tian, G., 2010. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida* in relation to bioavailable metal concentrations in pig manure. *Bioresource Technology* 101, 3430-3436.
- Liu, X., Hu, C., Zhang, S., 2005. Effects of earthworm activity on fertility and heavy metal bioavailability in sewage sludge. *Environment International* 31, 874-879.
- Loehr, R.C., Neuhauser, E.F., Malecki, M.R., 1985. Factors affecting the vermicomposting process: *Water Research* 19,1311-1317.
- Loh, T. C., Lee, Y. C., Liang, J. B., Tan, DD, 2005. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia fetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresources Technology* 96, 111-114.
- Lorenz, N., Hintemann, T., Kramarewa, T., Katayama, A., Yasuta, T., Marschner, P., Kandeler, E., 2006. Response of microbial activity and microbial community composition, in soils to long-term arsenic and cadmium exposure. *Soil Biology and Biochemistry* 38,1430–1437.
- Malley, C., Nair, J., Ho, G., 2006. Impact of heavy metal on enzymatic activity of substrate and on composting worms *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* 97, 1498-1502.
- Manna, M. C., Singh, M., Kundu, S., Tripathi, A. K., Takkar, P. N., 1997. Growth and reproduction of the vermicomposting earthworm *Perionyx excavatus* as influenced by food materials, *Biology and Fertility Soils* 24, 129-132.
- Marinussen, M.P.J.C., Van Der Zee A.T.M., De Haan F.A.M., 1997. Cu accumulation in the earthworm *Dendrobaena vetena* in a heavy metal (Cu, Pb, Zn) contaminated site compared to Cu accumulation in laboratory experiment. *Environmental Pollution* 96 (2), 227-233.
- Marsh, L., Subler, S., Mishra, S., Marini, M., 2005. Suitability of aquaculture effluent solid mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting. *Bioresource Technology* 96, 413-418.

- Martin, D.L., Gershuny, G., 1992. The rodale book of composting. Pennsylvania: Rodale pres.
- Masciandaro, G., Ceccanti, B., Garcia C., 1997. Soil agro-ecological management: fertirrigation and vermicompost treatments. *Bioresource Technology* 59, 199-206.
- Materechera, S.A., 2002. Nutrient availability and maize growth in a soil amended with earthworm casts from a South Africa indigenous species. *Bioresource Technology* 84,197-201.
- Matuseviciute, A., Eitminaviciute, I., 2005. Effects of a cadmium concentrations on survival, reproduction and adaptation on *Eisenia fetida* clifornica. *Acta Zoologica Lituanica*, 15 (4), 361-369.
- Mba, C.C., 1996. Treated cassava peel vermicomposts enhanced earthworm activities and cowpea growth in field plots. *Resource Conservation and Recycling* 17, 219-226.
- Moore, A.W., Russel, J.S., 1972. Factors affecting dehydrogenaseactivity as an index of soil fertility. *Plant Soil* 37, 675–682.
- Morais, F.M.C., Queda, C.A.C., 2003. Study of storage influence on evolution of stability and maturity properties of MSW composts. In: *Proceedings of the Fourth International Conference of ORBIT Association on Biological Processing of Organics: Advances for a Sustainable Society Part II*, Perth, Australia.
- Morgan, J.E., Morgan, A.J., 1992. Heavy metal concentrations in the tissues, ingesta and faeces of ecophysiologicaly different earthworm species. *Soil Biology and Biochemistry* 24,1691–1697.
- Monero, J.L., Hernandez, T., Garcia, C., 1999. Efects of a cadmium-contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. *Biology and Fertility of Soils* 28, 230-237.
- Munn, K.J., Evans, J., Chalk, P.M., 2000. Mineralisation of soil and legume nitrogen in soilstreathed with metal contaminated sewage sludge. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 2031-2043.
- Nannipieri, P., Ceccanti, B., Grego, S., 1990. Ecological significance of the soil biological activity in soil. In: *Soil Biochemistry*,. Bollag, J.M. and Stotzky, G. (Eds.). New York: Marcel Dekker. pp. 415-471.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A., Das, K.C., 1999. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology* 71(1), 5-12.
- Ndegwa, P.M., Thompson S.A., Das K.C., 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology* 71,5-12.

- Ndegwa P.M., Thompson S.S., 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology* 76,107-112.
- Neuhauser, E.F., Loehr, R.C., Milligan, D.L., Malecki, M.R., 1985. Toxicity of metals to the earthworm *Eisenia fetida*. *Biology and Fertility of Soils* 1,149–152.
- Neuhauser, E.F., Loehr, R.C., Malecki, M.R., 1988. The potential of earthworms for managing sewage sludge. In: *Earthworms in Waste And Environmental Management*, Edwards, C. A. and Neuhauser E. F., The Hauge (Eds.), The Netherlands, pp. 9-20.
- Oliveira, A., Pampulha, M.E., 2006. Effects of long-term heavy metal contamination on soil microbial characteristics. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 102,157–161.
- Orozco, F.H., Cegerra, L.M., Trujillo, L.M., Roig, A., 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworms *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils* 22, 162-166.
- Özdemir, N., Kızılkaya, R., Hepşen, Ş., Yakupoğlu, T., 2007. Sequential micronutrients extraction from toposequences of pasture soils. *Asian Journal of Chemistry* 19,4025-4034.
- Paoletti, M.G., 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture Ecosystem Environment* 74,137–155.
- Pancholy, S.K., Rice, E.L., 1973. Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, cellulase, invertase dehydrogenase and urease. *Soil Science Society of America Proceedings* 37, 47-50.
- Parades C., Bernal M.P., Cegarra J., Roig A., Navarro A.F., 1996. Nitrogen transformation during the composting of different organik waste. In: Van Cleemput O., Hofman G., Vermoesen A. (Eds) *Progress In Nitrogen Cycling Studies*. Kluwer, Dordrecht, p. 121-125.
- Parveresh, A., Movahedian, H., Hamidian, L., 2004. Vermistabilization of municipal wastewater sludge with *Eisenia fetida*. *Iranian Journal of Environmental Health and Science Engineering*, 1(2), 43-50.
- Pearson, M.S., Maenpaa, K., Pierzynski, G.M., Lydy, M.J., 2000. Effects of soil amendments on the bioavailability of lead, zinc, and cadmium to earthworms. *Journal of Environmental Quality* 29, 1611-1617.
- Pepper, I.L. Gerba, C.P., Brendecke, J.W., 1995. *Environmental Microbiology: A Laboratory Manual*. Academic Press, New York, pp. 175.
- Perucci, P., 1992. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. *Biology and Fertility of Soils* 14, 54-60.
- Puget, P., Chenu, C., Balastent, J., 2000. Dynamic of soil organic matter associated with practice-size fractions of water stable aggregates. *European Journal of Soil Science* 51, 595-605.

- Reinecke, A.J., Viljoen, S.A., Sayman, R.J., 1992. The suitability of *Eudrilus Eugeniae*, *Perionix excavates* and *Eisenia fetida* (Oligocheta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of their requirements. *Soil Biology and Biochemistry* 24, 1295-1307.
- Rogers, J.E., Li, S.W., 1985. Effect of heavy metal and other inorganic ions on soil microbial activity: soil dehydrogenase assay as a simple toxicity test, *Bulletin Of Environmental Contamination and Toxicology* 34, 858-865.
- Rost, V., Joergensen, R.G., Chander, K., 2001. Effects of Zn enriched sewage sludge on microbial activities and biomass in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 633-638.
- Rowell, D.L., 1996. *Soil Science: Methods And Applications*. 3rd Edition Longman. London, UK.
- Ruiz, E., Rodríguez, L., Alonso-Azcárate, J., 2009. Effects of earthworms on metal uptake of heavy metals from polluted mine soils by different crop plants. *Chemosphere* 75, 1035-1041.
- Ryan, J., Estefan, G., Rashid, A., 2001. *Soil And Plant Analysis Laboratory Manual*. Syria: International Center For Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Satchell, J.E., 1983. Earthworm Microbiology. In: *Earthworm Ecology from Darwin to Vermiculture*. Satchell, J.E. (Ed.). Chapman and Hall, London. pp. 351-364.
- Satchell, J.E., Martin, K., 1984. Phosphatase activity in earthworm Faeces. *Soil Biology and Biochemistry* 16, 191-194.
- Scaps, P., Grelle, C., Decamps, M., 1997. Cadmium and lead accumulation in the earthworm *Eisenia fetida* (savigny) and its impact on cholinesterase and metabolic pathway enzyme activity. *Comparative Biochemistry and Physiology* 116, 3.
- Scullion, J., Malik, A., 2000. Earthworm activity affecting organic matter, aggregation and microbial activity in soils restored after opencast mining for coal. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 119-126.
- Senesi N., 1989. Composted materials as organic fertilizer. *Science Total Environmental* 81, 521- 542.
- Sharma, S.K., Kerala, N., Singh, G.R., Kalra, N., 2001. Fly ash incorporation effect on the soil health and yield of maize and rice. *Journal Scientific and Industrial Research* 60, 580-585.
- Shen, G., Lu, Y., Zhou, Q., Hang, J., 2005. Interaction of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals on soil enzyme. *Chemosphere* 61, 1175-1182.
- Shuman, L.M., 1983. Sodium hypochloride methods for extracting micronutrients associated with soil organic matter. *Soil Science Society America Journal* 47, 656-660.

- Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K., Patil, R.T., 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresource Technology* 99, 8507-8511.
- Skujins, J., 1973. Dehydrogenase: An indicator of biological activities in arid soil. *Bulletin Ecological Communication (Stockholm)* 17, 97-110.
- Speir, T.W., Kettles ,H.A., Parshotam, A., Searle, P.L., Vlaar, L.N.C., 1999. Simple kinetic approach to determine the toxicity of As[V] to soil biological properties. *Soil Biology and Biochemistry* 31,705–713.
- Subler, S., Edwards, C.A., Metzger, J.D., 1998. Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle* 39, 63-66.
- Sumner, M., 2000. *Handbook of soil science*. CRC Press Washington, USA. pp.77-87.
- Suthar, S., 2006. Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompostproduction. *Bioresource Technology* 97, 2474–2477.
- Suthar, S., 2007. Production of vermifertilizer from guar gum industrial wastes by using composting earthworm *Perionyx sansibaricus* (perrier). *Environmentalist* 27,329-335.
- Suthar, S., 2008. Microbial and decomposition efficiencies of monoculture and polyculture vermireactors, based on epigeic and anecic earthworms. *World Journal Microbiology Biotechnology* 24,1471-1479.
- Suthar, S., 2009(a). Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Journal of Hazardous Materials* 163,199-206.
- Suthar, S., 2009(b). Potential of *Allolobophora parva* (Oligochaeta) in vermicomposting. *Bioresource Technology* 100, 6422–6427.
- Suthar, S., 2009(c). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecological Engineering* 35, 914–920.
- Suthar, S., Singh, S., 2008. Bioconsantration of metals (Fe, Cu, Zn, PB) in earthworms (*Eisenia fetida*), inoculated in municipal sewage sludge: Do earthworms pose a possible risk of terrestrial food chain contamination? *Environmental Toxicology* 24, 25-32.
- Şimşek Erşahin, Y., 2007. Vermikompost ürünlerinin eldesin ve tarımsal üretimde kullanım alternatifleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 24(2), 99-107.
- Tabatabai, M.A., Bremner, J.M., 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry* 1, 301-307.
- Tabatabai, M.A., Bremner, J.M., 1970. Arylsulphatase activity of soils. *Soil Science Society of American Proceedings* 34, 225-229.

- Tabatabai, M.A., 1994. Soil Enzymes. In Methods Of Soil Analysis, Part 2 Microbiological and Biochemical Properties, Mickelson, S.H., and Bigham, J.M. (Eds.).Madison: Soil Science Society of America 775-826.
- Tajbakhsh, J., Abdoli, M.A., Mohammadi Goltapeh, E.,Alahdadi, I., Malakouti, M.J., 2008. Recycling of spent mushroom compost using earthworms *Eisenia foetida* and *Eisenia andrei*. Environmentalist 28, 476-482.
- Tarakcioglu, C., Askin, T., Kizilkaya, R., 2006. Heavy metal distribution: A survey from Ordu Province in the Black Sea region. American- Eurasian Journal of Agricultural Environmental Science 1, 282–287.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., 2003. Application of a byproduct of the two step olive oil mill process on rice yield. Agrochimica 47, 94-102.
- Tejada, M., Hernandez, M.T., Garcia, C., 2009. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. Soil and Tillage Research 102 (1), 109-117.
- Tessier, L., Vaillancourt, G., Pazdernik, L., 1994. Temperature effects on cadmium and mercury kinetics in freshwater mollusks under laboratory conditions. Archives Environmental Contamination and Toxicology 26,179-184.
- Tiunov, A.V. , Scheu, S., 1999. Microbial respiration, biomass, biovolume and nutrient status in burrow walls of *Lumbricus terrestris* L. (Lumbricidae). Soil Biology and Biochemistry 31, 2039-2048.
- Tiunov, A.V., Scheu, S., 2000. Microbial biomass, biovolume and respiration In *Lumbricus terrestris* L. cast material of different age. Soil Biology and Biochemistry 32, 265-275.
- Trevors, J.T., 1984. Dehydrogenase activity in soil. A comparison between the INT and TTC assay. Soil Biology and Biochemistry 16, 673-674.
- Vadiraj, B.A., Siddagangaiah, B.A., Potty, S.N., 1998. Response of coriander (*Coriandrum sativum* L.) cultivars to graded levels of vermicomposts. Journal of Spices and Aromatic Crops 7, 141–143.
- Vekemans, X., Godden, B., Penninckx, M.J., 1989. Factor analysis of the relationships between several physico-chemical and microbiological characteristics of some belgian agricultural soils. Soil Biology and Biochemistry 21, 53-57.
- Vijver, M.G., Vink, J.P.M., Miermans, C.J.H., Gestel, C.A.M., 2007. metal accumulation in earthworms inhabiting flood plain soils. Environmental Pollution 148, 132-140.
- Wang, Z., Zhang, Y., Guo, Y., Xia, W., Li, Z., 1998. Monitoring of soil heavy metal pollution by earthworm. Journal of Environmental Sciences 10, 437–444.
- Wang, Y., Li, Q., Shi, J., Lin, Q., Chen, X., Wu, W., Chen, Y., 2008. Assessment of microbial activity and bacterial community composition in the rhizosphere of a copper accumulator and a nonaccumulator. Soil Biology and Biochemistry 40,1167-1177.

- Wessells, M.L.S., Bohlen, P.J., McCartney, D.A., Subler, S., Edwards, C.A., 1997. Earthworm effects on soil respiration in corn agroecosystems receiving different nutrient inputs. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 409-412.
- Wilson, D.P., Carlile, W.R., 1989. Plant growth in potting media containing worm worked duct waste. *Acta Horticulturae*, 238-220.
- Wong, J.W.S., Lai, K.M., Fang, M., Ma, K.K., 1998. Effect of sewage sludge on soil microbial activity and nutrient mineralization. *Environment International*, 21, 935-943.
- Wyszkowska, J., Kurcharski, J., Lajszner, W., 2006. The effects of copper on soil biochemical properties and its interaction with other heavy metals. *Polish Journal of Environmental Studies* 15, 927-934.
- Yakushev, A. V., Blagodatsky, S. A., Byzov, B.A., 2009. The effect of earthworms on the physiological state of the microbial community at vermicomposting. *Microbiology* 78; 4, 510–519.
- Yang, Z., Liu, S., Zheng, D., Feng, S., 2006. Effects of cadmium, zinc, and lead on soil enzyme activities. *Journal of Environmental Science* 18, 1135–1141.
- Zhang, B., Li, G., Shen, T., Wang, J., Sun, Z., 2000. Changes in microbial biomass C, N and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guilelmi* or *Eisenia fetida*. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 2055-2062.

7. EKLER

Ek 1. İnkübasyon denemesi boyunca solucan sayıları, adet

İnk.	Solucan Yaş	Karışım No					
		1	2	3	4	5	6
15.gün	A	3	3	3	3	3	3
30.gün	A	3	3	3	3	3	3
45.gün	A	3	3	3	3	3	3
	J	2	3	2	4	3	2
60.gün	A	4	4	5	5	4	3
	S	1	2	1	4	3	2
	J	6	15	32	30	18	5
75.gün	A	5	6	6	8	6	4
	S	4	4	7	8	7	2
	J	48	56	78	85	62	10
90.gün	A	8	10	12	15	13	5
	S	39	54	62	75	42	11
	J	>100	>100	>100	>100	>100	14

A: Ergin S: Orta-ergin J:Genç

Ek 2. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun toplam organik C kapsamı (%) *

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	31,363 ^A	30,297 ^B	30,885 ^A	30,545 ^A	30,028 ^A	30,148 ^A
	(0,887)	(0,856)	(0,873)	(0,863)	(0,849)	(0,852)
[2]	29,434 ^B	30,420 ^A	29,898 ^B	29,585 ^C	29,694 ^B	29,930 ^B
	(0,832)	(0,860)	(0,845)	(0,836)	(0,839)	(0,846)
[3]	28,632 ^C	28,947 ^C	28,582 ^C	29,776 ^B	28,373 ^C	28,124 ^C
	(0,809)	(0,818)	(0,808)	(0,842)	(0,802)	(0,795)
[4]	28,621 ^C	27,058 ^D	28,119 ^D	27,411 ^D	27,680 ^D	27,023 ^D
	(0,809)	(0,765)	(0,795)	(0,775)	(0,782)	(0,764)
[5]	26,394 ^D	26,037 ^E	26,202 ^E	25,771 ^E	25,845 ^E	25,698 ^E
	(0,746)	(0,736)	(0,741)	(0,728)	(0,731)	(0,726)
[6]	25,690 ^E	25,553 ^F	26,016 ^F	25,319 ^F	25,108 ^F	24,815 ^F
	(0,726)	(0,722)	(0,735)	(0,716)	(0,710)	(0,701)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	16650,850***	0,061
İnkübasyon dönemi (İ)	5	311,408***	0,061
K x İ	25	115,537***	0,150

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 3. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun toplam N kapsamı (%)*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	1,706 ^F	1,674 ^F	1,718 ^F	1,856 ^E	1,833 ^F	1,904 ^F
	(0,048)	(0,047)	(0,049)	(0,052)	(0,052)	(0,054)
[2]	1,791 ^E	1,790 ^E	1,863 ^E	1,891 ^D	1,847 ^E	1,910 ^E
	(0,051)	(0,051)	(0,053)	(0,053)	(0,052)	(0,054)
[3]	1,854 ^D	1,891 ^D	1,983 ^D	2,042 ^C	1,959 ^D	2,001 ^D
	(0,052)	(0,053)	(0,056)	(0,058)	(0,055)	(0,057)
[4]	1,976 ^C	1,967 ^B	2,093 ^C	2,102 ^B	2,022 ^C	2,030 ^C
	(0,056)	(0,056)	(0,059)	(0,059)	(0,057)	(0,057)
[5]	2,022 ^A	1,933 ^C	2,155 ^B	2,101 ^B	2,056 ^B	2,068 ^B
	(0,057)	(0,055)	(0,061)	(0,059)	(0,058)	(0,058)
[6]	2,107 ^B	2,048 ^A	2,246 ^A	2,130 ^A	2,149 ^A	2,124 ^A
	(0,060)	(0,058)	(0,063)	(0,060)	(0,061)	(0,060)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	14000,233***	0,004
İnkübasyon dönemi (İ)	5	2609,918***	0,004
K x İ	25	254,966***	0,011

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 4. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun NH₄-N kapsamı (µg g⁻¹)*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	368,923 ^F (10,428)	297,020 ^F (8,396)	291,196 ^F (8,231)	284,252 ^F (8,035)	270,813 ^F (7,655)	213,837 ^F (6,044)
[2]	405,211 ^E (11,454)	329,050 ^E (9,301)	317,404 ^E (8,972)	297,020 ^E (8,396)	284,252 ^E (8,035)	241,917 ^E (6,838)
[3]	610,840 ^D (17,266)	599,864 ^D (16,956)	573,657 ^D (16,215)	524,153 ^D (14,816)	308,444 ^D (8,719)	304,556 ^D (8,609)
[4]	803,702 ^C (22,718)	768,086 ^C (21,711)	742,550 ^C (20,989)	640,632 ^C (18,108)	514,073 ^C (14,531)	438,474 ^C (12,394)
[5]	941,716 ^B (26,619)	856,117 ^B (24,199)	792,278 ^B (22,395)	765,846 ^B (21,648)	586,648 ^B (16,582)	505,433 ^B (14,287)
[6]	1268,464 ^A (35,855)	1112,370 ^A (31,443)	1077,202 ^A (30,449)	843,685 ^A (23,848)	740,870 ^A (20,942)	520,553 ^A (14,714)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	12535,042***	8,655
İnkübasyon dönemi (İ)	5	3669,983***	8,655
K x İ	25	263,345***	21,201

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 5. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun NO₃-N kapsamı (µg g⁻¹)*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	116,478 ^F (3,292)	132,238 ^E (3,738)	169,342 ^F (4,787)	234,109 ^F (6,617)	255,485 ^F (7,222)	284,252 ^F (8,035)
[2]	177,630 ^E (5,021)	213,840 ^D (6,044)	232,845 ^E (6,582)	284,988 ^E (8,056)	305,420 ^E (8,633)	317,404 ^E (8,972)
[3]	194,717 ^D (5,504)	225,197 ^D (6,366)	249,341 ^D (7,048)	330,044 ^D (9,329)	336,252 ^D (9,505)	345,212 ^D (9,758)
[4]	260,701 ^C (7,369)	267,837 ^C (7,571)	333,340 ^C (9,422)	355,259 ^C (10,042)	501,978 ^C (14,189)	553,865 ^C (15,656)
[5]	353,339 ^B (9,988)	373,339 ^B (10,553)	386,635 ^B (10,929)	428,058 ^B (12,100)	537,785 ^B (15,201)	583,624 ^B (16,497)
[6]	377,403 ^A (10,668)	512,505 ^A (14,487)	552,121 ^A (15,606)	558,953 ^A (15,800)	624,792 ^A (17,661)	723,207 ^A (20,442)

Karışım Numaraları

- [1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi
 [2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi
 [3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi
 [4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi
 [5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi
 [6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	12013,388***	4,706
İnkübasyon dönemi (İ)	5	4751,110***	4,706
K x İ	25	151,499***	11,528

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 6. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun mineral N (NH₄-N + NO₃-N) kapsamı (µg g⁻¹)*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	485,402 ^F	429,258 ^F	460,538 ^F	518,361 ^F	526,297 ^F	498,090 ^F
	(13,721)	(12,134)	(13,018)	(14,652)	(14,877)	(14,079)
[2]	582,840 ^E	542,89 ^E	550,249 ^E	582,008 ^E	589,672 ^E	559,321 ^E
	(16,475)	(15,346)	(15,554)	(16,451)	(16,668)	(15,810)
[3]	805,558 ^D	825,061 ^D	822,997 ^D	854,197 ^D	644,696 ^D	649,768 ^D
	(22,770)	(23,322)	(23,263)	(24,145)	(18,223)	(18,367)
[4]	1064,402 ^C	1035,923 ^C	1075,890 ^C	995,891 ^C	1016,051 ^C	992,339 ^C
	(30,087)	(29,282)	(30,412)	(28,150)	(28,720)	(28,050)
[5]	1295,055 ^B	1229,456 ^B	1178,913 ^B	1193,905 ^B	1124,433 ^B	1089,058 ^B
	(36,607)	(34,752)	(33,324)	(33,747)	(31,784)	(30,784)
[6]	1645,867 ^A	1624,875 ^A	1629,323 ^A	1402,638 ^A	1365,662 ^A	1243,760 ^A
	(46,523)	(45,929)	(46,055)	(39,648)	(38,602)	(35,157)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	16650,852***	11,465
İnkübasyon dönemi (İ)	5	312,818***	11,465
K x İ	25	11,698***	28,082

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 7. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun C/N oranları*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	18,380 ^A	18,095 ^A	17,982 ^A	16,455 ^A	16,379 ^A	15,830 ^A
	(0,520)	(0,511)	(0,508)	(0,465)	(0,463)	(0,447)
[2]	16,432 ^B	16,980 ^B	16,046 ^B	15,645 ^B	16,078 ^B	15,672 ^B
	(0,464)	(0,480)	(0,454)	(0,442)	(0,454)	(0,443)
[3]	15,444 ^C	15,309 ^C	14,411 ^C	14,580 ^C	14,484 ^C	14,055 ^C
	(0,437)	(0,433)	(0,407)	(0,412)	(0,409)	(0,397)
[4]	14,484 ^D	13,755 ^D	13,432 ^D	13,042 ^D	13,689 ^D	13,312 ^D
	(0,409)	(0,389)	(0,380)	(0,369)	(0,387)	(0,376)
[5]	13,053 ^E	13,467 ^E	12,160 ^E	12,268 ^E	12,572 ^E	12,429 ^E
	(0,369)	(0,381)	(0,344)	(0,347)	(0,355)	(0,351)
[6]	12,192 ^F	12,475 ^F	11,582 ^F	11,887 ^F	11,682 ^F	11,685 ^F
	(0,345)	(0,353)	(0,327)	(0,336)	(0,330)	(0,330)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	15971,407***	0,062
İnkübasyon dönemi (İ)	5	1010,747***	0,062
K x İ	25	100,457***	0,152

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 8. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun suda çözünebilir organik madde kapsamı ($\mu\text{g g}^{-1}$)*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	16,880 ^A (0,477)	15,360 ^A (0,434)	16,400 ^A (0,464)	19,520 ^A (0,552)	27,000 ^A (0,763)	35,540 ^A (1,005)
[2]	14,800 ^B (0,418)	15,120 ^A (0,427)	15,520 ^B (0,439)	18,000 ^B (0,509)	24,100 ^B (0,681)	32,400 ^B (0,916)
[3]	14,080 ^C (0,398)	14,320 ^B (0,405)	14,960 ^C (0,423)	17,280 ^C (0,488)	23,400 ^C (0,661)	29,700 ^C (0,840)
[4]	13,920 ^C (0,393)	13,840 ^C (0,391)	14,860 ^C (0,420)	15,680 ^D (0,443)	23,100 ^C (0,653)	29,600 ^C (0,837)
[5]	13,280 ^D (0,375)	13,600 ^C (0,384)	14,640 ^C (0,414)	15,520 ^D (0,439)	21,400 ^D (0,605)	27,900 ^D (0,789)
[6]	12,640 ^E (0,357)	13,040 ^D (0,369)	14,000 ^D (0,396)	14,880 ^E (0,421)	21,200 ^D (0,599)	23,400 ^E (0,661)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	1307,017***	0,195
İnkübasyon dönemi (İ)	5	15694,154***	0,195
K x İ	25	105,856***	0,477

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 9. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun toplam Çinko (T-Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	31,279 ^F (0,884)	29,845 ^F (0,844)	29,132 ^F (0,823)	27,679 ^F (0,782)	24,347 ^F (0,688)	5,804 ^F (0,164)
[2]	483,014 ^E (13,653)	246,18 ^E (6,959)	214,119 ^E (6,052)	211,473 ^E (5,978)	197,288 ^E (5,577)	147,375 ^E (4,166)
[3]	704,652 ^D (19,918)	497,539 ^D (14,064)	482,967 ^D (13,652)	385,347 ^D (10,892)	334,180 ^D (9,446)	220,125 ^D (6,222)
[4]	922,895 ^C (26,087)	757,350 ^C (21,408)	711,139 ^C (20,101)	697,095 ^C (19,704)	642,931 ^C (18,173)	494,190 ^C (13,969)
[5]	1089,667 ^B (30,801)	1066,852 ^B (30,156)	956,599 ^B (27,040)	956,123 ^B (27,026)	945,089 ^B (26,714)	869,698 ^B (24,583)
[6]	1516,801 ^A (42,875)	1431,630 ^A (40,467)	1365,228 ^A (38,590)	1349,009 ^A (38,132)	1225,324 ^A (34,636)	1173,755 ^A (33,178)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	16540,184***	14,583
İnkübasyon dönemi (İ)	5	751,316***	14,583
K x İ	25	46,145***	35,721

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 10. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde solucanın (*Eisenia foetida*) dokusundaki Çinko (Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	333,088 ^F (9,415)	312,695 ^F (8,839)	292,302 ^F (8,262)	254,914 ^F (7,206)	244,718 ^F (6,917)	234,521 ^F (6,629)
[2]	1844,987 ^E (52,151)	1730,86 ^E (48,925)	1616,741 ^E (45,699)	1407,516 ^E (39,785)	1350,454 ^E (38,172)	1293,393 ^E (36,560)
[3]	3325,643 ^D (94,004)	3117,790 ^D (88,129)	2909,938 ^D (82,253)	2528,874 ^D (871,482)	2459,590 ^D (69,524)	2355,664 ^D (66,586)
[4]	4775,055 ^C (134,974)	4473,473 ^C (126,449)	4171,891 ^C (117,924)	3669,253 ^C (103,717)	3518,462 ^C (99,454)	3417,934 ^C (96,613)
[5]	6127,339 ^B (173,198)	5797,913 ^B (163,886)	5402,600 ^B (152,712)	4809,632 ^B (135,951)	4546,091 ^B (128,502)	4480,205 ^B (126,639)
[6]	7498,644 ^A (211,960)	7091,109 ^A (200,440)	6520,560 ^A (184,313)	5950,011 ^A (168,185)	5623,983 ^A (158,970)	5542,476 ^A (156,666)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	16650,914***	68,047
İnkübasyon dönemi (İ)	5	648,531***	68,047
K x İ	25	44,540***	166,681

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 11. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde Çinko (Zn) için hesaplanan Biyoakümülyasyon Faktör'ler (BAF)*

Karışım Numarası	İnkübasyon dönemleri					
	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün
[1]	10,649 ^A	10,477 ^A	10,034 ^A	9,209 ^A	10,051 ^A	40,406 ^A
	(0,301)	(0,296)	(0,284)	(0,260)	(0,284)	(1,142)
[2]	3,820 ^D	7,030 ^B	7,551 ^B	6,656 ^B	6,845 ^C	8,776 ^C
	(0,108)	(0,199)	(0,213)	(0,188)	(0,193)	(0,248)
[3]	4,719 ^C	6,266 ^C	6,025 ^C	6,563 ^B	7,360 ^B	10,701 ^B
	(0,133)	(0,177)	(0,170)	(0,185)	(0,208)	(0,302)
[4]	5,174 ^C	5,907 ^C	5,866 ^C	5,264 ^C	5,472 ^D	6,916 ^D
	(0,146)	(0,167)	(0,166)	(0,149)	(0,155)	(0,195)
[5]	5,623 ^B	5,435 ^D	5,648 ^C	5,030 ^C	4,810 ^E	5,151 ^E
	(0,159)	(0,154)	(0,160)	(0,142)	(0,136)	(0,146)
[6]	4,944 ^C	4,953 ^D	4,776 ^D	4,411 ^D	4,590 ^E	4,722 ^F
	(0,140)	(0,140)	(0,135)	(0,125)	(0,130)	(0,133)

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
Karışım (K)	5	6273,274***	0,188
İnkübasyon dönemi (İ)	5	2916,186***	0,188
K x İ	25	1667,778***	0,461

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 12. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun mikrobiyal solunum seviyeleri ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ kuru toprak)*

	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün	Ort.
[1]	1,071 (0,025)	1,092 (0,040)	0,862 (0,035)	0,706 (0,048)	0,626 (0,026)	0,508 (0,084)	0,811 ^f
[2]	1,418 (0,046)	1,714 (0,104)	0,985 (0,068)	0,954 (0,032)	0,812 (0,054)	0,598 (0,047)	1,080 ^d
[3]	1,472 (0,051)	2,705 (0,066)	1,176 (0,037)	1,152 (0,033)	0,989 (0,090)	0,613 (0,047)	1,351 ^b
[4]	1,721 (0,068)	2,896 (0,068)	1,489 (0,053)	1,276 (0,074)	1,015 (0,051)	0,652 (0,054)	1,508 ^a
[5]	1,627 (0,042)	2,504 (0,065)	1,098 (0,024)	0,702 (0,028)	0,764 (0,030)	0,544 (0,051)	1,206 ^c
[6]	1,563 (0,066)	1,667 (0,075)	0,782 (0,092)	0,601 (0,053)	0,625 (0,065)	0,506 (0,031)	0,967 ^e
Ort.	1,483 ^B	2,100 ^A	1,068 ^C	0,898 ^D	0,805 ^A	0,571 ^F	

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, büyük harfler yatay küçük harfler ise dikey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
İnkübasyon dönemi (İ)	5	2802,273***	0,039
Karışım (K)	5	591,990***	0,039
K x İ	25	100,980***	0,095

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 13. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun mikrobiyal biyomas seviyeleri ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ kuru toprak)*

	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün	Ort.
[1]	16,067 (6,041)	15,184 (1,441)	26,907 (4,893)	25,670 (2,510)	26,453 (2,365)	20,101 (1,867)	21,730 ^d
[2]	22,339 (2,383)	32,574 (1,806)	40,381 (3,222)	39,323 (3,759)	38,311 (1,818)	27,025 (2,789)	33,326 ^c
[3]	23,957 (2,127)	45,268 (3,633)	45,359 (1,602)	43,167 (6,681)	34,616 (6,2069)	32,568 (3,461)	37,489 ^b
[4]	35,916 (1,254)	51,165 (4,590)	50,662 (3,232)	48,368 (5,722)	35,694 (4,085)	36,754 (1,916)	43,093 ^a
[5]	14,636 (1,296)	50,462 (5,389)	45,519 (3,918)	38,623 (3,189)	33,004 (4,369)	27,296 (1,178)	34,923 ^{bc}
[6]	10,856 (1,625)	22,499 (2,456)	19,599 (4,700)	25,253 (8,903)	14,536 (3,133)	13,772 (2,679)	17,554 ^e
Ort.	20,630 ^D	36,200 ^A	38,243 ^A	36,481 ^A	30,366 ^B	26,194 ^C	

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, büyük harfler yatay küçük harfler ise dikey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
İnkübasyon dönemi (İ)	5	96,937***	2,612
Karışım (K)	5	192,046***	2,612
K x İ	25	8,473***	6,399

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 14. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun dehidrogenaz aktivitesi seviyeleri ($\mu\text{g TPF g}^{-1}$ kuru toprak)*

	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün	Ort.
[1]	5,316 (0,778)	22,943 (2,442)	29,844 (1,540)	15,821 (1,530)	8,630 (0,682)	3,221 (0,535)	14,296 ^d
[2]	9,208 (1,148)	31,315 (2,500)	30,238 (1,876)	15,759 (1,277)	14,217 (0,847)	4,356 (0,603)	17,516 ^c
[3]	10,638 (0,534)	43,009 (3,350)	38,820 (1,566)	19,981 (1,157)	14,521 (0,454)	5,964 (0,618)	22,156 ^b
[4]	10,287 (0,581)	50,999 (3,712)	39,953 (2,223)	21,088 (1,382)	15,755 (0,534)	9,700 (0,834)	24,630 ^a
[5]	9,082 (0,899)	34,517 (2,410)	30,435 (1,231)	14,567 (1,855)	11,678 (0,626)	2,556 (0,358)	17,139 ^c
[6]	2,786 (0,443)	19,352 (0,737)	23,100 (1,646)	8,623 (0,820)	8,453 (0,488)	2,418 (0,292)	10,805 ^e
Ort.	7,916 ^E	33,686 ^A	32,064 ^B	15,988 ^C	12,177 ^D	4,711 ^F	

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, büyük harfler yatay küçük harfler ise dikey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
İnkübasyon dönemi (İ)	5	2046,194***	1,012
Karışım (K)	5	342,949***	2,479
K x İ	25	2046,194***	1,012

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 15. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun β -glikosidaz seviyeleri ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak)*

	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün	Ort.
[1]	733,43 (33,54)	146,68 (5,43)	135,77 (7,41)	116,03 (7,12)	108,33 (7,22)	76,72 (4,26)	219,50 ^a
[2]	645,30 (40,61)	135,41 (8,14)	121,39 (1,45)	106,87 (6,52)	103,02 (9,15)	71,59 (8,30)	197,27 ^b
[3]	553,61 (28,87)	102,44 (7,35)	92,96 (4,55)	88,77 (5,98)	88,65 (6,30)	61,58 (5,50)	164, 67 ^c
[4]	462,83 (7,43)	96,93 (6,41)	93,52 (2,32)	74,56 (4,08)	69,26 (9,62)	51,62 (4,90)	141,45 ^d
[5]	361,46 (42,98)	75,57 (4,43)	75,17 (5,32)	61,62 (6,57)	49,63 (2,12)	42,05 (4,44)	110,92 ^e
[6]	254,16 (23,18)	67,65 (3,48)	61,48 (4,02)	54,78 (3,16)	47,34 (2,95)	32,10 (2,20)	86,38 ^f
Ort.	501,75 ^A	103,94 ^B	96,99 ^B	83,85 ^C	77,70 ^C	55,95 ^D	

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, büyük harfler yatay küçük harfler ise dikey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
İnkübasyon dönemi (İ)	5	4443,758***	9,554
Karışım (K)	5	388,616***	9,554
K x İ	25	99,980***	23,402

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 16. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun üreaz seviyeleri ($\mu\text{g N g}^{-1}$ kuru toprak)*

	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün	Ort.
[1]	61,60 (4,74)	83,06 (8,17)	133,47 (13,03)	140,31 (11,95)	144,89 (7,23)	146,45 (13,47)	118,30 ^d
[2]	82,24 (10,31)	94,57 (8,65)	150,60 (7,45)	145,90 (16,37)	179,90 (12,28)	260,54 (11,97)	152,29 ^c
[3]	114,00 (8,22)	158,45 (10,17)	194,70 (12,35)	240,91 (8,82)	345,78 (13,94)	268,25 (19,85)	220,35 ^b
[4]	139,12 (5,83)	166,87 (11,18)	260,76 (44,72)	443,87 (8,72)	353,94 (8,67)	298,34 (13,29)	277,15 ^a
[5]	143,70 (5,02)	195,17 (6,94)	292,57 (15,11)	356,40 (61,86)	338,87 (29,99)	276,35 (13,47)	267,18 ^a
[6]	146,57 (6,15)	198,60 (8,63)	363,93 (36,79)	323,85 (6,57)	326,93 (9,54)	269,82 (12,35)	265,57 ^a
Ort.	114,59 ^E	149,59 ^D	225,39 ^C	275,42 ^A	282,13 ^A	253,71 ^B	

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, büyük harfler yatay küçük harfler ise dikey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
İnkübasyon dönemi (İ)	5	241,942***	16,578
Karışım (K)	5	225,185***	16,578
K x İ	25	15,410***	40,609

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 17. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun alkale fosfataz seviyeleri ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak)*

	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün	Ort.
[1]	880,19 (72,72)	802,48 (64,01)	787,68 (66,35)	535,41 (59,07)	475,35 (36,69)	332,92 (49,31)	635,67 ^d
[2]	1137,50 (16,69)	900,90 (69,57)	795,80 (42,93)	605,67 (45,00)	615,70 (45,97)	462,58 (37,06)	753,03 ^c
[3]	1341,21 (22,48)	1038,33 (78,19)	1114,16 (86,38)	713,08 (50,69)	607,05 (42,41)	625,91 (25,68)	906,63 ^b
[4]	1543,93 (34,43)	1180,94 (39,36)	1133,53 (66,39)	846,63 (61,86)	724,87 (52,16)	739,63 (43,04)	1028,26 ^a
[5]	1434,20 (14,45)	1118,64 (72,99)	1090,19 (77,68)	619,86 (62,24)	654,03 (31,65)	542,95 (29,70)	909,98 ^b
[6]	1261,66 (26,65)	877,72 (25,24)	792,73 (34,87)	528,09 (30,90)	508,59 (60,69)	412,39 (43,38)	734,93 ^c
Ort.	1266,62 ^A	986,75 ^B	954,27 ^B	643,49 ^C	598,75 ^D	518,62 ^E	

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, büyük harfler yatay küçük harfler ise dikey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
İnkübasyon dönemi (İ)	5	929,694***	35,127
Karışım (K)	5	233,133***	35,127
K x İ	25	10,126***	86,043

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 18. 90 günlük inkübasyonda her bir inkübasyon döneminde elde edilen vermikompostun arilsülfataz seviyeleri ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak)*

	15.gün	30.gün	45.gün	60.gün	75.gün	90.gün	Ort.
[1]	44,94 (3,89)	57,27 (3,14)	58,20 (3,41)	63,57 (3,12)	69,41 (6,77)	129,10 (11,42)	70,42 ^f
[2]	48,95 (3,34)	57,25 (4,63)	60,20 (7,81)	73,55 (9,09)	82,55 (3,28)	139,93 (6,83)	77,07 ^e
[3]	65,59 (3,29)	57,26 (4,98)	86,84 (8,70)	94,61 (2,33)	101,90 (6,10)	141,89 (8,72)	91,35 ^d
[4]	68,61 (1,65)	73,07 (4,79)	101,86 (6,28)	100,47 (5,89)	104,61 (4,04)	151,42 (5,44)	100,01 ^c
[5]	69,06 (2,43)	80,36 (6,37)	104,24 (6,86)	111,29 (6,86)	150,03 (10,30)	259,75 (17,10)	129,12 ^b
[6]	73,95 (3,61)	79,92 (4,53)	102,19 (5,74)	129,96 (7,79)	160,67 (9,19)	267,65 (16,45)	136,52 ^a
Ort.	61,87 ^F	67,82 ^E	85,99 ^D	95,74 ^C	111,84 ^B	181,23 ^A	

Karışım Numaraları

[1] %0 Arıtma çamuru + %50 Fındık zurufu + %50 Ahır gübresi

[2] %10 Arıtma çamuru + %45 Fındık zurufu + %45 Ahır gübresi

[3] %20 Arıtma çamuru + %40 Fındık zurufu + %40 Ahır gübresi

[4] %30 Arıtma çamuru + %35 Fındık zurufu + %35 Ahır gübresi

[5] %40 Arıtma çamuru + %30 Fındık zurufu + %30 Ahır gübresi

[6] %50 Arıtma çamuru + %25 Fındık zurufu + %25 Ahır gübresi

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, büyük harfler yatay küçük harfler ise dikey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik Derecesi	F-değeri	LSD (%1)
İnkübasyon dönemi (İ)	5	1110,492***	4,842
Karışım (K)	5	429,884***	4,842
K x İ	25	46,390***	11,861

ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 19. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan buğday bitkisine ait dane örneklerinin verimleri (kg da⁻¹) * ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	322,50 ^G (12,371)	322,50 ^F (12,371)	236,90 ^G (1,194)	236,90 ^F (1,194)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	380,33 ^F (6,525)	352,33 ^E (4,521)	333,52 ^F (1,800)	313,33 ^E (10,005)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	421,50 ^E (6,557)	386,67 ^D (5,788)	389,24 ^E (9,990)	356,74 ^D (9,067)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	465,67 ^D (3,617)	414,67 ^C (10,934)	430,03 ^D (1,740)	382,93 ^C (9,513)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	521,50 ^C (5,000)	469,33 ^B (1,811)	481,58 ^C (2,647)	433,41 ^B (4,327)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	553,67 ^B (3,756)	513,67 ^A (9,052)	511,29 ^B (10,599)	474,34 ^A (9,549)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	626,83 ^A (4,347)	527,33 ^A (5,444)	578,85 ^A (1,005)	486,97 ^A (1,005)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	1251,623***	14,473	1434,020***	15,009
V	1	494,138***	14,473	375,209***	15,009
K x V	6	33,894***	14,473	27,796***	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 20. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan buğday bitkisine ait sap örneklerinin verimleri (kg da⁻¹) ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	1580,68 ^G (7,810)	1580,68 ^E (7,810)	1161,1 ^G (10,514)	1161,1 ^G (10,514)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	1694,07 ^F (4,195)	1574,25 ^F (4,595)	1484,933 ^F (1,735)	1399,383 ^F (9,588)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	1845,33 ^E (3,163)	1738,07 ^D (12,835)	1704,08 ^E (17,440)	1605,633 ^E (10,008)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	1932,42 ^D (5,562)	1855,55 ^C (3,872)	1784,5 ^D (1,719)	1713,52 ^D (2,724)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	2164,52 ^C (3,032)	1964,52 ^B (4,336)	1998,84 ^C (19,377)	1814,3 ^C (6,522)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	2459,6 ^B (13,544)	2009,37 ^B (7,129)	2271,33 ^B (20,246)	1855,56 ^B (6,341)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	2657,92 ^A (4,505)	2304,05 ^A (90,692)	2454,47 ^A (7,743)	2127,69 ^A (4,544)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	987,491***	57,771	7899,124***	23,758
V	1	565,529***	57,771	2730,773***	23,758
K x V	6	59,876***	57,771	310,413***	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 21. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan buğday bitkisine ait dane+sap örneklerinin verimleri (kg da⁻¹) ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	1903,19 ^A (11,030)	1903,19 ^A (11,030)	1398 ^A (11,789)	1398 ^A (11,789)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	2074,57 ^B (9,617)	1926,75 ^B (13,335)	1818,45 ^B (7,842)	1712,52 ^B (8,081)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	2266,83 ^C (4,979)	2124,73 ^C (8,335)	2093,32 ^C (6,166)	1962,09 ^C (6,632)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	2398,08 ^D (9,544)	2270,22 ^D (10,704)	2214,52 ^D (20,653)	2096,45 ^D (10,361)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	2686,02 ^E (9,887)	2434,02 ^E (6,135)	2480,42 ^E (7,638)	2247,71 ^E (6,640)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	3013,27 ^F (5,653)	2523,03 ^F (8,970)	2782,62 ^F (28,116)	2329,91 ^F (14,104)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	3284,75 ^G (5,737)	2831,38 ^G (11,194)	3033,32 ^G (8,458)	2614,65 ^G (13,612)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	12571,526***	20,701	9268,822***	27,817
V	1	6700,915***	20,701	3035,954***	27,817
K x V	6	588,393***	20,701	286,961***	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 22. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan buğday bitkisine ait danede toplam Çinko (T-Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	34,827 ^A (12,389)	34,827 ^A (12,389)	32,084 ^B (2,610)	32,084 ^B (2,610)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	26,865 ^A (7,508)	32,724 ^A (8,752)	44,525 ^A (2,508)	42,094 ^{AB} (1,587)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	54,340 ^A (8,558)	25,778 ^A (9,903)	38,120 ^{AB} (9,118)	44,083 ^A (3,361)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	41,308 ^A (17,934)	36,840 ^A (3,717)	35,803 ^{AB} (2,446)	42,714 ^{AB} (4,538)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	31,336 ^A (1,627)	39,748 ^A (5,269)	32,541 ^B (5,273)	40,223 ^{AB} (4,658)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	36,473 ^A (2,229)	35,590 ^A (1,830)	35,957 ^{AB} (3,671)	36,972 ^{AB} (7,426)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	32,164 ^A (2,385)	40,335 ^A (6,167)	30,969 ^B (3,525)	42,471 ^{AB} (4,952)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	0,404ns	29,706	3,608**	10,746
V	1	0,230ns	29,706	8,969**	10,746
K x V	6	1,439ns	29,706	1,643ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 23. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan buğday bitkisine ait sapta toplam Çinko (T-Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	10,077 ^B (7,156)	10,077 ^A (7,156)	9,244 ^B (1,815)	9,244 ^A (1,815)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	9,574 ^B (1,268)	18,899 ^A (7,990)	21,468 ^{AB} (1,571)	5917,714 ^A (1,021)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	49,488 ^A (17,150)	18,588 ^A (9,834)	25,313 ^A (12,992)	21,534 ^A (7,500)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	20,314 ^B (17,252)	20,414 ^A (6,013)	14,373 ^{AB} (1,043)	14,835 ^A (4,581)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	17,355 ^B (0,835)	19,250 ^A (2,986)	13,889 ^{AB} (3,491)	14,970 ^A (3,003)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	25,461 ^B (8,696)	31,583 ^A (16,012)	20,130 ^{AB} (5,632)	18,066 ^A (8,831)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	24,992 ^B (6,087)	20,336 ^A (2,784)	11,985 ^{AB} (1,688)	15,710 ^A (7,215)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise dişey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	3,601**	21,412	3,866**	13,336
V	1	0,208ns	21,412	0,087ns	13,336
K x V	6	3,284*	21,412	0,303ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 24. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin toplam Çinko (T-Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	57,684 ^B (5,628)	57,684 ^A (5,628)	57,612 ^A (1,915)	57,612 ^B (1,915)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	58,090 ^{AB} (5,073)	52,809 ^A (1,861)	136,656 ^A (44,436)	135,917 ^{AB} (51,986)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	57,684 ^B (7,739)	53,621 ^A (1,218)	122,990 ^A (60,759)	182,085 ^A (26,181)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	63,371 ^{AB} (5,312)	55,653 ^A (1,861)	94,182 ^A (10,685)	104,523 ^{AB} (11,208)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	63,777 ^{AB} (4,925)	56,059 ^A (7,991)	100,830 ^A (34,704)	100,830 ^B (29,378)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	69,058 ^A (0,703)	63,371 ^A (1,218)	117,819 ^A (51,165)	98,614 ^B (61,572)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	61,611 ^{AB} (6,253)	58,090 ^A (5,495)	80,147 ^A (21,207)	77,192 ^B (31,985)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise dişey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	3,362*	11,069	5,077**	79,527
V	1	10,990**	11,069	0,378ns	79,527
K x V	6	0,436ns	11,069	0,746ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 25. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin değişebilir çinko (EX-Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	0,332 ^A (0,076)	0,332 ^A (0,076)	0,259 ^A (0,228)	0,259 ^A (0,228)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	0,378 ^A (0,026)	0,341 ^A (0,022)	0,088 ^A (0,069)	0,141 ^A (0,014)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	0,346 ^A (0,015)	0,359 ^A (0,053)	0,156 ^A (0,011)	0,550 ^A (0,700)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	0,335 ^A (0,015)	0,301 ^A (0,083)	0,130 ^A (0,005)	0,123 ^A (0,009)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	0,339 ^A (0,011)	0,336 ^A (0,008)	0,140 ^A (0,009)	0,105 ^A (0,014)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	0,353 ^A (0,023)	0,325 ^A (0,006)	0,121 ^A (0,014)	0,106 ^A (0,038)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	0,340 ^A (0,004)	0,374 ^A (0,012)	0,118 ^A (0,023)	0,095 ^A (0,012)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	0,904ns	0,085	1,253ns	0,478
V	1	0,298ns	0,085	0,642ns	0,478
K x V	6	0,778ns	0,085	0,793ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 26. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin organik bağlı çinko (OM-Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	0,066 ^A (0,008)	0,066 ^A (0,008)	0,141 ^A (0,008)	0,141 ^A (0,008)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	0,066 ^A (0,005)	0,056 ^A (0,008)	0,153 ^A (0,009)	0,226 ^A (0,141)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	0,064 ^A (0,007)	0,061 ^A (0,007)	0,145 ^A (0,009)	0,208 ^A (0,114)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	0,065 ^A (0,005)	0,067 ^A (0,007)	0,137 ^A (0,018)	0,128 ^A (0,002)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	0,064 ^A (0,005)	0,096 ^A (0,083)	0,148 ^A (0,003)	0,126 ^A (0,008)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	0,075 ^A (0,020)	0,051 ^A (0,003)	0,123 ^A (0,002)	0,121 ^A (0,006)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	0,055 ^A (0,004)	0,059 ^A (0,003)	0,144 ^A (0,007)	0,143 ^A (0,006)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	0,580ns	0,054	1,592ns	0,108
V	1	0,031ns	0,054	0,968ns	0,108
K x V	6	0,824ns	0,054	0,935ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 27. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin suda çözünebilir çinko (W-Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	0,062 ^A (0,033)	0,062 ^A (0,033)	0,225 ^A (0,019)	0,225 ^A (0,019)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	0,041 ^{AB} (0,029)	0,027 ^A (0,010)	0,195 ^A (0,087)	0,212 ^A (0,092)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	0,019 ^B (0,006)	0,046 ^A (0,015)	0,157 ^A (0,055)	0,265 ^A (0,132)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	0,012 ^B (0,002)	0,041 ^A (0,011)	0,205 ^A (0,076)	0,247 ^A (0,094)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	0,042 ^{AB} (0,018)	0,031 ^A (0,007)	0,190 ^A (0,129)	0,284 ^A (0,093)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	0,036 ^{AB} (0,012)	0,030 ^A (0,005)	0,198 ^A (0,156)	0,294 ^A (0,207)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	0,035 ^{AB} (0,014)	0,044 ^A (0,000)	0,239 ^A (0,006)	0,313 ^A (0,129)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	0,721ns	0,038	0,287ns	0,251
V	1	0,000ns	0,038	3,259ns	0,251
K x V	6	2,859*	0,038	0,217ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 28. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin DTPA ile ekst. ed. çinko (DTPA-Zn) konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	5,335 ^C (0,543)	5,335 ^C (0,543)	14,003 ^A (2,356)	14,00 ^{AB} (2,356)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	5,416 ^C (0,491)	5,523 ^C (0,955)	30,292 ^A (16,181)	32,283 ^{AB} (22,152)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	10,224 ^{BC} (2,007)	11,182 ^{BC} (2,691)	26,375 ^A (19,734)	43,153 ^A (7,227)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	18,457 ^{ABC} (7,326)	21,960 ^{AB} (5,659)	14,036 ^A (2,869)	3,731 ^{AB} (3,748)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	24,048 ^{AB} (4,829)	22,768 ^{AB} (5,996)	15,342 ^A (10,755)	18,965 ^{AB} (9,906)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	30,111 ^A (3,643)	36,645 ^A (19,647)	19,585 ^A (16,874)	19,487 ^{AB} (25,827)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	33,277 ^A (7,957)	28,562 ^A (9,703)	9,172 ^A (6,953)	10,347 ^{AB} (13,344)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise dikey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	16,887***	16,248	3,054*	28,788
V	1	0,003ns	16,248	1,464ns	28,788
K x V	6	0,476ns	16,248	0,368ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 29. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin toplam organik C kapsamı (%) * ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	1,235 ^A (0,133)	1,235 ^C (0,133)	1,553 ^B (0,245)	1,553 ^B (0,245)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	1,365 ^A (0,067)	1,342 ^{BC} (0,142)	2,561 ^A (0,817)	2,398 ^{AB} (0,257)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	1,348 ^A (0,066)	1,498 ^{AB} (0,162)	3,123 ^A (0,215)	2,879 ^A (0,323)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	1,397 ^A (0,119)	1,599 ^A (0,089)	2,437 ^A (0,295)	2,476 ^A (0,152)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	1,420 ^A (0,073)	1,553 ^{AB} (0,046)	2,733 ^{AB} (0,552)	2,476 ^A (0,361)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	1,342 ^A (0,090)	1,436 ^{ABC} (0,117)	2,496 ^A (0,625)	2,567 ^A (0,221)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	1,485 ^A (0,131)	1,391 ^{ABC} (0,036)	2,684 ^A (0,438)	2,697 ^A (0,395)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	3,974**	0,251	7,593***	0,899
V	1	3,714ns	0,251	0,398ns	0,899
K x V	6	1,396ns	0,251	0,186ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 30. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin toplam N kapsamı (%)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	0,157 ^{AB} (0,004)	0,157 ^A (0,004)	0,145 ^B (0,012)	0,145 ^B (0,012)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	0,184 ^A (0,024)	0,161 ^A (0,016)	0,219 ^{AB} (0,052)	0,286 ^A (0,051)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	0,154 ^{AB} (0,010)	0,143 ^A (0,008)	0,249 ^A (0,041)	0,288 ^A (0,010)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	0,150 ^B (0,020)	0,168 ^A (0,008)	0,237 ^{AB} (0,026)	0,254 ^A (0,034)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	0,157 ^{AB} (0,014)	0,157 ^A (0,008)	0,224 ^{AB} (0,032)	0,274 ^A (0,045)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	0,154 ^{AB} (0,010)	0,168 ^A (0,016)	0,219 ^{AB} (0,010)	0,249 ^A (0,049)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	0,166 ^{AB} (0,027)	0,173 ^A (0,006)	0,288 ^A (0,111)	0,240 ^{AB} (0,021)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	1,920ns	0,033	5,503**	0,100
V	1	0,011ns	0,033	2,678ns	0,100
K x V	6	1,464ns	0,033	1,136ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 31. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin C/N oranları* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	7,874 ^A (0,980)	7,874 ^B (0,980)	10,731 ^A (2,037)	10,731 ^A (2,037)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	7,448 ^A (0,757)	8,318 ^{AB} (0,782)	11,641 ^A (2,842)	8,516 ^A (1,434)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	8,753 ^A (0,929)	10,449 ^A (0,768)	12,737 ^A (2,211)	9,953 ^A (0,764)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	9,473 ^A (1,889)	9,483 ^{AB} (0,341)	10,259 ^A (0,768)	9,819 ^A (0,848)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	9,117 ^A (1,256)	9,915 ^{AB} (0,771)	12,148 ^A (0,968)	9,129 ^A (1,596)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	8,710 ^A (0,966)	8,529 ^{AB} (0,348)	11,343 ^A (2,631)	10,450 ^A (1,241)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	9,136 ^A (1,924)	8,036 ^{AB} (0,353)	9,975 ^A (3,006)	11,205 ^A (1,069)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	2,968*	2,425	0,386ns	4,078
V	1	0,823ns	2,425	5,410*	4,078
K x V	6	1,069ns	2,425	1,353ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 32. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin mikrobiyal solunum seviyeleri ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ kuru toprak)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	7,080 ^C (0,558)	7,080 ^B (0,558)	5,935 ^A (0,768)	5,935 ^{BC} (0,768)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	8,549 ^{AB} (0,115)	7,796 ^B (0,393)	6,105 ^A (0,263)	6,667 ^{ABC} (0,489)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	7,748 ^{BC} (0,777)	7,645 ^B (0,409)	6,744 ^A (0,822)	6,756 ^{ABC} (0,087)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	6,663 ^C (0,323)	7,993 ^B (0,436)	7,329 ^A (0,096)	8,217 ^A (1,258)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	9,337 ^A (0,154)	8,239 ^B (0,291)	6,802 ^A (0,859)	5,572 ^{BC} (0,554)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	7,733 ^{BC} (0,774)	9,828 ^A (0,892)	5,445 ^A (1,102)	7,936 ^{AB} (0,844)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	8,273 ^{AB} (0,369)	7,091 ^B (0,316)	5,766 ^A (0,548)	3,339 ^D (2,138)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	10,028***	1.181	6,138***	2,191
V	1	0,066ns	1.181	0,020ns	2,191
K x V	6	8,602**	1.181	3,940**	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 33. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin mikrobiyal biyomas seviyeleri ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ kuru toprak)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	1,782 ^B (0,261)	1,782 ^A (0,261)	19,145 ^B (1,674)	19,145 ^C (1,674)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	1,741 ^B (0,025)	2,232 ^A (0,292)	37,178 ^A (11,063)	31,626 ^{AB} (6,338)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	1,147 ^B (0,200)	1,551 ^A (0,224)	41,448 ^A (1,853)	40,402 ^A (1,796)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	3,417 ^B (1,503)	1,465 ^A (0,250)	33,225 ^A (7,162)	24,028 ^{BC} (4,075)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	1,940 ^A (0,150)	2,021 ^A (0,648)	35,024 ^A (5,588)	34,338 ^{AB} (4,615)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	1,505 ^B (0,109)	1,812 ^A (0,219)	35,210 ^A (0,975)	33,186 ^{AB} (0,564)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	1,871 ^B (0,053)	1,691 ^A (0,045)	32,646 ^A (1,439)	30,197 ^{AB} (1,285)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	3,311*	1.030	11,891***	10,898
V	1	0,744ns	1.030	4,077ns	10,898
K x V	6	5,148**	1.030	0,697ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 34. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin dehidrojenaz aktivitesi seviyeleri ($\mu\text{g TPF g}^{-1}$ kuru toprak)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	0,042 ^C (0,002)	0,042 ^{BC} (0,002)	0,831 ^D (0,131)	0,831 ^C (0,131)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	0,035 ^C (0,001)	0,057 ^{AB} (0,002)	0,175 ^{CD} (0,230)	1,190 ^{BC} (0,427)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	0,047 ^C (0,007)	0,046 ^{BC} (0,003)	1,859 ^{AB} (0,049)	1,499 ^{AB} (0,188)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	0,023 ^C (0,001)	0,083 ^A (0,001)	1,786 ^{AB} (0,100)	1,191 ^{BC} (0,062)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	0,030 ^C (0,004)	0,082 ^A (0,000)	1,321 ^C (0,082)	1,350 ^{AB} (0,011)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	0,233 ^A (0,037)	0,028 ^C (0,004)	2,000 ^A (0,242)	1,585 ^A (0,154)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	0,102 ^B (0,017)	0,056 ^B (0,005)	1,470 ^{BC} (0,144)	1,360 ^{AB} (0,141)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

Sera Denemesi				Tarla Denemesi	
V.K.	S.D.	F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	45,131***	0,026	20,522***	0,392
V	1	23,013***	0,026	14,745***	0,392
K x V	6	91,981***	0,026	3,134*	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

Ek 35. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin β -glukosidaz seviyeleri ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	44,493 ^{BC} (3,555)	44,493 ^A (3,555)	127,344 ^B (12,865)	127,344 ^{AB} (12,865)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	44,329 ^{BC} (3,731)	37,522 ^B (4,090)	145,293 ^B (27,443)	119,276 ^{ABC} (22,943)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	48,515 ^{AB} (2,588)	37,980 ^B (1,532)	187,042 ^A (1,311)	103,290 ^{BC} (9,864)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	44,566 ^{BC} (0,699)	45,066 ^A (1,813)	186,516 ^A (5,195)	122,212 ^{ABC} (12,571)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	50,887 ^A (3,278)	42,952 ^{AB} (2,217)	194,413 ^A (14,349)	108,698 ^{BC} (1,445)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	43,089 ^{BC} (2,437)	42,115 ^{AB} (1,022)	160,360 ^{AB} (2,280)	153,001 ^A (40,355)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	40,499 ^C (1,481)	45,062 ^A (1,744)	133,273 ^B (10,381)	84,553 ^C (5,063)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	3,210*	5,966	6,265***	38,76
V	1	13,911**	5,966	73,239***	38,76
K x V	6	6,442***	5,966	6,293***	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 36. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin üreaz seviyeleri ($\mu\text{g N g}^{-1}$ kuru toprak)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	29,641 ^B (0,142)	29,641 ^A (0,142)	23,609 ^D (1,831)	23,609 ^D (1,831)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	35,912 ^A (4,719)	24,279 ^B (2,450)	51,507 ^{ABC} (7,487)	61,709 ^A (3,794)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	26,792 ^{BC} (2,246)	17,289 ^C (1,103)	50,740 ^{ABC} (1,725)	58,629 ^{AB} (4,599)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	26,927 ^{BC} (1,917)	22,942 ^B (0,501)	54,289 ^{AB} (8,038)	33,230 ^{CD} (0,622)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	22,124 ^C (2,479)	16,900 ^C (0,966)	40,633 ^{BC} (3,613)	35,610 ^{CD} (1,637)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	22,958 ^C (3,410)	26,904 ^{AB} (1,139)	58,880 ^A (4,352)	45,704 ^{BC} (7,420)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	22,039 ^C (1,703)	22,375 ^B (1,715)	38,047 ^C (10,055)	62,033 ^A (12,004)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	19,994***	4,915	21,577***	13,911
V	1	31,024***	4,915	0,045ns	13,911
K x V	6	9,988***	4,915	9,196***	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 37. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin alkalin fosfataz seviyeleri ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak)*ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	258,554 ^A (11,077)	258,554 ^A (11,077)	129,106 ^A (6,243)	129,106 ^{AB} (6,243)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	232,575 ^{AB} (8,828)	253,071 ^{AB} (43,359)	81,824 ^C (30,264)	96,832 ^B (14,463)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	217,615 ^B (2,681)	171,952 ^D (7,736)	91,336 ^{BC} (5,489)	123,216 ^{AB} (10,102)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	220,894 ^{AB} (21,854)	214,599 ^{BC} (16,435)	101,681 ^{ABC} (5,979)	114,732 ^{AB} (26,569)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	232,034 ^{AB} (22,799)	239,222 ^{ABC} (13,506)	122,968 ^{AB} (24,615)	110,193 ^{AB} (6,480)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	253,156 ^{AB} (12,142)	171,160 ^D (0,461)	108,590 ^{ABC} (4,198)	138,417 ^A (16,523)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	230,991 ^{AB} (3,369)	207,621 ^{CD} (8,526)	124,685 ^{AB} (13,150)	123,995 ^{AB} (7,087)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düşey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	9,292***	38,780	4,620**	35,658
V	1	12,328**	38,780	5,319*	35,658
K x V	6	6,388***	38,780	1,610ns	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma
ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

Ek 38. Sera ve tarla denemesi sonunda alınan toprak örneklerinin arilsülfataz seviyeleri ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ kuru toprak)* ve istatistiksel değerlendirmeler

Uygulamalar	SERA DENEMESİ		TARLA DENEMESİ	
	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar	Vermikompostlanmış karışımlar	Vermikompostlanmamış karışımlar
Kontrol	36,455 ^C (6,001)	36,455 ^C (6,001)	40,229 ^{AB} (4,976)	40,229 ^{BC} (4,976)
1 No'lu karışım (%0 AÇ+%50 FZ + %50 AG)	72,686 ^B (1,919)	63,953 ^A (5,347)	38,263 ^{ABC} (1,291)	30,231 ^C (5,161)
2 No'lu karışım (%10 AÇ+%45 FZ + %45 AG)	68,915 ^B (1,490)	58,196 ^{AB} (2,771)	41,758 ^A (5,614)	40,246 ^{BC} (3,165)
3 No'lu karışım (%20 AÇ+%40 FZ + %40 AG)	65,717 ^B (2,179)	57,653 ^{AB} (1,592)	38,455 ^{ABC} (0,708)	36,293 ^{CD} (0,249)
4 No'lu karışım (%30 AÇ+%35 FZ + %35 AG)	83,175 ^A (6,091)	54,431 ^B (2,984)	32,568 ^{BC} (3,627)	39,431 ^{BC} (1,633)
5 No'lu karışım (%40 AÇ+%30 FZ + %30 AG)	67,213 ^B (5,199)	57,088 ^{AB} (1,646)	43,333 ^A (4,143)	47,535 ^{AB} (0,714)
6 No'lu karışım (%50 AÇ+%25 FZ + %25 AG)	73,033 ^B (1,709)	51,471 ^B (2,616)	30,067 ^C (2,307)	55,191 ^A (7,531)

* Analiz sonuçları 5 paralelin ortalaması olup, parantez içerisindeki rakamlar ortalamalar arasındaki standart sapmayı, harfler ise düzey karşılaştırmayı göstermektedir.

Varyans Analiz Tablosu

V.K.	S.D.	Sera Denemesi		Tarla Denemesi	
		F-değeri	LSD (%1)	F-değeri	LSD (%1)
K	6	55,483***	8,201	5,627***	9,181
V	1	126,878***	8,201	7,843**	9,181
K x V	6	10,428***	8,201	10,410***	-

VK: Varyasyon Kaynağı SD: Serbestlik Derecesi K: Karışım V: Vermikompostlanma ns : önemsiz, * P<0,05, ** P<0.01, *** P<0,001

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Fevziye Şüheyda HEPŞEN TÜRKAY

Doğum Yeri: Merzifon

Doğum Tarihi: 27/08/1977

Medeni Hali: Evli

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

Eğitim Durumu (kurum ve yıl)

Lise: Merzifon Lisesi, 1994

Lisans: OMÜ, 1999

Yüksek Lisans: OMÜ, 2004

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

OMÜ Fen Bilimleri Enst. Toprak ABD, 2005-2009

Samsun Toprak ve Su Kaynakları Araş. Enst., 2009-Halen

İletişim Bilgileri:

Ev Adres: Mevlana mah. Kilyos Cad. Deniz Apt. no:27 Atakum, Samsun

Ev Tel: 0362 437 90 75

Cep Tel: 0544 648 22 23

E-mail: shepsen@omu.edu.tr

suhedahep@yahoo.com