

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SABİT C/N ORANINDA VE FARKLI SERBEST HAVA BOŞLUĞU
ORANLARINDA HAYVANSAL VE BİTKİSEL ATIKLARDAN
KOMPOST VE SOLUCAN KOMPOSTU ÜRETİMİ VE ELDE EDİLEN
KOMPOSTLARIN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ: NAR İŞLEME ATIĞI
ÖRNEĞİ**

Fevzi ŞEVİK

**Danışman
Prof. Dr. İsmail TOSUN**

**II. Danışman
Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2022**



© 2022 [Fevzi ŞEVİK]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	12
2. KAYNAK ÖZETLERİ	15
2.1. Nar Atıkları.....	15
2.2. Sığır Gübresi.....	17
2.3. Tavuk Gübresi	18
2.4. Kompostlaştırma.....	18
2.5. Zenginleştirme	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	30
3.1. Nar Atıkları Kompostlaştırması	30
3.1.1. Kompostlaştırma işleminde kullanılan materyaller	30
3.1.2. Kompost materyallerinin karışım oranları	32
3.1.3. Kompostlaştırma sistemi.....	33
3.2. Solucanlı Kompostlama	37
3.2.1. Solucanlı kompostlaştırma işleminde kullanılan materyaller	37
3.2.2. Solucanlı kompost materyallerinin karışım oranları	37
3.2.3. Solucanlı kompostlaştırma sistemi.....	38
3.3. Zenginleştirme	40
3.4. Fiziksel ve Kimyasal Analizler.....	40
3.4.1. Su muhtevası	41
3.4.2. pH ve EC	42
3.4.3. Organik madde muhtevası	42
3.4.4. Karbon/azot oranı.....	43
3.4.5. Fosfor	43
3.4.6. Birim hacim ağırlığı	43
3.4.7. Serbest hava boşluğu	44
3.4.8. Amonyum ve nitrat	44
3.4.9. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı	44
3.4.10.NDF ve ADF analizi.....	44
3.5. Bitki Testleri	46
3.5.1. Çimlenme indeksi	46
3.5.2. Saksı denemeleri.....	46
3.6. Mikrobiyolojik Analiz	49
3.7. Kinetik Analiz	51
3.8.İstatistiksel Analiz.....	52
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	53
4.1. Nar Atıkları Kompostlaştırması	53
4.1.1. Sıcaklık değişimleri.....	53
4.1.2. O ₂ ve CO ₂ değişimleri	57
4.1.3. Su muhtevası değişimleri	60

4.1.4. Birim hacim ağırlığı değişimleri	62
4.1.5. pH değişimleri.....	65
4.1.6. EC değişimleri	67
4.1.7. Organik madde değişimleri	69
4.1.8. Karbon/Azot değişimi.....	72
4.1.9. Fosfor değişimi	74
4.1.10.Amonyum ve nitrat değişimi	76
4.1.11.Biyokimyasal oksijen ihtiyacı değişimi	77
4.1.12.NDF ve ADF değişimi	78
4.1.13.Mikrobiyolojik analiz.....	81
4.1.14.Kinetik analiz.....	83
4.2.Solucanlı Kompostlama	87
4.2.1. Sıcaklık değişimleri	88
4.2.2. Su muhtevası değişimleri	88
4.2.3. Birim hacim ağırlığı değişimleri	89
4.2.4. pH değişimleri.....	89
4.2.5. EC değişimleri	90
4.2.6. Organik madde değişimleri	91
4.2.7. Karbon/Azot değişimi	92
4.2.8. Fosfor değişimi	93
4.2.9. Amonyum ve nitrat değişimi.....	93
4.2.10.Biyokimyasal oksijen ihtiyacı değişimi	94
4.3.Bitki Testleri Sonuçları	95
4.3.1. Çimlenme indeksi	95
4.3.2. Saksı denemesi	96
4.4.Kompost Kalite Değerlendirmesi.....	98
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ.....	112

ÖZET

Doktora Tezi

SABİT C/N ORANINDA VE FARKLI SERBEST HAVA BOŞLUĞU ORANLARINDA HAYVANSAL VE BİTKİSEL ATIKLARDAN KOMPOST VE SOLUCAN KOMPOSTU ÜRETİMİ VE ELDE EDİLEN KOMPOSTLARIN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ: NAR İŞLEME ATIĞI ÖRNEĞİ

Fevzi ŞEVİK

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail TOSUN

II. Danışman: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Bu çalışmada meyve suyu işleme atıklarından, mevsimsel olarak ortaya çıkan nar atıklarının, (NA) sığır gübresi (SG), tavuk gübresi (TG) ve saman (S) ile birlikte kompostlaştırılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Kompostlaştırma işlemi laboratuvar ölçekli 100 l'lik 15 adet reaktörde 3 tekerrürlü olarak 35 gün süreyle gerçekleştirilmiştir. Kompost karışımları sabit karbon/azot oranında (C/N:25/1) ve değişken serbest hava boşluğu (SHB) (%24, 28, 32, 36, 40) oranlarında hazırlanmıştır. Kompostlaştırma prosesi boyunca reaktörlerin sıcaklık ve havalandırma parametreleri otomasyon sistemi ile kontrol edilmiştir. Proses süresince karıştırma işlemleri sırasında homojen örnekler alınarak fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Kompost karışımlarının proses sonu su muhtevası (SM) değerleri %62,6-66,3, organik madde (OM) değerleri %70,4-74,1, pH değerleri 8,19-8,46, elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin 3,36-5,06 dS/m ve C/N oranlarının ise 12,4-13,6 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Nar kompostu karışımlarının sıcaklıkları ilk günün sonunda 60 °C'ye ulaşmış ve ardışık 3 günden fazla 55 °C'nin üzerinde devam etmiştir. Kompost karışımlarının lignoselülozik analizlerinde en çok değişim SHB oranının %40 olduğu K5 karışımında lignin ve selüloz değerlerinde sırasıyla %11,1 ve %17,1 olarak gerçekleşmiştir. Karbondioksit-karbon (hesaplanan) verileri esas alınarak kinetik analiz yapılmış olup K5 karışımında birinci-sıfırıncı ve birinci-birinci derece kinetik modelde hızlı ayrışma katsayısı (k_R) sırasıyla 0,261 gün⁻¹ ve 0,273 gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen nar kompostu karışımları *Eisenia fetida* türünde solucan kullanılarak kompostlamaya tabi tutulmuştur. Solucan kompostlamada solucan çoğalması en fazla 2563 adet ile K4 karışımında meydana gelmiştir. En çok kütle ve hacim kaybı solucan sayısının en fazla arttığı K4 karışımında sırasıyla %13,5 ve %24,0 olarak gerçekleşmiştir. Karışımların çimlenme indeksi (Çİ) değerleri kompost dozunun azalmasına paralel olarak artış göstermiştir. Kompostlar üzerinde NPK'lı (7-7-7) organomineral zenginleştirme yapılarak zenginleştirilmiş kompost elde edilmiştir. Kompostların bitki gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla üç

farklı dozda (100, 200, 400 kg/da) mısır tohumu ile saksı uygulaması yapılmıştır. Saksı denemesinde maksimum mısır gelişimlerine (39,2 cm boy uzunluğu; 20,8 g gövde ve 17,8 g kök ağırlığı), 400 kg/da dozun uygulandığı zenginleştirilmiş solucan kompostunda (ZSK) ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kinetik, kompost, nar işleme atığı, solucan kompostu, zenginleştirme.

2022, 112 sayfa



ABSTRACT

PhD. Thesis

PRODUCTION OF COMPOST AND WERMICOMPOST FROM ANIMAL AND PLANT WASTES AT FIXED C/N RATIO AND DIFFERENT FREE AIR SPACE RATIOS AND ENRICHMENT OF PRODUCTION COMPOST: AN EXAMPLE OF POMEGRANATE PROCESSING WASTE

Fevzi ŞEVİK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. İsmail TOSUN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

In this study, the composting potential of seasonally generated pomegranate wastes from fruit juice processing wastes (PW) with cattle manure (CM), poultry manure (PM) and straw (S) was investigated. The composting process was carried out in 15 laboratory scale 100 l reactors with 3 replications for 35 days. Compost mixes were prepared at fixed carbon/nitrogen ratio (C/N:25/1) and variable free air space (FAS) (%24, 28, 32, 36, 40) ratios. During the composting process, the temperature and ventilation parameters of the reactors were controlled by the automation system. The mixing process during the composting, homogeneous samples were taken and physical and chemical analyzes were carried out. The end of process of compost mixtures, moisture content (MC) values are 62.6%, 66.3%, organic matter (OM) values are 70.4-74.1%, pH values are 8.19-8.46, electrical conductivity (EC) values were found to be in the range of 3.36-5.06 dS/m and C/N ratios were in the range of 12.4-13.6. The temperatures of the pomegranate compost mixtures reached 60 °C at the end of the first day and remained above 55 °C for more than 3 consecutive days. In the lignocellulosic analyzes of the compost mixtures, the highest change was observed in the lignin and cellulose values of 11.1% and 17.1%, respectively, in the K5 mixture, where the FAS ratio was 40%. Kinetic analysis was made on the basis of carbon dioxide-carbon (calculated) data, and the rapid degradation coefficient (k_R) was calculated as 0.261 day⁻¹ and 0.273 day⁻¹, respectively, in the first-zero and first-first order kinetic model in the K5 mixture. The production pomegranate compost mixtures were subjected to composting using worms of the *Eisenia fetida* species. In vermicomposting, the increase in the number of worms occurred at the highest with 2563 in the K4 mixture. The highest mass and volume loss were 13.5% and 24.0%, respectively, in the K4 mixture, where the number of worms increased the most. The mixture's germination index (GI) values increased in parallel with the decrease in the compost dose. Enriched compost was obtained by making organomineral enrichment with NPK (7-7-7) on the composts. In order to

determine the effect of composts on plant growth with three different doses (100, 200, 400 kg/da) of corn seeds were applied in pots. Maximum corn growth (39.2 cm height; 20.8 g stem and 17.8 g root weight) in the pot experiment was reached in enriched vermicompost (EVC) at a dose of 400 kg/da.

Keywords: Kinetic, compost, pomegranate processing waste, vermicompost, enrichment.

2022, 112 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. İsmail TOSUN'a ve laboratuvar altyapısı ve tecrübeleri ile her türlü desteği sağlayan değerli II. Danışman Hocam Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmaları süresince her aşamada beni yönlendiren, çalışmalarına katkı sağlayan tez izleme komitesinde yer alan Prof. Dr. Ali COŞKAN ve Prof. Dr. Mehmet KILIÇ hocalarıma da teşekkür ederim. Mikrobiyolojik analizlerde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Şener KURT hocama teşekkür ederim. Atık temininde yardımlarını esirgemeyen Eyüp ÜLPEREN'e teşekkür ederim. Arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Kemal SÜLÜK, Dr. Arş. Gör. N. Berk BITRAK, Öğr. Gör. Rıfat YILDIRIM, Dr. Ekin EKE, Dr. Numan HARIMDAR, Doktora öğrencisi Barbaros KUMBUL, Fatih ŞAHİNER ve Mustafa BEKAROĞLU'na teşekkür ederim.

Çevre Mühendisliği Bölümü Hocalarıma ve tez çalışmalarımda yardımcı olan lisans öğrencilerine de teşekkürü bir borç bilirim.

Laboratuvar ekipmanı konusunda sağlamış oldukları destekten dolayı PVD Ltd. Şti. firmasına da teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora eğitimime, Hayvansal Atıkların Yönetiminde Karşılaşılan Sorunlar, İhtiyaçlar ve Yönetim Teknolojilerinin Belirlenmesi alanında sağlamış oldukları burs nedeniyle Türkiye Çevre Koruma Vakfı'na teşekkür ederim.

FDK-2018-5778 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Fevzi ŞEVİK
ISPARTA, 2022

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye’de yıllara göre nar üretimi	15
Şekil 2.2. Nar suyu prosesi iş akım şeması.....	16
Şekil 2.3. Türkiye’de yıllara göre sığır sayısı.....	17
Şekil 2.4. Türkiye’de yıllara göre tavuk sayısı	18
Şekil 2.5. Kompostlaştırma tesisi şeması	19
Şekil 2.6. Solucanın anotomik yapısı	23
Şekil 3.1. Tez akım şeması.....	30
Şekil 3.2. Kompostlaştırma çalışmasında kullanılan nar atıkları.....	31
Şekil 3.3. Kompostlaştırma çalışmasında kullanılan sığır gübresi	31
Şekil 3.4. Kompost laboratuvarı.....	33
Şekil 3.5. Kompostlaştırma işlemi şematik deney düzeneği	34
Şekil 3.6. Kompostlaştırma işleminin gerçekleştirildiği reaktörler	35
Şekil 3.7. Otomasyon sistemi ana ekranı	36
Şekil 3.8. Reaktörlerin karıştırma işlemleri	37
Şekil 3.9. Solucanlı kompostlaştırmanın yapıldığı kasa boyutları.....	39
Şekil 3.10. Laboratuvar ölçekli solucanlı kompostlama	39
Şekil 3.11. Solucanlı kompostlama aydınlatma sistemi.....	39
Şekil 3.12. Ankom lif analizör cihazı	45
Şekil 3.13. Çimlenme indeksi deneyi sürecinde tere tohumlarının çimlenmesi.....	46
Şekil 3.14. Saksıların ekime hazırlanması.....	48
Şekil 3.15. Sera alanının sıcaklık ölçümü için kullanılan termometre	48
Şekil 3.16. Mısır bitkisinin büyüme süreci ve boy ölçümü	49
Şekil 3.17. MALDI TOF MS cihazı	50
Şekil 3.18. MALDI-TOF MS analiz tekniği iş akış diagramı	50
Şekil 3.19. MALDI TOF MS cihazında tanı skalası	51
Şekil 4.1. K1 karışımı sıcaklık değişimleri.....	54
Şekil 4.2. K2 karışımı sıcaklık değişimleri.....	55
Şekil 4.3. K3 karışımı sıcaklık değişimleri.....	55
Şekil 4.4. K4 karışımı sıcaklık değişimleri.....	55
Şekil 4.5. K5 karışımı sıcaklık değişimleri.....	56
Şekil 4.6. K1 karışımı O ₂ ve CO ₂ değişimleri.....	58
Şekil 4.7. K2 karışımı O ₂ ve CO ₂ değişimleri.....	58
Şekil 4.8. K3 karışımı O ₂ ve CO ₂ değişimleri.....	59
Şekil 4.9. K4 karışımı O ₂ ve CO ₂ değişimleri.....	59
Şekil 4.10. K5 karışımı O ₂ ve CO ₂ değişimleri	59
Şekil 4.11. K1 karışımı SM değişimleri.....	61
Şekil 4.12. K2 karışımı SM değişimleri	61
Şekil 4.13. K3 karışımı SM değişimleri	61
Şekil 4.14. K4 karışımı SM değişimleri	62
Şekil 4.15. K5 karışımı SM değişimleri	62
Şekil 4.16. K1 karışımı BHA değişimleri	63
Şekil 4.17. K2 karışımı BHA değişimleri	63
Şekil 4.18. K3 karışımı BHA değişimleri	64
Şekil 4.19. K4 karışımı BHA değişimleri	64
Şekil 4.20. K5 karışımı BHA değişimleri	64

Şekil 4.21. K1 karışımı pH değişimleri	65
Şekil 4.22. K2 karışımı pH değişimleri	66
Şekil 4.23. K3 karışımı pH değişimleri	66
Şekil 4.24. K4 karışımı pH değişimleri	66
Şekil 4.25. K5 karışımı pH değişimleri	67
Şekil 4.26. K1 karışımı EC değişimleri	67
Şekil 4.27. K2 karışımı EC değişimleri	68
Şekil 4.28. K3 karışımı EC değişimleri	68
Şekil 4.29. K4 karışımı EC değişimleri	68
Şekil 4.30. K5 karışımı EC değişimleri	69
Şekil 4.31. K1 karışımı OM değişimleri	70
Şekil 4.32. K2 karışımı OM değişimleri	70
Şekil 4.33. K3 karışımı OM değişimleri	71
Şekil 4.34. K4 karışımı OM değişimleri	71
Şekil 4.35. K5 karışımı OM değişimleri	71
Şekil 4.36. K1 karışımı C/N değişimleri	72
Şekil 4.37. K2 karışımı C/N değişimleri	73
Şekil 4.38. K3 karışımı C/N değişimleri	73
Şekil 4.39. K4 karışımı C/N değişimleri	73
Şekil 4.40. K5 karışımı C/N değişimleri	74
Şekil 4.41. K1 karışımı TP değişimleri	75
Şekil 4.42. K2 karışımı TP değişimleri	75
Şekil 4.43. K3 karışımı TP değişimleri	75
Şekil 4.44. K4 karışımı TP değişimleri	76
Şekil 4.45. K5 karışımı TP değişimleri	76
Şekil 4.46. Kompost karışımlarının BOİ değişimi	78
Şekil 4.47. Kompost karışımlarının NDF değişimleri	79
Şekil 4.48. Kompost karışımlarının ADF değişimleri	80
Şekil 4.49. Kompost karışımlarının lignin değişimleri	80
Şekil 4.50. Kompost karışımlarının selüloz değişimleri	80
Şekil 4.51. Kompost karışımlarının hemiselüloz değişimleri	81
Şekil 4.52. K1 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması	85
Şekil 4.53. K2 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması	85
Şekil 4.54. K3 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması	86
Şekil 4.55. K4 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması	86
Şekil 4.56. K5 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması	87
Şekil 4.57. Solucanlı kompostlama kütesinden bir kesit	87
Şekil 4.58. Solucan kompostu karışımlarının SM değişimleri	88
Şekil 4.59. Solucan kompostu karışımlarının pH değişimleri	90
Şekil 4.60. Solucan kompostu karışımlarının EC değişimleri	91
Şekil 4.61. Solucan kompostu karışımlarının OM değişimleri	91
Şekil 4.62. Solucan kompostu karışımlarının C/N değişimleri	92
Şekil 4.63. Solucan kompostu karışımlarının TP değişimleri	93
Şekil 4.64. Solucan kompostu karışımlarının BOİ değişimleri	94
Şekil 4.65. Mısır bitkisi boy uzunlukları ve kuru madde bazında gövde-kök ağırlıkları	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Kompost kriterleri.....	21
Çizelge 2.2. Kompost ve solucan kompostu ağır metal içerikleri sınır değerleri.....	22
Çizelge 2.3. Solucan kompostu kriterleri.....	25
Çizelge 2.4. NPK'lı katı organomineral gübre kriterleri	29
Çizelge 3.1. Organik atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri	32
Çizelge 3.2. Kompost karışımları (kuru madde bazında) ve SHB oranları.....	33
Çizelge 3.3. Kompost örnekleri NPK değerleri.....	40
Çizelge 3.4. Analiz metotları	41
Çizelge 3.5. Saksı denemesi toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri	47
Çizelge 4.1. Kompost karışımlarının maksimum sıcaklıkları, ulaşma süreleri ve >55 °C'de kalma süreleri	57
Çizelge 4.2. Nar kompostu karışımların başlangıç ve son C/N değişimleri	72
Çizelge 4.3. Nar kompostu karışımlarının TP değişimleri	74
Çizelge 4.4. Kompost karışımlarının NH ₄ -N ve NO ₃ -N değişimleri.....	77
Çizelge 4.5. Kompost karışımlarının NDF, ADF, Lignin, Selüloz ve Hemiselüloz değerleri (%)	79
Çizelge 4.6. Nar atıkları kompostlaması başlangıç karışımlarının mikroorganizma türleri	82
Çizelge 4.7. Nar atıkları kompostlaması proses sonu karışımların mikroorganizma türleri	82
Çizelge 4.8. Birinci-sıfırncı ve birinci-birinci derece kinetik için elde edilen hız sabitleri	84
Çizelge 4.9. Solucan kompostu karışımlarının solucan sayısı ve kütlesel-hacimsel değişimleri.....	89
Çizelge 4.10. Solucan kompostu karışımlarının NH ₄ -N ve NO ₃ -N değişimleri.....	94
Çizelge 4.11. Nar kompostunun farklı doz uygulamalarında Çİ (%)	95
Çizelge 4.12. Solucan kompostunun farklı doz uygulamalarında Çİ (%)	95
Çizelge 4.13. Kontrol grubu mısır bitkisi boy uzunlukları ve kuru madde bazında gövde-kök ağırlıkları.....	98
Çizelge 4.14. Kompost örneklerine ait mısır bitkisi boy uzunlukları ve kuru madde bazında gövde-kök ağırlıkları.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BHA	Birim Hacim Ağırlığı
C/N	Karbon/Azot oranı
da	Dekar
EC	Elektriksel İletkenlik
g	Gram
K	Kompost
kg	Kilogram
KM	Kuru Madde
l	litre
mg	miligram
NA	Nar atığı
NPK	Azot Fosfor Potasyum
OM	Organik Madde
PLC	Programlanabilir Kontrol Cihazı (Programmable Logic Controller)
S	Saman
SG	Sığır Gübresi
SHB	Serbest Hava Boşluğu
SK	Solucan Kompostu
SM	Su Muhtevası
TC	Toplam Karbon
TG	Tavuk Gübresi
TN	Toplam Azot
TP	Toplam Fosfor
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ZK	Zenginleştirilmiş Kompost
ZSK	Zenginleştirilmiş Solucan Kompostu

1. GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra gelişen şehirleşmeye bağlı olarak bitkisel ve hayvansal atıkların bertarafı her geçen gün problem haline gelmektedir. Hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan hayvan gübresi uygun yöntemlerle değerlendirilmediğinde, yeraltı ve yüzeysel su kirliliği, koku problemi, görüntü kirliliği ve hastalık riski gibi birçok sorun ortaya çıkarabilmektedir.

Kompostlama işlemi, biyolojik arıtma tesisi çamuru, yaprak, kâğıt ve yiyecek atıkları gibi organik maddelerin mikroorganizmalar vasıtasıyla kompost adı verilen toprağımsı bir yapıya dönüştürüldüğü biyolojik bir işlemdir.

Tarımsal üretimde kullanılan kimyasal gübrelerin etkileri insan ve çevre sağlığını önemli ölçüde tehdit etmektedir. Bu nedenle son yıllarda bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması veya en az seviyeye indirilebilmesi amacıyla organik tabanlı gübrelerin kullanımı yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Bu kapsamda birçok iyi tarım uygulamaları adı altında projeler gerçekleştirilmektedir. Ancak tarım faaliyetlerinde oldukça fazla miktarda kimyasal gübre kullanımı devam etmektedir.

Kompostlaştırma işleminde kompost materyaline gözenek malzemesi eklenmesi ile karışımların SM, C/N oranı, parçacık büyüklüğü ve pH özellikleri optimum seviyeye getirilirken, yüksek oranda OM parçalanması da gerçekleşmektedir (Ingelmo vd., 2012).

Solucanlar biyolojisi gereği küçük canlılar olup büyük boyutlardaki atıkların ayrışmasında etkin değildirler. Bu yüzden solucan kompostu elde edilmesi aşamasında bazı ön işlemler gerekmektedir. Kompostlama işleminin aktif olarak tamamlanması (ön kompostlama) gerekmektedir. Bu sayede organik atıkların hidrolizi gerçekleşerek solucanlar için daha küçük boyutlarda ve özelliklerde bir ürün oluşmuş olur.

Atık Bertaraf Stratejisi

Avrupa Birliği Entegre Çevre Uyum Stratejisi kapsamında, atık sektöründe uygun yöntemlerin kullanılarak katı atıkların geri kazanımını ve düzenli depolanmasını sağlayacak önlemler alınması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda düzenli depolanabilecek biyobozunur katı atık miktarını azaltmak için “Ulusal Atık Stratejisi” oluşturularak katı atık geri kazanımı ve bertaraf tesislerinin kurulması öngörülmüştür.

Türkiye’de Tarım Arazisi ve Gübre Kullanımı

Türkiye’de toplam tarım alanı zamanla azalmış olup, 2001 yılında 41 milyon hektar iken 2015 yılında bu değer 38,5 milyon hektara düşmüştür. Bitki büyümelerini desteklemek ve yüksek verim elde etmek için kimyasal gübrelerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Tarımsal faaliyetlerde en çok azotlu, fosforlu ve potasyumlu kimyasal gübre kullanımı gerçekleşmektedir. Türkiye’de 2016 yılında 2009 yılına göre %35 daha fazla kimyasal gübre kullanımı gerçekleşmiştir. Aynı yıllarda %34 ile azotlu gübre, %36 ile fosforlu gübre ve %81 potasyumlu gübre kullanımı artış göstermiştir.

Tez Çalışması

Literatürde nar işleme atıklarının geri kazanımı veya bertarafına yönelik çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu çalışmada mevsimsel ve bölgesel olarak oluşan nar atıklarının hayvansal gübrelerle farklı SHB oranlarında kompostlaştırılabilirliği araştırılmıştır.

Tez kapsamında NA, SG, TG ve S materyallerinden kompostlaştırma işlemi yapılmış ve nar kompostu üretilmiştir. Solucanlı kompostlaştırma işleminde üretilen nar kompostları kullanılmıştır. Üretilen nar kompostunun ve solucan kompostunun NPK mineral zenginleştirilmesi yapılmıştır. Kompostlaştırma işlemlerinden elde edilen kompostların ve zenginleştirilmiş kompostların

farklı doz uygulamaları ile mısır bitkisi üzerine etkisini belirlemek için saksı denemesi gerçekleştirilmiştir.

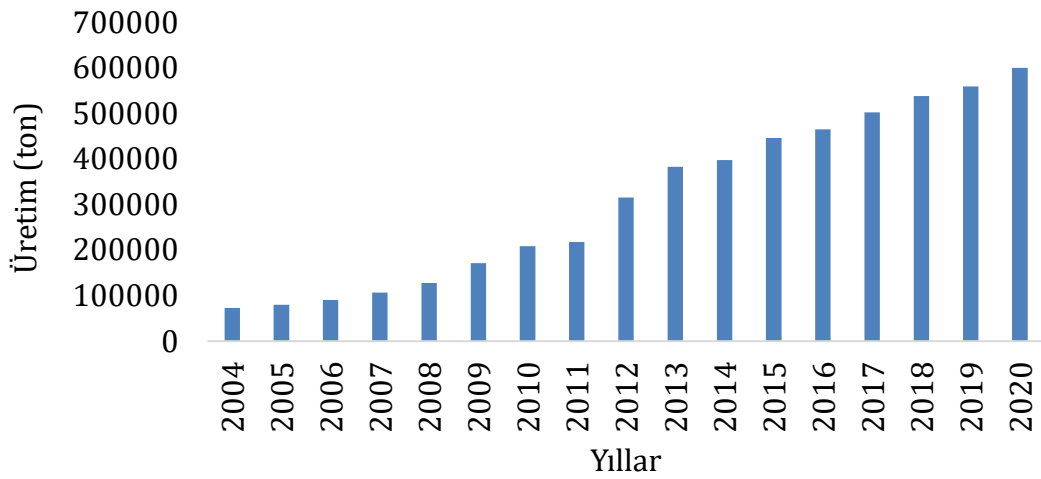
Kompost materyallerin karışımlarında sabit C/N oranı ve farklı SHB oranlarında kompostlaştırma prosesinde OM ve lignoselülozik değişimleri incelenerek optimum karışım oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Solucanlı kompostlama çalışmasında, nar kompostu karışımlarında solucanların kütesel değişimleri ve solucan kompostu üzerinde makro besin elemnetlerindeki değişimleri izlenmiştir. Bu çerçevede elde edilecek kompostların NPK zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede organik tarımda kullanılacak kimyasal gübreler azaltılarak tarım için daha verimli ve sürdürülebilir toprak iyileştiriciler elde edilmiş olunacaktır.

Günümüzde tarımsal alanlarda kimyasal gübre kullanımının oldukça fazla olduğu bilinmektedir. Organik gübre kullanımının yaygınlaştırılması için organik ve mineral gübrelerin birlikte kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada elde edilen kompostların makro besin elementleri ile zenginleştirilmesi gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Nar Atıkları

Nar ülkemizde genellikle Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde nisbeten ılıman iklimde yetiştirilmektedir. Türkiye’de 2004 yılında 73 bin ton nar üretimi gerçekleşirken, bu değer 2020 yılında 600 bin ton üretime ulaşmıştır (TÜİK, 2022). Nar üretimi her geçen yıl artarak devam etmiştir (Şekil 2.1).

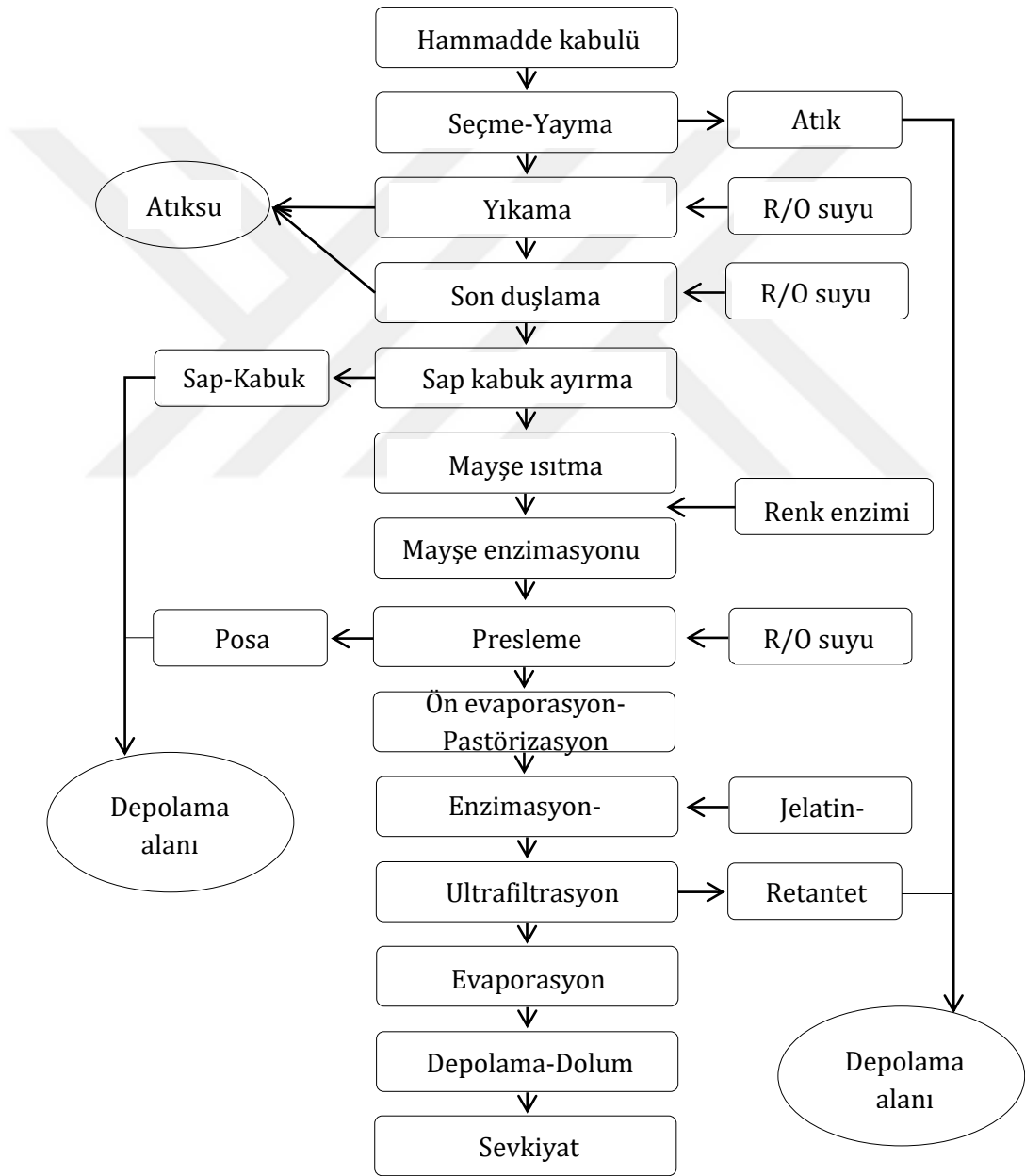


Şekil 2.1. Türkiye’de yıllara göre nar üretimi

Nar meyvesi ekonomik ve ulusal bir meyve olması nedeni ile meyve suyu endüstrisinde en çok kullanılan ürünlerdendir. Meyve suyu işleme tesislerine gelen meyveler prosese hammadde kabulü ile başlar. Yıkanan meyveler, konveyör bant aracılığı ile meyve parçalama bölümüne iletilmeden önce, seçme işlemine tabi tutulmaktadır. Seçme bölümünde, hammaddedeki çürük, ezik, vb. kusurlu meyvelerin ve sap, yaprak gibi yabancı maddelerin seçilme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yıkılarak temizlenmiş meyveler, çekirdek çıkarma işleminin ardından, değirmende parçalanarak elekten geçirildikten sonra, meyve eti alınmaktadır. Meyvenin çekirdekleri ve kabuk kısımları atık olarak tesisten uzaklaştırılır. Parçalanmış meyveye mayşe denilmekte olup mayşe enzimasyonu sonucu presleme işlemi uygulanmaktadır. Presleme işleminde ters ozmoz (R/O) arıtma suyu kullanılmaktadır. Ultrafiltrasyon sonucu filtreden

geçemeyen kısım (retantet) depolama alanına gönderilmektedir. Nar suyu prosesi iş akım şeması Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Nar meyvesi atıkları kontrolsüz bir şekilde doğaya atılmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Nar meyvesi için ortalama ağırlık 284 g bulunmuş ve %78’i su %22’si çekirdek olan yenilebilir bölümlerin toplam meyve ağırlığının %52’si, kabuk ve zarın ise toplam meyve ağırlığının %48’i olduğu tespit edilmiştir (El-Nemr vd., 1992).

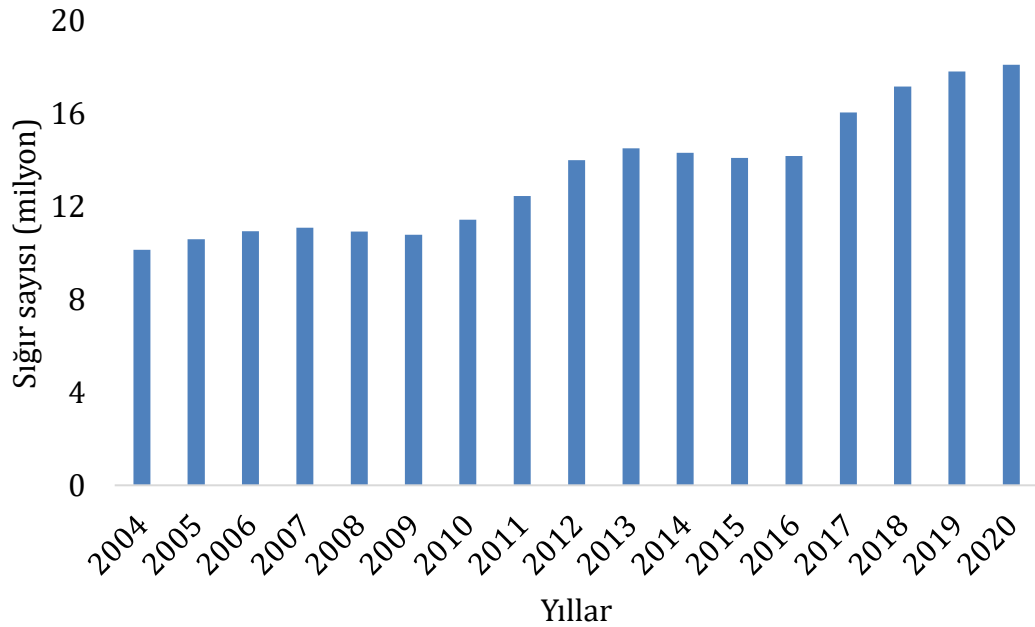


Şekil 2.2. Nar suyu prosesi iş akım şeması

2.2. Sığır Gübresi

Hayvan gübresinin uygun olmayan şekilde işlenmesi ve kullanılması halk sağlığına son derece zararlı olabilmektedir (Ekinci vd., 2010). Çevresel sorunlar dışkı ve idrarla atılan azotlu bileşiklerin atmosfer, toprak ve yer altı sularında oluşturduğu kirlenmeden ileri gelir. Gübrenin azot ve fosfor içeriği ağırlıklı olarak beslenme tarzından etkilenmektedir (Konyalı, 2001; Powers ve Angel, 2008).

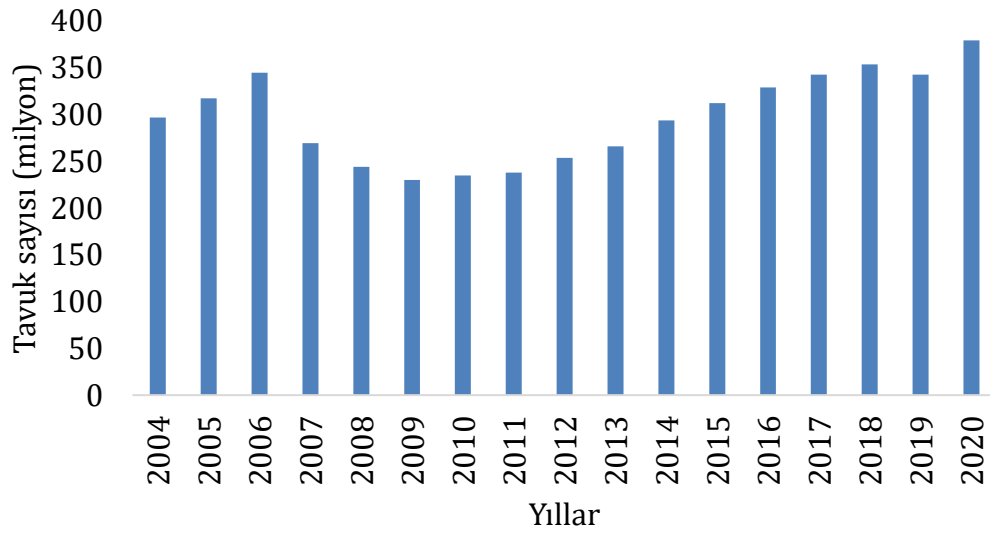
2020 yılı TÜİK verilerine göre sığır sayısı 2004 yılında 10,1 milyon adet iken, 2020 yılında bu sayı %79 artarak 18,1 milyon adet sığıra ulaşmıştır (Şekil 2.3). Sığır sayısındaki artış ile oluşan gübre miktarı da her geçen gün artış göstermektedir. Hayvan türüne, büyüklüğüne bağlı olarak günlük üretilecek gübre miktarı da değişmektedir. 630 kg ağırlığındaki bir sığırdan günde yaklaşık olarak 50 kg (ham) gübre oluşmaktadır (Öztürk, 2005). Buna göre 2020 yılı sığır sayısı esas alındığında yıllık yaklaşık 330 milyon ton (ham) sığır gübresi oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Türkiye’de yıllara göre sığır sayısı

2.3. Tavuk Gübresi

2020 yılı TÜİK verilerine göre toplam tavuk sayısı 2004 yılında 297 milyon adet iken, 2020 yılında bu sayı %28 artarak 379 milyon adet tavuğa ulaşmıştır (Şekil 2.4). Tavuk sayısındaki artış ile oluşan gübre miktarı da her geçen gün artış göstermektedir. Tavuk türüne ve büyüklüğüne bağlı olarak günlük üretilen gübre miktarı da değişmektedir. Bir tavuk ortalama günde 140-160 gr gübre üretmektedir (Demirulus ve Aydın, 1996). Buna göre 2020 yılı tavuk sayısı esas alındığında yıllık yaklaşık 21 milyon ton tavuk gübresi oluşmaktadır.



Şekil 2.4. Türkiye’de yıllara göre tavuk sayısı

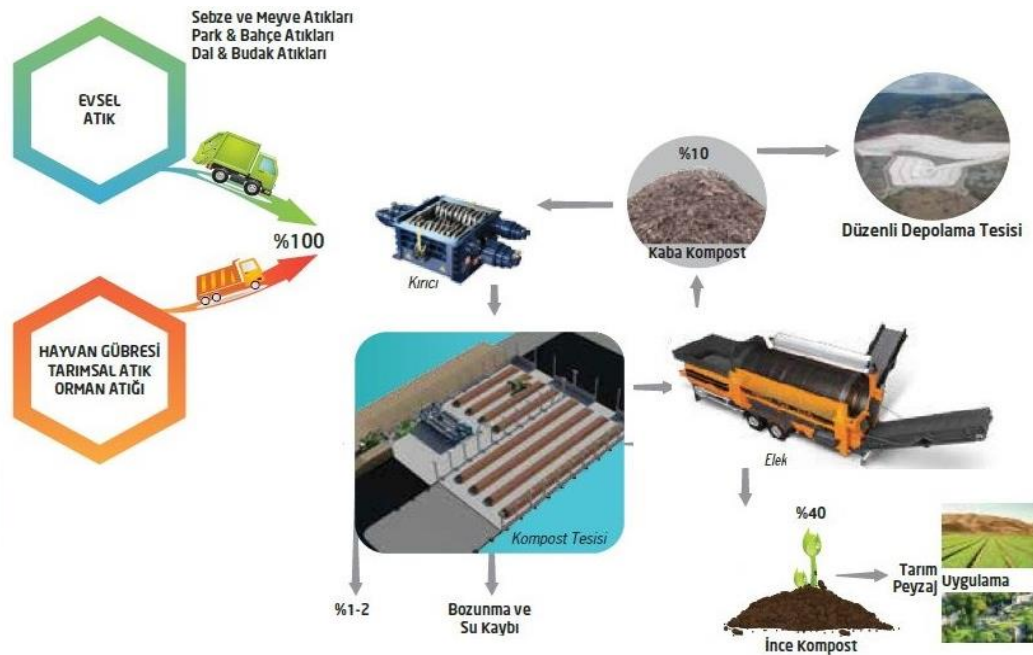
Toplam tavuk sayısında 2006 yılından sonra bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu düşüş o yıllarda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de görülmeye başlanan kuş gribinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

2.4. Kompostlaştırma

Mevsimsel bir atık olan nar atıkları yüksek miktarda oluşmaktadır. Meyve suyu işleme tesislerinde işlenen meyvelerden proses sonrası her yıl binlerce ton nar atığı oluşmaktadır. Meyve suyu işleme tesislerinden oluşan atıklar genellikle depolama alanlarına veya araziye dökülmektedir. Atık yönetiminin etkin ve sürdürülebilir olması için atıkların özelliklerine uygun alternatif bertaraf

yöntemleri ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Prosesten çıkan bu atıkların homojen yapıda olması ve diğer atıklarla karışmamış olması kompostlaştırma için önemli bir avantaj oluşturmaktadır.

Nar işleme atıklarının yönetiminde bu atıkların bölgesel ve mevsimlik olarak oluşması dikkate alınmalıdır. Atık türlerindeki çeşitlilik, ulusal politikalar, mevzuat ve AB ile uyumlu master plan çalışmaları dikkate alındığında; atıkların bertrafında entegre atık yönetimi yaklaşımı kaçınılmazdır. Bu kapsamda kaynağında ayrı toplanmış biyobozunur atıkların kompostlaştırılması organik madde geri kazanımı için ulusal stratejinin ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Ulusal Atık Yönetimi Planına (2016) göre, 2014 yılında %88,7 olan belediye atıklarının depolama yöntemi ile bertaraf oranının 2023 yılında %65'e düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu hedeflere ulaşılmasında kompostlamanın önemi daha da artmaktadır. Kompostlaştırma tesisi akım şeması Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Pazarlarda yüksek miktarlarda oluşan biyobozunur atıkların kompostlaştırılmaması durumunda bu atıklar depolama sahalarında depolanmakta ve biyolojik olarak parçalanabilmeleri nedeniyle depolama alanlarında problem kaynağı oluşturmaktadır (Misi ve Forster, 2002).



Şekil 2.5. Kompostlaştırma tesisi şeması (Ulusal Atık Yönetimi, 2016)

Kompostlaştırma, artık organik maddelerin aerobik ve kontrollü olarak mikrobiyal bozunmasını ve kirlenmiş topraklar için kullanılabilecek stabilize edilmiş bir organik maddeye dönüştürülmesidir (Ren vd., 2018). Kompostlama, yeterli nem ve sıcaklık ile aerobik koşullar (oksijen varlığı) altında gerçekleşen biyolojik bir süreçtir (Azim vd., 2018). Kompostlaştırma işlemi hayvansal gübre gibi organik atıkların bertarafında etkili bir yöntemdir (Guo vd., 2012; Chowdhury vd., 2014; Şevik vd., 2016; Sülük vd., 2017; Şevik vd., 2018).

Kompostlaştırma işleminde etkili olan temel parametreler; sıcaklık, C/N oranı, pH, SM, havalandırma ve karıştırma olarak sıralanabilir. Hızlı bir kompostlaştırma işlemi için C/N: 25/1-30/1, SM: %50-60, pH: 6,5-8,0 ve sıcaklık: 55-60 °C olarak önerilmektedir (Rynk, 1992).

23.02.2018 tarih ve 30341 sayılı Resmi Gazete’de Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik (OG, 2018) yayımlanmıştır. “Organik Toprak Düzenleyici Ürünler”e ilişkin bilgiler Yönetmelik Ek-4’te yer almıştır. Yönetmeliğin kompostla ilgili kriterler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kompost kriterleri (OG, 2018)

Ek-4. ORGANİK TOPRAK DÜZENLEYİCİ ÜRÜNLER A-Toprak Düzenleyici ürünler Ürünün Tip İsmi: Kompost	
Organik ürünün elde edilış şekli ve ana bileşenlerine ait bilgiler	Evsel kaynaklı organik atıkların aerobik veya anaerobik parçalanması sonucu elde edilen ürün. İçinde cam, cüruf, metal, plastik, lastik deri gibi seçilebilir maddelerin toplamı, ağırlığın %2'sini geçemez.
Ürünün hammadde muhtevası, miktarı ile bünyesinde bulunması gereken bitki besin maddesi içeriği ve diğer kriterler	-Organik madde en az: %35 -Maksimum nem: %30 -10 mm'lik elekten ürünün %90'ı geçecektir. - C/N: 8-22 Patojenler -Toplam Bakteri:1x10 ³ kob/g veya kob/ml -Enterobactericea grubu bakteriler: <10 kob/ml-g -Mycobacteriumspp.: Yok (25 g veya ml) -Toplam maya ve küf: 1<10 ⁴ kob/g-ml -Salmonellaspp: Yok (25 g veya ml de) -Staphylococcusaureus: Yok (25 g veya ml) - Bacilluscereus: Yok (25 g veya ml) - Bacillusanthracis: Yok (25 g veya ml) -Clostridium spp: <2 kob/g veya kob/ml - Clostridiumperfringens: Yok -Listeriaspp: Yok - E.coli O157-H7: Yok (25 g veya ml de) -Plastik madde ya da diğer mevcut muhtemelen geri dönüşümü olmayan madde parçacıklarının büyüklüğü 10 mm'yi geçmeyecektir. Üründe kullanılan hammadde kaynağı belirtilecektir. Kuru maddedeki Arsenik miktarı 20 mg/kg'ı geçemez.
Ürüne ait EC, pH ve diğer istenen bilgiler	pH * EC (dS/m) değeri en fazla: 10
Etiket üzerinde beyan edilmesi gereken zorunlu içerik	-Toplam organik madde - Maksimum nem -Toplam azot (%1'i geçer ise) -Toplam fosforpentaoksit (P ₂ O ₅) (%1'i geçer ise) -Suda çözünür potasyum oksit (K ₂ O) (%1'i geçer ise) - C/N

* Bitki gelişim düzenleyicisi ve bitki koruma ifadeleri kullanılmayacaktır.

Şevik vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada üç faz pirininin, arıtma çamurları sığır gübresi ve domates sapları ile birlikte kompostlaştırılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Elde edilen tüm kompostların ağır metal konsantrasyonlarının Türkiye'deki yasal sınırların altında olduğu görülmüştür. Kompostlaştırma çalışmalarında kompostlama tipi ve ham materyallerin özelliklerinin ağır metal konsantrasyonlarında büyük öneme sahip olduğu belirtilmiştir (Zorpas ve Loizidou, 2008; Rihani vd., 2010). Fernández vd. (2010), sızıntı suyu geri devri ve kütle kaybı nedeniyle kompostlama prosesi boyunca ağır metal değerlerinde

sürekli bir artışın olacağını ve bu yüzden başlangıç karışımlarını hazırlarken bu faktörün dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. OG, (2018) kapsamında tanımlanan kompost ve solucan kompostuna ilişkin ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kompost ve solucan kompostu ağır metal içerikleri sınır değerleri (OG, 2018)

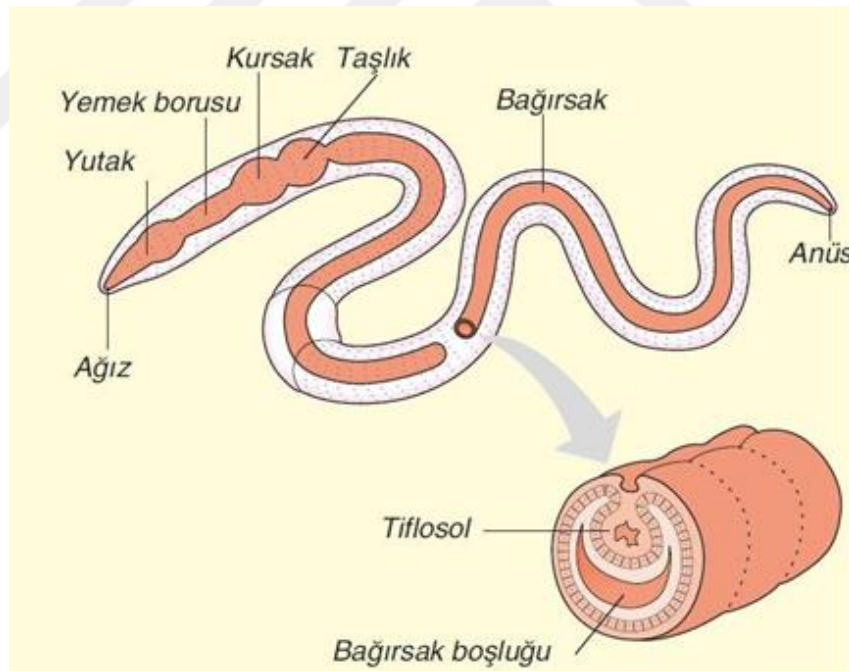
Ağır Metal	Birimi	Sınır Değerleri (mg/kg)
Kadmiyum	Cd	3
Bakır	Cu	450
Nikel	Ni	120
Kurşun	Pb	150
Çinko	Zn	1100
Civa	Hg	5
Krom	Cr	350
Kalay	Sn	10

Kompostlaştırma işleminde, nar kabukları kompost karışımlarında gözeneklilik oluşturmakta ve kompost ürünüde kalite parametrelerini zenginleştirmektedir. Kompostlaştırma işleminin girdisi olarak farklı atıkların kullanılması durumunda C/N oranının ve gözenekliliğin uygun hale getirilmesi sağlanabilmektedir (Kumar vd., 2010). Nar atıklarının bertarafında sığır gübresi, tavuk gübresi ve saman ile kompostlaştırılması sonucu kaliteli ve besin elementlerince zengin kompost elde edilmektedir. Forge vd. (2014), gübre fiyatları artmaya ve organik gıda üretim sistemlerine olan kamu ilgisi artmaya devam ettikçe, toprak sağlığını ve verimliliğini iyileştirmek için kompost üretme ihtiyacının artacağını belirtmektedir.

Atıkların biyolojik bozunma davranışını bulmak, proses süresi, reaktör veya yığın alanı boyutu ve ürün kalitesi gibi kompostlama proses parametreleri ile ilgili optimize edilmiş bir tasarım için önemlidir (Sadev vd., 2014). Yüksek bir bozunma oranı genellikle kompostlama tesisleri için daha düşük sermaye ve işletme maliyetlerini gösterir (Tosun vd., 2008).

Kompostlama sürecini tanımlamak için çoklu kinetik modeller kullanılmıştır. En temel kompostlama modelleri genellikle hidrolizi tek bozunma süreci olarak kabul eder ve bunun genellikle hız sınırlayıcı adım olduğunu görür (Batstone vd., 2002; Wang ve Witarsa, 2016). Biyolojik oksijen tüketimi ve su üretimi hızları, bir oksijen (O_2) tüketim katsayısı kullanılarak, bozunma hızlarıyla ilişkilendirilebilir. Bu katsayılar aynı zamanda çok sayıda çeşitli diğer metabolik ürünleri tahmin etmek için de kullanılmıştır. Ge vd. (2016) modelinde de olduğu gibi çok sayıda modelde karbondioksit (CO_2) emisyonu ve metan (CH_4) gibi hidroliz hızıyla doğrudan ilişkilidir (Walling vd., 2020).

Kırmızı kaliforniya solucanı (*Eisenia fetida*) bir solucan türü olup anatomik yapısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Günümüzde solucanlı kompostlaştırma işleminde kullanılan en yaygın türdür. Solucan kompostu tarımda önemli bir organik gübre payına sahiptir.



Şekil 2.6. Solucanın anatomik yapısı (Anonim, 2022)

Solucan kompostu önemli derecede toprak düzenleyicisi ve iyileştiricisi gibi görev yapmaktadır. Uygulandıkça tarım arazisinin ve toprak kalitesinin gelişimine yardımcı olur. Solucan kompostu, NPK, mikro-element, yarayışlı toprak mikroorganizmaları, mikorizal mantarlar ve özellikle bitki büyüme

düzenleyicileri ve koruyucuları bakımından zengin, besleyici organik gübrelerdir (Boran, 2015).

Solucanlı kompostlaştırma çalışmalarında *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus*, *Lumbricus rubellus*, *Lampito mauritti*, *Drawida willsi*, *Allolobophora* gibi farklı solucan türleri kullanılmıştır (Mago vd., 2021). Bir solucan türü olan *Eisenia fetida* çok çeşitli yemleri kabul eder, yüksek büyüme hızına sahiptir ve yarı kompostlanmış fito-kütleyi stabil ürünlere dönüştürebilir (Gupta ve Garg, 2011; Yadav ve Garg, 2016). *Eisenia fetida*, yüksek organik madde tüketimi, sindirim ve asimilasyon oranı, çok çeşitli çevresel faktörlere adaptasyonu, kısa yaşam döngüleri, yüksek üreme oranları ve elleçleme sırasındaki direnci nedeniyle araştırmalarda yaygın olarak kullanılan bir solucan türüdür (Javed ve Hashmi, 2021).

Solucan kompostlama, solucanların sindirim kanallarında yaşayan mikrofloranın atık organik yapıları işleyerek ve değiştirerek OM dönüşümüne dayalı bir biyolojik teknolojidir. Organik atıkların verimli ve yüksek kaliteli organik maddelere dönüştürülmesinde çevresel ve sürdürülebilir bir metodoloji aracılığıyla, organik tarımsal girdilerin üretimini gerçekleştirilebilmektedir (Silva vd., 2021). Vermi iyileştirme, solucanın yaşam döngüsüne ve diğer abiyotik ve biyotik faktörlerle etkileşimine dayanan toprak kirleticilerini biriktirmek, özütlemek, dönüştürmek veya parçalamak için bir teknolojidir (Shi vd., 2020). Vermikompostlama işlemi sırasında çevre koşulları pH, sıcaklık, nem içeriği ve havalandırma dahil solucanların uygulamasında önemli roller oynar (Fayolle vd., 1997). OG, (2018) kapsamında solucan kompostu için öngörülen şartlar Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Solucan kompostu kriterleri (OG, 2018)

Ek-1. ORGANİK ÜRÜNLER Ürünün Tip İsmi: Solucan Gübresi	
Organik ürünün elde ediliş şekli ve ana bileşenlerine ait bilgiler	Bitkisel ve/veya hayvansal kaynaklı atıkların, solucanın sindirim sisteminden geçirilmesi sonucu yerden bağımsız solucan yataklarından elde edilip ilgili mevzuat gereğince işlem gören nihai ürün.
Ürünün hammadde muhtevası, miktarı ile bünyesinde bulunması gereken bitki besin maddesi içeriği ve diğer kriterler	-Organik madde en az: %40 -Maksimum nem: %20 -Toplam azot -Toplam fosfor pentaoksit (P ₂ O ₅) -Suda çözünür potasyum oksit(K ₂ O) -Üründe kullanılan hammaddeler proses de belirtilecektir. -C/N: 8-22 (hayvansal atık kullanılması halinde)
Ürüne ait EC, pH ve diğer istenen bilgiler	PH * ** -EC (dS/m) (Organik madde kaynağı olarak hayvansal atık kullanılması durumunda)
Etiket üzerinde beyan edilmesi gereken zorunlu içerik	-Organik madde -Organik Karbon -Toplam azot (%1'i geçer ise) -Toplam fosfor pentaoksit (P ₂ O ₅) (%1'i geçer ise) (Hayvansal artık ve/veya atık kullanılması halinde) -Suda çözünür potasyum oksit (K ₂ O) (%1'i geçer ise) beyan edilebilir. -Serbest aminoasitler %2-6 arasında ise beyan edilir. -Toplam humik asit + fulvik asit (%1'i geçer ise) (Hayvansal artık ve/veya atık kullanılması halinde) -C/N (Hayvansal atık kullanılması halinde) Varsa: -Alginik asit -Giberallikasit -Toplam Oksinler -Toplam Sitokinler -Maksimum nem -Varsa hammaddeden gelen bitki besin maddesi miktarları -Kullanılan hammadde tip isminde belirtilecektir.

* Bitki gelişim düzenleyicisi ve bitki koruma ifadeleri kullanılmayacaktır.

**Hayvansal menşeli organik gübre ve toprak zenginleştiricilerin 24/12/2011 tarih ve 28152 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği" ve bu Yönetmeliğe dayalı çıkarılan Tebliğ ve Talimatlarda belirtilen kriterler çerçevesinde üretilmesi gerekmektedir.

Kharrazi vd. (2014) sığır gübresi ve mısır atığı ve arıtma çamurunun solucanlı kompostlanmasında, özellikle azot seviyelerinde bir artış görmüş ve ayrıca OM, TOC ve C/N oranlarında bir azalma gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Romero-Figueroa vd. (2015) solucanların OM yapısını nasıl değiştirdiğini, nitrojeni nasıl sabitlediğini ve atıkları humusa dönüştürdüğünü bildirerek, sığır gübresinin yeniden kullanımına alternatif olarak solucan gübresi üretimini araştırmıştır.

Cao vd. (2021), inek gübresi ile karıştırılmış mısır samanının solucanlı kompostlaştırılmasını 20-30 °C civarındaki sıcaklıklarda incelemiş ve tatmin edici doğurganlık sonuçları sunmuş ve solucanın büyümesini arttırmıştır.

Silva vd. (2021) 25 l'lik plastik kaplarda keçi gübresi, talaş ve mısır atığına 500'er adet genç solucan yerleştirerek 120 gün kompostlamaya tabi tutmuştur. Kompostlaştırma sonucunda OM değerini %83'ten %49'a düşüğü, stabilizasyonunun arttığı, pH ve EC değerlerinin ise kısmen düşüğü belirtilmiştir.

Mago vd. (2021), muz atıklarını ve inek gübresini farklı karışım oranlarında 105 gün süreyle solucanlı kompostlamaya tabi tutmuştur. Çalışmada ağır metal (Cu, Fe, Zn, Cd, Pb, Mn ve Cr) değerlerinin proses sonunda her parametrede arttığı görülmüştür. Solucanlı kompostlaştırma işleminde atık bileşenlerin performansını değerlendirmek için fayda oranı hesaplanmış ve 0,23-3,44 aralığının %20-40 muz atığı içeren karışımlarda solucanların büyümesinin ve doğurganlığının en iyi aralık olduğunu göstermiştir.

Atmaca (2012) solucan kompostunun torf ile farklı oranlarda karıştırılmasından elde edilen yetiştirme ortamlarında fidelerin serada sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde yürütülen çalışmalar ile yetiştiricilikteki performanslarına (bitki gelişimi, verim ve bazı meyve kalite özellikleri) etkilerini araştırmıştır. Toplam bitki yaş ağırlığı bazında en yüksek değer %10 toprak-%90 solucan kompostu (7,7 kg/bitki) uygulamasında görülmüştür.

Tankuş (2019) sera denemesi olarak farklı dozlarda vermikompost uygulamalarının mısır bitkisinin gelişimine etkisinin saptanması amacıyla kuru ağırlık, boy uzunluğu gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra bazı mikro ve makro besin elementlerini araştırmıştır. Kontrol grubu saksı denemesinde mısır bitkisinin kuru ağırlığı 25,9 g olarak ölçülürken en yüksek dozda (600 kg/da) solucan kompostu uygulanan saksıda 28,6 g olarak ölçülmüştür.

Çıtak vd. (2011), açık tarla koşullarında kış döneminde yürütülen çalışmada, farklı dozlarda vermikompost (100 kg/da, 200 kg/da), ahır gübresi (1500 kg/da, 3000 kg/da) ve işlem yapılmayan kontrol uygulamalarının ıspanak bitkisinin gelişimi ve toprak verimliliğine etkileri araştırılmıştır. Yüksek dozlarda uygulanan vermikompostun ve ahır gübresinin düşük doz uygulamasına göre bitki gelişimine ve toprak verimliliğine daha etkili olduğu görülmüştür. Vermikompostun toprağın N, P, K değerlerini sırasıyla 1180, 18,9 ve 245 mg/kg'a çıkardığı görülmektedir.

2.5. Zenginleştirme

Organomineral gübrelerin toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmede önemli derecede katkısı bulunmaktadır. Ayrıca toprağın mikrobiyolojik aktivitesine de destek olmaktadır. Organomineral gübreler toprağın su tutma kapasitesini artırmada, hümkik fülvik asit ile bitki besin maddelerini bitkiler için yararışlı halde tutmada, tamponlama kapasitesi ile pH dengelemesi, tohum çimlenmesi ve kök gelişimi gibi katkıları bulunmaktadır (Toros, 2017).

Kil mineralleri ve metalik oksitler gibi inorganik materyallerin (örn. demir ve manganez oksitler, zeolit, montmorillonit, halloysit) toprak organik madde stabilizasyonunda önemli bir rolü olduğu iyi bilinmektedir (Mikutta ve Kaiser, 2011).

Bender Özenç ve Şenlikoğlu (2017) sera koşulları altında kompost ilave edilen ve azotlu gübre uygulanan topraklarda yetiştirilen ıspanak bitkisinin gelişimi üzerine etkilerini araştırmıştır. Hayvan gübresi (%20), üre (%0,5), ham fosfat (%1), potasyum sülfat (%54) ve kireç (%1,5) katkı maddeleri karıştırılarak zenginleştirilmiş kompost elde edilmiş ve azotlu gübre uygulanan toprağa %8 oranında zenginleştirilmiş kompost karıştırılmasının bitkinin gelişimini artırdığı görülmüştür.

Unuofin vd. (2016) inek gübresi ile kağıt atıklarının solucan kompostlamasında karışımların PO_4^- içeriğini iyileştirmek amacıyla 6 farklı oranda (%0, 0,5, 1, 1,5, 2 ve 4) öğtlmş fosfat kayası (zellikleri; P_2O_5 %40,3; CaO %54,6, MgO %0,26; kadmiyum 2,2 mg/kg, krom 18,05 mg/kg, bakır 5.85 mg/kg, kurşun 6.05 mg/kg ve çinko 13.22 mg/kg) eklemiştir. Solucan kompostlama sırasında %2 P'nin üzerindeki oranlarda fosfat kayası ilavesinin, organik atık karışımlarının biyo-dönüşümünü arttırdığı tespit edilmiştir.

Ülkemizde OG, (2018) kapsamında organomineral gübre kullanımı başlamıştır. Bu yönetmelik ile kimyasal gübre kullanımının azaltılması, organik içerikli gübrelerin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Tarım sektörü organomineral gübreleri kimyasal gübreden organik gübreye geçiş aşaması olarak görmektedir. Çizelge 2.4'de yönetmelikte tanımlanan ve tez çalışmasında kullanılan organomineral zenginleştirme kriterleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. NPK'lı katı organomineral gübre kriterleri (OG, 2018)

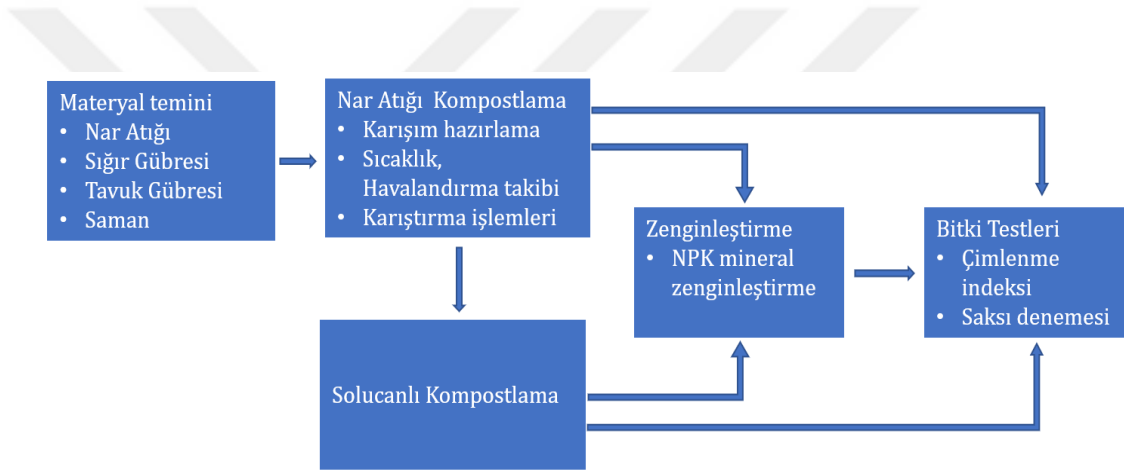
Ek-2. ORGANOMİNERAL ÜRÜNLER D-NPK'lı Organomineral Gübreler Ürünün Tip İsmi: NPK' lı Katı Organomineral Gübre	
Organik ürünün elde edilış şekli ve ana bileşenlerine ait bilgiler	Azotlu, fosforlu ve potasyumlu kimyevi gübrelerin (potasyum hidroksit hariç) bu Yönetmelik Ek-1 ve/veya Ek-3 ve /veya Ek-4 de belirtilen ürünlerle karışımı veya reaksiyonu sonucu, elde edilen ürün.
Ürünün hammadde muhtevası, miktarı ile bünyesinde bulunması gereken bitki besin maddesi içeriğı ve diğer kriterler	-Organik madde en az: %15 -Toplam (N+ P₂O₅ +K₂O) en az: %15 -Toplam azot en az %3 -Toplam fosfor pentaoksit (P₂O₅) en az %5 -Suda Çözünür potasyum oksit(K₂O) en az %5 -Maksimum nem: %20 -Azotun formları belirtilecektir. -Nitrat azotu, Amonyum azotu, Üre azotu. -Toplam Fosfor pentaoksit (P₂O₅) -Suda çözünür Fosfor pentaoksit (P₂O₅), -İkincil bitki besin maddeleri ve/veya iz elementlerin beyanı Tarımda Kullanılan Kimyevi Gübrelere Dair Yönetmelikte belirtilen en az miktarlarda katılması veya bulunması halinde beyan edilir.
Ürüne ait EC, pH ve diğer istenen bilgiler	pH * ** -EC (dS/m) (Organik madde kaynağı olarak hayvansal atık kullanılması durumunda)
Etiket üzerinde beyan edilmesi gereken zorunlu içerik	-Organik madde -Toplam azot -Organik Azot (İsteğe Bağlı) -Azotun formları ve miktarları (%0,5'i geçer ise beyan edilebilir) -Toplam fosfor pentaoksit (P₂O₅) -Suda Çözünür fosfor pentaoksit (P₂O₅) -Suda çözünür potasyum oksit (K₂O) -Maksimum Cl beyanı -Maksimum nem - İsteğe bağlı: -Alginik asit -Giberallik asit -Serbest aminoasitler (%1'i geçer ise) -Toplam (humik+fulvik asit (%1'i geçer ise) -Kullanılan hammaddelere göre içerik beyanı

* Bitki gelişim düzenleyicisi ve bitki koruma ifadeleri kullanılmayacaktır.

**Hayvansal menşeli organik gübre ve toprak zenginleştiricilerin 24/12/2011 tarih ve 28152 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliğı" ve bu Yönetmeliğe dayalı çıkarılan Tebliğ ve Talimatlarda belirtilen kriterler çerçevesinde üretilmesi gerekmektedir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasında nar atıklarının farklı organik atıklar ile birlikte kompostlaşabilirliği, elde edilen kompostlardan solucanlı kompost üretimi, kompostların organomineral zenginleştirilmesi ve kompostların bitki gelişimi üzerine etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu bölümde NA, SG, TG ve S'ın fiziksel ve kimyasal özellikleri, kompost materyallerin karışım oranları, kompostlaştırma prosesi, fiziksel ve kimyasal analiz yöntemleri, zenginleştirme yöntemi, bitki testleri, mikrobiyolojik analizler, kinetik analizler ve istatistiksel analizler açıklanmıştır. Tez çalışmasında yürütülen iş akım şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tez akım şeması

3.1. Nar Atıkları Kompostlaştırması

Nar atıkları kompostlaştırma işlemi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kompost Laboratuvarında Mayıs-Haziran 2018 tarih aralığında yürütülmüştür.

3.1.1. Kompostlaştırma işleminde kullanılan materyaller

Çalışmada kullanılan NA Isparta'da meyve işleme üzerine faaliyet gösteren Elma-Su A.Ş. fabrikasından, SG ve Saman Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi'nden, TG ise Isparta

ilinde faaliyet gösteren Gürelli Tavuk Çiftliği'nden temin edilmiştir (Şekil 3.2-3.3).



Şekil 3.2. Kompostlaştırma çalışmasında kullanılan nar atıkları



Şekil 3.3. Kompostlaştırma çalışmasında kullanılan sığır gübresi

NA, meyve suyu fabrikasında sap-kabuk ayırma aşamasında oluşmaktadır. Bu aşamada ortaya çıkan nar kabuklarının boyutlarının büyük olması ve su muhtevasının yüksek olmasından dolayı kurutulması ve daha küçük parçalara küçültülmesi gerekmektedir. Şevik vd. (2016) ve Sülük vd. (2017) tarafından domates hasat atıkları ile yapılan kompostlaştırma işleminde atıklar parçalayıcı yardımı ile 2-3 cm boyutlarda parçalanmıştır. Bu sayede kompost karışımlarında karışım ve gözenek materyali olarak kullanılmıştır.

Kompostlaştırma işleminde kullanılan materyallerin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu verilere göre, NA ve S’nin OM değerinin zengin olduğu, SG’nin SM değerinin yüksek olduğu, SG ve TG’nin EC değerinin yüksek olduğu ve S’nin SHB değerinin diğer materyallere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. SG’nin Birim Hacim Ağırlığı (BHA) değerinin materyaller içinde 1,03 kg/l ile en yüksek, S’nin ise 0,07 kg/l ile en düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1. Organik atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	NA	SG	TG	S
SM (%)	31,6±3,06	77,6±0,09	8,10±0,65	4,94±0,04
OM (%)	92,6±0,00	80,5±0,05	66,9±0,28	92,8±0,17
pH	5,35±0,04	8,77±0,03	8,43±0,01	6,27±0,08
EC (dS/m)	2,40±0,01	6,25±0,02	6,03±0,11	1,10±0,01
TC (%)	41,5±0,65	37,1±0,50	29,4±0,57	40,1±0,06
TN (%)	1,35±0,16	1,85±0,06	2,26±0,02	1,01±0,02
C/N	30,7±3,27	20,1±0,89	13,0±0,13	39,7±0,78
BHA (kg/l)	0,32±0,02	1,03±0,02	0,44±0,01	0,07±0,01
SHB (%)	38,3±1,41	5,88±0,08	15,0±0,71	73,2±2,12
TP (%)	0,13±0,00	0,50±0,02	1,47±0,05	0,09±0,00
NH ₄ -N (mg/kg)	275±1,88	37,0±1,24	86,0±0,91	41,0±0,76
NO ₃ -N (mg/kg)	45,0±1,40	471±4,61	335±4,70	306±3,61
NDF (%)	42,1±1,57	59,3±0,96	48,3±0,66	73,1±1,21
ADF (%)	33,6±0,86	20,9±1,11	40,2±0,86	49,2±1,63
ADL (%)	16,9±1,22	18,9±0,47	8,92±0,49	11,9±0,86
Hemiselüloz (%)	9,00±1,41	38,4±0,15	8,13±1,52	23,9±0,42
Selüloz (%)	15,8±1,06	1,93±1,58	31,2±0,37	37,2±0,77

3.1.2. Kompost materyallerinin karışım oranları

Kompostlaştırma işleminde 5 adet karışım hazırlanmış olup her bir karışım 3 tekerrürlü olarak tasarlanmıştır. Karışımların tamamının C/N oranı 25 ve SHB (%) oranları değişken (24, 28, 32, 36, 40) olarak hazırlanmıştır (Çizelge 3.2). Kompostlaştırmada kullanılan ham materyallerin başlangıç nem içeriği, C/N ve SHB oranı dikkate alınarak, başlangıç için hedeflenen C/N ve SHB oranlarını sağlamak için gerekli materyal miktarları Microsoft Excel çözücü eklentisi kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Kompost karışımları (kuru madde bazında) ve SHB oranları

Karışım	NA (%)	SG (%)	TG (%)	S (%)	SHB (%)
K1	54,0	45,8	0,10	0,10	24
K2	51,8	44,1	1,41	2,72	28
K3	48,2	43,6	2,30	5,90	32
K4	45,3	41,5	4,00	9,23	36
K5	43,9	36,6	7,00	12,4	40

NA: Nar Atıkları, SG: Sığır Gübresi, TG: Tavuk Gübresi S: Saman

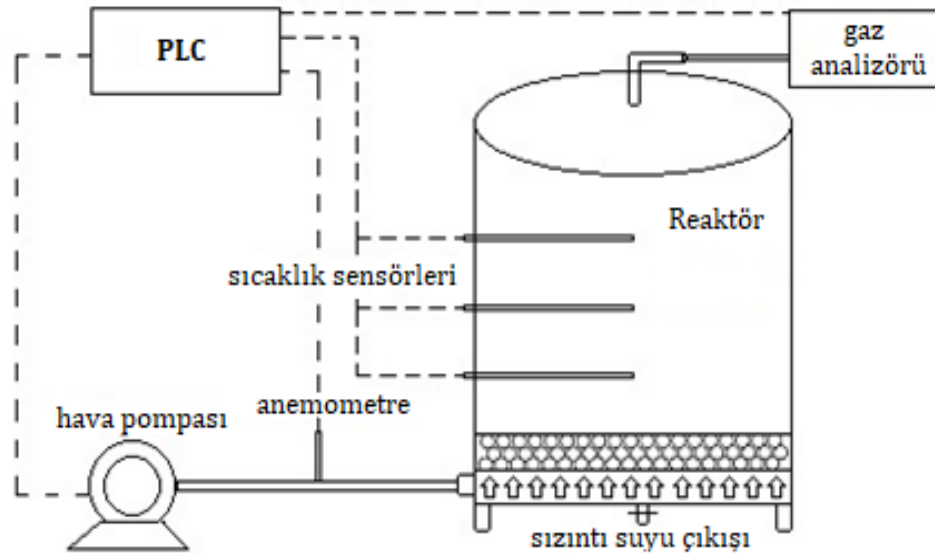
3.1.3. Kompostlaştırma sistemi

Kompostlaştırma işlemi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Kompost Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kompost laboratuvarı

Nar atıkları kompostlaştırma işleminde kullanılan reaktörlere ait akım şeması Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Şekilde kompost reaktörü ve otomasyon sistemi görülmektedir. Kompostlaştırma işleminde kullanılan reaktörler, havalandırma sistemi ve otomasyon sistemi başlıklar halinde açıklanmıştır.



Şekil 3.5. Kompostlaştırma işlemi şematik deney düzeneği (Şevik vd., 2016)

a. Aerobik reaktörler

Kompostlaştırma işleminde aerobik reaktörler kullanılmıştır. Reaktör sistemine bağlı olan havalandırmada kullanılan fan ve hava hızı ölçer anemometre, sıcaklık sensörleri, O₂ ve CO₂ analizörü otomasyon sistemine bağlıdır. Kompostlaştırma süresince kullanılan reaktörler Şekil 3.6'te gösterilmiştir.

Reaktörler paslanmaz çelikten yapılmış olup cam yünü ile ısı yalıtımlı hale getirilmiştir. Reaktörlerin etkili hacmi 100 l olup, iç çapı 47 cm ve iç yüksekliği 57,5 cm'dir. Ayrıca alt tabakasında sızıntı suyu oluşumu için bir hazne bulunmaktadır. Sızıntı suyunun hava giriş bölümüne kaçmaması için hava giriş bağlantısı sızıntı suyu haznesinin üst kısmında bulunmaktadır. Reaktör içerisinde 3 farklı noktadan sıcaklık ölçümü gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.6. Kompostlaştırma işleminin gerçekleştirildiği reaktörler

b. Havalandırma

Reaktör içerisine hava vermek için 0,25 W'lık 150 m³/saat kapasiteli fanlar kullanılmıştır. Fandan çıkan hava debisini ölçmek için SIEMENS marka QVM62.1 model anemometre kullanılmıştır.

c. Otomasyon sistemi

Otomasyon sistemi 15 reaktörün proses kontrolünü sağlamaktadır. Otomasyon sistemi, reaktörlere hava girişini sağlayan fanın hızını, üç farklı noktadan sıcaklık ölçümünü, oksijen ve karbondioksit değerlerini ölçmektedir. Otomasyon sistemi manuel veya otomatik modda çalıştırılabilmekte ve verileri kaydedebilmektedir.

Otomasyon sisteminde sıcaklık ayarı, istenen maksimum kompostlama sıcaklığına (T-set) göre gerçekleştirilmektedir. Yapılan kompostlaştırma işleminde T-set değeri 60°C olarak ayarlanmıştır. Proses sıcaklığı T-set değerini geçmesi durumunda kompost sıcaklığını belirlenen sıcaklıktan daha aşağı bir noktaya getirmek (soğutmak) için fanlar daha yüksek debilerde sürekli (Qmax) çalışmıştır. Otomasyon sistemi ana ekranı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Otomasyon sistemi ana ekranı

d. Karıştırma İşlemleri

Kompostlamaya tabi tutulan materyallerin reaktör içinde homojenliğini sağlamak ve dolayısıyla kompostlama süreci hızlandırmak için karıştırma işlemi yapılmıştır. Kompostlaştırma süresince sıcaklık gelişimine bağlı olarak 4 karıştırma yapılmış olup 1. karıştırma işlemi 5. gün, 2. karıştırma işlemi 11. gün, 3. karıştırma işlemi 17. gün, 4. karıştırma işlemi 24. gün ve sonlandırma işlemi ise 35. gün gerçekleştirilmiştir.

Deneyde kullanılan ham maddelerin hazırlanması, reaktör tartımlarının alınması ve karışım esnasında kütle kontrolü için Dikomsan marka FM18 model 10 g hassasiyetli elektronik terazi kullanılmıştır. Karıştırma işlemi reaktör içerisindeki atıkların reaktör dışına alınarak karıştırma kazanında (çap:110 cm, derinlik 35 cm, hacim:289 l) karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir.

Kompost materyallerine ait karıştırma işlemleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Karıştırma işlemi esnasında reaktör içerisindeki atıkların fiziki değişimlerini kontrol etmek amacıyla boşluk seviyesi, sızıntı suyu ve BHA ölçülerek kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.8. Reaktörlerin karıştırma işlemleri

3.2. Solucanlı Kompostlama

Solucanlı kompostlaştırma işlemi Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Laboratuvarında Ağustos-Aralık 2018 tarih aralığında 150 gün süreyle yürütülmüştür.

3.2.1. Solucanlı kompostlaştırma işleminde kullanılan materyaller

Nar kompostu çalışmasından üç tekerrürlü olarak elde edilen kompostlar birleştirilerek homojen bir karışım elde edilmiş ve solucanlı kompostlama işlemi için kullanılmıştır. Solucanlı kompostlaştırma işlemi için yetişkin *Eisenia fetida* türü solucan kullanılmıştır. Solucanlar Isparta ilinde faaliyet gösteren Yeşilvadi Kırmızı Solucan Çiftliği'nden temin edilmiştir.

3.2.2. Solucanlı kompost materyallerinin karışım oranları

Solucanlı kompostlaştırma işleminde nar kompostu karışımlarının tekerrürleri birleştirilerek (K1-K5) karışım numaraları ile devam ettirilmiştir. K1 karışımı için nar kompostu çalışmasından elde edilen R1, R2 ve R3 reaktörleri birleştirilmiştir. K2, K3, K4 ve K5 karışımları da karışımlara ait reaktörlerin birleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Solucanlı kompostlaştırma sistemi

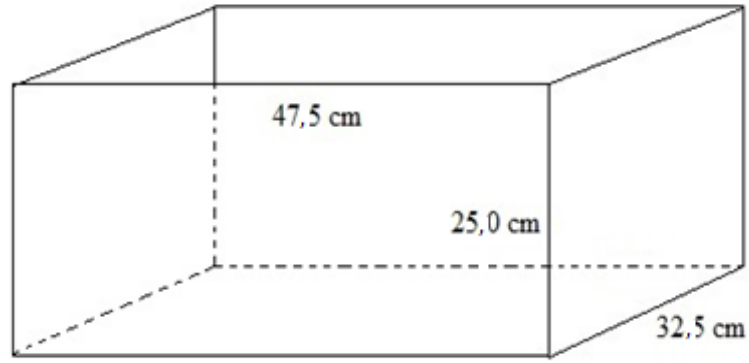
Kompostlaştırma işleminde 5 adet kompost karışımı (K1-K5) hazırlanmıştır. Karışımların her biri 7 kg kuru madde olacak şekilde hesaplanarak hazırlanmış ve %60 seviyelerinde nemlendirilmiştir. Her bir karışıma ortalama 400'er adet yetişkin *Eisenia fetida* türünde solucan üstten yerleştirilmiştir.

Ndegwa vd. (2000) organik kütle içerisine yerleştirilecek solucan miktarını metrekareye 1,60 kg solucanın optimum olacağını bildirmektedir. Taeporamaysamai ve Ratanatamskul (2016) ise m³ kütle başına 5 kg solucan önermektedir. Solucanlar, tipik olarak bir kompost yığınının yerleştirilen her türlü organik maddeyi tüketebilir ve tipik olarak günlük kendi vücut ağırlığına eşit atıkları dönüştürebilirler (El-Haddad vd., 2014). Solucanlı kompostlama çalışmasında her bir nar kompostu karışımına eklenen solucan sayısı ve kompostlama süresi benzerlik göstermektedir.

Yetişkin solucanların kütlelerinin hesaplanabilmesi için 20 adet yetişkin solucan tartılmış ve ortalama bir solucanın ağırlığı 0,20 g olarak belirlenmiştir. Sharma ve Garg (2018) tarafından yapılan çalışmada da başlangıç solucan kütleleri 0,28-0,34 g arası gerçekleşmiştir.

Kompostlaştırma işleminde 47,5x25,0x32,5 cm ölçülerinde 38 l hacimli etrafı 1 cm çapında delikli 5 adet plastik kasa kullanılmıştır (Şekil 3.9-3.10). Kasaların iç yüzeyleri kompostların dökülmemesi ve solucan çıkışının engellenmesi için 1 mm gözenek çapında fiberglass malzeme ile kaplanmıştır. Ayrıca solucanların akşam karanlık ortamda kompost kütlesinden uzaklaşmasını engellemek amacıyla tüm kasalara akşamdan sabaha üstten aydınlatma yapılmıştır (Şekil 3.11).

Karışımların nem içeriğinin %60 seviyelerinde tutulması için el ile üstten kesikli olarak su eklenmiştir. Çalışma öncesinde karışımlardan örnek alınarak su muhtevası analizi yapılmıştır. Çalışma sonunda solucan sayımı yapılarak çoğalma durumları belirlenmiştir. Karışımlarda sıcaklık gelişiminin olup olmadığı el tipi termometre ile günlük olarak izlenmiştir.



Şekil 3.9. Solucanlı kompostlaştırmanın yapıldığı kasa boyutları



Şekil 3.10. Laboratuvar ölçekli solucanlı kompostlama



Şekil 3.11. Solucanlı kompostlama aydınlatma sistemi

3.3. Zenginleştirme

Kompostlaştırma ve solucanlı kompostlaştırma işlemi analiz sonuçlarına göre Çizelge 2.4'de belirtilen kriterlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Gübre uygulamalarında dengeli olarak belirtilen ve makro organomineral gübre özelliği taşıyabilmesi için 7-7-7 (NPK) olarak zenginleştirme yapılmıştır. NPK ile zenginleştirilen kompostların toprağın organik maddesini iyileştirdiği, organomineral gübrelerin toprağın verimliliğini artıran hümik asit ve fulvik asitler bulundurduğu bilinmektedir (Toros, 2017). Zenginleştirme işleminde azot kaynağı olarak Amonyum Sülfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (%21), fosfor kaynağı olarak Triple Süper Fosfat P_2O_5 (%46), potasyum kaynağı olarak Potasyum Sülfat (K_2O , %50) kullanılmıştır. Mineral gübrelerin kompost içerisinde homojen dağılımını sağlamak için her bir gübre ayrı ayrı öğütülerek toz haline getirilmiştir. Zenginleştirme işlemi kompost örneklerinin içerisinde mevcut olarak bulunan NPK değerlerinden istenen zenginleştirme oranı (7-7-7) arasındaki fark kadar mineral gübre eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Kompost örnekleri NPK değerleri

Kompostlar	N (%)	P (%)	K (%)
Kompost (K)	1,8	0,5	1,8
Solucan Kompostu (SK)	2,2	0,6	2,0

3.4. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Kompostlaştırma işlemi süresince karışımların homojen olması için 4 defa karıştırma işlemi yapılmıştır. Kompostlaştırma işleminin başlangıcında karıştırma işlemlerinde ve proses sonunda her bir karışımdan ikişer adet örnek alınmıştır. Alınan örneklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için analizler yapılmıştır. Numuneler kilitli poşet içerisinde derin dondurucuda -40°C 'de muhafaza edilmiştir. Yapılan fiziksel analizler; SM, OM, pH, EC, BHA, SHB ve C/N parametrelerinden oluşurken, kimyasal analizler ise toplam fosfor (TP), amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) ve nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) analizlerinden oluşmaktadır. Numunelerin standart metotlara uygun analiz yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Analiz metotları

Analizler	Parametre	Birimi	Analiz Yöntemi	Kaynak
Fiziksel Analizler	SM	%	65 °C'de 3 gün	TMECC method
	BHA	kg/l	Birim hacimdeki ağırlığın belirlenmesi	TMECC method
	SHB	%	Materyaldeki hava boşluk oranının belirlenmesi	TMECC method
Kimyasal Analizler	OM	%	550 °C'de 4 saat	TMECC method 03.02-A
	pH		1:10 (dw:v)	TMECC method 04.11-A1:5
	EC	dS/m	1:10 (dw:v)	TMECC method 04.10-A1:5
	C/N		Vario MACRO CN analizörü ile yüksek sıcaklıkta yakma ve gravimetrik olarak TCD ile belirleme	
	TP	%	Spektrofotometrik, SnCl ₂ metodu	APHA, 1995
	NH ₄ -N	mg/kg	2 M KCl ile ekstraksiyon sonrası Nessler yöntemiyle	SSSA, 1996
	NO ₃ -N	mg/kg	2 M KCl ile ekstraksiyon sonrası Nessler yöntemiyle	SSSA, 1996

3.4.1. Su muhtevası

SM tayini için ikişer örnek alınmıştır. SM örnekleme işlemlerinde AND marka GF-600 model, maximum 610 g, minimum 0,02 g ve 0,001 g hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Örnekler analiz için 65 °C'de 3 gün etüvde nem tayini için bekletilmiştir. Örneklerin SM değerini belirlemede Memmert marka UN 110 model etüv kullanılmıştır.

Numuneler kurutulduktan sonra 1 saat süre ile desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra kuru madde tayini için numuneler tartıldıktan sonra öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Yaş numunelerin kurutma işleminden sonra analiz için öğütülmesi gerekmektedir. Öğütme işlemi Lavion marka öğütücü ile gerçekleştirilmiştir. SM tayini Denklem 3.1'e göre gerçekleştirilmiştir.

$$SM (\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (3.1)$$

SM: Su muhtevası, %

M1: yaş örnek miktarı, g

M2: kuru örnek miktarı, g

3.4.2. pH ve EC

Kompostlaştırma süresince pH ve EC ölçümü için alınan yaş numunelere, kuru numune/su oranı 1:10 (dw:v) olacak şekilde saf su eklenerek hazırlanan numuneler orbital inkübatörde 180 devir/dakika ve 20 dk'lık süre ile çalkalanmıştır. Daha sonra WTW marka Multiparametre (3410) ölçer ile pH ve EC ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yaş numune miktarı ve numuneye eklenecek su miktarı Denklem 3.2 ve Denklem 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$YA = \frac{KA * 100}{(100 - SM)} \quad (3.2)$$

$$SA = KA * (R + 1) - YA \quad (3.3)$$

YA: Kompost örneğinin yaş ağırlığı, g

KA: Kompost örneğinin kuru ağırlığı, g

SA: Katı:sıvı oranını sağlamak için gerekli su ağırlığı, g

SM: Kompost örneğinin su muhtevası, %

R: Katı:sıvı oranı (istenen oran 1/10 ise R=10 alınacak)

3.4.3. Organik madde muhtevası

Öğütme işlemi gerçekleştirilmiş numunelerden temsili olarak alınan kuru maddeler kroze içerisinde ikişer örnekleme ile kül fırınında 550 °C'de 4 saat süre ile yakılmıştır. OM deneylerinin gerçekleştirilmesi esnasında Protherm marka kül fırını kullanılmıştır. Yakma işleminin ardından numuneler 1 saat süre ile desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra kroze içerisindeki kül miktarları hassas terazi ile tartılmıştır. OM içeriği Denklem 3.4'e göre tayin edilmiştir.

$$OM (\%) = \frac{M1-M2}{M1} * 100 \quad (3.4)$$

OM: Organik madde, %

M1: Kuru örnek miktarı, g

M2: Kül miktarı, g

3.4.4. Karbon/azot oranı

Kuru ve öğütülmüş numunelerin toplam karbon (TC) ve toplam azot (TN) içeriğinin belirlenmesi için Elementar vario MACRO CUBE CN analizörü kullanılmıştır. Numunelerin bu analizörde yüksek sıcaklıkta yakılması ile elementler gazlaştırılmakta, gaz ayrıştırıcıdan geçirilmekte ve gravimetrik olarak termal iletkenlik detektörü (TCD) ile tayin edilmiştir. Kuru numuneler üzerinde C ve N miktarı Elementar marka vario MACRO CUBE model cihaz ile tayin edilmiştir.

3.4.5. Fosfor

TP tayininde numunelerin çözündürme işlemi nitrik ve perklorik asit ile hot-plate cihazında 200 °C'de ortalama 3 saat kaynatılarak gerçekleştirilmiştir. Çözündürülen numuneler süzülerek nötralizasyon işlemine tabi tutulmuştur. TP'nin belirlenmesinde kalay klorür metodu (APHA, 1998) kullanılmış olup, HACH LANGE marka DR 6000 model spektrofotometrede 690 nm dalga boyunda okuma işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.4.6. Birim hacim ağırlığı

BHA, numunenin orijinal halinin belirli hacim içerisindeki ağırlığıdır. Birimi kg/l olarak ifade edilmektedir. BHA, reaktör içerisindeki yaş materyalin etkin reaktör hacmine bölünmesi ile hesaplanabilir. BHA, Denklem 3.5'e göre belirlenmiştir.

$$BHA (kg/l) = \frac{\text{materyal ağırlığı}}{\text{reaktör hacmi}} * 100 \quad (3.5)$$

3.4.7. Serbest hava boşluğu

Kompostlaştırma işleminde atıkların içerisindeki serbest hava boşluklarını hesaplamak için SHB analizi yapılmıştır. Buna göre 1 l'lik kap içerisine alınan numuneler önce tartılmış, sonra suya doymun hale getirilmiştir. Daha sonra suyu boşaltılarak tekrar 1 l çizgisine kadar su ile doldurulmuştur. SHB oranı Denklem 3.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$\text{SHB (\%)} = \frac{\text{materyale eklenen su}}{\text{kap hacmi}} * 100 \quad (3.6)$$

3.4.8. Amonyum ve nitrat

NH₄-N ve NO₃-N analizi kuru ve öğütölmüş numunelerden 2'şer gr tartılarak 100 ml 2M KCl ile Orbital içerisinde 150 devir/dakika'da 1 saat süre ile çalkalanmıştır. Çalkalama işleminin ardından numuneler 42 nolu Whatman filtre kağıdı ile süzölerek spektrofotometrede okuma işlemi gerçekleştirilmiştir. NH₄-N analizi Nessler metoduna (APHA, 1998) göre, NO₃-N analizi ise kit yardımı ile belirlenmiştir.

3.4.9. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) analizi yaş örneklerin 1:10 (örnek/saf su), oranında 20 dk süre ve 180 rpm de ekstrakte edilmesi sonucu inkübatörde 20°C sıcaklıkta 5 gün sonunda WTW marka Multiparametre cihazında FDO 925-6 oksijen elektrotlu oksijen ölçer ile belirlenmiştir (APHA, 1998).

3.4.10. NDF ve ADF analizi

NDF (Nötral deterjan lif) analizinde öğütölmüş ve kurutulmuş numune içerisindeki hücre duvarı ve hücre içeriğini (hemiselölöz, selölöz ve lignin) ayrıştırılmaktadır. Bu analiz ANKOM A220 NDF/ADF Lif Analiz Cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12). Denklem 3.7 yardımıyla numunenin NDF içeriği (Hemiselölöz+ Selölöz+ Lignin) hesaplanır.

$$\%NDF = 100 \times (W3 - (W1 \times C1)) / W2 \quad (3.7)$$

W1: Filtre torbanın darası (g)

W2: Numune miktarı (g)

W3: Ekstraksiyon işlemi sonrası kuru filtre torba ağırlığı

C1: Filtre torba düzeltme faktörü

ADF (Asit Deterjan Fiber) analizinde örneklerin asit deterjan koşullarına tabi tutulmasından sonra hücre duvarının yapısında selüloz ve lignin bileşenleri kalmakta ve örnekte ADF içeriği bu bileşenlerinin toplamını ifade etmektedir. Denklem 3.8 yardımıyla numunenin ADF içeriği (Selüloz+ Lignin) hesaplanır.

$$\% ADF = 100 \times (W3 - (W1 \times C1)) / W2 \quad (3.8)$$

W1: Filtre torbanın darası (g)

W2: Numune miktarı (g)

W3: Ekstraksiyon işlemi sonrası kuru filtre torba ağırlığı

C1: Filtre torba düzeltme faktörü



Şekil 3.12. Ankom lif analizör cihazı

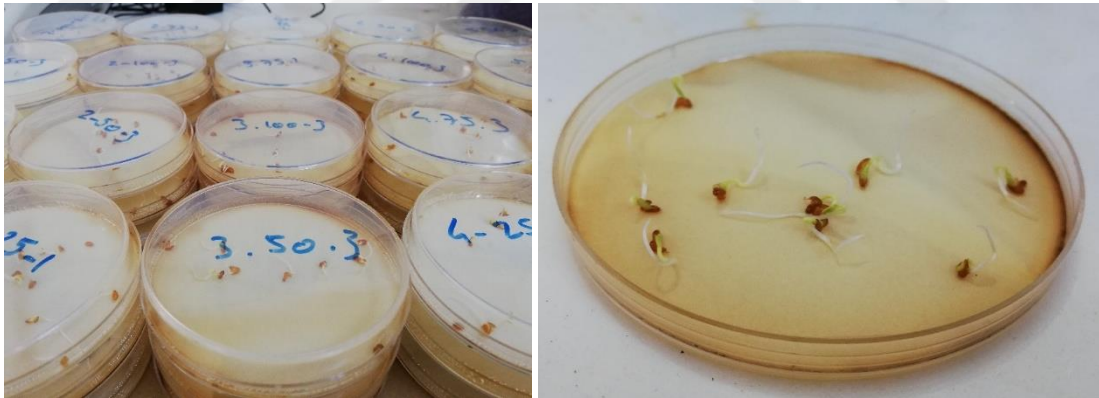
3.5. Bitki Testleri

3.5.1. Çimlenme indeksi

Çİ kuru ve öğütölmüş örneklerin 1:10 (örnek/saf su), oranında 1 saat süre ve 180 rpm de ekstrakte edilmesi ve filtreden geçirilmesi sonucu belirlenmiştir. Çimlenme deneyi için kontrol (%0) grubu saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çİ deneyi örneklerin farklı dozlarda (%25, 50, 75, 100) her biri 3 tekerrür olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Whatman No. 2 filtre ile kaplanmış plastik petri kabına 10 adet tere tohumu (*Lepidium sativum*) yerleştirilerek üzerine 5 ml örnek dozlarından aktararak karanlık ortamda 25°C'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda tohumların kök uzunluğu ölçölmüştür (Şekil 3.13).

Çimlenme indeksi (Zucconi vd., 1981);

$$\text{Çİ (\%)} = \frac{\text{Tohum çimlenmesi (\%)} \times \text{Kök uzaması (numune)}}{\text{Tohum çimlenmesi (\%)} \times \text{Kök uzaması (kontrol grubu)}} * 100 \quad (3.9)$$



Şekil 3.13. Çimlenme indeksi deneyi sürecinde tere tohumlarının çimlenmesi

3.5.2. Saksı denemeleri

Saksı denemeleri Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Faköltesi Kompost Laboratuvarı Serasında Ekim-Kasım 2020 tarih aralığında 65 gün süreyle yürütölmüştür. Saksı denemesinde BT 6470 çeşit isimli sertifikalı hibrit mısır (*Zea mays*) kullanılmıştır. Saksı toprağı olarak Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi çiftlik arazisinden üst tabakanının 25 cm altından toprak temin

edilmiştir. Toprak içerisinde bulunan agrega ve yabancı cisimleri ayırmak için elek yardımı ile eleme yapılmıştır. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Saksı denemesi her bir örnek için 3 farklı dozda saksı hacmi için hesaplama yapılarak 100 kg/da, 200 kg/da ve 400 kg/da gübreleme olacak şekilde planlanmıştır. Her bir doz uygulaması 4 paralelli olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Ayrıca kontrol grubu olarak 4 paralelli temel gübresiz ve 8 paralelli de temel gübrelemeli kontrol hazırlanmıştır. Temel gübreleme için 150 ppm Amonyum Sülfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (%21), 100-125 ppm potasyum dihidrojen fosfat KH_2PO_4 kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Saksı denemesi toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak Özelliği	Analiz Sonucu
Toprak Bünyesi	%29 Kum, %21 Kil, %50 Silt
pH	7,75
EC	0,25 dS/m
Kireç (Kalsimetrik)	%27,2
OM	%1,66
N	%0,68
P	12,2 mg/kg
K	936 mg/kg
Ca	18161 mg/kg
Mg	1413 mg/kg
Fe	18,4 mg/kg
Zn	4,10 mg/kg
Mn	45,6 mg/kg
Cu	5,01 mg/kg

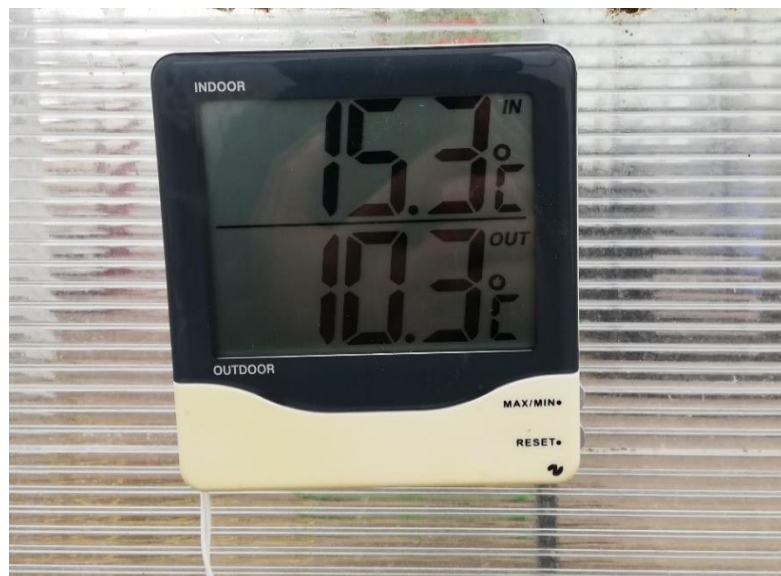
Saksıların hacmi 3 l olup her bir saksıda 2,25 kg toprak kullanılmıştır (Şekil 3.14). Saksılara toprak, gübre ve kompost karışımları hazırlandıktan sonra her bir saksıya 3'er adet mısır tohumu ekilmiştir. Mısırlar vejetasyon süreci sonrasında zayıf olan 2 tanesi ayrılarak saksıda tek mısır olarak süreç devam ettirilmiştir. Deneme süresince saksıların yerleri sürekli olarak farklı noktlara

yer değişimi sağlanmıştır. Saksıların su ihtiyaı mezür yardımı ile eşit miktarda gerçekleştirilmiştir.



şekil 3.14. Saksıların ekime hazırlanması

Bitki denemesi sera ortamında yřřrřtdřęř için gece-gşndşz sıcaklık farklılıklarını izlemek amacıyla sera içerisine dijital termometre yerleştirilmiştir (şekil 3.15).



şekil 3.15. Sera alanınında sıcaklık ۆlřmř için kullanılan termometre

Sera denemesi süresince mısır bitkilerinin gelişimleri takip edilmiştir. Kompost örneklerinin etkisini görebilmek amacıyla mısır bitkisinin sürekli olarak boy ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16). Ayrıca deneme sonunda mısır bitkileri yıkanarak kök ve gövde ağırlıkları analiz edilmiştir.



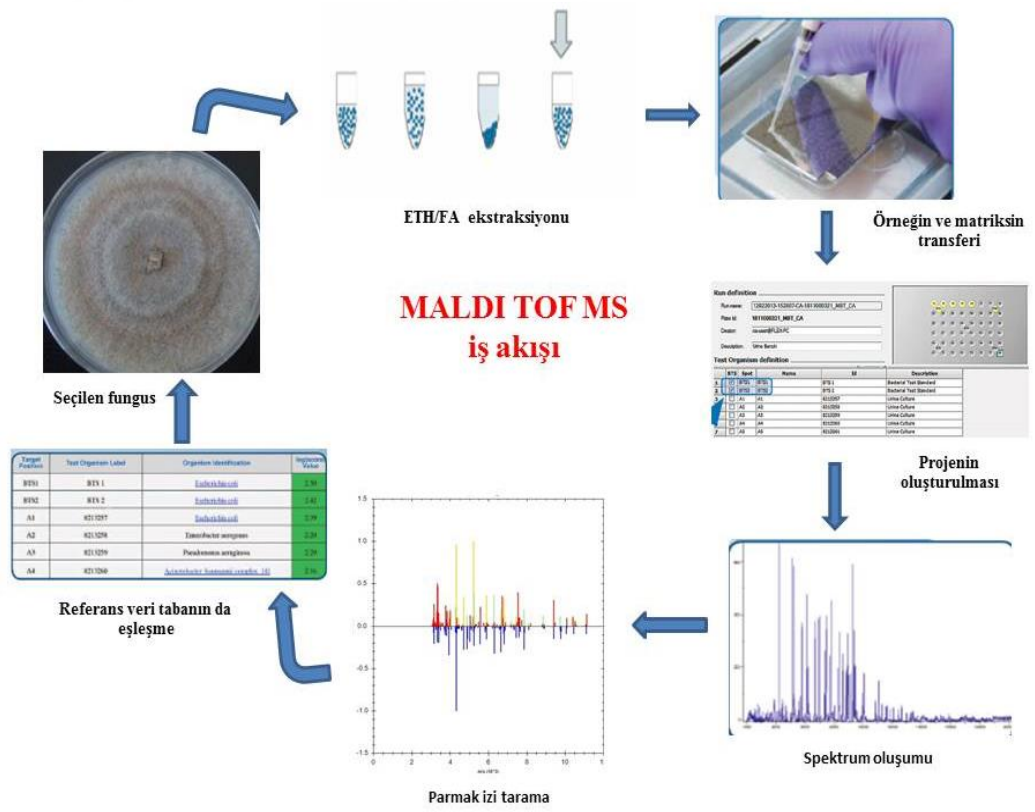
Şekil 3.16. Mısır bitkisinin büyüme süreci ve boy ölçümü

3.6. Mikrobiyolojik Analiz

Nar kompostu örneklerinde (başlangıç ve son) bakteri tanımlama işlemi Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Bitki Sağlığı Kliniği Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Örnekler mikroorganizma tanımlama cihazında (MALDI-TOF MS) etanol formik asit ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen proteinler, protein parmak izi eşleşmesi şeklinde kütüphane taraması yapılarak mikorganizmaların tanısı ortaya konulmuştur. Bakteri örneklerinden elde edilen taze koloniler, MALDI TOF (Matrix Assisted Laser Desorption and Ionization Time-Of-Flight) ile saf bakteri kültürlerinden ön protein izolasyonları yapılmış ve bu proteinlerin analizi sonucunda cihazdan elde edilen spektrumlar aracılığıyla cins ve tür teşhis işlemleri gerçekleştirilmiştir. Cind ve tür teşhisi için MALDI TOF MS cihazında MALDI Biotyper Real-Time Classification (RTC) programındaki tanı skalası kullanılarak ve izolatlarının protein profillerinin kütle spektrumları kullanılmıştır (Şekil 3.17-Şekil 3.19).



Şekil 3.17. MALDI TOF MS cihazı



Şekil 3.18. MALDI-TOF MS analiz tekniği iş akışı diagramı (Uysal, 2019)

Aralık	Tanımlama	Sembol	Renk
2.300 ... 3.000	Yüksek olasılıkla tür tanımlaması	(+++)	yeşil
2.000 ... 2.299	Cins düzeyinde güvenli identifikasyon, muhtemel tür düzeyinde tanımlama	(++)	yeşil
1.700 ... 1.999	Cins düzeyinde tanımlama	(+)	sarı
0.000 ... 1.699	Güvenilir olmayan tanımlama	(-)	kırmızı

Şekil 3.19. MALDI TOF MS cihazında tanı skalası (Uysal, 2019)

3.7. Kinetik Analiz

Kinetik analiz için, zamanın bir fonksiyonu olarak gelişen CO₂-C'ye birinci-sıfıncı derece, birinci-birinci derece kinetik modeller uygulanmıştır. Bu modeller için kinetik parametreler, doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Kinetik denklem çözümleri Microsoft Excel çözücü eklentisi fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır.

Lei ve VanderGheynst (2000), kompostlaştırma prosesinde ayrışma hızlarını ölçmede O₂ tüketimi ve CO₂ oluşum hızlarının kullanıldığını belirtmişlerdir. Literatürde, iki fazlı kinetik değerlendirme (birinci-sıfıncı) örneği, Kirchmann ve Bernal (1997) tarafından denenmiş ve uygun olduğu ortaya konulmuştur. Organik atıkların karbon mineralizasyonu, birleşik iki aşamalı bir kinetik takip eder: birinci derece, hızlı faz ve sıfıncı derece, yavaş fazdır (Bernal vd., 1998).

Nar kompostu karışımlarının CO₂-C mineralizasyonu birinci-sıfıncı derece (Denklem 3.12) ve birinci-birinci derece (Denklem 3.13) kinetik modellere göre hesaplanmıştır.

Sıfıncı derece denklem:

$$C=kt \quad (3.10)$$

Birinci derece denklem:

$$C = C_0 (1 - e^{-k_R t}) \quad (3.11)$$

Birinci-sıfırıncı derece denklem:

$$C = C_R(1 - e^{-k_R t}) + C_S k_s t \quad (3.12)$$

C : t zamanında kümülatif CO_2-C (%),

C_R : hızlı mineralize olabilen fraksiyonun yüzdesi

C_S : yavaş mineralize olabilen fraksiyonun yüzdesi

k_R : hızlı ayrışma hız sabiti

k_S : yavaş ayrışma hız sabiti

Birinci-birinci dereceden reaksiyon modeli, iki bileşenli çift birinci dereceden üstel denklemin toplamıdır: biri birkaç haftalık inkübasyon sırasında daha hızlı ayrışır ve diğeri süreç sırasında daha yavaş ayrışır (Tosun vd., 2008).

Birinci-birinci derece denklem:

$$C = C_R(1 - e^{-k_R t}) + C_S(1 - e^{-k_s t}) \quad (3.13)$$

Ortalama bağıl hatalar (HYBRID):

$$HYBRID = 100 \times \left\{ \frac{1}{(n-p)} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(q_{exp} - q_{cal})^2}{q_{exp}} \right] \right\} \quad (3.14)$$

ΔC , %: ortalama rölatif hata değerini belirtmektedir.

3.8. İstatistiksel Analiz

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel sonuçların birbirleri ile farklılıklarını tespit etmek için istatistiksel analiz yapılmıştır. İstatistiksel analiz için Minitab 16 (Minitab Inc., ABD) programı kullanılmıştır. Farklılıkları karşılaştırmak için ANOVA tek yönlü Tukey testi yapılmıştır. İstatistiksel anlamlılık için $p < 0,05$ olarak tanımlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Nar Atıkları Kompostlaştırması

NA'nın, SG, TG ve S ile birlikte kompostlaştırılması 35 gün sürmüştür. Kompostlaştırma işlemi 15 reaktörde 3 tekerrürlü 5 farklı karışım ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular; ortam sıcaklığı ve nemi, kompostlaştırma prosesi, sıcaklık değişimleri, havalandırma ve karıştırma işlemleri, fiziksel ve kimyasal analizler başlıkları altında verilmiştir.

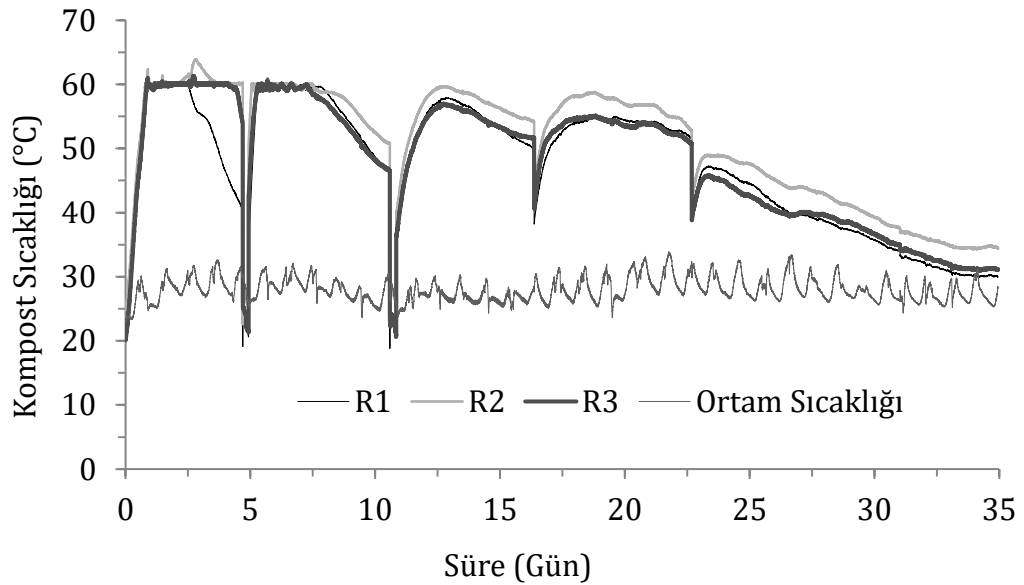
Kompostlaştırma işleminde reaktör içerisindeki atıklar dışarı çıkarılarak karıştırma işlemi yapılmış ve tekrar reaktör içerisine yerleştirilmiştir. Bu uygulamayla atıkların homojen karışımı gerçekleştirilerek kütlenin iç kısımlarında oksijensiz alana (Epstein, 1997) daha verimli havalandırma sağlanmış olmaktadır.

4.1.1. Sıcaklık değişimleri

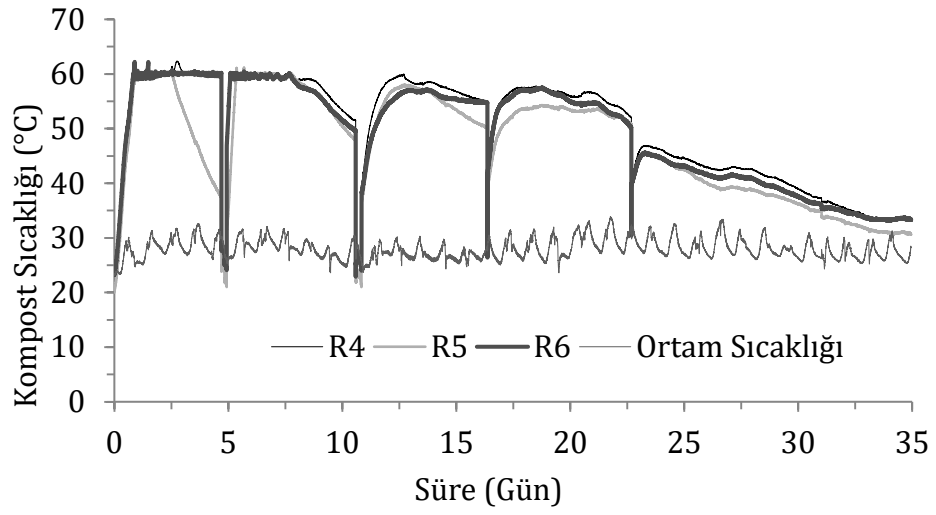
Kompostlaştırma süresince laboratuvar iç ortamının sıcaklık ve nem değişimleri otomasyon sistemi ile sürekli olarak kaydedilmiştir. Ortam sıcaklığı 25-30 °C seviyelerinde seyrederken, ortamın nemi de %25-45 aralığında değişim göstermiştir.

Kompostlaştırma işleminde her bir karışım 3 reaktörde gerçekleştirilmiş ve her reaktörde de 3 farklı noktadan sıcaklık takibi yapılmıştır. Sıcaklık değişimlerinin değerlendirilmesinde reaktörlerin orta noktadaki ölçümler dikkate alınmıştır. Reaktörlerin alt noktasından ölçülen sıcaklık değerleri orta noktaya göre düşük gerçekleşmiştir. Bu durum havalandırma işleminin kompost kütlesine alttan uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Üst noktadaki sıcaklık değerleri de orta noktaya göre zamanla kompost kütlesindeki hacim azalmasından dolayı boşa çıkmakta ve sıcaklık değerleri düşük seviyelerde gerçekleşmektedir. Reaktörlerin orta noktasından ölçülen sıcaklık değişimleri Şekil 4.1-4.5'de gösterilmiştir. Tekerrürler içinde sıcaklık değişimleri benzerlik göstermektedir. Karışımların sıcaklıkları ortalama 1 günün sonunda 60 °C'ye ulaşmıştır.

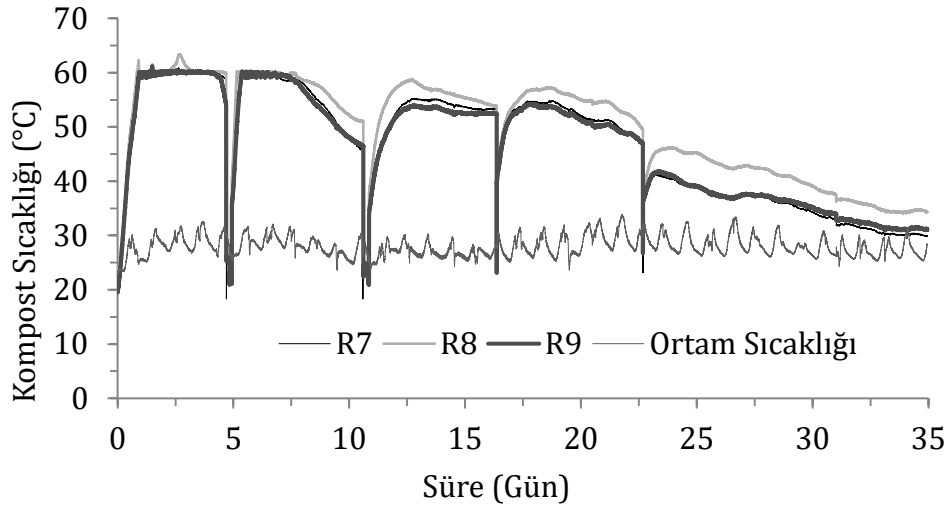
Kompostlaştırmanın başlangıcında hızlı sıcaklık artışı organik maddenin aktif biyobozunmasını gösterir (Bernal vd., 2009; Petric vd., 2012). K1'den K5'e doğru karışımların SHB oranlarının artmasına bağlı olarak sıcaklık değişimlerinde düşüşler gerçekleşmiştir. Bu durum K1'den K5'e doğru NA ve SG'nin karışım içerisindeki oranının azalmasından ve S'nin artmasından kaynaklanmaktadır. Karışımlar içerisinde tekerrürler incelendiğinde reaktörlerin sıcaklık değişimlerini birbiri ile yüksek benzerlik gösterdiği görülmektedir. Kompostlaştırma işleminin 5. gününde yapılan karıştırma işleminden sonra ortamın kompakt yapısının bozulması nedeniyle sıcaklık değerleri hızlı bir şekilde artış göstermiş ve bir önceki pik seviyelerine tekrar ulaşmıştır. Kompostlaştırma işlemi süresince tüm karışımlarda dördüncü karıştırma işlemi sonrası sıcaklık değerleri zamanla düşerek ortam sıcaklığına ulaşmıştır (Şekil 4.1-Şekil 4.5).



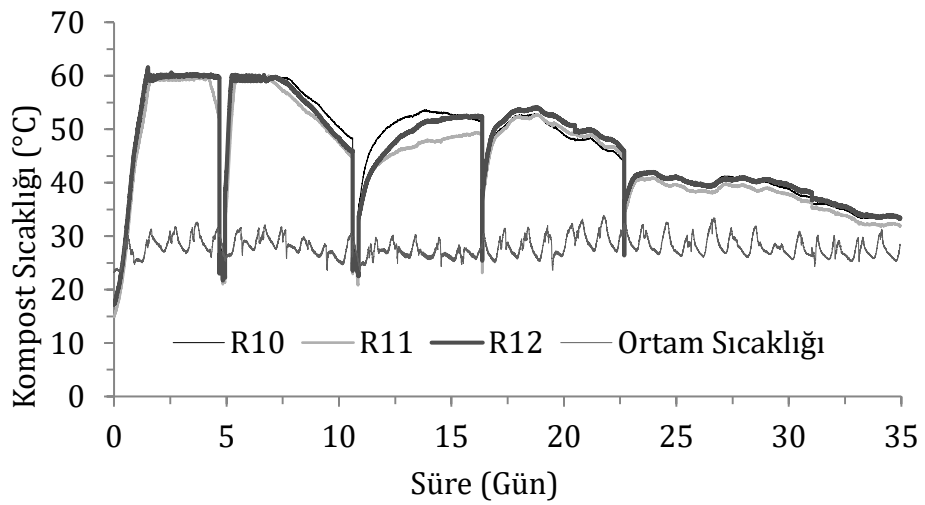
Şekil 4.1. K1 karışımı sıcaklık değişimleri



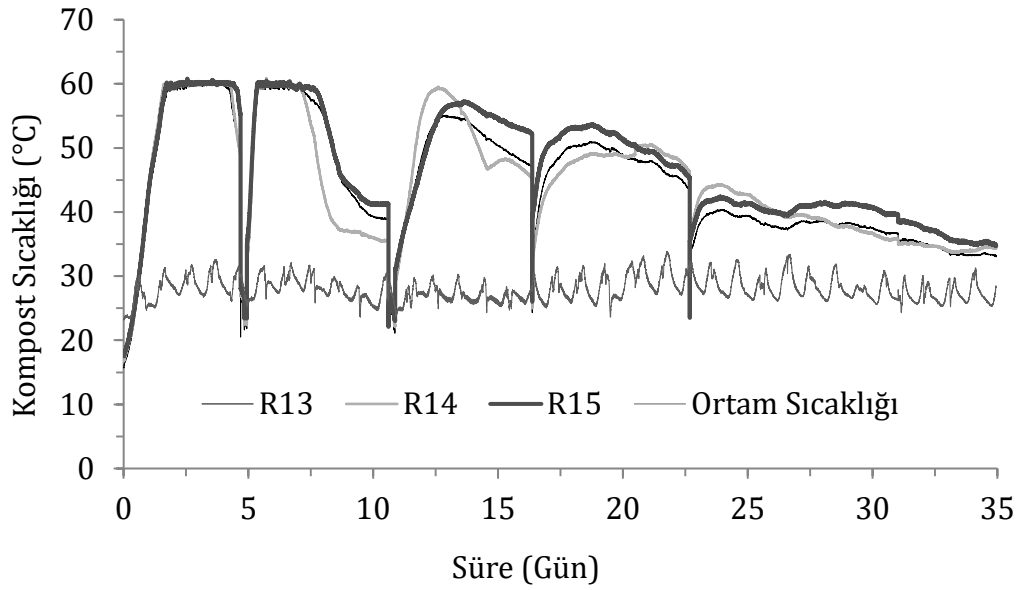
Şekil 4.2. K2 karışımı sıcaklık değişimleri



Şekil 4.3. K3 karışımı sıcaklık değişimleri



Şekil 4.4. K4 karışımı sıcaklık değişimleri



Şekil 4.5. K5 karışımı sıcaklık değişimleri

Kompostlaştırmada sıcaklığın etkisi üzerine yapılan çalışmalarda optimum ayrışmanın 55-60 °C arasında olduğu görülmektedir (Öztürk, 2010). Ekinci (1997) tarafından yapılan çalışmada, karıştırma işlemi sonrası sıcaklıkların hızlı bir şekilde artarak bir önceki pik seviyesine ulaşabileceği belirtilmiştir. Karıştırma sonrasında sıcaklık değerlerinde artış görülmüştür. Tüm karışımların bulunduğu reaktörlerde sıcaklıklar 3 günden fazla ardışık olarak 55°C'nin üstünde seyretmiştir (Çizelge 4.1). Bu reaktörde sıcaklık bakımından bazı ülkelerdeki (İngiltere, İtalya, Kanada ve Yeni Zelanda) kompost standartlarının sağlandığı ve Bernal vd. (2009) tarafından patojenleri yok etmek için belirtilen 55 °C'nin üstüne çıkma şartının gerçekleştiği görülmektedir. Çizelge 4.1 incelendiğinde maksimum sıcaklıkların otomasyonda ayarlanan 60 °C değerini zorladığı ve 68,9 °C'ye kadar ulaştığı görülmektedir. Maksimum sıcaklıklara ulaşma süreleri birçok reaktörde 1. gün sonunda gerçekleşmiştir. Karışımların sıcaklık grafikleri incelendiğinde daha uzun sürede gerçekleşen maksimum sıcaklıklar süreleri de aslında benzer trend göstermişlerdir.

Çizelge 4.1. Kompost karışımlarının maksimum sıcaklıkları, ulaşma süreleri ve >55 °C'de kalma süreleri

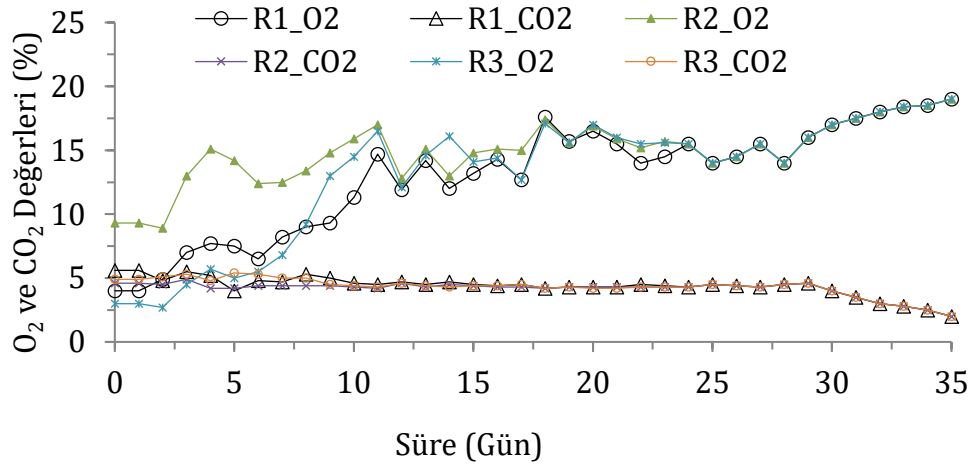
Karışım	Reaktör	Maksimum Sıcaklık, °C	Maksimum sıcaklıklara ulaşma süresi (gün)	>55 °C'de kalma süresi (gün)
K1	R1	68,9	5,57	8,25
	R2	66,5	1,21	17,7
	R3	66,3	1,35	9,31
	R4	66,9	1,34	17,0
K2	R5	67,3	1,41	8,62
	R6	67,4	1,30	14,7
	R7	66,4	1,27	8,72
K3	R8	65,8	5,28	9,94
	R9	65,2	5,54	7,05
	R10	64,3	5,36	7,20
K4	R11	64,9	1,80	5,96
	R12	64,5	5,39	7,30
	R13	63,6	5,62	6,47
K5	R14	65,6	5,51	7,82
	R15	63,6	1,89	8,82

4.1.2. O₂ ve CO₂ değişimleri

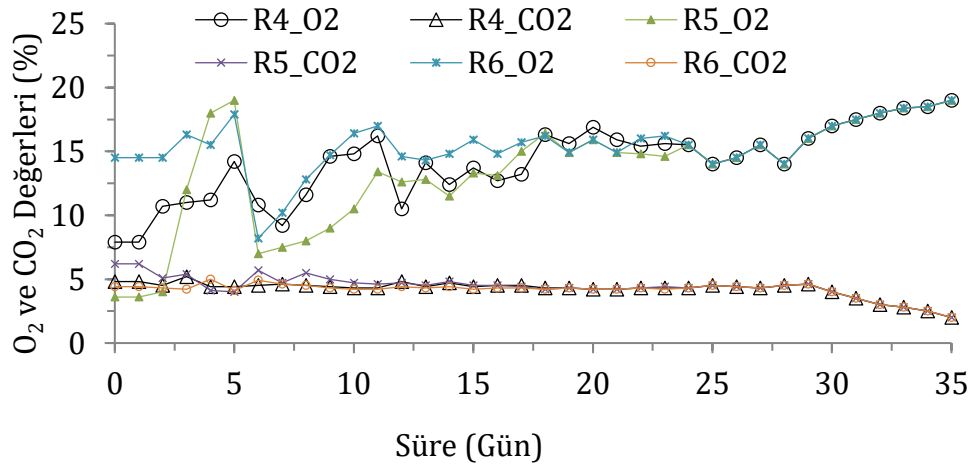
Kompostlaştırma proseslerinde mikrobiyal faaliyetin devam edebilmesi için kompost kütlelerinin havalandırılması gerekmektedir. Proses süresince reaktörlerin hava ihtiyacı otomasyon tarafından kontrollü olarak sağlanmıştır. Reaktör içerisindeki atıkların türüne ve karışım oranlarına bağlı olarak hava tüketimleri değişim göstermektedir. Buna bağlı olarak mikroorganizmaların faaliyetlerine göre O₂ ve CO₂ muhtevaları değişim göstermektedir. Oksijen tüketimi ve karbondioksit oluşumu birbirine paralel olarak değişmektedir. Bu durum hava içerisindeki oksijenin kullanılması ile O₂ muhtevasının azalması CO₂'nin artmasıyla ifade edilebilir. O₂ miktarı ile CO₂ üretimi ters orantılı olup R²=0,99 ile yüksek korelasyona sahiptir (Tosun, 2003).

Havalandırma işlemi ve oksijen tüketimi tüm reaktörlerde sıcaklığın artması ile birlikte değişim göstermiştir. Genellikle her karıştırma işleminden sonra mikrobiyal faaliyetin hızlı gerçekleşmesi ile oksijen tüketimi de buna bağlı olarak artış göstermiştir. Tüm karışımlarda sıcaklıkların 1. gün sonunda yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşmasıyla birlikte O₂ içeriği %21'den (yani ortam

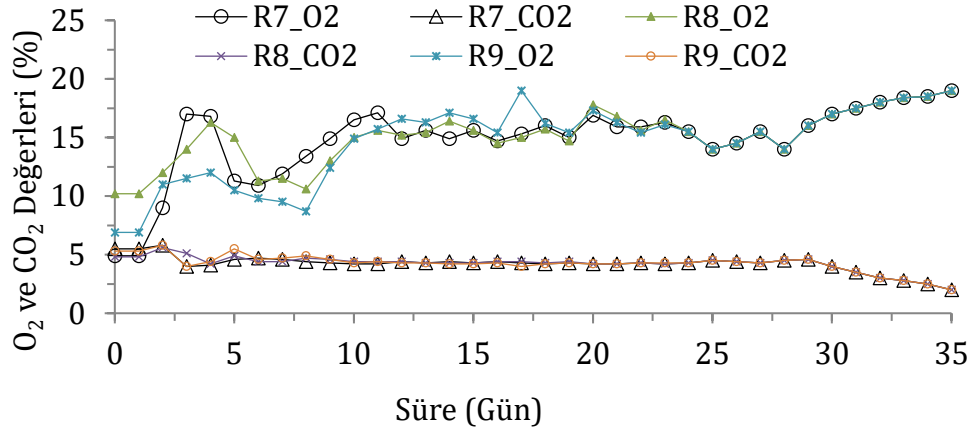
seviyesi) hızla %10'a düşmüştür. Bu durum sıcaklığın yükselmesi sırasında güçlü biyolojik aktiviteyi ve yoğun oksijen talebini göstermektedir (Fernandez vd., 2010). OM parçalanmasının yavaşlaması (Chang ve Hsu, 2008) ve sıcaklığın düşmesi ile O_2 ve CO_2 konsantrasyonları atmosfer değerlerine ulaşarak proses tamamlanmıştır (Şekil 4.6-Şekil 4.10).



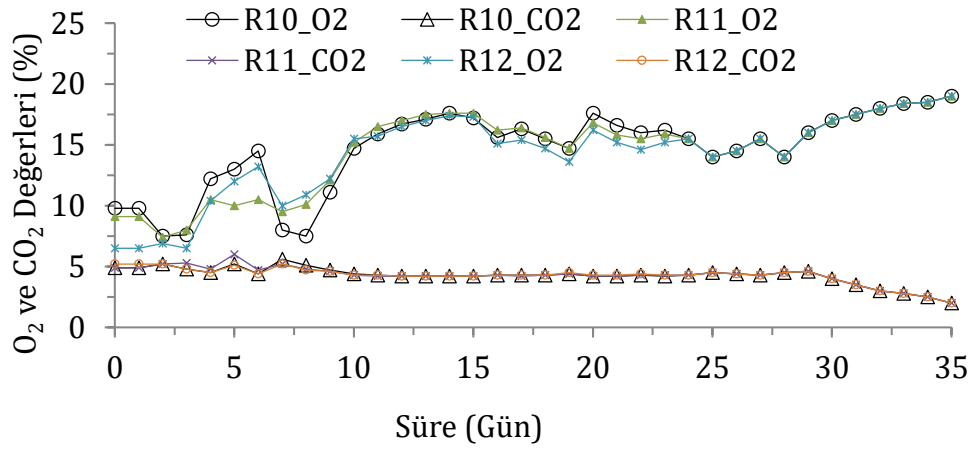
Şekil 4.6. K1 karışımı O_2 ve CO_2 değişimleri



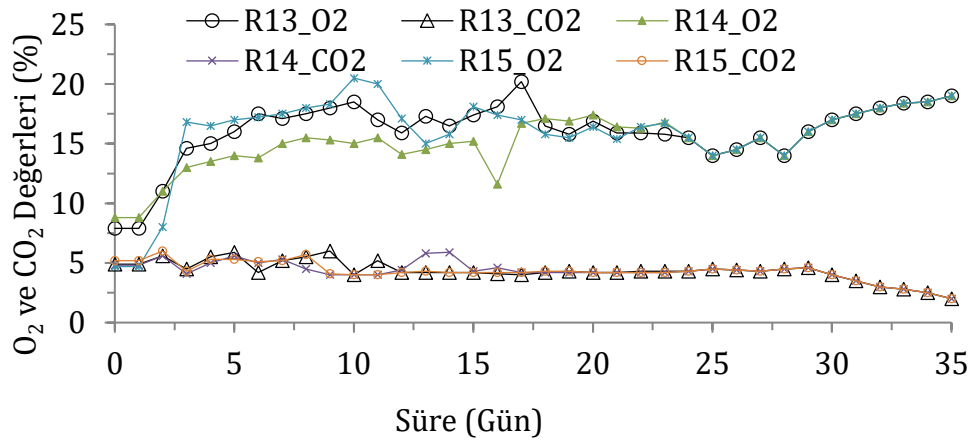
Şekil 4.7. K2 karışımı O_2 ve CO_2 değişimleri



Şekil 4.8. K3 karışımı O₂ ve CO₂ değişimleri



Şekil 4.9. K4 karışımı O₂ ve CO₂ değişimleri



Şekil 4.10. K5 karışımı O₂ ve CO₂ değişimleri

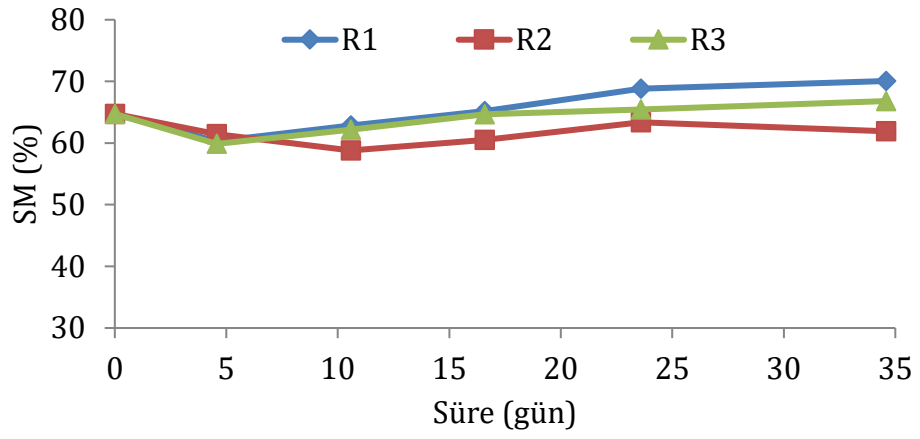
4.1.3. Su muhtevası değişimleri

Organik atıkların kompostlaştırılmasında en önemli parametrelerden birisi SM değeridir. Kompostlaştırma süresince mikroorganizmaların faaliyetleri, organik maddenin ayrışması, kütle kaybı, havalandırma, ortamın nemi, reaktör içinde meydana gelen yoğunlaşma nedeniyle reaktör içerisinde SM değerlerini etkilemektedir.

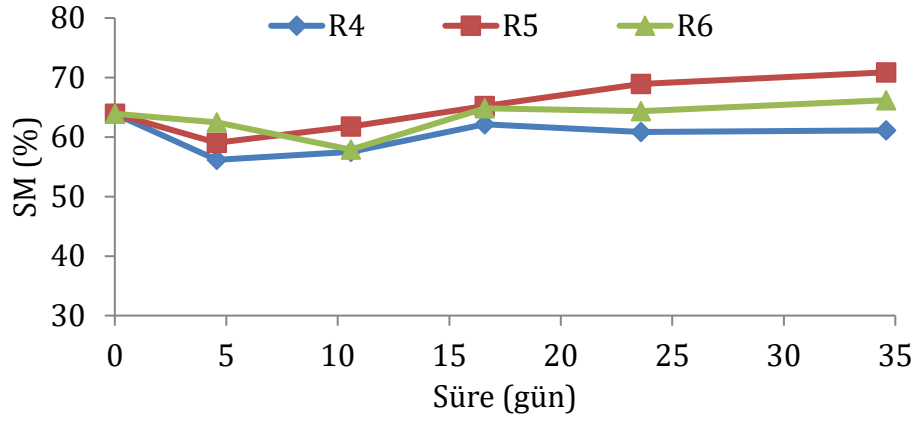
Kompostlaştırma işleminde karışımların nem değerleri proses başlangıcında %60,0-64,7 seviyelerindedir. (Şekil 4.12). Kompostlaştırma işleminde kullanılan materyallerden olan SG en fazla SM değerine sahip olduğundan karışımlar içerisindeki (K1'den K5'e doğru) oranı azaldıkça karışımların başlangıç SM değerleride azalmıştır. 5. gün gerçekleştirilen birinci karıştırma işleminde alınan örneklerin SM değerleri incelendiğinde karışımların (K1'den K5'e doğru) SHB değerlerindeki artışa bağlı olarak SM kayıpları da artmıştır.

Kompostlaştırma işleminde karışımların su muhtevalarındaki düşüş olması ve Haug (1993) tarafından %60 seviyesinde nem önerilmesinden dolayı birinci karıştırma işleminde K2, K3, K4 ve K5 karışımlarının her bir reaktörüne 3 l su ilave edilmiştir. İkinci karıştırma işleminde de su muhtevası seviyesini korumak için her bir reaktöre 2 l su eklenmiştir.

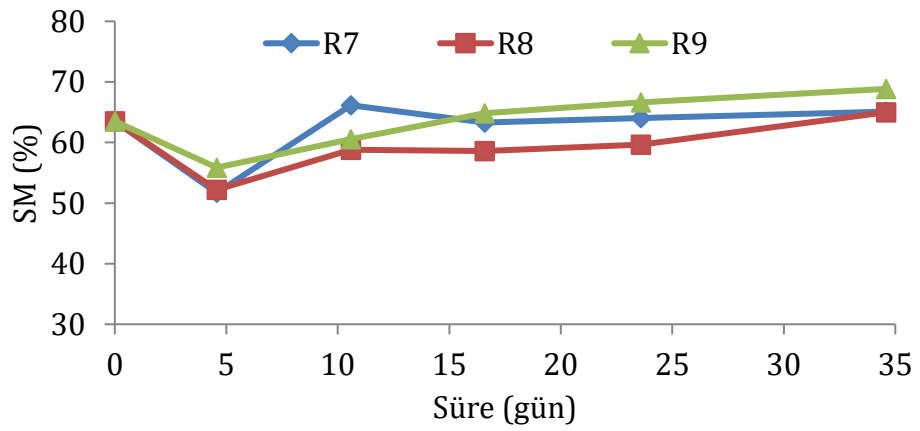
Reaktörlerin başlangıç ve bitiş nem oranları incelendiğinde, bitiş değerlerinde düşüş beklenmesine rağmen, belirgin bir değişimin olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.11-Şekil 4.15). Bu durumun reaktör kapağında ısı yalıtımı olmasına rağmen yoğunlaşan suyun tekrar kompost kütesine düşmesi (Şevik vd., 2018) ve ortam neminin havalandırma ile kütleyle dahil olmasından (Muntjeer vd., 2014) kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bitiş değerlerindeki artış, Tosun (2003) tarafından yapılan çalışmada da olduğu gibi ortamdaki organik maddelerin bozunması sonucu oluşan kütle kaybının su kaybından kısmen daha fazla olması ile de açıklanabilir.



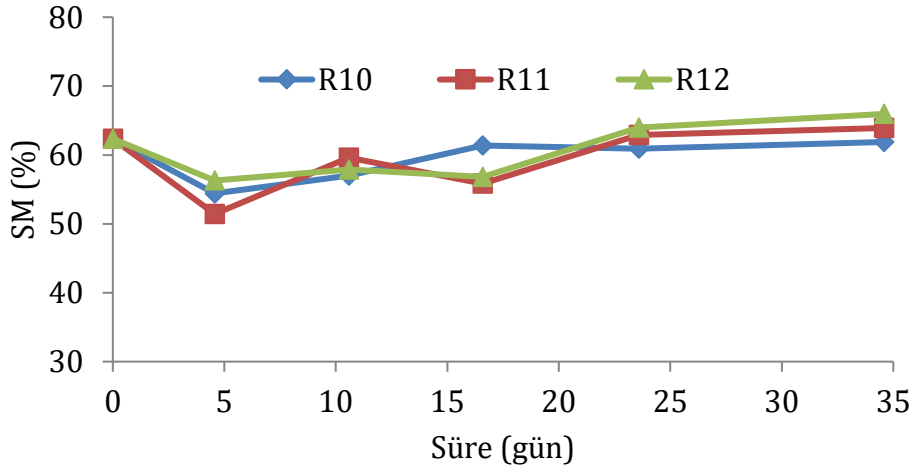
Şekil 4.11. K1 karışımı SM değişimleri



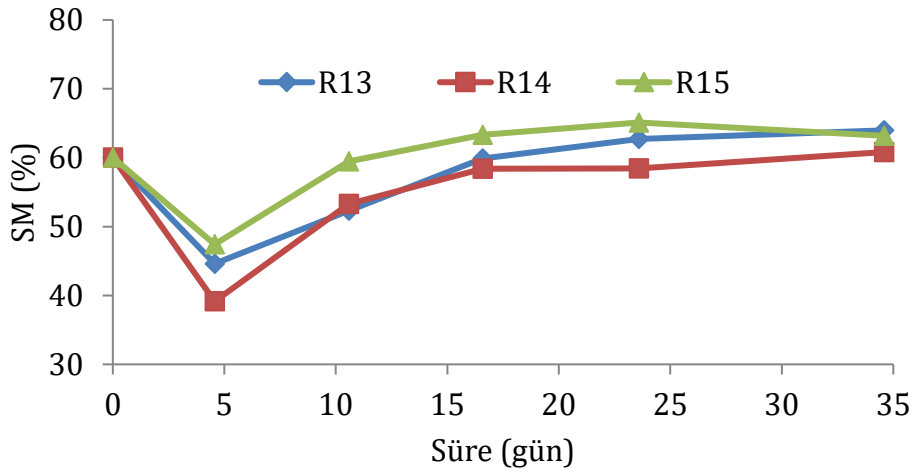
Şekil 4.12. K2 karışımı SM değişimleri



Şekil 4.13. K3 karışımı SM değişimleri



Şekil 4.14. K4 karışımı SM değişimleri

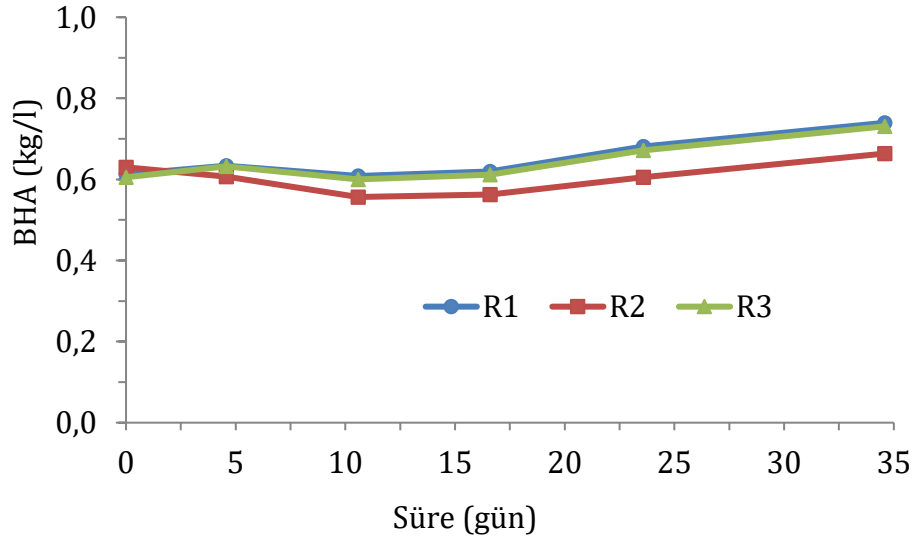


Şekil 4.15. K5 karışımı SM değişimleri

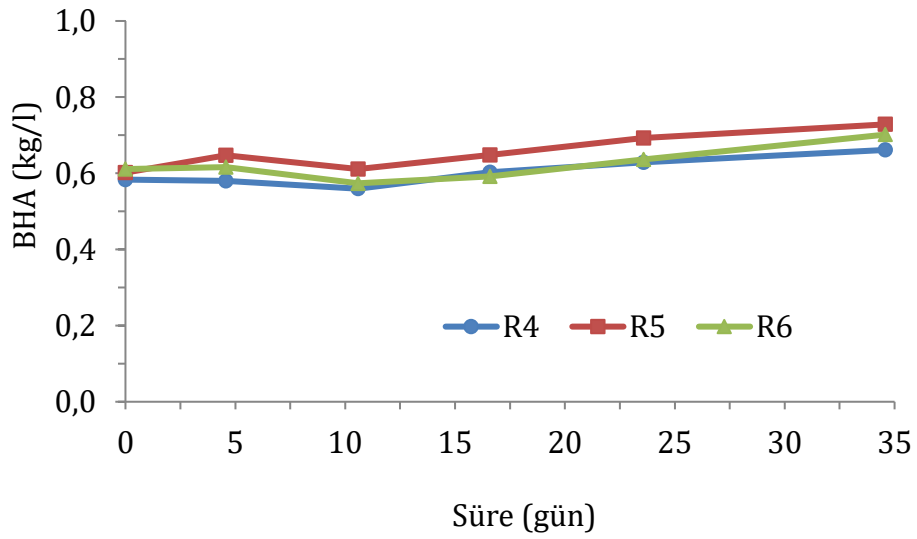
4.1.4. Birim hacim ağırlığı değişimleri

Kompostlaştırma işleminde organik madde parçalanması sonucunda kütsel ve hacimsel olarak değişimler olmaktadır. Birim hacim ağırlığı sonuçları bu değişimleri ortaya koymaktadır. Kompostlaştırma işlemi süresince tüm karışımların BHA değerleri artış göstermiştir (Şekil 4.16-Şekil 4.20). Breitenbeck ve Schellinger (2004), kompostlama sırasında hacimdeki azalmanın sadece kütle kaybından değil, aynı zamanda organik bileşenlerin bozulmasıyla daha küçük parçacıkların oluşmasından da kaynaklandığını belirtmişlerdir.

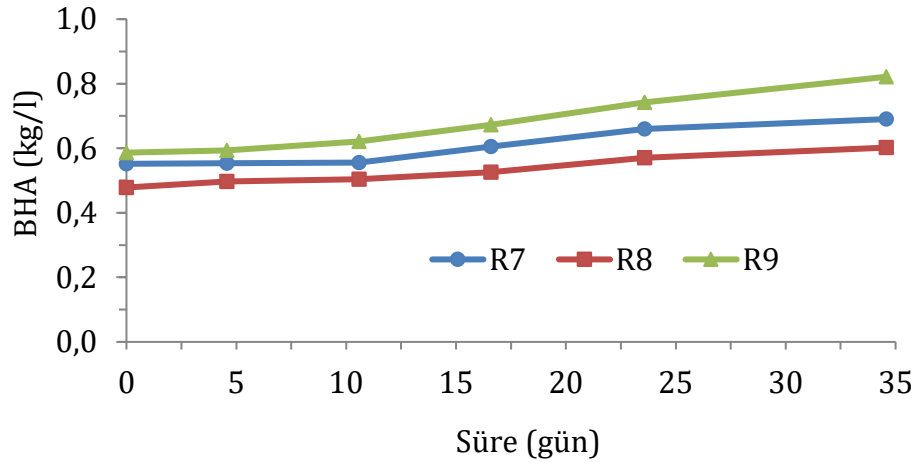
Karışımların SHB oranı K1'den K5'e doğru arttıkça BHA değerleride azalma eğilimi göstermiştir. Karışımlar içerisinde tekerrürler incelendiğinde ise reaktörlerin BHA değerleri benzer trendler göstermiştir.



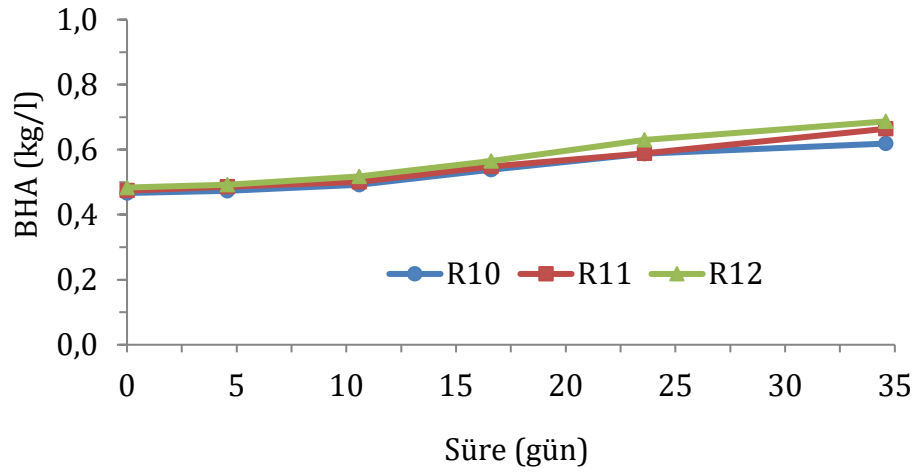
Şekil 4.16. K1 karışımı BHA değişimleri



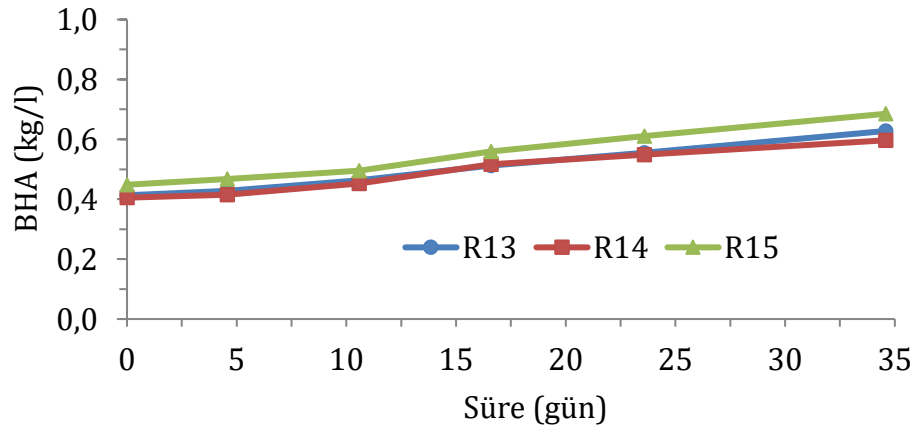
Şekil 4.17. K2 karışımı BHA değişimleri



Şekil 4.18. K3 karışımı BHA değişimleri



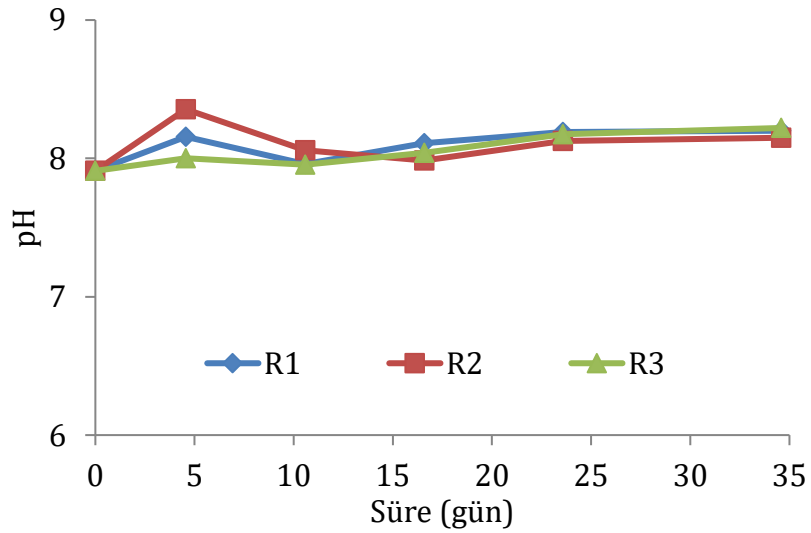
Şekil 4.19. K4 karışımı BHA değişimleri



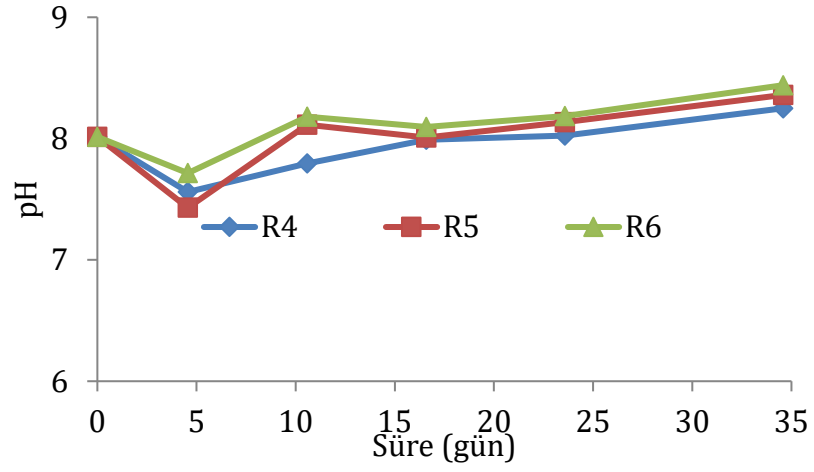
Şekil 4.20. K5 karışımı BHA değişimleri

4.1.5. pH değışimleri

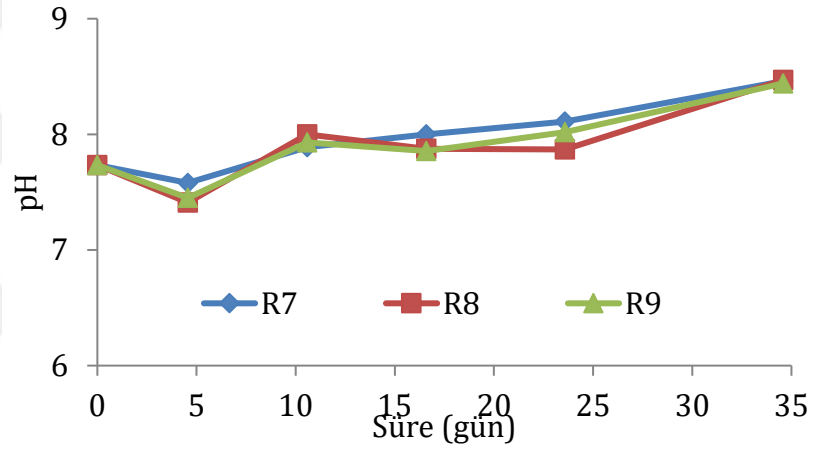
Kompostlaştırma süreci boyunca tüm karışımlarda yapılan pH analizleri Şekil 4.18’de gösterilmiştir. pH değeri organik maddenin asitliği veya alkaliliğini göstermekte olup mikroorganizmaların büyümesi ve gelişimine etki etmektedir (Chowdhury vd., 2013). Kompost karışımlarının başlangıç pH değeri 7,74-8,54 aralığında gerçekleşirken proses sonunda 8,19-8,46 aralığında gerçekleşmiştir (Şekil 4.21-Şekil 4.25). Proses sonu pH değeri olgun kompost için tavsiye edilen 7,0-8,50 aralığında gerçekleşmiştir (Yang vd., 2013). K2-K5 karışımlarında pH değeri, başlangıç sürecinde CO₂ ve organik asitlerin oluşumundan dolayı (Sharma, 1997) düşmüş olmasına rağmen, proses süresince tekrar artmıştır. Kompostlaşmanın ilk haftalarında yoğun mikrobiyal faaliyet ve organik madde parçalanması, organik azotun amonyaklaşmasının bir sonucu olarak amonyak oluşumu gerçekleşmekte, amonyağın çözünmesi de amonyum oluşumuna ve pH değerlerinde yükselmeye yol açmaktadır (Sánchez-Monedero vd., 2001).



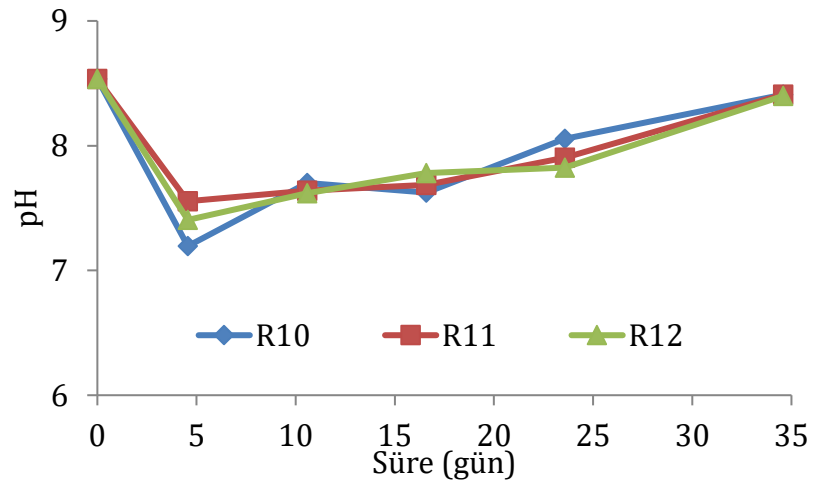
Şekil 4.21. K1 karışımı pH değışimleri



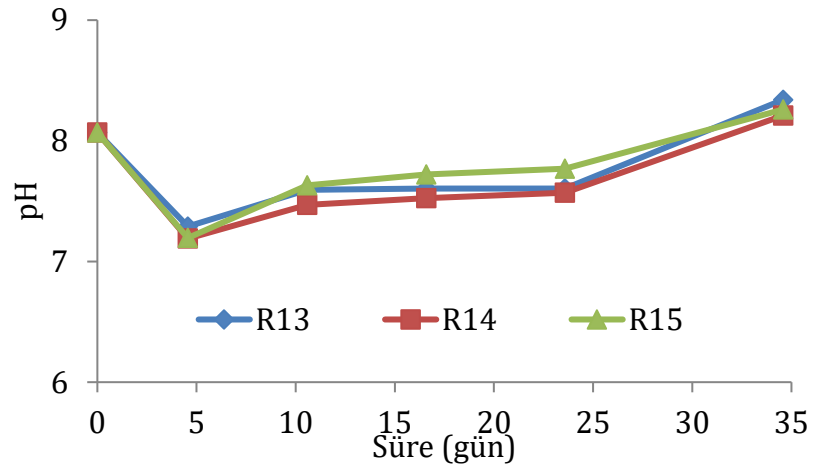
Şekil 4.22. K2 karışımı pH değişimleri



Şekil 4.23. K3 karışımı pH değişimleri



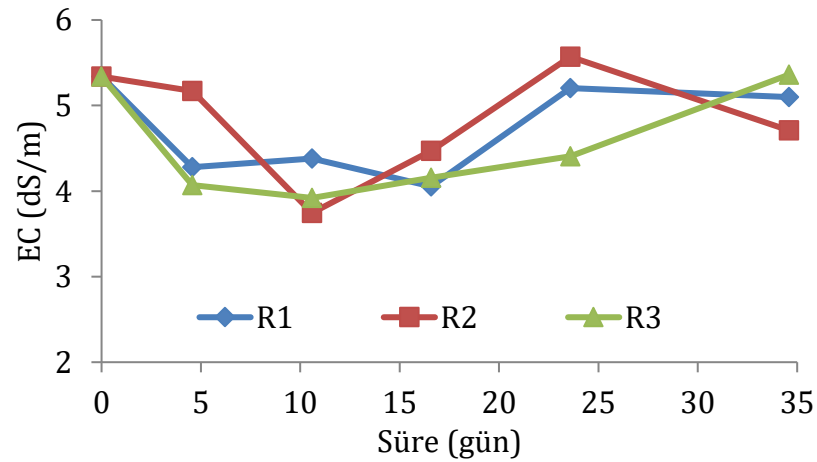
Şekil 4.24. K4 karışımı pH değişimleri



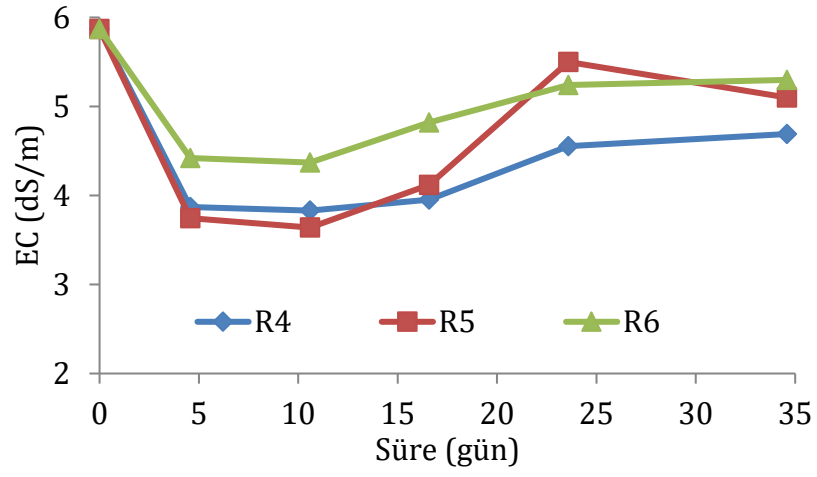
Şekil 4.25. K5 karışımı pH değişimleri

4.1.6. EC değişimleri

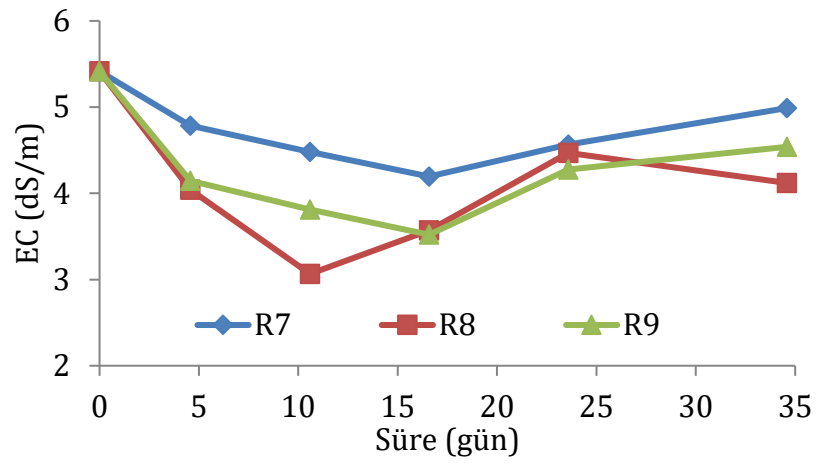
Kompostlaştırma süreci boyunca tüm karışımlarda ölçülen EC değerleri Şekil 4.26-Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Kompost karışımlarının başlangıç EC değerleri 3,64-5,87 dS/m aralığında gerçekleşirken proses sonunda kısmi olarak düşerek 3,36-5,06 dS/m aralığında gerçekleşmiştir. Proses sonunda toplam kütledeki azalma sebebi ile EC'nin kompostta konsantre hale gelmesinden dolayı yüksek değerlerde olması beklenirken (Gigliotti vd., 2012), bazı durumlarda ortama su eklenmesinden dolayı kompostun yıkanma etkisinden kaynaklı olarak EC değerlerinin proses sonunda düşük gerçekleştiği görülmüştür (Paredes vd., 2002; Abid ve Sayadi, 2006; Hachicha vd., 2009; Makni vd., 2010).



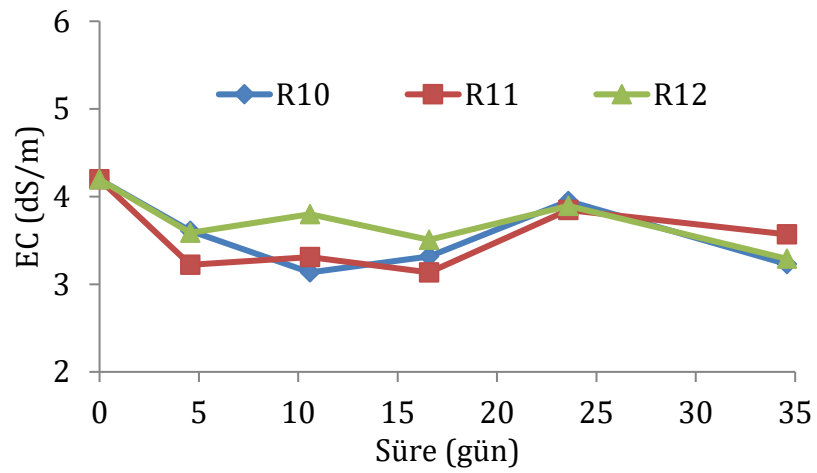
Şekil 4.26. K1 karışımı EC değişimleri



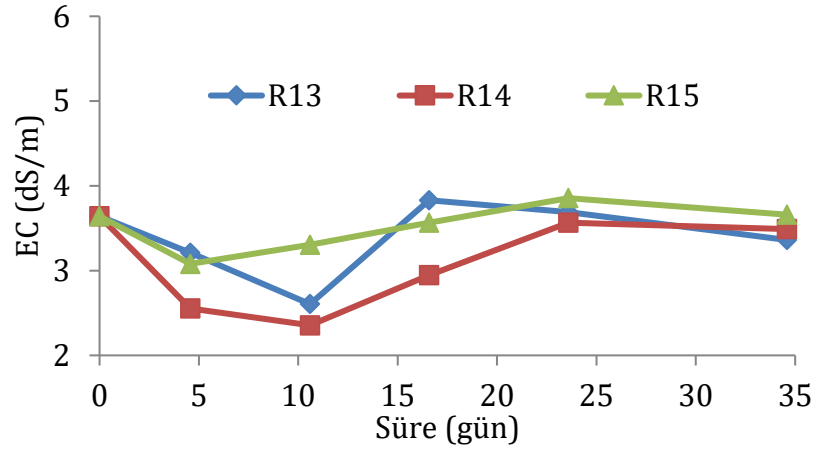
Şekil 4.27. K2 karışımı EC değişimleri



Şekil 4.28. K3 karışımı EC değişimleri



Şekil 4.29. K4 karışımı EC değişimleri



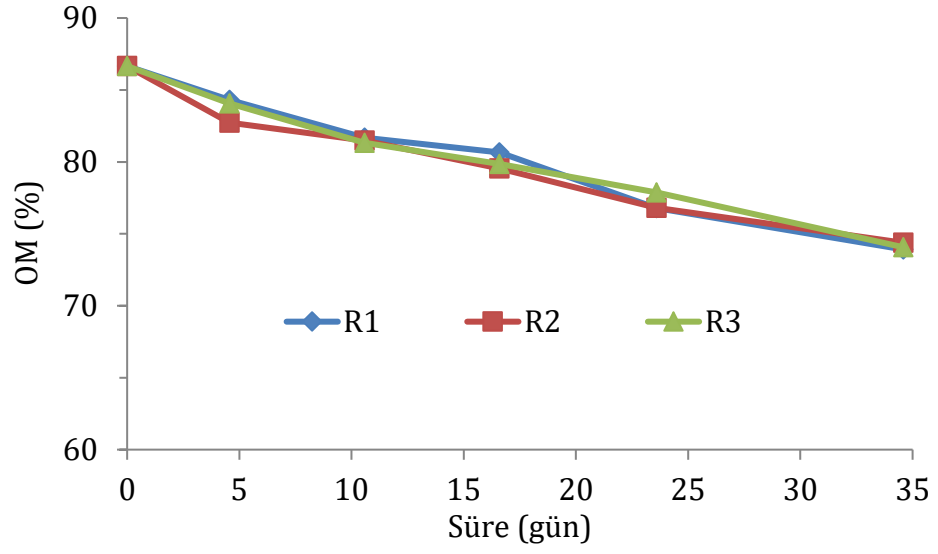
Şekil 4.30. K5 karışımı EC değişimleri

OG, (2018) yönetmelikte kompost için EC değerinin en fazla 10 dS/m olması yer almaktadır. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından çıkarılan, Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatına göre topraktaki tuzluluk şiddetine göre EC değeri (dS/m) 0-4 arası tuzsuz, 4-8 arası hafif tuzlu, 8-16 arası orta tuzlu ve 16'nın üzeri ise şiddetli tuzlu olarak derecelendirilmektedir.

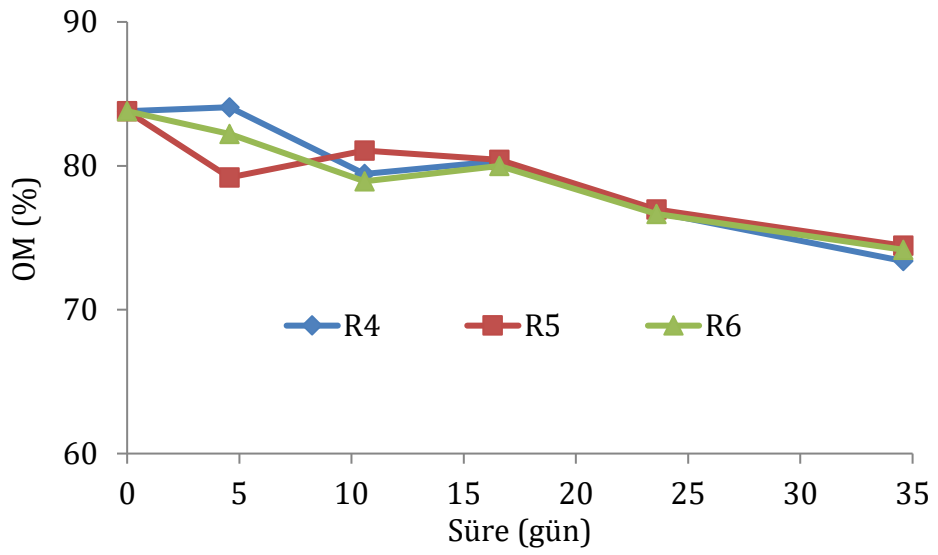
Çalışma sonunda elde edilen kompostların tüm gruplarda yönetmelikte verilen EC değerlerini sağladığı belirlenmiştir. Karışımların EC değerleri incelendiğinde K4 ve K5'in "tuzsuz", K1, K2 ve K3'ün "hafif tuzlu" sınıfında yer aldığı görülmektedir.

4.1.7. Organik madde değişimleri

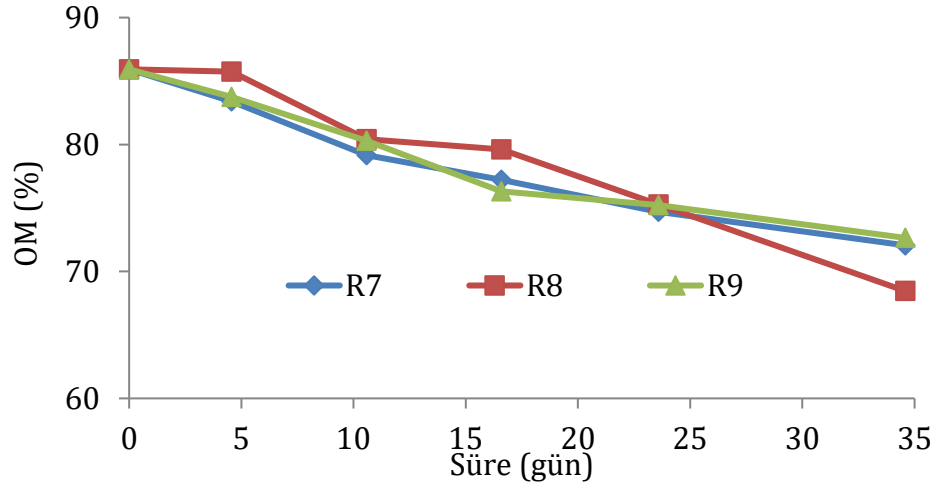
Kompostlama işleminde kullanılan materyallerin OM içeriklerinin yüksek olması nedeni ile karışımların başlangıç OM değerleri %80,8-86,7 aralığında gerçekleşmiştir (Şekil 4.31-Şekil 4.35). Karışımların OM değerleri proses süresince sürekli olarak azalmış ve proses sonunda %70,4-74,1 aralığında gerçekleşmiştir. Organik maddedeki düşüş, kompostlama sırasında etkili bir organik madde ayrışmasının gerçekleştiğini açıkça göstermektedir (Ekinci vd., 2022). Karışımlar içerisinde tekerrürler incelendiğinde ise reaktörlerin OM değerleri benzer trendler göstermiştir.



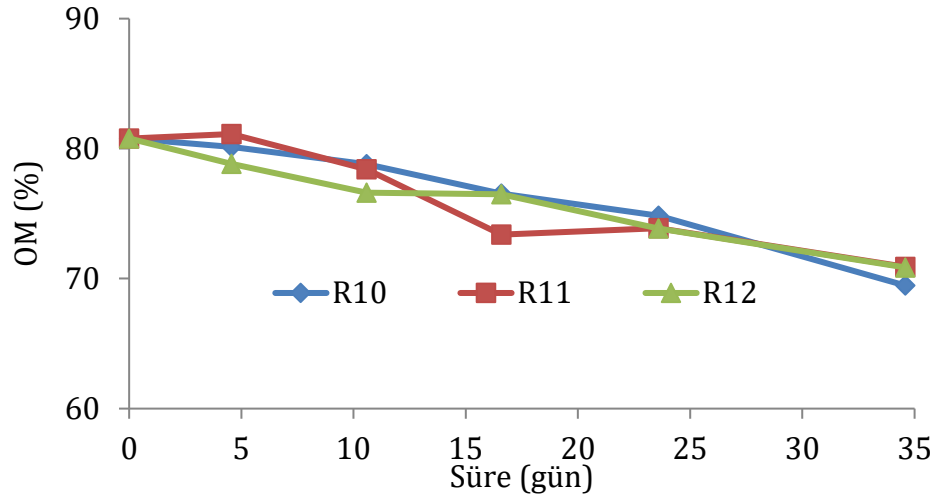
Şekil 4.31. K1 karışımı OM değişimleri



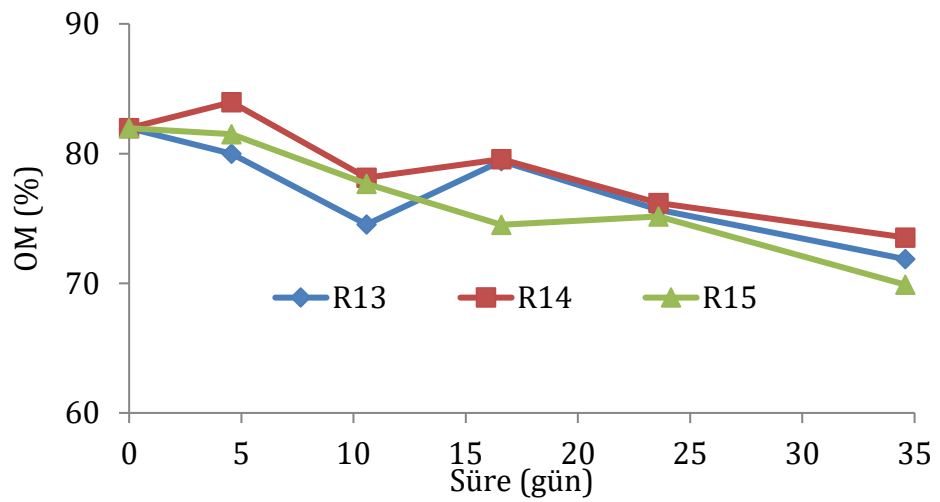
Şekil 4.32. K2 karışımı OM değişimleri



Şekil 4.33. K3 karışımı OM değişimleri



Şekil 4.34. K4 karışımı OM değişimleri



Şekil 4.35. K5 karışımı OM değişimleri

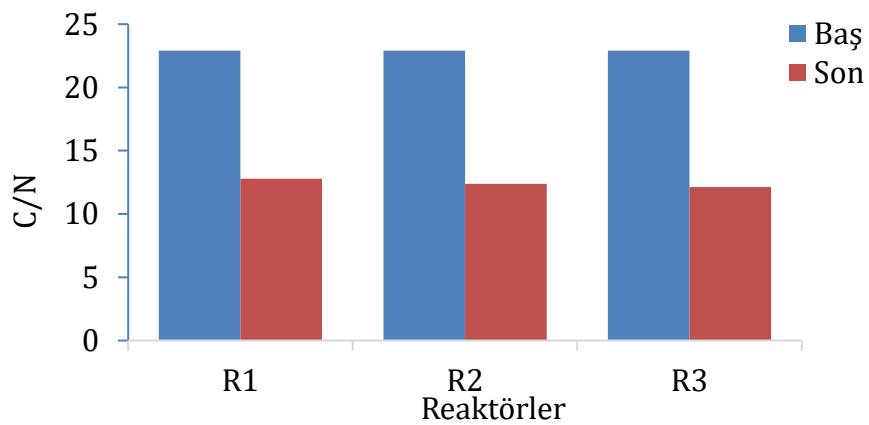
4.1.8. Karbon/Azot değişimi

Reaktör içerisindeki atık türüne bağlı olarak karışımların C/N değişimleri farklılık göstermektedir. Stabilizasyon sonu C/N değeri başlangıça göre düşük gerçekleşmiştir. Tüm karışımların başlangıç ve son C/N oranları izelge 4.2’de verilmiştir. OM bozunması ilerledikçe kompost malzemesinin karbon içeriği karbon kaybından dolayı azalır ve nitrojen içeriği artar ve proses sonunda C/N oranında azalmaya neden olur (Raj ve Antil, 2011). Olgun kompost için yaygın olarak tavsiye edilen kompostlamanın sonunda tüm karışımların (K1-K5) C/N oranı 20’den düşük gerçekleşmiştir (Bernal vd., 2009; Awasthi vd., 2016).

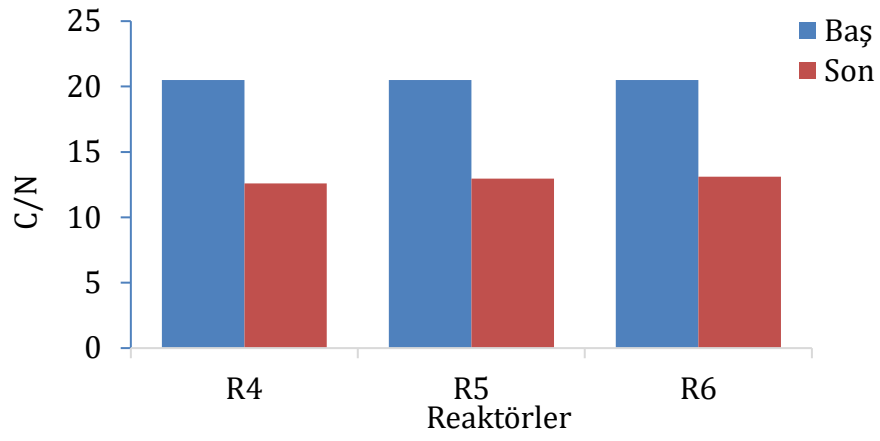
Çizelge 4.2. Nar kompostu karışımların başlangıç ve son C/N değişimleri

Karışım	Başlangıç	Son
K1	22,9±1,75	12,4±0,34
K2	20,5±0,57	12,9±0,26
K3	21,8±0,33	13,1±0,26
K4	21,0±0,04	13,5±0,49
K5	22,8±0,62	13,6±0,77

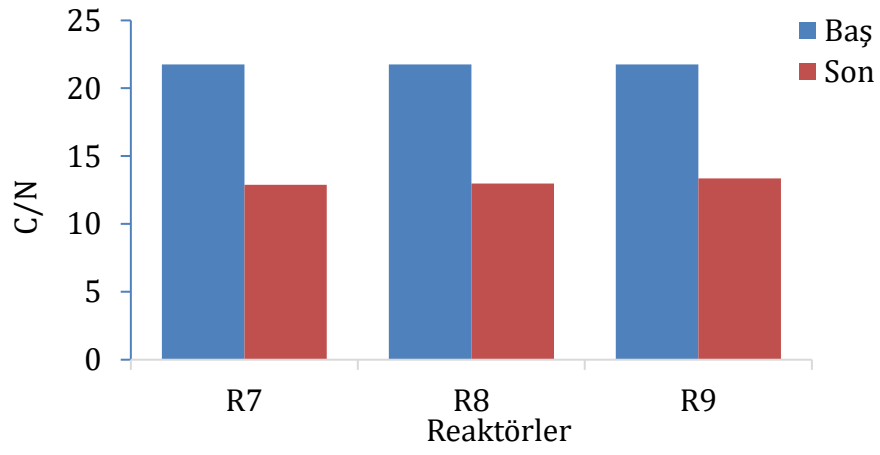
Kompostlaştırma işlemi başlangıında ve proses sonunda her bir karışıma ait reaktörlerin C/N oranlarındaki değişimler ayrı ayrı şekil 4.36-şekil 4.40’da gösterilmiştir. Her bir karışıma ait C/N oranları incelendiğinde reaktör tekerrürlerinin benzerlik gösterdiği görölmektedir.



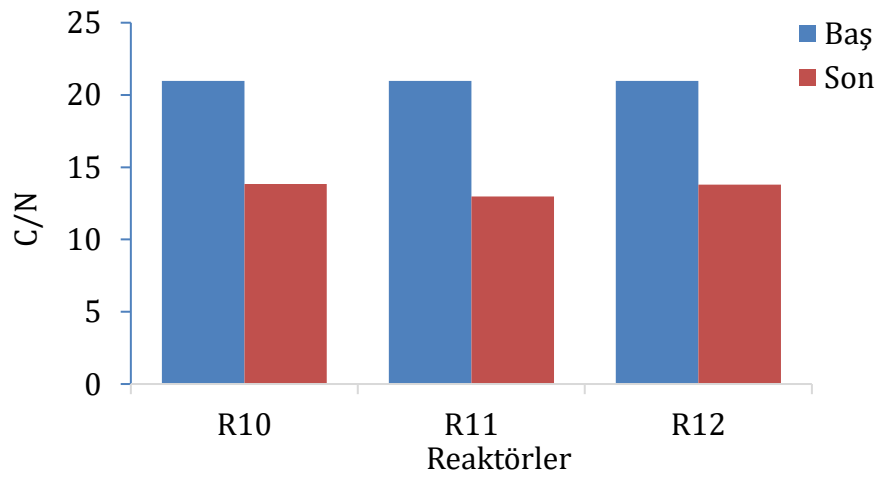
şekil 4.36. K1 karışımı C/N değişimleri



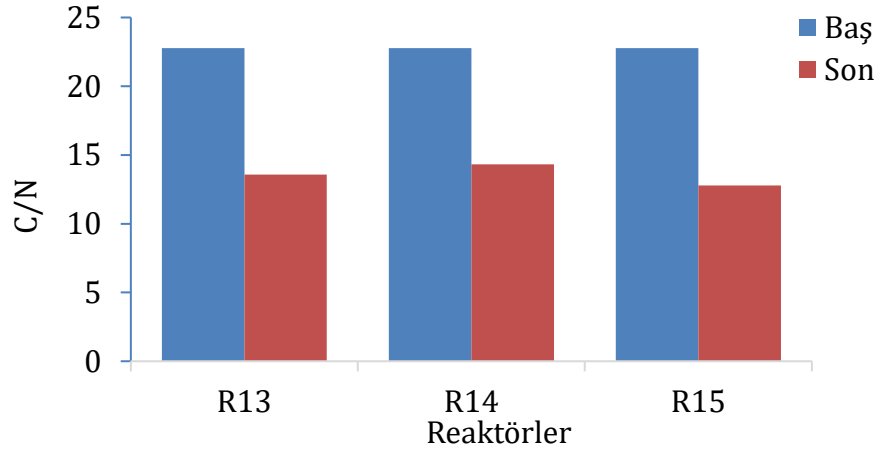
Şekil 4.37. K2 karışımı C/N değişimleri



Şekil 4.38. K3 karışımı C/N değişimleri



Şekil 4.39. K4 karışımı C/N değişimleri



Şekil 4.40. K5 karışımı C/N değişimleri

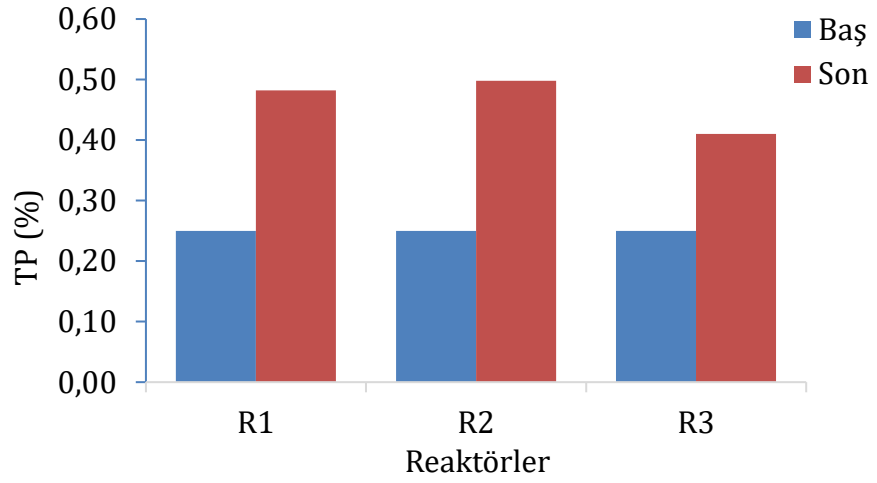
4.1.9. Fosfor değişimi

Kompost numunelerinde kompost kalite parametresi olan TP değerlerini tayin etmek amacıyla TP analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.3’de verilmiştir. Tüm karışımlarda başlangıç TP değerlerinin stabilizasyon sonunda artış gösterdiği görülmektedir. Başlangıç hayvan gübresi ve kompostta TP değerleri %0,15 ile 3,93 arasında değişmektedir (Sharpley ve Moyer, 2000).

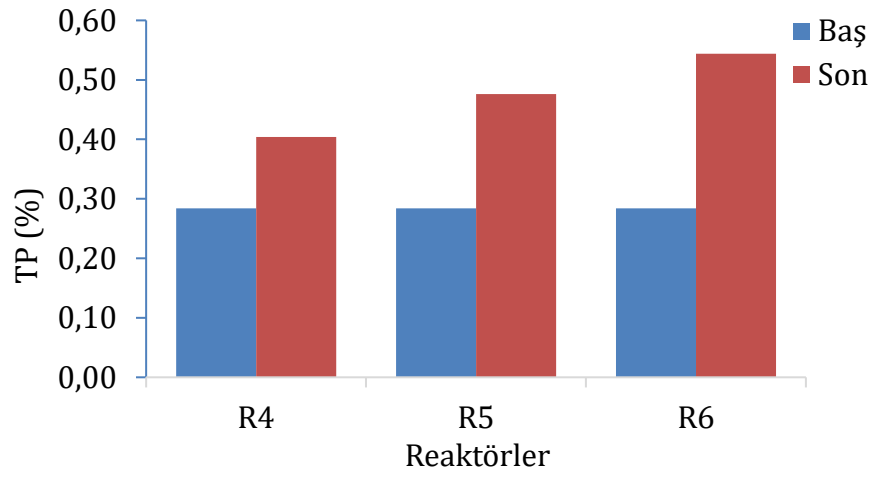
Çizelge 4.3. Nar kompostu karışımlarının TP değişimleri

Karışım	Başlangıç (%)	Son (%)
K1	0,25±0,004	0,47±0,04
K2	0,28±0,002	0,48±0,06
K3	0,26±0,007	0,42±0,14
K4	0,32±0,001	0,48±0,06
K5	0,12±0,001	0,45±0,05

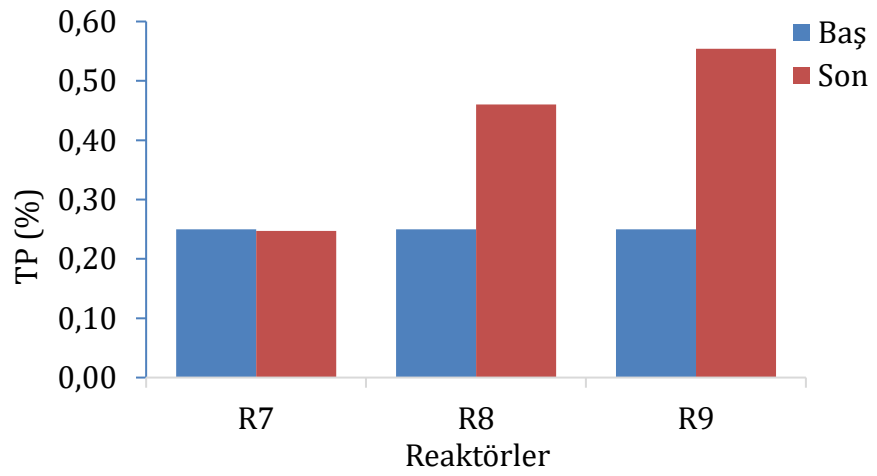
Kompostlaştırma işlemi başlangıcında ve proses sonunda her bir karışıma ait reaktörlerin TP değişimleri ayrı ayrı Şekil 4.41-Şekil 4.45’de gösterilmiştir.



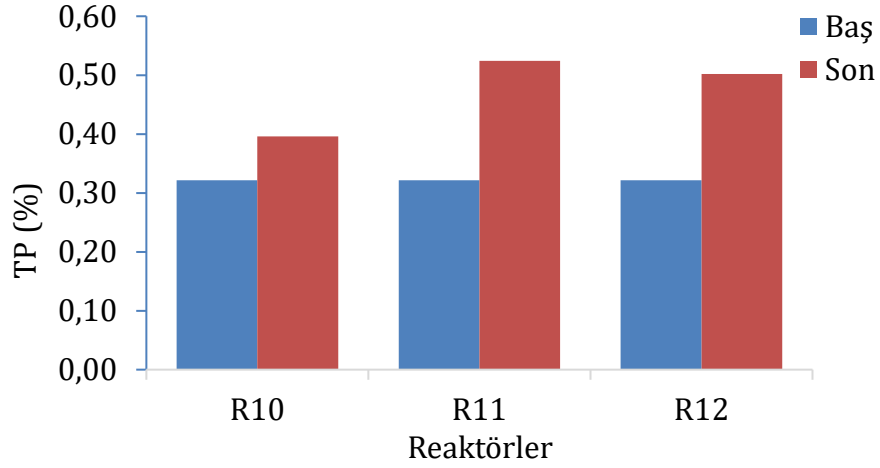
Şekil 4.41. K1 karışımı TP değişimleri



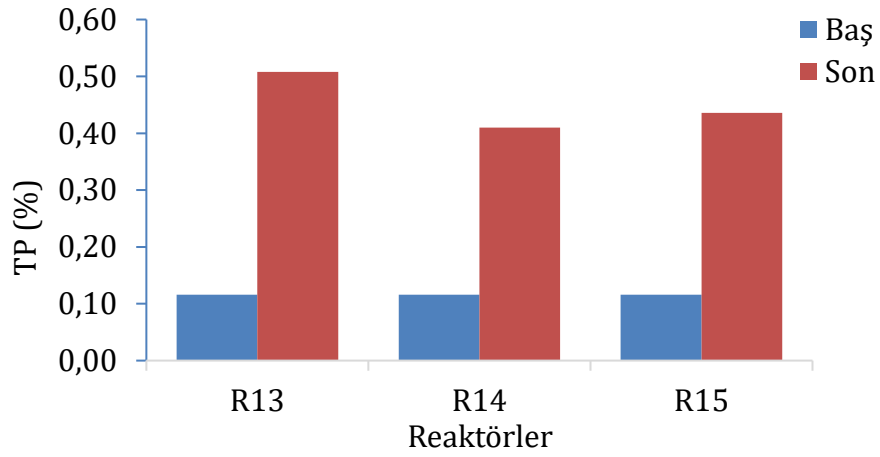
Şekil 4.42. K2 karışımı TP değişimleri



Şekil 4.43. K3 karışımı TP değişimleri



Şekil 4.44. K4 karışımı TP değişimleri



Şekil 4.45. K5 karışımı TP değişimleri

4.1.10. Amonyum ve nitrat değişimi

Amonyum ve nitrat analiz sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir $\text{NH}_4\text{-N}$ başlangıç değerleri stabilizasyon sonrası düşüş eğilimi göstermiştir. Başlangıçta ortamda bulunan nitrat, stabilizasyon süreciyle birlikte artmıştır.

$\text{NO}_3\text{-N}$ ’in belirgin miktarlarda bulunması, kompostun olgunluğunun göstergelerindendir. Bu nedenle $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ oranı, olgunluğun derecesini belirlemede yararlı bir parametredir. ABD’de, kompost kalite kriterlerinde olgunluğa göre, $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ oranı; çok olgun, olgun ve olgun olmayan kompostlar için sırasıyla $<0,5$; $0,5\text{-}3$ ve >3 olarak bildirilmiştir (Brinton W.F., 2000). Bu çalışmada üretilen kompostlar “çok olgun” sınıfında yer almaktadır.

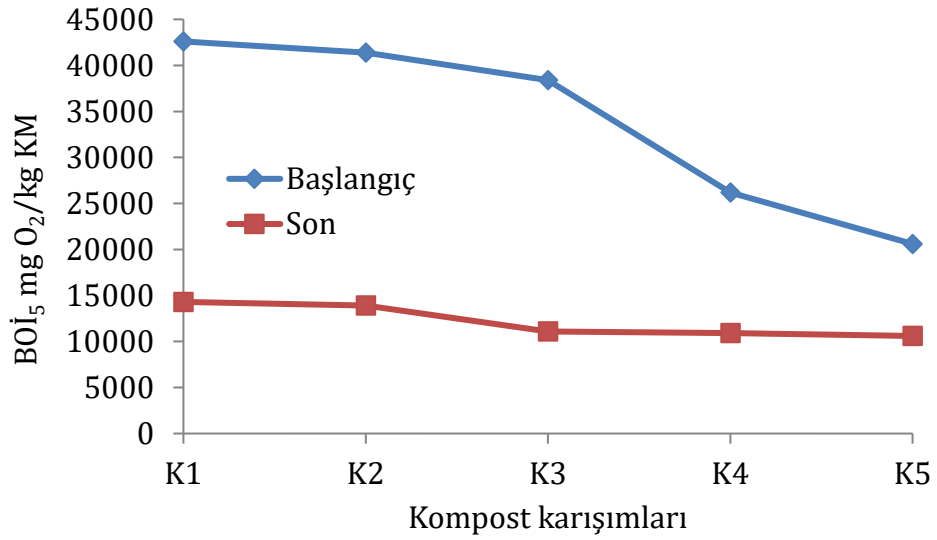
Ko vd. (2008), $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ oranının C/N oranından daha uygun bir parametre olduğunu ve kompost olgunluğunu değerlendirmede bu değerin 1'den küçük olması gerektiğini belirtmiştir. $\text{NH}_4\text{-N}$ değeri 132-193 mg/kg aralığında iken, proses sonunda azalarak 29,2-33,6 mg/kg aralığında gerçekleşmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından (Raj ve Antil, 2011; Meunchang vd., 2005) bu azalmanın muhtemelen organik maddelerin parçalanması sırasında mikroorganizmalar tarafından nitrifikasyon, amonyak buharlaşması ve immobilizasyondan kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Çizelge 4.4. Kompost karışımlarının $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimleri

Karışım	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/kg)		$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg)		$\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$
	Başlangıç	Son	Başlangıç	Son	Son
K1	193	32,9	443	787	0,04
K2	132	33,6	378	1239	0,03
K3	179	30,3	400	1274	0,02
K4	135	30,5	291	889	0,03
K5	134	29,2	424	799	0,04

4.1.11. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı değişimi

Kompost karışımlarının başlangıç ve son örnekleri üzerinde biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) analizi gerçekleştirilmiştir. Proses başlangıcından sonuna doğru BOİ değerinde düşüş gerçekleşmiştir. K1'den K5'e doğru karışım içerisinde NA ve SG'nin azalmasından dolayı karışımların başlangıç BOİ değerleri de K1'den K5'e doğru düşük gerçekleşmiştir (Şekil 4.46). Benzer durum proses sonunda da gerçekleşmiştir. Çözünür BOİ seviyesi, hazır biyoyararlı bileşiklerin aerobik mikrobiyal bozunması nedeniyle kompost stabilitesinin bir göstergesidir (Singh ve Kalamdhad, 2014). Kompostlaştırma işleminde organik maddenin azalmasıyla biyolojik aktiviteden dolayı sıcaklık düşmeye başlar ve amonyak nitrifikasyon sonucu nitrit ve nitrata dönüşür (Stoffella ve Kahn, 2001). BOİ değeri de kompostlamanın sonucu olarak mikrobiyal faaliyetin azalması ile proses sonunda düşme eğilimi gösterir.



Şekil 4.46. Kompost karışımlarının BOİ değişimi

4.1.12. NDF ve ADF değişimi

Nar atıkları kompostlaştırma işleminden üretilen nar kompostu karışımlarında NDF, ADF ve ADL analizleri gerçekleştirilmiştir. OM konsantrasyonu değişiklikleri sadece biyolojik olarak parçalanabilen fraksiyonlardan değil aynı zamanda lignoselüloz (lignin, selüloz, hemiselüloz) bozunmasından da etkilenir. Organik maddenin kolay bozunan kısımlarının yanı sıra daha iyi malzeme yoğunluğu (SHB) ile daha fazla organik madde bozunabilir ve böylece aynı miktarda organik madde için daha fazla hemiselüloz ve selüloz bozunmuş olur (Chang vd., 2017).

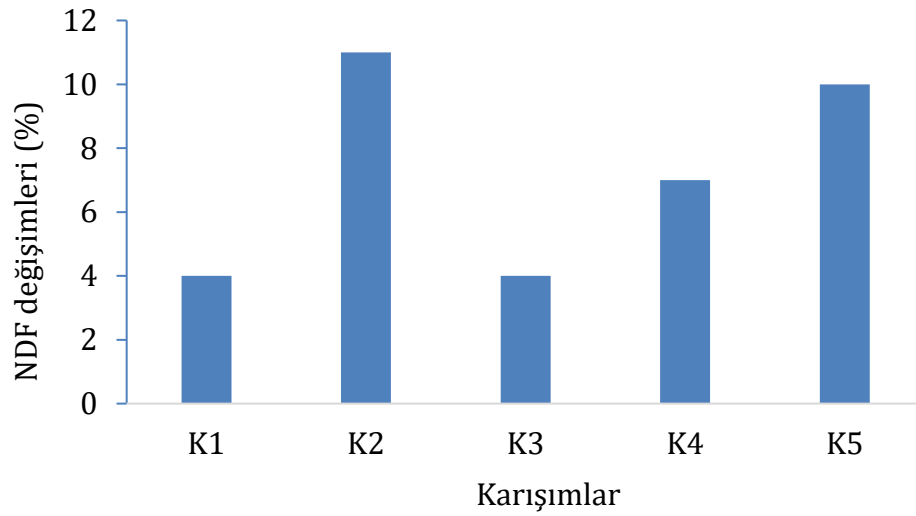
Karışımlar içerisinde bulunan materyallerin (NA, SG, TG, S) oranlarına ve materyalin kolay parçalanabilme özelliğine bağlı olarak lignin, selüloz ve hemiselüloz parçalanmaları değişiklik göstermektedir. K1'den K5'e doğru materyal oranı en fazla olan NA ve SG azalmaktadır. Ancak S'in karışım içerisindeki oranı K1'den K5'e doğru artmaktadır. Kompost karışımında kolay parçalanabilen kısmın oranı arttıkça lignin, hemiselüloz ve selüloz %'si artış eğilimi göstermektedir (Chang vd., 2017).

Karışımların başlangıç ve son değerleri incelendiğinde kompostlaştırma sürecinde organik madde parçalanmasının gerçekleştiği görülmektedir (Çizelge

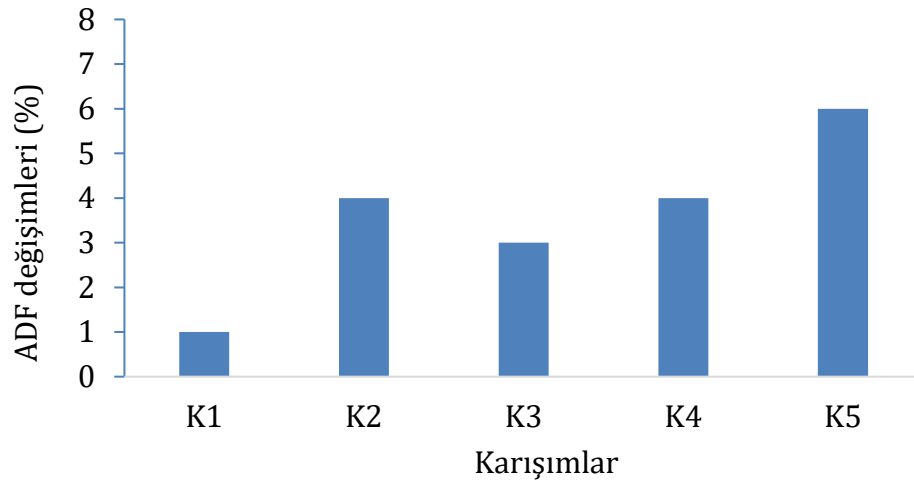
4.5). En çok değişim lignin ve selülozda gerçekleşmiştir (Şekil 4.49, Şekil 4.50). Karışımların lignin ve selüloz değişimleri SHB oranıyla doğru orantılı olarak artış göstermiştir. En yüksek değişimler SHB oranının %40 olduğu K5 karışımında sırasıyla %11,1 ve %17,1 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.5. Kompost karışımlarının NDF, ADF, Lignin, Selüloz ve Hemiselüloz değerleri (%)

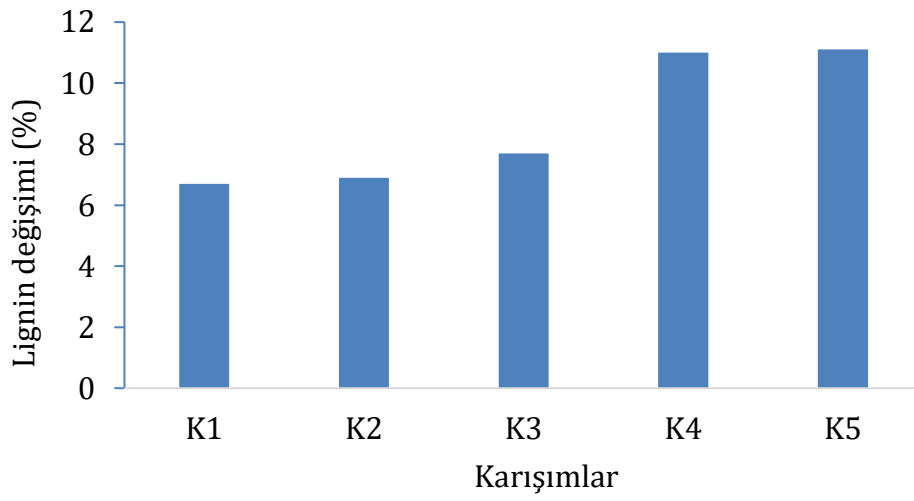
		NDF	ADF	Lignin	Selüloz	Hemiselüloz
K1	Baş	52,0	41,0	24,3	23,4	11,0
	Son	48,0	40,0	17,6	13,7	8,00
K2	Baş	56,0	40,0	25,4	21,5	16,0
	Son	45,0	36,0	18,5	10,6	9,00
K3	Baş	52,0	37,0	24,7	20,0	15,0
	Son	48,0	34,0	17,0	9,30	14,0
K4	Baş	57,0	39,0	28,2	21,8	18,0
	Son	50,0	35,0	17,2	6,80	15,0
K5	Baş	56,0	38,0	24,8	24,3	18,0
	Son	46,0	32,0	13,7	7,20	14,0



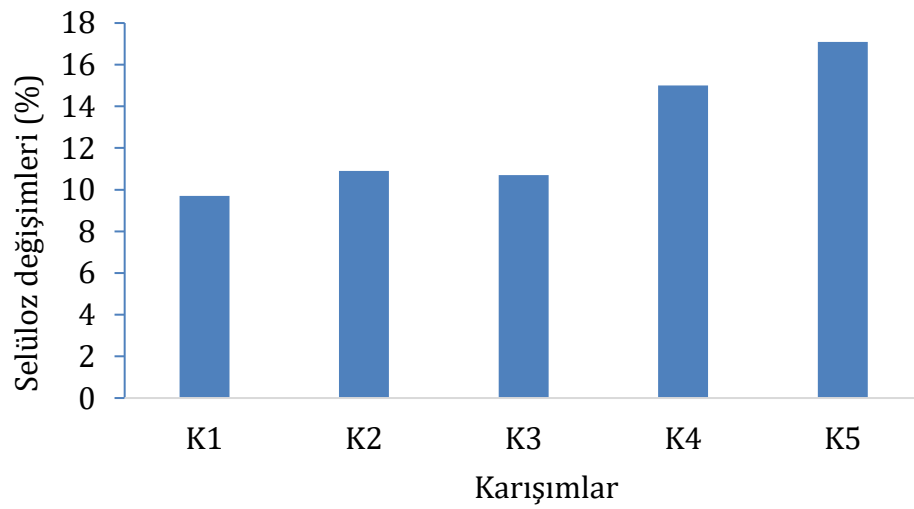
Şekil 4.47. Kompost karışımlarının NDF değişimleri



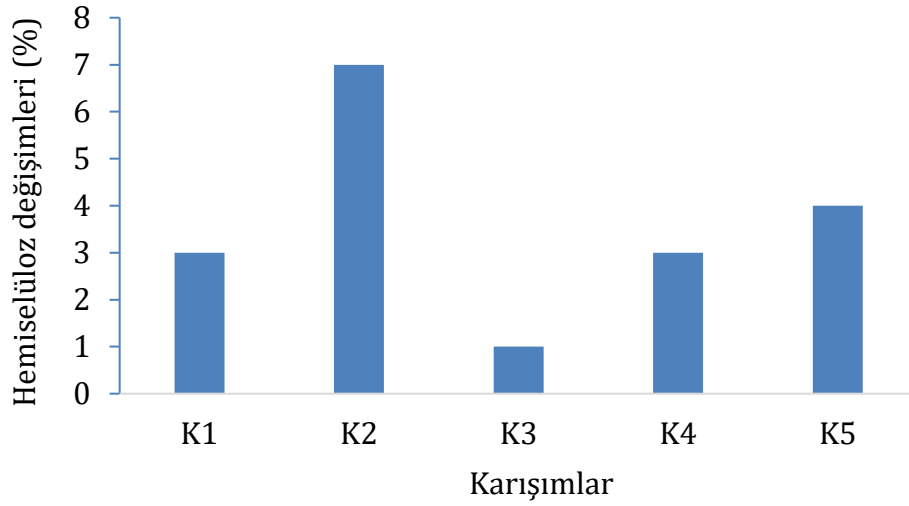
Şekil 4.48. Kompost karışımlarının ADF değişimleri



Şekil 4.49. Kompost karışımlarının lignin değişimleri



Şekil 4.50. Kompost karışımlarının selüloz değişimleri



Şekil 4.51. Kompost karışımlarının hemiselüloz değişimleri

4.1.13. Mikrobiyolojik analiz

Nar atıkları kompostlaştırma çalışmasında kompost karışımlarının başlangıcında ve proses sonunda alınan örnekler üzerinde mikroorganizma türleri tespit edilmiştir.

Kompost karışımlarının başlangıç örneklerinde mikroorganizmaların cins düzeyinde dağılımları incelendiğinde; 3 tür ile *Citrobacter* başta gelirken, bunu 2 tür ile *Myroides*, *Proteus*, *Serratia*, 1 tür ile *Bacillus*, *Enterobacter*, *Escherichia coli*, *Lysinibacillus*, *Rahnella* ve *Raoultella* cinsleri izlemiştir (Çizelge 4.6). *Raoultella ornithinolytica* türü tüm karışımlarda tespit edilmiştir. En fazla tür K1 karışımında (6 tür) en az tür ise K5 karışımında (1 tür) tespit edilmiştir.

Kompost karışımlarının proses sonu örneklerinde mikroorganizmaların cins düzeyinde dağılımları incelendiğinde; 9 tür ile *Bacillus* başta gelirken, bunu 4 tür ile *Staphylococcus*, 1 tür ile *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas* ve *Solibacillus* cinsleri izlemiştir (Çizelge 4.7). *Bacillus* türleri diğer türlere göre daha fazla miktarda bulunmaktadır. *Bacillus megaterium* ve *Bacillus mojavensis* türleri tüm karışımlarda tespit edilmiştir. En fazla tür K2 ve K5 karışımlarında (10 tür) en az tür ise K1 ve K3 karışımlarında (6 tür) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Nar atıkları kompostlaması başlangıç karışımlarının mikroorganizma türleri

Mikroorganizma türü (Başlangıç)	K1	K2	K3	K4	K5
<i>Bacillus cereus</i>	+				
<i>Citrobacter braakii</i>				+	
<i>Citrobacter farmeri</i>	+				
<i>Citrobacter koseri</i>			+		
<i>Enterobacter cloacae</i>		+			
<i>Escherichia coli</i>			+		
<i>Lysinibacillus sphaericus</i>		+			
<i>Myroides odoratimimus</i>	+				
<i>Myroides odoratus</i>			+		
<i>Proteus hauseri</i>	+				
<i>Proteus vulgaris</i>	+				
<i>Rahnella aquatilis</i>			+		
<i>Raoultella ornithinolytica</i>	+	+	+	+	+
<i>Serratia liquefaciens</i>		+			
<i>Serratia marcescens</i>		+			

Çizelge 4.7. Nar atıkları kompostlaması proses sonu karışımların mikroorganizma türleri

Mikroorganizma türü (Son)	K1	K2	K3	K4	K5
<i>Acinetobacter lwoffii</i>		+			
<i>Arthrobacter arilaitensis</i>		+	+	+	+
<i>Bacillus circulans</i>	+	+			
<i>Bacillus endophyticus</i>		+	+		+
<i>Bacillus firmus</i>					+
<i>Bacillus megaterium</i>	+	+	+	+	+
<i>Bacillus mojavensis</i>	+	+	+	+	+
<i>Bacillus pumilus</i>	+	+			+
<i>Bacillus subtilis</i>				+	+
<i>Bacillus subtilis ssp. subtilis</i>				+	+
<i>Bacillus thuringiensis</i>		+			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>					+
<i>Solibacillus silvestris</i>			+		
<i>Staphylococcus equorum ssp. equorum</i>				+	
<i>Staphylococcus sciuri ssp. sciuri</i>	+	+	+	+	
<i>Staphylococcus succinus ssp. succinus</i>	+			+	+
<i>Staphylococcus xylosus</i>		+			

4.1.14. Kinetik analiz

Kompostlama işlemi sırasında, aktif termofilik bakteriler organik maddenin parçalanmasına neden olarak CO₂ üretimine yol açmıştır (Chang vd., 2017). Kümülatif CO₂ miktarındaki hızlı artış genellikle kompostlama sırasında sıcaklıktaki artış ve inkübasyonun başlangıcı ile aynı zamana denk gelir (Wong ve Fang, 2000).

Tüm karışımlar için CO₂-C'nun zamanın bir fonksiyonu olarak uyarlanması ile organik maddenin hızlı ve yavaş biyolojik olarak bozunabilir fraksiyonunun, tüm karışımlarda %56,4-%72,0 aralığında olduğu görülmektedir. Birinci-sıfıncı ve birinci-birinci dereceden parametreler, belirleme katsayısı ve ortalama bağıl hatalar (HYBRID) Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Birinci-sıfıncı derece kinetik modelde hızlı ayrışma (k_R) değerinin K5 (SHB %40) karışımında 0,261 gün⁻¹ olduğu, yavaş ayrışma (k_S) değerinin K4 ve K5 karışımında diğer karışımların k_S değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Tüm karışımların R² değerleri 0,995 ve üzeri çıkmıştır.

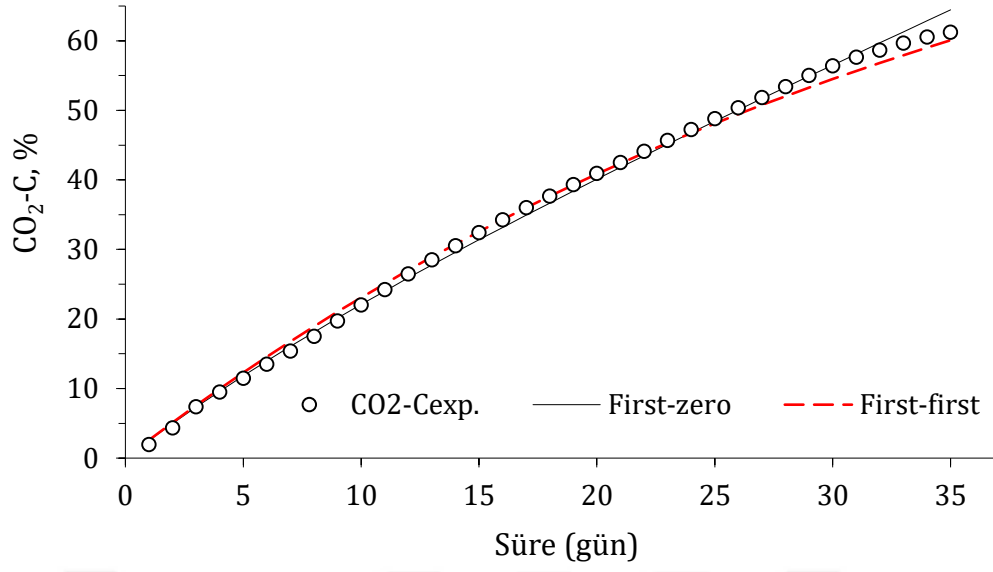
Birinci-birinci derece kinetik modelde hızlı ayrışma (k_R) değerinin K1, K2 ve K3'de benzer olduğu ancak SHB değerinin sırasıyla %36 ve %40 olduğu K4 ve K5 karışımında ise sırasıyla 0,109 gün⁻¹ ve 0,273 gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda SHB değerindeki artışa bağlı olarak hızlı ayrışma katsayısı da artış göstermektedir. Yavaş ayrışma (k_S) değerleri incelendiğinde ise K4 ve K5 karışımının diğer karışımların k_S değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde K4 ve K5 karışımının HYBRID değerleri diğer karışımlardan düşük gerçekleşmiştir. Tüm karışımların R² değerleri 0,997 ve üzeri çıkmıştır. Kirchmann ve Bernal (1997) tarafından yapılan kümes hayvan atıkları kompostlaştırma çalışmasında k_R değerini 0,093 gün⁻¹, k_S değerini 0,005 gün⁻¹, R² değerini ise 0,997 olarak hesaplamıştır.

Çizelge 4.8. Birinci-sıfıncı ve birinci-birinci derece kinetik için elde edilen hız sabitleri

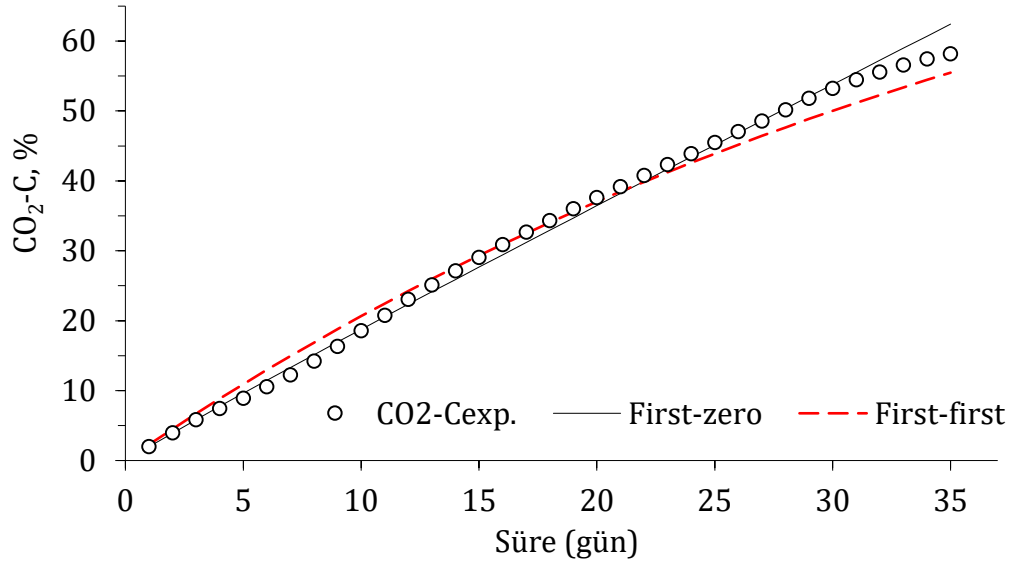
	K1	K2	K3	K4	K5
Kümülatif CO ₂ -C _{exp.} , %	61,2	58,2	56,4	72,0	68,5
Toplam (KM)	20,4	20,5	19,5	17,3	18,6
Birinci-sıfıncı derece (1+0)					
C _R , %	10,98	2,22	42,67	31,97	26,90
C _S , %	89,02	97,78	57,33	68,03	73,10
k _R , gün ⁻¹	0,094	0,120	0,026	0,109	0,261
k _S , gün ⁻¹	0,0173	0,0176	0,0162	0,0020	0,0047
HYBRID	0,097	0,160	0,049	0,108	0,045
ΔC, %	3,11	3,21	2,25	3,53	1,63
R ² (non lineer)	0,997	0,995	0,999	0,998	0,997
Birinci-birinci derece (1+1)					
C _R , %	9,90	17,35	40,79	31,78	25,90
C _S , %	90,10	82,65	59,21	68,22	74,10
k _R , gün ⁻¹	0,026	0,023	0,023	0,109	0,273
k _S , gün ⁻¹	0,0262	0,0231	0,0225	0,0021	0,0056
HYBRID	0,145	0,537	0,234	0,108	0,037
ΔC, %	4,03	7,59	4,43	3,54	1,47
R ² (non lineer)	0,999	0,997	0,998	0,998	0,998

Toplam organik madde, biyolojik olarak parçalanamayan ve biyolojik olarak parçalanabilen fraksiyondan oluşur (Tosun vd., 2008). Birinci-sıfıncı derece ve birinci-birinci derece modeller, her ikisi de aynı anda meydana gelen hızlı ve yavaş kontrol edilen süreçler olarak yorumlanan iki aşamalı bir mekanizmayı tanımlar. Bu nedenle, kompostlama kinetiği konusu karmaşıktır ve özellikle tam stabilizasyon için bazen uzun alıkoyma sürelerinin gerekli olduğu kompostlama sistemlerinde hızlı, yavaş ve biyolojik olarak parçalanamayan fraksiyonlar arasında keskin bir ayrım yoktur (Haug, 1993).

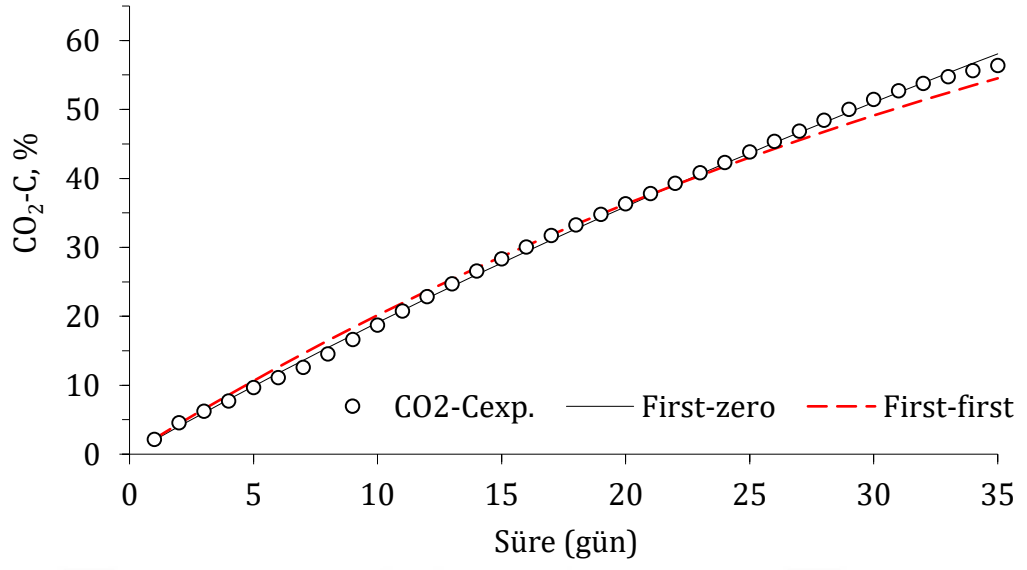
Karışımların birinci-sıfıncı ve birinci-birinci derece kinetik modellere göre karşılaştırılması Şekil 4.52-Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Tüm karışımlar kendi içerisinde, hızlı ve yavaş biyolojik bozunma olmak üzere iki fazda meydana gelen işlem sırasında aynı kinetik davranışı sergilemiştir.



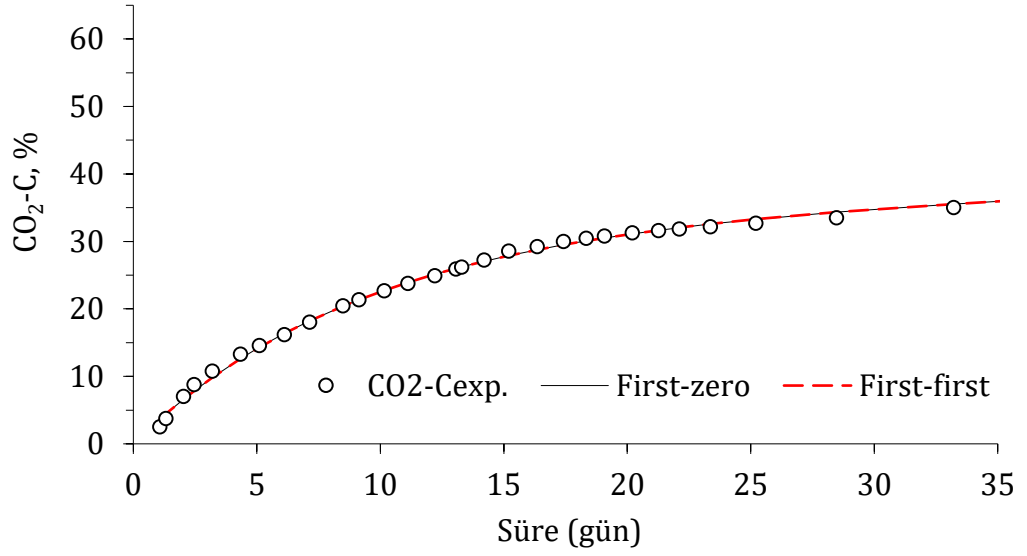
Şekil 4.52. K1 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması



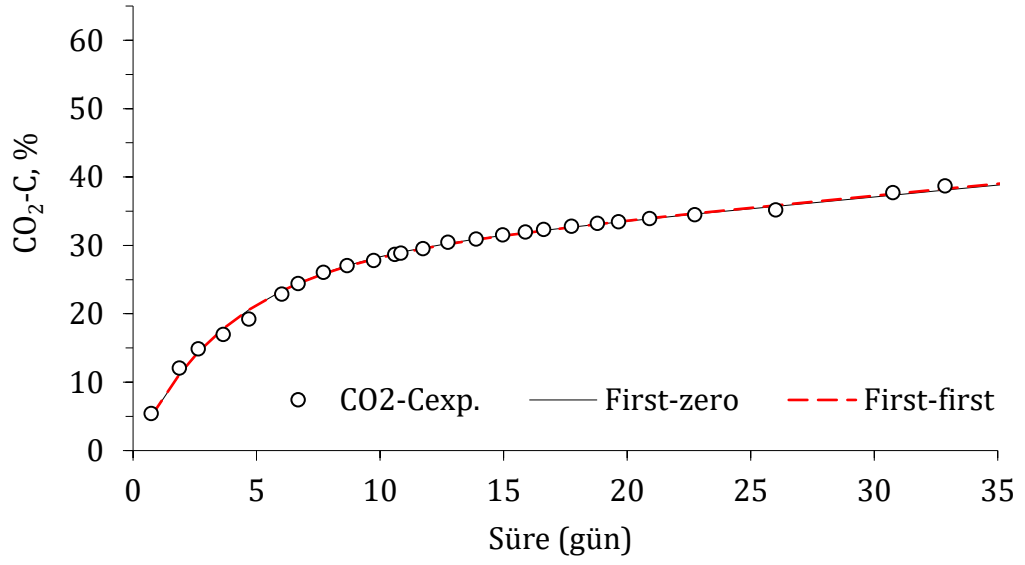
Şekil 4.53. K2 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması



Şekil 4.54. K3 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması



Şekil 4.55. K4 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması



Şekil 4.56. K5 karışımının kinetik modellere göre karşılaştırılması

4.2. Solucanlı Kompostlama

Kompostlaştırma işlemi sonrası elde edilen kompostlar solucanlı kompostlama işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4.57’de solucanlı kompostlama işlemine ait bir kütle kesiti gösterilmiştir. Solucanlı kompostlama işleminde proses süresince solucanların faaliyetlerinin devam etmesi ve kütlenin homojen karıştırılarak örnekleme yapılması mümkün olmadığından proses başlangıcında ve sonunda örnekler alınarak analiz edilmiştir.



Şekil 4.57. Solucanlı kompostlama kütesinden bir kesit

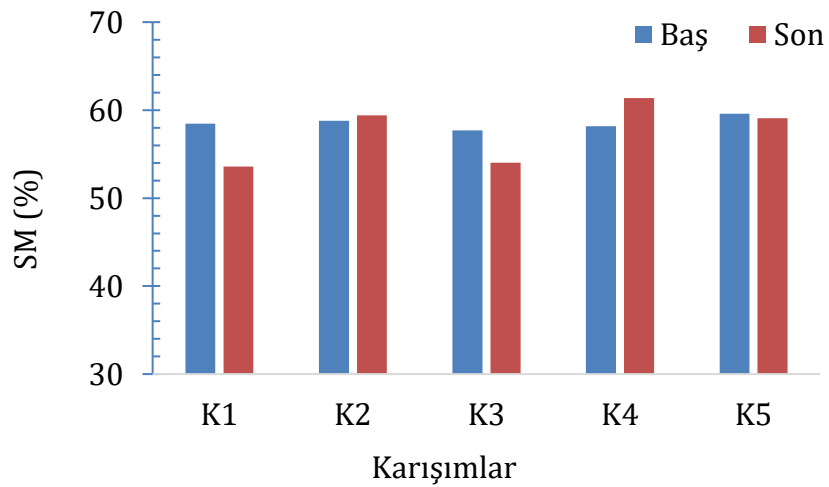
4.2.1. Sıcaklık değişimleri

Solucanlı kompostlaştırma çalışmasında tüm karışımların sıcaklıkları el tipi dijital termometre ile 150 gün süresince günlük takip edilmiş ve ortalama 20 °C seviyelerinde gerçekleşmiştir.

Solucanlı kompostlaştırma işlemi öncesi çalışmada kullanılan materyaller kompostlama işlemine tabi tutulmuş ve kompost karışımları aktif kompostlaştırma sürecini tamamlayarak stabil hale gelmiştir. Bu nedenle sıcaklık değişimi stabil kalmıştır.

4.2.2. Su muhtevası değişimleri

Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıcında tüm karışımların nem içeriği ortalama %60 seviyesinde ayarlanmıştır (Mago vd., 2021). Yüksek sıcaklıklar ve kuru hava solucanlar için stresli olabilmekte ve solucan gübresi üretimini azaltmaktadır (Yadav ve Garg, 2011; Chattopadhyay, 2012; Bhat vd., 2018). Solucanların yaşamını devam ettirebilmesi için kompost ortamı sürekli nemlendirilmiştir. Nemlendirme işlemi yüzeyden spreyleme yöntemi ile sızıntı suyu oluşmayacak şekilde yapılmıştır. Bu nedenle proses sonunda da nem değerleri %60 seviyelerinde tamamlanmıştır (Şekil 4.58).



Şekil 4.58. Solucan kompostu karışımlarının SM değişimleri

4.2.3. Birim hacim ağırlığı değişimleri

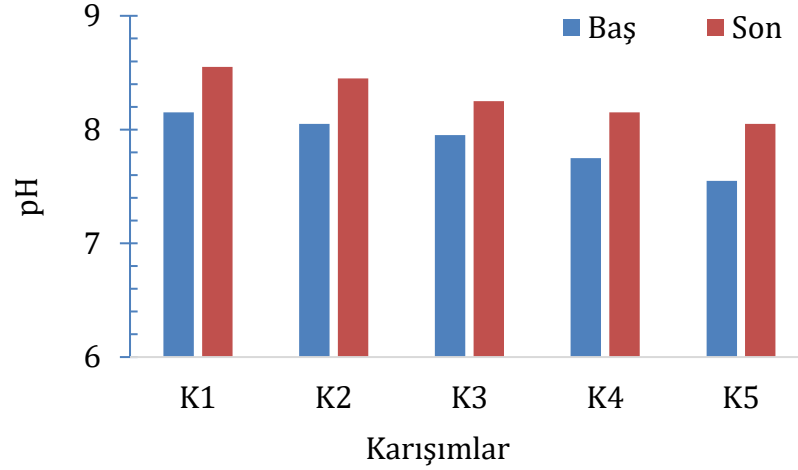
Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıcında kompost kütlelerine eşit sayıda solucan bırakılmıştır. Ancak K1, K2 ve K3 karışımlarının hafif tuzlu iletkenlik sınıfında yer almasından dolayı solucanlar karışım kütesinden uzaklaşmıştır. 50 adet solucan ortama adepte edilerek proses devam etmiştir. K4 ve K5 karışımları 400'er adet solucan ile başlanmıştır. Proses sonunda tüm karışımlarda solucan sayısında artış olmuştur. En fazla solucan çoğalması 2563 adet ile K4 karışımında gerçekleşmiştir. En çok kütle kaybı (kuru madde bazında) ve hacim kaybı solucan sayısının en fazla arttığı K4 karışımında sırasıyla %13,5 ve %24,0 ile gerçekleşmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Solucan kompostu karışımlarının solucan sayısı ve kütle hacimsel değişimleri

Karışım	Solucan sayısı (baş)	Solucan sayısı (son)	Kütle kaybı (%)	Hacim kaybı (%)	EC (dS/m)
K1	50	427	5,97	14,0	5,40
K2	50	320	8,01	16,0	5,10
K3	50	184	8,46	18,0	4,70
K4	400	2563	13,5	24,0	4,00
K5	400	1627	11,1	23,0	3,80

4.2.4. pH değişimleri

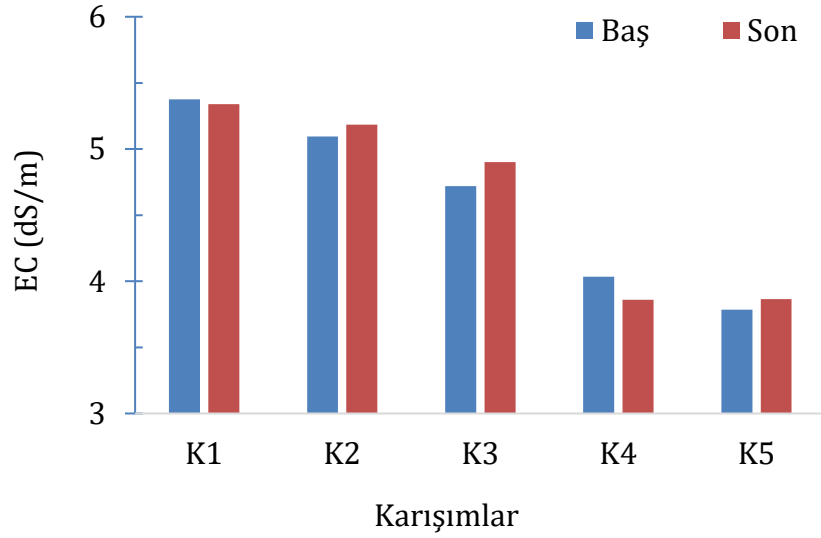
Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıç ve son pH değişimleri Şekil 4.59'da gösterilmiştir. Karışımların başlangıç pH değerleri proses sonunda kısmen artış göstermiştir. Sharma ve Garg (2018) tarafından inek gübresi, kağıt atıkları ve pirinç samanı ile yapılan çalışmada da pH proses sonunda artarak 8'in üzerinde gerçekleşmiştir. pH'nın artması veya azalması, kompostlaştırma sırasında organik asit ve amonyak üretiminden kaynaklanmaktadır (Sharma ve Garg, 2018).



Şekil 4.59. Solucan kompostu karışımlarının pH değişimleri

4.2.5. EC değişimleri

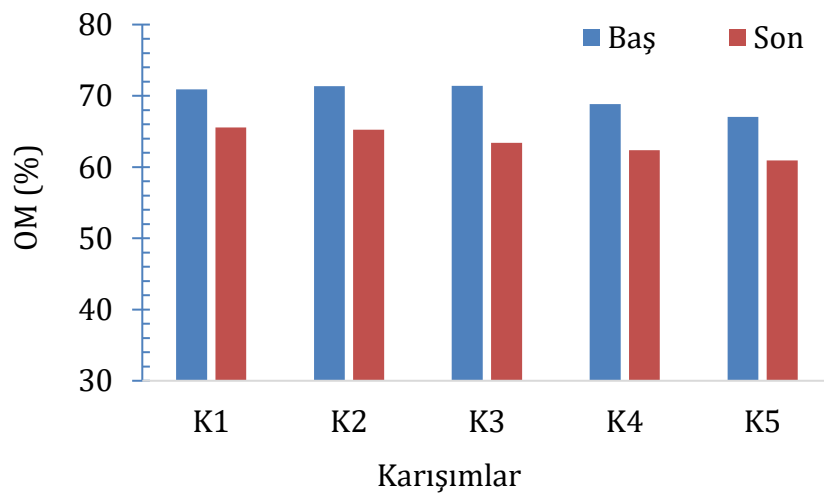
Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıç ve son EC değişimleri Şekil 4.60'da gösterilmiştir. EC, vermikompostlama sürecinin uygunluğunu değerlendirmek için iyi bir göstergedir (Taeporamaysamai ve Ratanatamskul, 2016). Karışımların başlangıç ve bitiş EC değerleri benzerlik göstermektedir. K2, K3 ve K5 karışımlarında proses sonunda EC değeri kısmen artmıştır (Mago vd., 2021). Mevcut formlarda farklı çözünür tuzların salınımı ve organik madde bozulması vermikompostun EC değerini artırabilir (Kaviraj ve Sharma, 2003). K1, K2 ve K3 karışımları hafif tuzlu sınıfta yer almakta olup proses başlangıcında solucanlar kompost kütlesinden uzaklaşmıştır. Solucanlar genellikle 2 dS/m üzerinde EC değerine sahip ortamlardan uzaklaşır (Gasch vd., 2021).



Şekil 4.60. Solucan kompostu karışımlarının EC değişimleri

4.2.6. Organik madde değişimleri

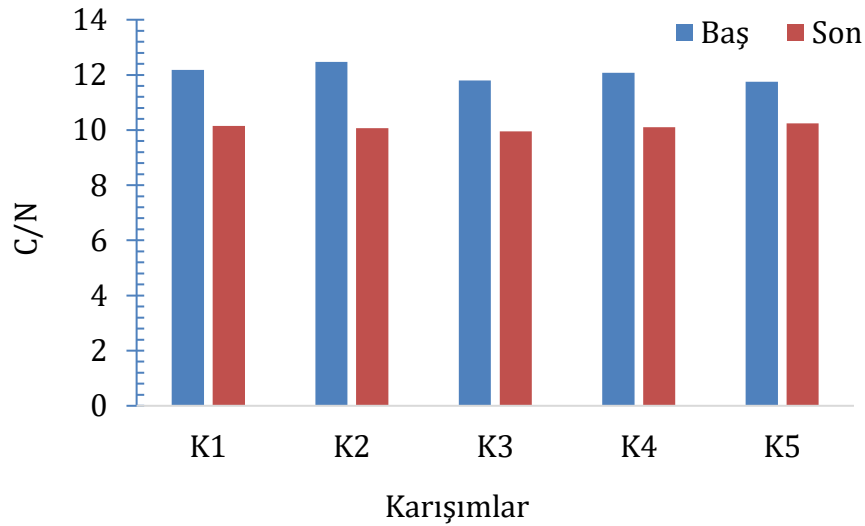
Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıç ve son OM değişimleri Şekil 4.61’de gösterilmiştir. Karışımların başlangıç OM değerleri %67,0-71,4 aralığında değişirken proses sonunda düşerek (Silva vd., 2021) %60,9-65,5 aralığında gerçekleşmiştir. Organik maddenin mineralizasyonu ve solucan tarafından yem olarak kullanılması sonucu organik karbonda azalma gerçekleşir (Song vd., 2014).



Şekil 4.61. Solucan kompostu karışımlarının OM değişimleri

4.2.7. Karbon/Azot değişimi

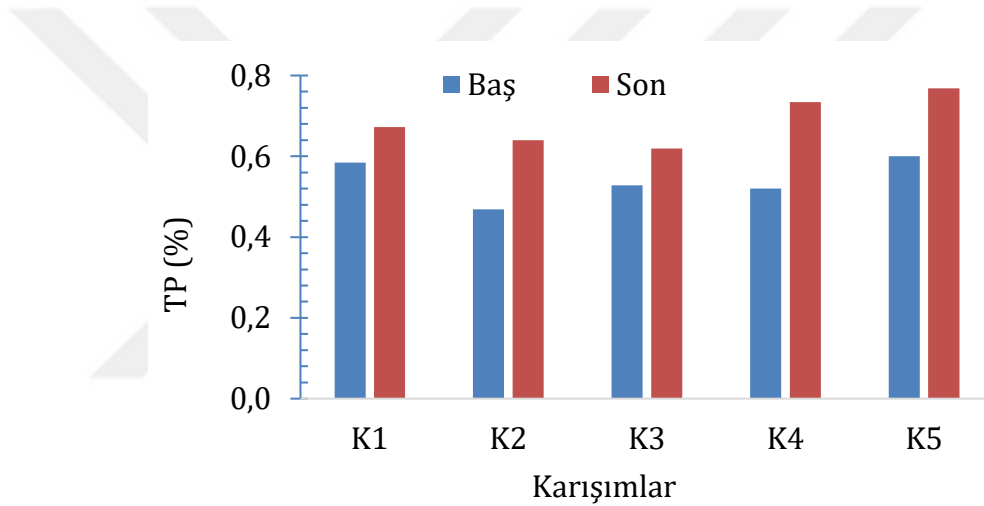
C/N oranı solucanlı kompostlama sürecinde önemli bir parametredir. Herhangi bir solucanlı kompostlama sisteminde solucanların hayatta kalması için atık karışımının uygun C/N oranı olmalıdır (Mago vd., 2021). Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıç ve son C/N değişimleri Şekil 4.62’de gösterilmiştir. Karışımların başlangıç C/N değerleri 11,7-12,5 aralığında değişirken proses sonunda düşerek (Silva vd., 2021) 9,9-10,2 aralığında gerçekleşmiştir. Biruntha vd. (2020), solucan büyümesinin başlangıç substratlarının C/N oranına bağlı olduğunu ve düşük C/N oranının solucanların artan aktiviteden, büyüme ve üremesinden sorumlu olduğunu bildirmiştir. Solucanlar, organik atıkların ayrışmasını teşvik etmeye ve aynı zamanda vermikompostlama sırasında azot içeriğini artırmaya yardımcı olur (Boruah vd., 2019). Sharma ve Garg (2019), vermikompostlamanın ilk günlerinde solucanlar tarafından organik madde, selüloz ve hemiselüloz tüketiminden kaynaklanabilecek C/N oranındaki azalmanın daha fazla olduğunu bildirmiştir.



Şekil 4.62. Solucan kompostu karışımlarının C/N değişimleri

4.2.8. Fosfor değişimi

Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıç ve son TP (%) değişimleri şekil 4.63’de gösterilmiştir. Karışımların başlangıç TP değerleri proses sonunda artış göstermiştir. Bu durum solucanların bakteriyel ve fosfataz aktivitesinden dolayı fosforun mineralizasyonu ve mobilizasyonundan kaynaklanmaktadır (Taeporamaysamai ve Ratanatamskul, 2016; Ananthavalli vd., 2019; Devi ve Khwairakpam, 2020). Kompostlaştırma işlemi sonunda karışımların TP değerleri %0,62-0,77 aralığında gerçekleşmiştir. Silva vd. (2021) tarafından yapılan mısır atıklarının solucanlı kompostlaştırılmasında TP değerleri %0,57-0,65 arasında gerçekleşmiştir.



şekil 4.63. Solucan kompostu karışımlarının TP değişimleri

4.2.9. Amonyum ve nitrat değişimi

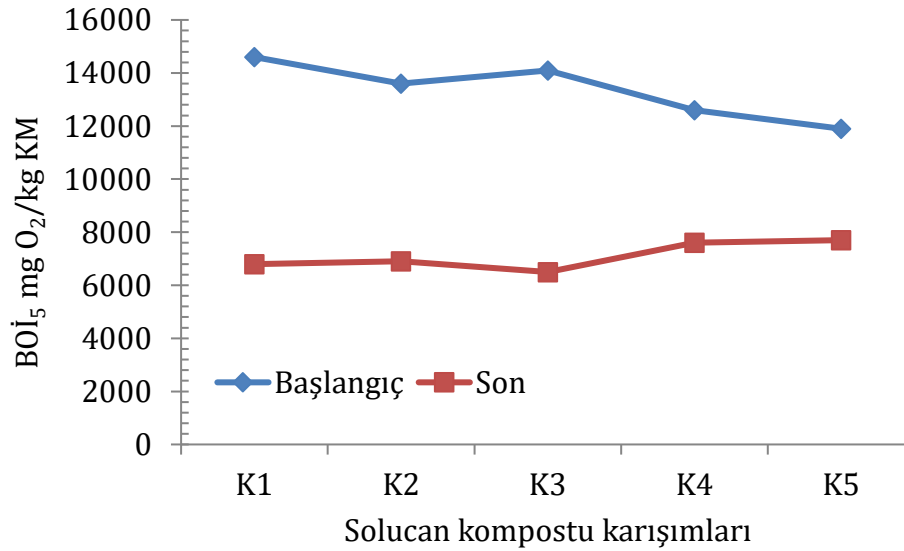
Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıç ve son $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimleri izelge 4.10’da verilmiştir. $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri proses sonunda azalma eğilimi gösterirken, $\text{NO}_3\text{-N}$ değerleri artış göstermiştir. Benzer sonuçlar Gunadi vd. (2002) tarafından yapılan ön kompostlanmış sığır gübresinin solucanlı kompostlama çalışmasında proses sonu $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değerlerini sırasıyla (11,34-14,15 mg/kg) ve (1511-3889 mg/kg) aralığında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.10. Solucan kompostu karışımlarının $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimleri

Karışım	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/kg)		$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg)	
	Başlangıç	Son	Başlangıç	Son
K1	30,86	22,51	182,6	664,4
K2	31,51	12,16	482,4	1366,2
K3	34,08	12,73	531,5	1929,5
K4	33,44	23,03	265,7	859,4
K5	41,80	24,83	265,7	482,4

4.2.10. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı değişimi

Solucanlı kompostlaştırma işlemi başlangıcında ve proses sonunda alınan örneklerde BOI analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.64 incelendiğinde proses sonunda tüm karışımların BOI değeri düşüş göstermiştir. Nar kompostunda K1'den K5'e doğru karışım içerisinde NA ve SG'nin karışım içerisindeki oranının azalmasından dolayı karışımların başlangıç BOI değerleri de K1'den K5'e doğru düşük gerçekleşmiştir. Solucanların karışım içerisindeki organik maddeleri tüketmesi ve proses sonunda stabil bir ürün oluşumu ile BOI değerleri düşmüştür.



Şekil 4.64. Solucan kompostu karışımlarının BOI değişimleri

4.3. Bitki Testleri Sonuçları

4.3.1. Çimlenme indeksi

Çİ kompost materyalinde olgunluğu ve fitotoksik etkiyi değerlendirmede kullanılmaktadır. Zucconi vd. (1981) Çİ'nin %60'dan büyük olması halinde fitotoksik etkinin olmadığını, %80'den büyük olması halinde ise olgunluğu belirtmektedir. Karışımların bitiş EC değerlerindeki azalışa bağlı olarak Çİ de artış göstermiştir. Sülük vd. (2017) ve Zhang vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da EC değerlerinin artışına bağlı olarak Çİ'nin azaldığını göstermektedir. Kompostlaştırma işlemi sonunda elde edilen kompostların Çİ değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir. Kompost örneklerinde gerçekleştirilen Çİ %100 dozdan %25 doza doğru artış göstermiştir.

Çizelge 4.11. Nar kompostunun farklı doz uygulamalarında Çİ (%)

Karışımlar	Kontrol (Doz %0)	Doz (%100)	Doz (%75)	Doz (%50)	Doz (%25)
K1	100	17,3	41,2	55,8	81,7
K2	100	39,3	49,7	56,7	84,5
K3	100	53,7	55,3	58,8	87,0
K4	100	57,9	67,2	75,5	101
K5	100	73,9	79,2	88,9	111

Solucanlı kompostlaştırma işlemi sonunda elde edilen kompostların çimlenme indeksleri Çizelge 4.12'de verilmiştir. Kompost örneklerinde gerçekleştirilen çimlenme indeksi %100 dozdan %25 doza doğru kısmi farklılıklar olmakla birlikte artış göstermiştir.

Çizelge 4.12. Solucan kompostunun farklı doz uygulamalarında Çİ (%)

Karışımlar	Kontrol (Doz %0)	Doz (%100)	Doz (%75)	Doz (%50)	Doz (%25)
K1	97,4	9,02	73,0	58,9	128
K2	97,4	38,5	97,1	76,3	176
K3	97,4	31,3	77,8	89,0	124
K4	97,4	27,3	39,4	98,6	120
K5	97,4	14,7	38,8	126	142

4.3.2. Saksı denemesi

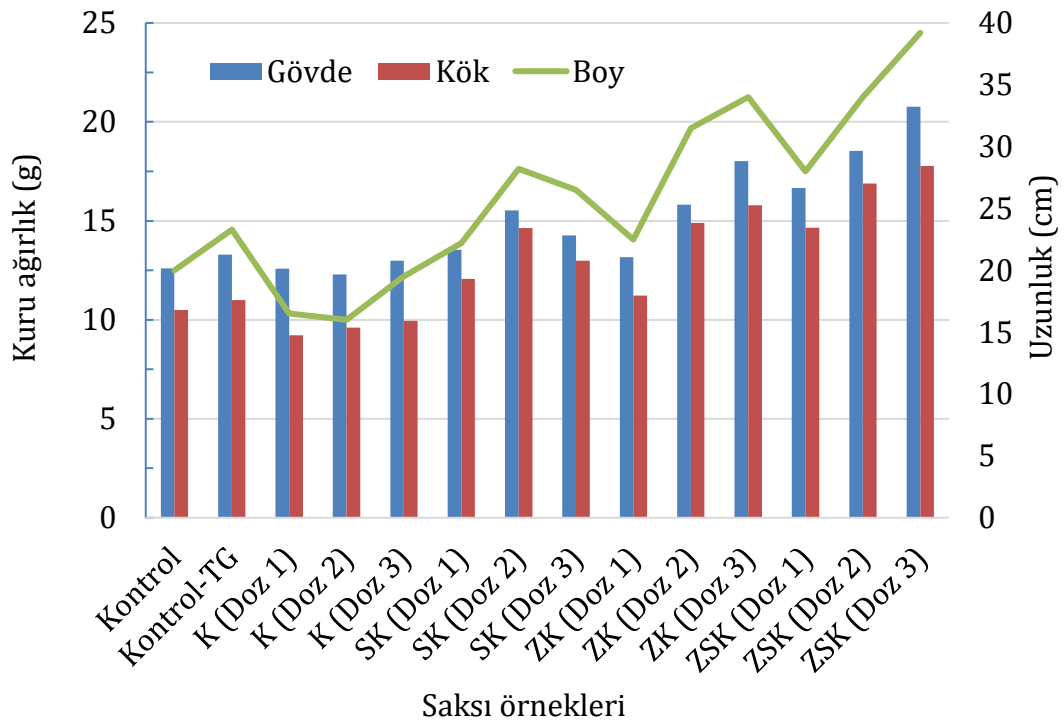
Kompost ve solucan kompostu örneklerinin mısır bitkisi üzerine etkilerinin tespiti üzerine saksı denemesi gerçekleştirilmiştir. Kompost örneklerinin mineral zenginleştirme işlemi de saksı denemesi ile test edilmiştir.

Kompost (K), solucan kompostu (SK), zenginleştirilmiş kompost (ZK) ve zenginleştirilmiş solucan kompostu (ZSK) örnekleri üzerinde bitki testi gerçekleştirilmiştir. Kompost örneği olarak K4 ve solucan kompostu örneği olarak K4 kullanılmıştır. Zenginleştirme işlemi de yine aynı örnekler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bitki denemesi 3 farklı dozda (100, 200, 400 kg/da), 4 tekerrür olarak gerçekleştirilmiştir. 65 günlük mısır bitkisi denemesi sera ortamında yürütülmüş olup bitkiler üzerinde gövde, kök uzunlukları ve toplam boy uzunlukları incelenmiştir (Şekil 4.65). Çizelge 4.13’de kontrol grubuna ait mısır bitkisinin boy uzunlukları ve gövde-kök ağırlıkları, Çizelge 4.14’de kompost örneklerine ait mısır bitkisinin boy uzunlukları ve gövde-kök ağırlıkları verilmiştir.

Kontrol grubu incelendiğinde Kontrol-Temel Gübreli grubunun boy uzunlukları ve gövde-kök ağırlıkları ortalamalarının Kontrol (temel gübrelemesiz) grubundan kısmen yüksek gerçekleştiği görülmektedir. Çizelge 4.14 incelendiğinde SK’nın K’dan ve ZSK’nın ZK’dan boy uzunlukları ve gövde-kök ağırlıklarının yüksek olduğu görülmektedir. Dozlar arası farkların da doz artışına bağlı olarak bitkinin boy uzunluklarının ve gövde-kök ağırlıklarının arttığı görülmektedir. Birçok çalışmada artan doz ve mineral gübre uygulamalarının mısır bitkisi gelişimine katkı sağlamış ve kuru ve yaş ağırlık artışları gerçekleşmiştir (Koç, 2008; Naderi, 2010; Yağmur vd., 2017; Kurt, 2021)

SK, K’ya göre bitki gelişiminde boy uzunlukları, gövde ve kök uzunluklarında artış göstermiştir. Aynacı (2015) ve Tankuş (2019) tarafından yapılan çalışmalarda kompost ve solucan kompostu artan doz uygulamasıyla mısır

bitkisinin boy uzunluklarında ve kuru madde ağırlığında artışlar gerçekleşmiştir. Kompost ve solucan kompostu, bitkilerin verim ve kalite özellikleri üzerine olumlu etkilerinin bulunmasının yanında topraktaki bitki besin elementlerinin yarıyışlıklarını da arttırmaktadır (Saltalı vd., 2000). Edwards ve Burrows (1988) ve Atmaca (2012), solucan kompostunun yetiştirme ortamının fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirdiği ve verimi arttırdığını belirtmektedir. Alam vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada patates yetiştiriciliğinde en iyi verimin vermikompost ve NPK uygulamasının birlikte yapıldığı uygulamada tespit edilmiştir. Zenginleştirilmiş solucan kompostu ile alkali özellikli topraklara fosfor ve humik asit uygulanması sonucu bitkinin fosfor alımı ve bitki kuru ağırlığı artış gösterecektir (Wang vd., 2017).



Şekil 4.65. Mısır bitkisi boy uzunlukları ve kuru madde bazında gövde-kök ağırlıkları

Çizelge 4.13. Kontrol grubu mısır bitkisi boy uzunlukları ve kuru madde bazında gövde-kök ağırlıkları

S.N.	Örnek	Boy (cm)	Gövde Kuru ağırlık (g)	Kök Kuru ağırlık (g)
1	Kontrol-Temel Gübreli	23,3±1,71 A*	13,3±0,29 A	11,0±0,89 A
2	Kontrol	20,0±1,20 B	12,6±0,33 B	10,5±0,54 A

Çizelge 4.14. Kompost örneklerine ait mısır bitkisi boy uzunlukları ve kuru madde bazında gövde-kök ağırlıkları

S.N.	Örnek	Boy (cm)	Gövde Kuru ağırlık (g)	Kök Kuru ağırlık (g)
1	K (Doz 1)	16,5±2,65 E*	12,6±0,43 D	9,22±0,60 E
2	K (Doz 2)	16,0±1,83 E	12,3±0,39 D	9,61±1,26 E
3	K (Doz 3)	19,5±1,91 DE	13,0±0,39 D	9,95±0,81 E
4	SK (Doz 1)	22,2±2,50 CDE	13,5±0,49 CD	12,1±1,34 CDE
5	SK (Doz 2)	28,2±3,95 BC	15,5±1,74 BCD	14,6±2,41 ABCD
6	SK (Doz 3)	26,5±2,65 BCD	14,3±0,68 CD	13,0±1,27 BCDE
7	ZK (Doz 1)	22,5±2,38 CDE	13,2±0,85 CD	11,2±1,80 DE
8	ZK (Doz 2)	31,5±4,65 AB	15,8±1,53 BCD	14,9±2,68 ABCD
9	ZK (Doz 3)	34,0±1,63 AB	18,0±1,62 AB	15,8±1,60 ABC
10	ZSK (Doz 1)	28,0±2,45 BC	16,7±1,28 BC	14,7±1,29 ABCD
11	ZSK (Doz 2)	34,0±6,27 AB	18,5±3,24 AB	16,9±3,04 AB
12	ZSK (Doz 3)	39,2±2,36 A	20,8±1,67 A	17,8±2,02 A

K: kompost, SK: solucan kompostu, ZK: zenginleştirilmiş kompost, ZSK: zenginleştirilmiş solucan kompostu

*Aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli değildir.

4.4. Kompost Kalite Değerlendirmesi

Nar kompostu ve solucan kompostu çalışmaları kapsamında fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizler yapılmıştır. Nar kompostu yapılan analiz sonuçlarına göre OM: %70,4-74,1, C/N:12,4-13,6, EC: 3,36-5,06 dS/m olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerin yönetmelikte verilen (OG, 2018, Çizelge 2.1) kompost kriterlerinden OM (en az %35), C/N (8-22), ve EC (en fazla 10 dS/m) değerlerini sağladığı görülmektedir. Kompost örneklerinin SM değeri %62,6-66,3 aralığında olup bu değer yönetmelikte maksimum %30 olarak yer almaktadır. Buna göre kompost ürünlerinin ürün tescil sürecinde paketlemeden önce nem uzaklaştırma işlemi yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada üretilen nar

kompostları $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ oranı 0,5'den küçük gerçekleşmiştir. Bu değęr ABD'de, kompost kalite kriterlerine göre (Brinton W.F., 2000) "ok olgun" sınıfında yer almaktadır. Kompostlaştırma işleminde sıcaklık gelişiminin patojen mikroorganizmaları yok etmek için belirtilen 55  C'nin üstüne çıkma ve ardışık 3 gün kalma şartının tüm karışımarda gerçekleştiği görülmektedir.

Solucanlı kompostlamada üretilen kompostların izelge 2.3'de verilen solucan gübresi kriterlerinden olan OM (en az %40) ve C/N (8-22) değęrlerini sağladığı görülmektedir. Nar kompostları ve solucan kompostları incelendiğinde K4 ve K5 karışımalarının "tuzsuz", K1, K2 ve K3 karışımalarının "hafif tuzlu" EC değęrleri sınıfında yer aldığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada endüstriyel bir atık olan meyve işleme atıklarından nar atıklarının kompostlaştırma yöntemi ile bertarafı değerlendirilerek nar kompostu üretilmiştir. Üretilen nar kompostlarından solucan kompostu üretilerek kompostlar üzerinde NPK organomineral zenginleştirme yapılmıştır. Üretilen kompostlar ve zenginleştirilmiş kompostların mısır bitkisi üzerine etkileri belirlenmiştir. Mevsimsel oluşan organik atık türleri ile sürekli atık oluşumu gerçekleşen hayvansal atıkların kompostlaştırılması sonucu atıkların geri kazanımının sağlanması ve tarımda kullanılması amaçlanmıştır.

Yapılan analizlere ilişkin sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

- Nar işleme atıklarının farklı organik atıklar ile kompostlaştırılması aerobik olarak değerlendirilmiştir. Sabit C/N oranı ve farklı SHB oranlarında kompostlaştırma süreci 35 gün devam etmiştir. Kompost karışımlarının SM değerleri proses sonunda %62,6-66,3 aralığında gerçekleşmiştir. BHA değerleri kompostlaştırma işlemi sonunda organik maddenin parçalanması ve boyutsal olarak küçülmesinden dolayı artış göstermiştir. Karışımların pH değerleri proses sonunda 8,19-8,46 aralığında gerçekleşmiştir. Kompostların EC değerleri "tuzsuz" ve "hafif tuzlu" sınıfında yer aldığı görülmektedir. Karışımların OM değerleri proses süresince sürekli olarak azalmış ve proses sonunda %70,4-74,1 aralığında gerçekleşmiştir. Başlangıç C/N oranı 25 olarak hazırlanan karışımların kompostlaştırma sonrası C/N oranları 12,4-13,6 aralığında gerçekleşmiştir. Karışımlarının sıcaklıkları ilk günün sonunda 60 °C'ye ulaşmış ve ardışık 3 günden fazla 55 °C'nin üzerinde devam etmiştir. Karışımların lignin ve selüloz değişimleri SHB oranıyla doğru orantılı olarak artış göstermiş ve en çok değişim SHB oranının %40 olduğu K5 karışımında sırasıyla %11,1 ve %17,1 gerçekleşmiştir. Nar kompostlaştırma süreci başlangıcında karışımlar içerisinde en fazla mikroorganizma türü K1 karışımında (6 tür), en az tür ise K5 karışımında (1 tür) tespit edilmiştir. Proses sonunda karışımlar içerisinde en fazla mikroorganizma türü K2 ve K5 karışımlarında (10 tür), en az tür ise

K1 ve K3 karışımlarında (6 tür) tespit edilmiştir. Tüm karışımlarda hesaplanan CO₂-C değerlerinin birinci-sıfırncı ve birinci-birinci derece kinetik modele uyduğu ve belirlilik katsayısının yüksek olduğu ($R^2>0,99$) tespit edilmiştir. Nar kompostu karışımlarının hijyen açısından uygun olduğu ve tarımda kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

- Nar kompostları *Eisenia fetida* türünde solucan kullanılarak solucanlı kompostlaştırmaya tabi tutulmuştur. Solucan kompostlamada en fazla solucan 2563 adet ile K4 karışımında meydana gelmiştir. Solucan sayısının en fazla arttığı K4 karışımında en çok kütle kaybı ve hacim kaybı sırasıyla %13,5 ve %24,0 ile gerçekleşmiştir. Solucan kompostlarının pH değerleri kısmen artmış olup, EC değerleri başlangıca göre benzerlik göstermektedir. Solucanlı kompostlaştırma çalışmalarında solucanın tüketeceği kompostun tuzluluk oranının tuzsuz sınıfta yer alması gerektiği belirlenmiştir. Karışımların başlangıç C/N değerleri 11,7-12,5 aralığında değişirken, proses sonunda düşerek 9,95-10,2 aralığında gerçekleşmiştir.
- Nar kompostu ve solucan kompostu karışımlarından olan K4 karışımının mineral zenginleştirilmesi sonucu NPK'lı (7-7-7) organomineral gübre üretilmiştir. Kompost karışımların Çİ %100 kompost dozundan %25 doza doğru artış göstermiştir. Nar kompostu karışımlarının %25 doz uygulamasında Çİ %80 üzeri gerçekleşmiştir. Solucan kompostu karışımlarında ise %25 doz uygulamasında Çİ %120 üzeri gerçekleşmiştir. Saksı denemesinde mısır bitkisinin boy uzunlukları, gövde ve kök ağırlıkları analiz edilmiş olup zenginleştirilmiş örneklerin kompostlardan, SK'nın da K'dan, bitki gelişimi üzerine etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Maksimum gelişimlere, ZSK'nın 400 kg/da doz uygulamasında (39,2 cm boy uzunluğu; 20,8 g gövde ve 17,8 g kök ağırlığı) ulaşılmıştır.

Kompostlaştırma işlemlerinde hayvansal ve bitkisel atıkların yerel ve mevsimsel oluşumları dikkate alınarak, atıkların temin edilebilme

miktarlarına göre uygun C/N ve SHB oranlarında karışımların hazırlanması gerekmektedir. Zenginleştirme çalışmaları ile organik gübre kullanımının yaygınlaştırılabileceği değerlendirilmektedir. Organik ve organomineral gübre kullanımı ile kimyasal gübre kullanımı azaltılmalıdır. Kademeli olarak organomineral gübre kullanımının artırılması ve teşvik edilmesi gerekmektedir. Kompostlaştırma işlemlerinde zenginleştirme, bitki yetiştiriciliğinde faydalı besin elementlerinin belirlenerek optimum oranlarda yapılmalıdır. Nar atıklarının değerlendirilmesine ilişkin çalışmaların kısıtlı olduğu dikkate alındığında farklı organik materyallerle birlikte kompostlaştırılma çalışmalarının yapılması önerilmektedir. Ayrıca elde edilecek kompostlardan sıvı gübre üretilmesi ile bitki besleyici ürün yelpazesinin genişletilmesi sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Abid, N., Sayadi, S., 2006. Detrimental Effect of Olive Mill Wastewater on the Composting Process of Agricultural Wastes, *Waste Management*, 26, 1099-1107, 2006.
- Alam, M.N., Jahan, M.S., Ali, M.K., Ashraf, M.A. & Islam, M.K. (2007). Effect of vermicompost and chemical fertilizers on growth, yield and yield components of potato in barind soils of Bangladesh. *Open Journal of Soil Science*, 3(12), 1879-1888.
- Ananthavalli, R., Ramadas, V., John Paul, J.A., Karunai Selvi, B., Karmegam, N., 2019. Seaweeds as bioresources for vermicompost production using the earthworm, *Perionyx excavatus* (Perrier). *Bioresour. Technol.* 275, 394-401.
- Anonim, 2022. <https://www.biyologigunlugu.com/gallery/image/639/>, Erişim tarihi: 11.07.2022.
- APHA (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed., Washington, DC, USA: American Public Health Association.
- Atmaca, L. 2012. Fide Yetiştirme Ortamı Olarak Vermikompost Kullanımının Etkileri. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yüksel TÜZEL.
- Awasthi, M.K., Pandey, A.K., Bundela, P.S., Wong, J.W., Li, R., Zhang, Z., 2016. Cocomposting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. *Bioresour. Technol.* 213, 181-189.
- Aynacı, (2015). Evsel Atıklardan Elde Edilen Kompostun Mısır ve Biberin Gelişimi ve Besin Elementi İçeriğine Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S. and Alami, I. T. 2018. Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture* volume 8: 141-158.
- Batstone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S., Pavlostathis, S., Rozzi, A., Sanders, W., Siegrist, H., Vavilin, V., 2002. The IWA anaerobic digestion model no 1 (ADM1). *Water Sci. Technol.* 45, 65-73.
- Bender Özenç, D. ve Şenlikoğlu, G., 2017. Kompost ve azotlu gübre uygulamasının ıspanak bitkisinin (*Spinacia oleracea* L.) gelişimi üzerine etkileri, *Akademik Ziraat Dergisi* Cilt:6 Özel Sayı:227-234.

- Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., Moral, R., 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology* 100, 5444–5453.
- Bernal, M.P., Sánchez-Monedero, M.A., Paredes, C., Roig, A., 1998. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agr. Ecosyst. Environ.* 69, 175–189.
- Bhat, S.A., Singh, S., Singh, J., Kumar, S., Bhawana, Vig, A.P., 2018. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. *Bioresour. Technol.* 252, 172–179.
- Biruntha, M., Karmegam, N., Jeyaprakasam, A., Selvi, B.K., Paul, J.A.J., Balamurali krishnan, B., Chang, S.W., Ravindran, B., 2020. Vermiconversion of biowastes with low-to-high C/N ratio into value added Vermicompost. *Bioresour. Technol.* 297, 122398.
- Boran, D., 2015. Farklı Isıl Teknikleri Uygulanmış Solucan Gübresinin Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Boruah, T., Barman, A., Kalita, P., Lahkar, J., Deka, H., 2019. Vermicomposting of citronella bagasse and paper mill sludge mixture employing *Eisenia fetida*. *Bioresour. Technol.* 294, 122147.
- Breitenbeck, G.A., Schellinger, D., 2004. Calculating the reduction in material mass and volume during composting. *Comp. Sci. Utilizat.* 12, 365–371.
- Brinton W.F., 2000. Compost Quality Standards & Guidelines, Final Report Woods End Research Laboratory.
- Cao, Y., Tian, Y., Wu, Q., Li, J., Zhu, H., 2021. Vermicomposting of livestock manure as affected by carbon-rich additives (straw, biochar and nanocarbon): a comprehensive evaluation of earthworm performance, microbial activities, metabolic functions and vermicompost quality. *Bioresour. Technol.* 320, 1–10.
- Chang, J.I., Hsu, T.E., 2008. Effects of compositions on food waste composting. *Bioresour. Technol.* 99 (17), 8068–8074.
- Chang, R., et al., Effect of initial material bulk density and easily-degraded organic matter content on temperature changes during composting of cucumber stalk, *J. Environ. Sci.* (2017),
- Chattopadhyay, G.N., 2012. Use of vermicomposting biotechnology for recycling organic wastes in agriculture. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 1, 1–6.
- Chowdhury, A.K.M., Akratos, C.S., Vayenas, D.V., Pavlou, S., 2013. Olive Mill Waste Composting: A Review. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 85, 108–119.

- Chowdhury, M.A., de Neergaard, A., Jensen, L.S., 2014. Potential of aeration flow rate and bio-char addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting. *Chemosphere* 97, 16–25.
- Çıtak, S., Sönmez, S., Koçak, F. & Yaşın, S. (2011). Vermikompost ve ahır gübresi uygulamalarının ıspanak (*Spinacia oleracea* var. L.) bitkisinin gelişimi ve toprak verimliliği üzerine etkileri. *Derim*, 28 (1) 56-69.
- Demirulus H., Aydın A., 1996. Tavukçuluk Artık ve Atık Maddelerinin İşlenerek Çevre Kirliliğinin Azaltılması, INioAN Mayıs Haziran.
- Devi, C., Khwairakpam, M., 2020. Bioconversion of *Lantana camara* by vermicomposting with two different earthworm species in monoculture. *Bioresour. Technol.* 296, 122308.
- Edwards, C.A. (1998). The use of earthworm in the breakdown and management of organic waste. *Earthworm Ecology*. ACA Press LLC, Boca Raton, FL, pp. 327-354.
- Ekinci, K., 1997. Evaluation of Decomposition Rate, Airflow Rate And Ammonia Control Of Short Paper Fiber With Broiler Litter and Additives Alum and Sulfuric Acid, Master Thesis, The Ohio State University.
- Ekinci, K., Külcü, R., Kaya, D., Yıldız, O. and Ertekin, C. 2010. The Prospective of Potential Biogas Plants That Can Utilize Animal Manure in Turkey. *Energy Exploitation and Exploration* 28 (3): 187-206.
- Ekinci, K., Tosun, İ., Kumbul B.S., Bıtrak, N.B., Sülük, K., Şevik, F., 2022. "Evaluation of forced aerated and turned pile composting of rose oil processing wastes," *Environment Protection Engineering*, vol. 48, 2022.
- El-Haddad, M.E., Zayed, M.S., El-Sayed, G.A.M., Hassanein, M.K., El-Satar, A.M.A., 2014. Evaluation of compost, vermicompost and their teas produced from rice straw as affected by addition of different supplements. *Annu. Agric. Sci.* 59, 243-251.
- El-Nemr SE., İsmail IA., Ragab M., 1992. The chemical composition of the juice and seeds of pomegranate fruits. *Fluessiges Obst*, 59(11); 162-164.
- Epstein, E. 1997. *The Science of Composting*. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Basel.
- Fayolle, L., Michaud, H., Cluzeau, D., Stawiecki, J., 1997. Influence of temperature and food source on the life cycle of the earthworm *Dendrobaena veneta* (Oligochaeta). *Soil Biol. Biochem.* 29, 747e750.
- Fernández FJ, Sánchez-Arias V, Rodríguez L, Villaseñor J (2010) Feasibility of composting combinations of sewage sludge, olive mill waste and winery waste in a rotary drum reactor. *Waste Management* 30(10):1948–1956.

- Forge, T., Walters, T. and Koch, C. 2014. Use of Composted Dairy Manure Solids Mulch for Raspberry: Influences on Soil Nematode Communities and N and P Availability. *Compost Science and Utilization* 22: 230-241.
- Gasch, C.K., Utter, R. and Wick, A.F., 2021. Distribution of earthworm growth stages along a naturally occurring soil salinity gradient. *Soil Organisms* 93 (3).
- Ge, J., Huang, G., Huang, J., Zeng, J., Han, L., 2016. Particle-scale modeling of oxygen uptake rate during pig manure–wheat straw composting: A new approach that considers surface convection. *Int. J. Heat Mass Transf.* 97, 735–741.
- Gigliotti G, Proietti P, Said-Pullicino D, Nasini L, Pezzolla D, Rosati L, Porceddu PR (2012) Co-composting of olive husks with high moisture contents: organic matter dynamics and compost quality. *Int Biodeterior Biodegradation* 67:8–14
- Gunadi, B., Blount, C., Edwards, C.A., 2002. The growth and fecundity of *Eisenia fetida* (Savigny) in cattle solids pre-composted for different periods. *Pedobiologia* 46 (1), 15–23.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., Shen, Y., 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour. Technol.* 112, 171–178.
- Gupta, R., Garg, V.K., 2011. Potential and possibilities of vermicomposting in sustainable solid waste management: a review. *Int. J. Environ. Waste Manage.* 7 (3–4), 210–234.
- Hachicha, S., Sallemi, F., Medhioub, K., Hachicha, R., Ammar, E., 2009. Biological Activity During Co-composting of Sludge Issued From the OMW Evaporation Ponds With Poultry Manured-Physicochemical Characterization of the Processed Organic Matter, *Journal of Hazardous Materials*, 162, 402-409.
- Haug, R.T., 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*, pp. 213, Lewis Publishers, Florida, USA.
- Ingelmo, F., Molina, M.J., Soriano, M.D., Gallardo, A., Lapeña, L., 2012. Influence of organic matter transformations on the bioavailability of heavy metals in a sludge based compost. *Journal of Environmental Management* 95, 104-109.
- Javed, F., Hashmi, I., 2021. Vermiremediation–remediation of soil contaminated with oil using earthworm (*Eisenia fetida*). In: *Soil and Sediment Contamination*, vol. 30. Bellwether Publishing, Ltd, pp. 639–662.
- Kaviraj, Sharma, S., 2003. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresour. Technol.* 90, 169–173.

- Kharrazi, S.M., Younesi, H., Abedini-Torghabeh, J., 2014. Microbial biodegradation of waste materials for nutrients enrichment and heavy metals removal. An integrated composting-vermicomposting process. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 92, 41–48.
- Kirchmann, H., Bernal, M.P., (1997), “Organic Waste Treatment and C Stabilization Efficiency”, *Soil Biology and Biochemistry*, 29:11/12, 1747-1753.
- Ko, H.J., Kim, K.Y., Kim, H.T., Kim, C.N., Umeda, M., 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste Manage. (Oxford)* 28, 813–820.
- Koç, F. (2008). Farklı Organik Gübrelerin Domates ve Biber Bitkisinin gelişimi ile Beslenmesine Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bil. Enst., Toprak Anabilim Dalı, Ankara)
- Konyalı, A., 2001. Effects of Synchronous and Asynchronous Concentrates on Performance and Efficiency of Nitrogen Utilization of Lactating Dairy Cows. *Aus dem Institut für Tierzucht und Tierhaltung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft*, 124, 81.
- Kumar, M., Ou, W.L., Lin, J.G., 2010. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management* 30, 602–609.
- Kurt, S.Ş. (2021). İnkübasyona Bırakılmış Kompost ve Vermikompost İle Farklı Dozlarda Npk Uygulamalarının Buğday Bitkisinin Gelişimi Ve Mineral Beslenmesine Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta)
- Lei and VanderGheynst, (2000), “The effect of microbial inoculation and pH on microbial community structure changes during composting”, *Process Biochemistry*, 35:9, 923-929.
- Mago, M., Yadav, A., Gupta, R., Garg, V.K., 2021. Management of banana crop waste biomass using vermicomposting technology, *Bioresource Technology* 326.
- Makni, H., Ayed, L., Ben Khedher, M., Bakhrouf, A., 2010. Evaluation of the Maturity of Organic Waste Composts, *Waste Management and Research*, 28, 489.
- Meunchang, S., Panichsakpatana, S., Weaver, R.W., 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. *Bioresour. Technol.* 96, 437–442.
- Mikutta, R., Kaiser, K., 2011. Organic matter bound to mineral surfaces: resistance to chemical and biological oxidation. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1738–1741.

- Misi SN., Forster CF., 2002. Semi-continuous anaerobic co-digestion of agrowaste. *Environ Technol* 23, 445–451.
- Muntjeer, A., Kazmi, A.A., Ahmed, N., 2014. Study on effects of temperature, moisture and pH in degradation and degradation kinetics of aldrin, endosulfan, lindane pesticides during full-scale continuous rotary drum composting. *Chemosphere* 102, 68–75.
- Naderi, R. & Ghadiri, H. (2010). Urban waste compost, manure and nitrogen fertilizer effects on the initial growth of corn (*Zea mays* L.). *Rev. Desert* 15, 159-165.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A., Das, K.C., 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresour. Technol.* 71 (1), 5–12.
- Öztürk, M., 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J., Roig, A., 2002. Bio-degradation of Olive Mill Wastewater Sludge by its Co-composting With Agricultural Wastes, *Bioresource Technology*, 85, 1-8.
- Petric, I., Helic, A., Avdic, E.A., 2012. Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure. *Bioresour. Technol.* 117, 107–116.
- Powers, W., Angel, R., 2008. A Review of the Capacity for Nutritional Strat. *Adress Environ. Challenges in Poultry Prod. Poultry Sci.* 87, 1929-1938.
- Raj, D., Antil, R.S., 2011. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology* 102(3), 2868–2873.
- Ren, X., Zeng, G., Tang, L., Wang, J., Wan, J., Wang, J., Deng, Y., Liu, Y., Peng, B., 2018. The potential impact on the biodegradation of organic pollutants from composting technology for soil remediation. In: *Waste Management*, vol. 72. Elsevier Ltd,
- Rihani M, Malamis D, Bihaoui B, Etahiri S, Loizidou M, Assobhei O (2010) In-vessel treatment of urban primary sludge by aerobic composting. *Bioresource Technology* 101(15):5988–95.
- Romero-Figueroa, J.C., S´anchez-Escudero, J., Rodríguez-Mendoza, M.N., Gutiérrez- Castorena, M.C., 2015. Production of vermicompost from maize (*Zea mays* L.) stubble and milk cattle manure. *Agroproductividad* 8, 52–59.

- Rynk, R. 1992. On Farm Composting Handbook, NRAES-54, Cooperative Extension Service, Northeast Regional Agricultural Engineering Services, Ithaca, NY, USA.
- Sadeh Y, Poulsen TG, Bester K (2014) Quantifying measurement uncertainty in full-scale compost piles using organic micro-pollutant concentrations. *Waste Manage Res* 32 (5): 371–378.
- Saltali, K., Brohi, A.R. & Bilgili. A.V. (2000). The effect of tobacco waste on the soil characteristics and plant nutrient contents of alkaline soils. In *Proceedings of int. symp. on desertification*. (531–534). Konya. Turkey.
- Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C., Bernal, M.P., 2001. Nitrogen Transformation During Organic Waste Composting by the Rutgers System and Its Effects on pH, EC, and Maturity of the Composting Mixtures, *Bioresource Technology*, 78, 301-308.
- Sharma, K., Garg, V.K., 2018. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). *Bioresource Technology* 250, 708–715.
- Sharma, K., Garg, V.K., 2019. Recycling of lignocellulosic waste as vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 14024–14035.
- Sharma, V.K., Caudatelli, M., Fortuna, F., Cornacchia, G., 1997. Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by Aerobic Composting: Review, *Energy Conversion & Management*, 38(5), 453-478.
- Sharpley, A., Moyer, B., 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *J. Environ. Qual.* 29, 1462–1469.
- Shi, Z., Liu, J., Tang, Z., Zhao, Y., Wang, C., 2020. Vermiremediation of organically contaminated soils: concepts, current status, and future perspectives. *Appl. Soil Ecol.* 147, 103377
- Silva, J.C., Siqueira, A.J.N., Maia, H.B., Nunes, R.R., 2021. Vermicomposting corn waste under cultural and climatic conditions of the Brazilian Backwoods. *Bioresour. Technol. Rep.* 15, 100730.
- Singh, WR, Kalamdhad, AS, 2014. Potential for composting of green phumdi biomass of Loktak lake. *Ecol Eng* 67:119–126.
- Song, X., Liu, M., Wu, D., Qi, L., Ye, X., Jiao, J., Hu, F., 2014. Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. *Waste Manage.* 34, 1977–1983.
- Sparks, D.L., 1996, (Editor), Bartel, J.M. (Managing editor), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods* 3, SSSA.

- Stofella P.J, Kahn B.A, (2001) "Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems", CRC Pres LLC.
- Sülük, K., Tosun, İ., Ekinci, K., 2017. Co-composting of two-phase olive-mill pomace and poultry manure with tomato harvest stalks. *Environmental Technology*. 38(8), 923-932.
- Şevik, F., Tosun, İ., Ekinci, K., 2016. Composting of olive processing wastes and tomato stalks together with sewage sludge or dairy manure. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13, 1207–1218.
- Şevik, F., Tosun, İ., Ekinci, K., 2018. The effect of FAS and C/N ratios on co-composting of sewage sludge, dairy manure and tomato stalks. *Waste Manag.* 80, 450–456.
- Taeporamaysamai, O. ve Ratanatamskul, C., 2016. Co-composting of various organic substrates from municipal solid waste using an on-site prototype vermicomposting reactor, *International Biodeterioration & Biodegradation* 113, 357-366.
- Tankuş, Ö. 2019. Farklı Dozlarda Vermikompost Uygulamalarının Mısır (*Zea Mays L.*) Bitkisinin Gelişimine Etkisi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet ALMACA
- Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik, 2018. Resmi Gazete Tarihi, 23.02.2018, Resmi Gazete Sayısı, 30341.
- Test Methods for the Examination of Composting and Composts, 2002. Wayne Thompson, The US Composting Council, US Government Printing Office.
- Toros, 2017. Toros Tarım, Üretici Bülteni, Aralık, sayı 12. İstanbul. Erişim tarihi: 11.07.2022, Erişim adresi: <https://www.toros.com.tr/>
- Tosun, İ., 2003. Compostability of Rose Processing Wastes With Organic Fractions of Municipal Solid Wastes, pp. 106, Ph.D. Thesis, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey.
- Tosun, İ.; Gönüllü, M.T.; Arslankaya, E.; Günay, A. 2008. Co-composting kinetics of rose processing waste with OFMSW. *Bioresour. Technol.*, 99, 6143–6149.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2022. Erişim tarihi:10.01.2022, Erişim adresi: <https://www.tuik.gov.tr/>
- Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı, 2016. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Unuofin, F.O., Siswana, M. and Cishe, E.N., 2016. Enhancing rock phosphate integration rate for fast bio-transformation of cow-dung waste-paper mixtures to organic fertilizer. *SpringerPlus*, 5:1986.

- Uysal A., 2019. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Turunçgillerde Antraknoz Etmeni *Colletotrichum* Türlerinin Morfolojik, Patojenik, Moleküler Karakterizasyonu ve Fungisit Duyarlılıkları. Doktora Tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Walling, E., Trémier, A., Vaneeckhaute, C., 2020. A review of mathematical models for composting, *Waste Management* 113, 379–394.
- Wang, X.X., Zhao, F., Zhang, G., Zhang, Y. & Yang, L. (2017). Vermicompost improves tomato yield and quality and the biochemical properties of soils with different tomato planting history in a greenhouse study. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1978.
- Wang, Y., Witarsa, F., 2016. Application of Contois, Tessier, and first-order kinetics for modeling and simulation of a composting decomposition process. *Bioresour. Technol.* 220, 384–393.
- Wong, J.W.C., Fang, M., 2000. Effects of lime addition on sewage sludge composting process. *Water Res.* 34 (15), 3691–3698.
- Yadav, A., Garg, V.K., 2011. Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bioresour. Technol.* 102, 2874–2880.
- Yadav, A., Garg, V.K., 2016. Influence of stocking density on the vermicomposting of an effluent treatment plant sludge amended with cow dung. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 13317–13326.
- Yağmur, B. & Okur, B. (2017). Kompost Ahır Gübresi ve Kükürt Uygulamalarının Kireçli Alkalin Toprakta Yetiştirilen Fasulye Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkisi. *Toprak Su Dergisi, Özel Sayı*, 13-25.
- Yang, F., Li, G.X., Yang, Q.Y., Luo, W.H., 2013. Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Chemosphere* 93 (7), 1393–1399.
- Zhang D., Luo W., Li Y., Wang G., Li G. (2018). Performance of co-composting sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste at different proportions, *Bioresource Technology*, 250 , pp. 853-859.
- Zorpas AA, Loizidou M (2008) Sawdust and natural zeolite as a bulking agent for improving quality of a composting product from anaerobically stabilized sewage sludge. *Bioresource Technology* 99:7545–7552.
- Zucconi, F., de Bertoldi, M., 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: de Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'Hermite, P., Zucconi, F., (Eds.): *Compost: production, quality and use*. pp. 30-50. Elsevier Applied Science, Essex.