ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

TAVUK DIŞKISININ KONTROLLÜ ORTAMDA KOMPOSTLAŞTIRILMASI AMACIYLA İKİ AŞAMALI KOMPOSTLAŞTIRMA YÖNTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Selim UYGUN

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ANKARA
2025

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

TAVUK DIŞKISININ KONTROLLÜ ORTAMDA KOMPOSTLAŞTIRILMASI AMACIYLA İKİ AŞAMALI KOMPOSTLAŞTIRMA YÖNTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Selim UYGUN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlknur DURSUN

Bu çalışmada; tavuk dışkısı ve bitkisel sap/saman karışımından kompost yapılması için havalandırmalı statik yığın (HSY) + tünel kompostlaştırma (TK) yönteminden oluşan iki aşamalı kompostlaştırma yönteminin (HSY + TK) geliştirilmesi, geliştirilen yöntemin havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma (HSY) ve tünel kompostlaştırma (TK) yöntemleriyle enerji tüketimi, ortam koşulları, kimyasal parametreler ve kompost kalite kriterleri yönünden karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, HSY kabinleri inşa edilmiş ve yığınlar oluşturulmuştur. TK yöntemiyle HSY yöntemi eş zamanlı olarak çalıştırılmaya başlatılmıştır. Havalandırmalı statik yığın + tünel kompostlaştırma, havalandırmalı statik yığın ve Tünel kompostlaştırma yöntemleriyle tavuk dışkısı ve bitkisel sap/saman karışımından 3 farklı kompost üretimi gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; HSY yönteminde yığın sıcaklığı 20. günde dış ortam sıcaklığı ile yakın seviyeye ulaşmış olup kompostlaştırma işlemi tamamlanmıştır. TK yönteminde ise 32. günde kompost dış ortam sıcaklığına yaklaşmış, işlem tamamlanmıştır. HSY+TK'da ise 15. günde HSY'deki materyalin yarısı, kompostlaştırma işleminin tamamlanması ve olgunlaşma aşaması için TK'ye alınmış, 17. günde kompostlaştırma tamamlanmıştır. Elde edilen değerler ışığında HYS' de 20 günlük süreçte 788 kWh, TK'da 819 kWh, HSY + TK'da 443 kWh enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Enerji tüketimi bakımından HSY+TK'nin en az enerji tükettiği tespit edilmiştir. Ayrıca farklı yöntemlerle elde edilen kompostların; nem oranları % 9.70-19.47, organik madde oranı % 75.43-81.40, organik karbon oranı % 68.70-72.40, pH 5.26-6.30, EC 2.37-3.63 mS cm^{-1}, C/N oranı 18.45-21.98, tuz miktarı % 2.13-2.20, azot oranı % 3.13-3.93, fosfor oranı % 0.40-0.41, potasyum oranı % 1.57-1.60, bakır oranı 60.33-63.00 ppm, çinko miktarı 438.00-438.67 ppm, mangan miktarı 345.00-361.67 ppm, demir miktarı 500.00-510.33 ppm, magnezyum oranı % 0.40-0.44, kalsiyum oranı % 0.90-1.03 aralığında bulunmuştur.

Mart 2025, 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kompost, kompostlaştırma, tavuk dışkısı, havalandırmalı statik yığın, tünel kompostlaştırma, havalandırmalı statik yığın + tünel kompostlaştırma, enerji tüketimi, ortam koşulları, kimyasal parametreler, kompost kalite kriterleri

ABSTRACT

PhD Thesis

DEVELOPMENT OF TWO-STAGE COMPOSTING METHOD FOR CONTROLLED COMPOSTING OF POULTRY FECES

Selim UYGUN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery & Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İlknur DURSUN

In the study, it was goal to develop a two-stage composting method (HSY+TK) consisting of Aerated Static Pile (HSY) + Tunnel Composting (TK) method for composting chicken feces and stalks/stubble mixture, and to compare the developed method with Aerated Static Pile composting (HSY) and Tunnel Composting (TK) methods in terms of energy consumption, environmental conditions, chemical parameters, and compost quality criteria. For this purpose, the HSY cabins were built and piles were formed. The TK and the HSY method were started to be operated simultaneously. Three different compost productions were carried out using the HSY+TK, HSY, and the TK methods from chicken feces and stalk/stubble mixture. According to the research results, in the HSY method, the pile temperature reached the same level as the outdoor temperature on the 20th day and the composting process was completed. In the TK method, the compost pile reached the outdoor temperature on the 32nd day and the process was completed. In the HSY+TK, half of the material in the HSY was transferred to the TK on the 15th day for the completion of the composting process and the maturation stage, and composting was completed on the 17th day. When the data are examines, energy consumption was calculated as 788 kWh in the HYS, 819 kWh in the TK, and 443 kWh in the HSY+TK in a 20-day period. In terms of energy consumption, it has been determined that the least energy is consumed in the HSY+TK method. In addition, composts obtained by different methods; humidity 9.70-19.47 %, organic matter 75.43-81.40 %, organic carbon 68.70-72.40 %, pH 5.26-6.30, EC 2.37-3.63 mS cm^{-1}, C/N ratio 18.45-21.98, salt 2.13-2.20 %, nitrogen 3.13-3.93 %, phosphorus 0.40-0.41 %, potassium 1.57-1.60 %, copper 60.33-63.00 ppm, zinc 438.00-438.67 ppm, manganese 345.00-361.67 ppm, iron 500.00-510.33 ppm, magnesium 0.40-0.44 %, and calcium was found to be in the range of 0.90-1.03 %.

March 2025, 72 pages

Key Words: Compost, composting, chicken feces, aerated static pile, tunnel composting, aerated static pile composting + tunnel composting, energy consumption, environmental conditions, chemical parameters, compost quality criteria

TEŞEKKÜR

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde sürdürdüğüm doktora çalışmamda, tecrübeleri ile beni en iyi şekilde yönlendiren, bu geniş çalışmayı yapma fırsatını tanıyan ve karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. İlknur DURSUN'a sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım. Araştırmam sırasında değerli yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Kâmil SAÇILIK'a, Prof. Dr. Sonay SÖZÜDOĞRU OK'a, Prof. Dr. Fulya TAN'a, Doç. Dr. Taner YILDIZ'a ve Prof. Dr. Ergin DURSUN'a bir hocadan daha fazlası oldukları için ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü idarecileri ve mesai arkadaşlarıma; İdari Koordinatör Ömer YILMAZ, Dr. Semra BULGUER, Dr. Oğuzhan AYDIN, Zir. Yük. Müh. Erdal Eren YELER, Dr. Gökhan KILIÇ, Zir. Yük. Müh. Ersin KAVLAK, Özkan ÖZER, Enver SÜRGÜVEÇ ve isimlerini sayamadığım Üretme ve İşletme Bölümü ekip arkadaşlarıma ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü ve Tavukçuluk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü idarecilerine ve bu kurumlarda çalışan arkadaşlarıma, hiçbir zaman yardımlarını esirgemedikleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Kompostlaştırma sistemlerinin kurulum aşamasındaki tüm süreçlerinde kıymetli bilgi birikimlerini ve emeğini esirgemeyen Elektrik-Elektronik Müh. Orhan AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu yoğun çalışma temposunda kızım Selin UYGUN'un yanında olamadığım zamanlar için özür diler, kızımın tüm sorumluluklarını üstlenen, çalışmalarım sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Kübra UYGUN'a sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Son olarak; haklarını asla ödeyemeyeceğim anneme, babama ve ablama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından desteklenen "Kompostlaştırma Teknolojisi ve Kompost Dağıtma Makinası Geliştirilmesi" (TAGEM/TSKAD/A/19/A9/P8/1297) projesi kapsamında yürütülmüştür.

Selim UYGUN
Ankara, Mart 2025

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **ix**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Kompostlaştırma Teknolojisi **2**
1.1.1 Kompostlaştırma için önemli parametreler **3**
1.1.1.1 Oksijen ve havalandırma **4**
1.1.1.2 Mikroorganizmalar **5**
1.1.1.3 Karbon, azot ve C/N oranı **6**
1.1.1.4 Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) **7**
1.1.1.5 Nem içeriği **7**
1.1.1.6 Sıcaklık **8**
1.1.1.7 Süre **8**
1.2 Kompostlaştırma Yöntemleri **9**
1.2.1 Pasif kompostlaştırma **10**
1.2.2 Karıştırmalı yığın kompostlaştırma **10**
1.2.3 Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma **13**
1.2.3.1 Pasif havalandırmalı tip **13**
1.2.3.2 Zorlamalı havalandırmalı tip **14**
1.2.4 Kapalı sistemlerde kompostlaştırma **16**
1.2.4.1 Depoda kompostlaştırma **16**
1.2.4.2 Tünel kompostlaştırma **17**
1.2.4.3 Kule tipi reaktörlerde kompostlaştırma **18**
1.2.4.4 Döner tambur tipi kompostlaştırma **19**
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ **21**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **30**
3.1 Materyal **30**

3.1.1 Araştırma alanının özellikleri 30
3.1.2 Araştırmada kullanılan yöntemlerin kompost üretim alanları 31
3.1.3 Cihaz, alet ve ekipman varlığı 33
3.1.4 Kompostlaştırmada kullanılan hammaddeler 34
3.1.5 İklim verileri 34
3.2 Yöntem 35
3.2.1 HSY'de havalandırma sistemi 35
3.2.2 HSY'de sıcaklığa bağlı kontrol ünitesi 37
3.2.3 TK'da elektrik enerjisi tüketimi 40
3.2.4 HSY, TK ve HSY+TK değerlerinin takibi için kontrol ünitesi 41
3.2.5 Hammadde özellikleri ve karışım hazırlığı 42
3.2.6 Kompost üretim süreçleri 44
3.2.7 Kompost analizleri 44
3.2.8 İstatistik analiz 45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 46
4.1 HSY'de Süre, Sıcaklık ve Enerji Tüketimine İlişkin Sonuçlar 46
4.2 TK'da Süre, Sıcaklık ve Enerji Tüketimine İlişkin Sonuçlar 47
4.3 HSY+TK'da Süre, Sıcaklık ve Enerji Tüketimine İlişkin Sonuçlar 49
4.4 Kompostlaştırma Sürelerinin Karşılaştırılmasına İlişkin Sonuçlar 50
4.5 Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılmasına İlişkin Sonuçlar 51
4.6 Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılmasına ilişkin Sonuçlar 53
4.7 Kompostların İçerik Yönünden Karşılaştırılmalarına İlişkin Sonuçlar 55
4.8 Kompost Kalite Kriterleri ve İş Gücü İhtiyacı 61
5. SONUÇ 63
KAYNAKLAR 65
ÖZGEÇMİŞ 72

SİMGELER DİZİNİ

C	Karbon
C/N	Karbon/Azot Oranı
CH_4	Metan
CO_2	Karbondioksit
Cu	Bakır
H_2O	Su
K	Potasyum
L	Litre
N	Azot
NH_3	Amonyak
NH_4	Amonyum
NO_3	Nitrat
NO_x	Azot Oksitler
P	Fosfor
Zn	Çinko
Mn	Mangan
Fe	Demir
Mg	Magnezyum
Ca	Kalsiyum
m	Metre
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-saat

Kısaltmalar

HSY	Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma
TK	Tünel kompostlaştırma
HSY + TK	Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma + tünel kompostlaştırma
EC	Electrical conductivity (Elektriksel iletkenlik)
OM	Organik madde
BHG	Büyükbaş hayvan gübresi
AG	At gübresi
TG	Tavuk gübresi
AS	Ayçiçeği sapı
ÇK	Çeltik kavuzu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Kompostlaştırma işlemi …… 3
Şekil 1.2 Yığın kompostlaştırma boyunca mikrobiyal populasyon değişimi …….. 5
Şekil 1.3 Pasif kompostlaştırma yığını …….…….…..... 10
Şekil 1.4 Karıştırmalı yığın kompostlaştırma ……...…….. 11
Şekil 1.5 Çekilir tip kompost karıştırma makinası …….……...…. 11
Şekil 1.6 Kendi yürür tip kompost karıştırma makinası …….……..… 12
Şekil 1.7 Sıralı yığın döndürme işlemi …….…….…..... 12
Şekil 1.8 Pasif havalandırmalı yöntemlerde kompostlaştırma ……... 14
Şekil 1.9 Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma ……..……...…. 15
Şekil 1.10 Depoda kompostlaştırma yöntemi ……...…..… 16
Şekil 1.11 Tünel kompostlaştırma sistemi …...……...… 17
Şekil 1.12 Kule tipi reaktörlerde kompostlaştırma ……. 18
Şekil 1.13 Döner tambur tipi kompost reaktörü …….…… 19
Şekil 3.1 Deneme alanının uydu görüntüsü ……...…….. 31
Şekil 3.2 Deneme alanının drone ile çekilen görüntüsü …….…… 32
Şekil 3.3 Araştırmada kullanılan tünel kompostlaştırma tesisi ……....…… 32
Şekil 3.4 Havalandırmalı statik yığın ve otomasyon kabinleri ……..……. 33
Şekil 3.5 Havalandırmalı statik yığın kabinleri ……..……. 33
Şekil 3.6 Kabin havalandırma borusu …….…… 36
Şekil 3.7 Havalandırma fanları …….….. 36
Şekil 3.8 Tercih edilen havalandırma fanları …….…. 37
Şekil 3.9 PT100 Sıcaklık sensörleri ……..... 37
Şekil 3.10 Yığınların sıcaklık ölçümleri …….…….... 38
Şekil 3.11 Ortam sıcaklığı sensörü …….…… 38
Şekil 3.12 Tasarlanan elektronik devre kartı …….……..…… 39
Şekil 3.13 Tünel kompostlaştırma sistemi enerji analizörü montajı ……... 40
Şekil 3.14 Tünel kompostlaştırma karıştırıcısı ……..…….. 41
Şekil 3.15 Kontrol ünitesi …….….. 41
Şekil 3.16 Sap/Saman hazırlama işlemi ……..… 42
Şekil 3.17 Kompostlaştırma için bitkisel materyal ……..….. 42

Şekil 3.18 Tavuk dışkısı saman karışımı ……..…… 43
Şekil 4.1 HSY'de günlere göre sıcaklık ve harcanan enerji değerleri ……..…….. 47
Şekil 4.2 HSY denemeleri …….. 47
Şekil 4.3 TK'da günlere göre sıcaklık ve harcanan enerji değerleri ……..…… 48
Şekil 4.4 TK denemeleri ……. 48
Şekil 4.5 HSY + TK'da günlere göre sıcaklık ve harcanan enerji değerleri …..…… 49
Şekil 4.6 HSY+TK denemeleri …….…….…. 50
Şekil 4.7 Karşılaştırılan 3 yöntemde kopmostlaştırma gün sayıları ……..….. 50
Şekil 4.8 İncelenen yöntemlerin günlük sıcaklık değerleri ……..……...……. 52
Şekil 4.9 İncelenen yöntemlerin toplam enerji tüketim miktarları ……...…... 54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 2024 yılı Eylül ve Ekim aylarına ait iklim verileri ……. 35
Çizelge 3.2 Yapılan analizler ve analiz metotları ……..…….. 45
Çizelge 4.1 Farklı yöntemlerden elde edilen kompostların içerikleri …….…… 55
Çizelge 4.2 Farklı yöntemlerden elde edilen kompostların N, P, K içerikleri …..…….. 57
Çizelge 4.3 Farklı yöntemlere göre Cu, Zn, Mn, Fe, Mg ve Ca içerikleri ……..…… 58

1. GİRİŞ

Dünya'da nüfus artışı, sanayi ve tarımsal faaliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Bu faaliyetler neticesinde farklı özelliklerde atıklar meydana gelmekte ve çevre kirliliği tehlikesi ön plana çıkmaktadır. Gerek üretim gerekse tüketim sonrası oluşan atıkların büyük bir bölümü organik kökenli atıklardır. Doğru yönetildiğinde tamamı faydaya dönüşebilir.

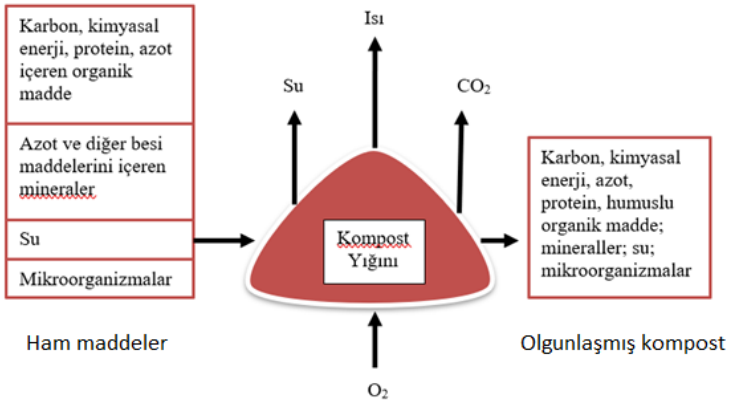
Evsel ve tarımsal kökenli atıkların değerlendirilmesi, günümüz toplumları için kaçınılmaz hale gelmiştir. Kompostlaştırma, atıkların faydaya dönüşümünde göze çarpan en önemli yöntemlerden birisidir. Ancak ülkemizde üretim sonrası oluşan atıkları işleyebilecek şekilde, bölgelere yayılmış, yeterli sayıda büyük ölçekli kompost tesisi bulunmamaktır. Bununla birlikte kompost teknolojisi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Hâlihazırda kurulumunu tamamlanmış büyük ölçekli kompost tesisleri de ekonomik olarak faaliyetlerini tam anlamıyla yürütememektedirler. Söz konusu kompost üretim tesislerinin ekonomik olarak işletilmesi, tarımsal faaliyetlerde bulunan işletmeler için oldukça önemlidir (Uygun 2012).

Artan dünya nüfusunun besin ihtiyacını karşılamak için toprağın önemi gün geçtikçe daha fazla artmaktadır. Toprak, canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için en az hava ve su kadar vazgeçilmez unsurlardan birisidir. Ayrıca ana bitki besin kaynağı deposudur. Ekosistemin devamı için toprağın mutlak surette korunması gerekmektedir. Kimyasal gübrelerin fazla miktarda kullanımı, toprak ve su kirliliği ile toprağın fizikomekanik özelliklerinin bozulmasına neden olmaktadır. Yıllardır sadece verimin artırılması amacıyla kullanılan kimyasal gübreler; toprağın organik madde miktarını azaltmakla kalmamış, toprakların giderek veriminin düşmesine de neden olmuştur (Şekerci 2008). Toprak yapısının bozulması, erozyona ve toprak sıkışmasına da yol açmaktadır. Erozyon, tarıma elverişli alanlardaki verimli toprak tabakasını yok ederek çölleşmeye neden olan oldukça zararlı bir olaydır (Dursun 2002).

Kompost; organik gübre, toprak iyileştirici ve yetiştirme ortamı gibi isimler altında satılabilen ticari bir değere sahiptir (Uygun ve Dursun 2012). Kompost, bazı çevrelerce organik gübre olarak kabul edilmekte bazı çevreler tarafından ise toprak iyileştirici ya da düzenleyici madde olarak kabul edilmektedir. Çiftlik gübresi; sığır, at ve koyun gibi hayvanların katı ve sıvı dışkılarıyla sap, saman gibi yataklık malzemelerinin karışımından oluşan katı kıvamdaki organik gübredir (Dursun ve Erol 2015). Çiftlik gübresinin fermente edildikten ya da yakıldıktan sonra toprağa uygulanması önerilmektedir. Fermente edilmemiş çiftlik gübresi, uzun vadede toprağın ıslah edilmesinde fayda sağlayabilir. Ancak aynı yıl yetiştirilen bitkiler, ciddi zararlar görebilirler. Aynı zamanda yabancı ot ve hastalık sorunları da artar. Fermente edilmiş çiftlik gübresinin toprağın organik madde içeriğinin artması, toprağın tava gelmesi sayesinde toprak işlemenin kolaylaşması, toprağın su tutma kapasitesinin ve porozitesinin artması gibi birçok yararı vardır (Dursun ve Erol 2015). Kompostun toprağa uygulanması sayesinde ise toprağın su tutma kapasitesi ve organik madde içeriği artmakta, erozyon önlenebilmekte, kısa ve uzun vadede toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı olumlu yönde etkilenmektedir. Bu nedenle işlenmiş hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilen kompostun mutlak surette topraklarımıza kazandırılması gerekmektedir. Atıkların organik bileşenlerinin değerlendirilmesinde en önemli ve sürdürülebilir çözüm, kompostlaştırma teknolojisidir (Topkaya 2004, Avcıoğlu vd. 2011).

1.1 Kompostlaştırma Teknolojisi

Kompost, organik materyallerin bakteriler ve diğer mikroorganizmalar ile biyolojik olarak parçalanarak humusa dönüştürülen geri kazanım ürünüdür (Topkaya 2004). Kompostlaştırmada organik maddeler kullanılırken, oksijen ise mikroorganizmalar tarafından tüketilmektedir. Şekil 1.1'den anlaşılacağı gibi kompostlaştırma işlemi sırasında fazla miktarda ısı ve karbondioksit oluşmakta, su ve nem ise buharlaşmaktadır. Bir başka deyişle kompost yığınına giren oksijen; ısı, karbondioksit ve su çıkışına neden olmaktadır.



Şekil 1.1 Kompostlaştırma işlemi (Rynk 1992, Uygun ve Dursun 2012)

Kompostlaştırma işlemi, farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. İşlem, tercih edilen yönteme göre hızlı ya da yavaş gerçekleşebilmektedir (Kütük 2013). Mikroorganizmaların faaliyetlerini gerçekleştirebilmeleri için uygun koşullar sağlandığında ve bu koşullar korunduğunda yüksek hızda gerçekleşmektedir. Kompostlaştırma için en önemli şartlar; anaerobik mikroorganizmalar için yeterli miktarda oksijenin sağlanması, uygun C/N oranı da dahil olmak üzere mikrobiyal aktivite ve büyüme için gereken besin maddelerinin sağlaması amacıyla organik maddelerin karıştırılması, havalandırmayı engellemeden biyolojik aktivite için gerekli nem içeriğinin elde edilmesi ve kuvvetli mikrobiyal aktiviteyi gerçekleştiren uygun sıcaklığın sağlanmasıdır (Öztürk ve Bildik 2005, Uygun 2012). Kompostlaştırmada; ayrışabilir organik maddelerin biyolojik olarak istenilen maddeye dönüştürülmesi, katı atıklarda bulunan patojenler, böcek yumurtaları vb' leri ile yabancı ot tohumlarının yok edilmesi, bitkisel üretimde toprağa fayda sağlayacak toprak iyileştiricisi olarak kullanılabilen bir ürünün elde edilmesi, bitkiler tarafından kullanılabilir halde olabildiğince yüksek oranda azot, fosfor ve potasyumun üretilmesi amaçlanmaktadır (Tosun 2003).

1.1.1 Kompostlaştırma için önemli parametreler

Kompostlaştırma işlemine; fiziksel, kimyasal ve biyolojik birçok faktör etkili olmaktadır. Özellikle oksijen, mikroorganizmalar, C/N oranı, pH, nem içeriği, sıcaklık ve zaman kompostlaştırma işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesinde önemli ve doğrudan

etkili faktörlerdir. Başarılı bir kompostlaştırma işleminde bu parametrelerin optimum seviyede olması istenmektedir (Rynk 1992, Haug 1993, Erdener 2010).

1.1.1.1 Oksijen ve havalandırma

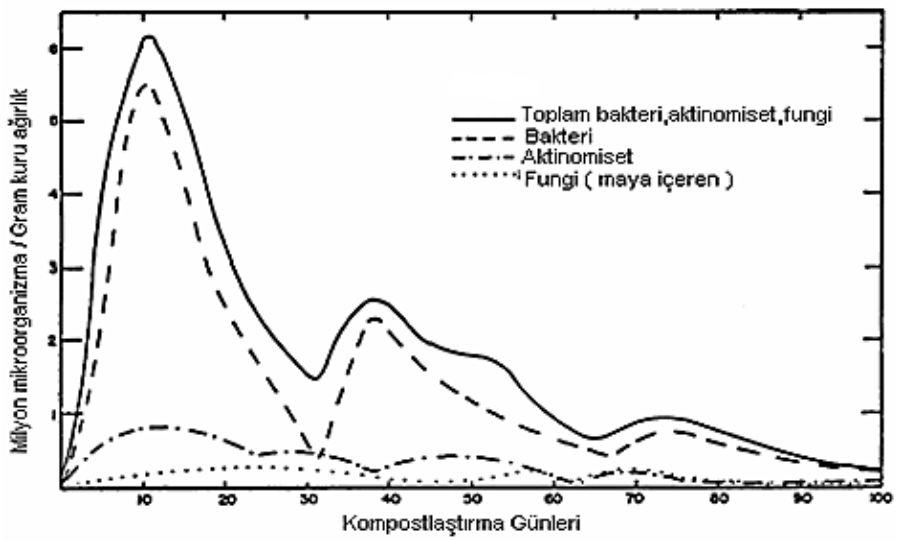
Kompostlaştırma işleminde, bakteriler ve mikroorganizmaların faaliyetlerini en uygun şekilde sürdürebilmeleri için materyalin nem içeriğinin istenilen düzeye düşürülmesi ve sıcaklığın istenilen aralıkta kalması yönünden yığındaki oksijen miktarı ve havalandırma oldukça önemli faktörlerdir (Uygun ve Dursun 2012).

Kompostlaştırma işlemi sırasında fazla miktarda oksijen tüketilir. Kompostlaştırmanın ilk başladığı anda ham organik materyallerin kolay çözülebilir karışımları, hızlı metabolize olduklarından, hava ihtiyacı ve ısı artışı en fazla ilk zamanlarda oluşmakta, işlem ilerledikçe azalmaktadır (Uygun 2012). Eğer yığındaki oksijen miktarı istenilen seviyede değilse kompostlaştırma yavaş gerçekleşmektedir. Kompost yığınının gözenek boşluklarındaki oksijen konsantrasyonunun en az % 5 olması istenmektedir (Öztürk ve Bildik 2005, Uygun 2012).

Kompostlaştırma için mikrobiyal faaliyetler oksijen varlığı ile sağlanır. Söz konusu en az %5'lik oksijen konsantrasyonu sınırı mikroorganizmaların yaşamlarını devam ettirdiklerinin bir göstergesi kabul edilmektedir (Schulze 1962). Organik maddeyi fiziksel olarak karıştırma, konvektif hava akımı ve mekanik havalandırma olmak üzere başlıca 3 temel havalandırma yöntemi bulunmaktadır. Statik sistemlerde oksijen, bir üfleç veya konvektif hava akımı ile temin edilmektedir (Tosun 2003). Kompostlaştırma, esas itibariyle oksijenin tüketildiği ve karbondioksidin üretildiği bir oksidasyon işlemidir (Stoffella ve Kahn 2001). Dolayısıyla kompostlaştırmada bu 2 temel unsurun izlenmesi güvenilir bir göstergedir (Uygun 2012).

1.1.1.2 Mikroorganizmalar

Kompostlaştırma işlemi; bitkisel, hayvansal ve kentsel organik atıkların karışımı ile elde edilen materyalin içerisinde doğal olarak bulunan mikroorganizmalar ve bu mikroorganizmaların yığın içerisindeki faaliyetleri neticesinde gerçekleştirilmektedir (Tan 2021). Bu işlem, organik maddeleri tüketen geniş bir mikroorganizma grubunu içeren karmaşık bir faaliyettir. Fungi, aktinomiset ve bakteriler; kompostlaştırmada etken olan mikroorganizmaların bazılarıdır. Ayrıca karışımda algler ve protozoalar da bulunabilmektedir. Bu mikroorganizmaların miktarları, kompostlaştırma işlemi süresince değişim gösterir (Uygun 2012). Arıtma çamurları ve talaş ile yapılan yığın kompostlaştırma boyunca geçerli olan bu değişimler, Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Şekil 1.2'den anlaşılacağı gibi kompostlaştırma işleminin yaklaşık olarak 10. gününde toplam bakteri, aktinomiset ve fungi sayısı en yüksek seviyeye ulaşmış, 30. günde hızla azalmış daha sonra 35 - 40. günler arasında hafifçe artmış, tahminen 65. günde yeniden azalmış ve daha sonra önceki duruma göre daha az miktarda artarak 100. günde en düşük seviyeye inmiştir.



Şekil 1.2 Yığın kompostlaştırma boyunca mikrobiyal populasyon değişimi (Stoffella ve Kahn 2001; Uygun 2012)

Kompostlaştırma işleminde mikroorganizmaların türü; karışımın boyutuna, su içeriğine, havalandırmaya ve sıcaklık değerlerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca karışım içerisinde böcek ve sinek gibi canlılar da bulunabilmektedir (Süslü 2018).

1.1.1.3 Karbon, azot ve C/N oranı

Mikrobiyal parçalanmada gerekli olan elementler arasında en önemlileri, karbon ve azottur (Uygun 2012). Kompostlaştırmaya başlanmadan önce karışıma katılacak hammaddelerin karbon ve azot içerikleri belirlenmelidir. Karbon, hücre kütlesinin yaklaşık yarısını oluşturan temel yapı taşı olup aynı zamanda enerji kaynağıdır. Azot ise hücre fonksiyonlarının ilerlemesi için gerekli olan protein, nükleik asit, aminoasit ve enzimlerin temel bileşenidir. Kompostlaştırma işlemi neticesinde mikroorganizmalar faaliyetlerini tamamladıklarında kompost içerisinde bulunan azot tekrar varlığını korumakta, karbon ise mikroorganizmaların solunum faaliyeti ile CO_2 'ye dönüşerek kompost içeriğinden uzaklaşmaktadır. Kompostlaştırmada en uygun C/N oranı 30/1 olarak bulunmuştur (Uygun 2012). Bu oran, önemli kompostlaştırma parametreleri arasında yer almaktadır. İhtiyaçtan fazla miktardaki azot, amonyak gazı şeklinde istenmeyen kokuya sebep olur ve ortamdan kaybolur. C/N oranının yüksek olması durumunda ise mikroorganizma faaliyetlerinin yeterli düzeyde olabilmesi için yeterli azot bulunamayacağından, kompost yığını soğuk kalır ve ayrışma düşük hızda devam eder (Topkaya 2004).

Kompostlaştırma işleminde kompostun istenilen olgunlaşma kalitesine ulaşabilmesi için C/N oranının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Başlangıç materyali karbon ve azot miktarına göre tercih edilerek istenilen oranda karışım sağlanmalıdır. Azot kaynağı olarak hayvan gübresi, karbon kaynağı olarak ise bitkisel kökenli atıkların; istenilen C/N oranının elde edilmesinde uygun bir karışım olduğu bilinmektedir (Mussatto vd. 2012).

1.1.1.4 Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)

Kompost mikroorganizmaları için en uygun pH aralığı 5.5 - 8.5'dir (Uygun 2012). Genel olarak nötr pH koşullarında bu mikroorganizmalar istenilen şekilde çalışırlar. İşlemin başlangıcında nötr şartlar mevcutken ilerleyen aşamalarda organik asitler meydana gelir ve pH değeri azalarak asidik ortam oluşur. Yeterli oksijen ile bu durum değişerek kompostlaştırma işlemi devam eder. Kompostlaştırma işlemi sırasında pH değerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde değerin yüksek ya da düşük olması nadiren de olsa kompostlaştırma işlemine etki edebilmektedir. Kompostlaştırmanın başlangıç evresinde sıcaklığın yükselmesi ile yüksek pH değeri, materyaldeki azotun amonyak (NH_3) şeklinde buharlaşarak kaybolmasına neden olabilmektedir (Pichtel 2005, Diaz vd. 2007). Bu durum nihai üründe besin içeriğinin düşük olmasına sebep olurken aynı zamanda koku probleminin oluşmasına da sebep olur. Başlangıç materyali ile nihai ürünün azot içeriği arasındaki fark oldukça yüksek olabilmektedir (Tiquia ve Tam 2000, Wong vd. 2009, Bernal vd. 2009).

1.1.1.5 Nem içeriği

Birçok biyolojik aktivitede olduğu gibi kompostlaştırmada da nem içeriği, oldukça önemlidir. Kompostlaştırma işleminde nem içeriğinin %50-60 arasında olması önerilmektedir (Topkaya 2004). Nem içeriği %15'in altına düştüğünde, mikroorganizma faaliyetleri yavaşlar ve durma seviyesine gelir (Rynk 1992). Başlangıç materyalinde nem içeriğinin %65'in üzerinde olması durumunda yığındaki boşlukların hava yerine su ile dolmasına neden olarak aerobik ortamın kaybolmasına yol açar (Haug 1993). Oksijenli ortam kaybolmaya başladığı andan itibaren kötü koku oluşmakta ve süreç durma noktasına gelmektedir. Kompostlaştırma işlemi başladığı andan itibaren sıcaklık artışı gerçekleşmekte, bu durum da materyaldeki nemin buharlaşmasına sebep olmaktadır. Bu etken göz önüne alındığında başlangıç materyalinin nem miktarının % 40'ın altında olmaması gerekmektedir. Böylelikle kompostlaştırma esnasında mikrobiyal aktivitenin durması veya yavaşlaması önlenecektir (Rynk 1992). Kompostlaştırma sırasında belirli aralıklarla materyalin nem içeriği kontrol edilmeli, nem içeriğini istenilenden daha

yüksek olması koşulunda materyale kuru madde eklenmeli, tersi durumda ise su takviyesi yapılmalıdır (Bilgili 2013).

1.1.1.6 Sıcaklık

Kompostlaştırma işleminde sıcaklığın mikrobiyolojik aktiviteye oldukça önemli bir etkisi vardır. İşlem sırasında mikroorganizma faaliyetleri sonucunda açığa ısı çıkmaktadır. Isının meydana gelmesi neme, oksijene, C/N oranına ve kompost yığınının büyüklüğüne bağlıdır. Bileşenleri doğru ayarlanmış kompostlaştırma işleminde, istenilen sıcaklık değerine (60 ^{o}C) ilk 3-5 gün içerisinde ulaşılır (Uygun 2012). Kompost oluşum sürecinde sıcaklığın 60 ^{o}C 'yi geçmesi istenmez. Sıcaklığın artması, kompostlaştırma için gereken mikroorganizmaların kaybı anlamına gelmektedir (Topkaya 2004). Sıcaklık kontrolü, oksijen ve nem içeriklerine göre daha basittir. Kompostlaştırma işleminde, sıcaklığın belirli bir aralıkta aynı şekilde devam ediyor olması, sürecin sıkıntısız devam ettiğinin göstergesidir. Sıcaklıktaki ani değişimler, oksijen ve nem içeriğine müdahale edilmesi gerektiği anlamına gelir. Sıcaklığın istenilen seviyede tutulması, materyalin çevre şartlarından en az etkilenmesi sebebiyle kapalı ve kontrollü sistemlerde daha kolay sağlanmaktadır (Epstein 1997, Uygun 2012).

1.1.1.7 Süre

Kompostlaştırma işleminde temel hedef, en kısa zamanda en ideal değerlere sahip kompostu üretebilmektir. Bu durum üretim maliyeti açısından en önemli faktördür. Kapalı sistemlerde kompostlaştırma süresi kısalırken işletme giderleri artmakta, kontrolsüz koşullara sahip açık sistemlerde ise maliyet düşerken süre uzayabilmektedir (Uygun ve Dursun 2012). Yığın içerisindeki sıcaklık miktarı ile oksijen ve nem içerikleri, kompostlaştırmanın süresini doğrudan etkiler. Bu değerlerin istenilen aralıkta olmaması koşulunda, kompostlaştırma yavaşlamakta ve süreç uzamaktadır. Bazı uygulamalarda, kompost tarlaya uygulandıktan sonra olgunlaşma tamamlanabilmektedir. Kompostun nem içeriğinin sabit kalması istendiğinde kompostlaştırma süresi uzatılabilmektedir (Bayer 2008).

1.2 Kompostlaştırma Yöntemleri

Dünyada ve ülkemizde atıkların özelliklerine ve kompostun kullanılacağı alana göre kompostlaştırma işleminde farklı yöntemler ve teknolojilerden yararlanılmaktadır (Uygun 2012). Söz konusu üretim teknolojileri; organik atıkların faydaya dönüşümünde en aktif ve en hızlı yöntemi belirleyerek tarımsal uygulamalara katkı sağlanması ile ekosistem dengesinin sürekliliğinin sağlanması açısından büyük öneme sahiptir. Belirli bir işlem akışı ile elde edilen kompost, uygulandığı toprağın organik madde miktarını ve su tutma kapasitesini arttırmakta ayrıca tarlaların ıslahında aktif rol oynamaktadır (Kreith 1999, Haug 1993). Uygun yöntem belirlenerek elde edilen kaliteli bir kompost bitkilerin topraktaki besin maddelerini daha kolay kullanmasına katkı sağlamaktadır (Uygun 2012). Başlıca kompost üretim yöntemleri:

1. Pasif kompostlaştırma,
2. Karıştırmalı yığın kompostlaştırma,
3. Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma,
    - Pasif havalandırmalı tip,
    - Zorlamalı havalandırmalı tip,
4. Kapalı sistemlerde kompostlaştırma,
    - Depoda kompostlaştırma,
    - Tünel kompostlaştırma,
    - Kule tipi reaktörlerde kompostlaştırma,
    - Döner tambur tipi kompostlaştırma şeklinde sıralanmaktadır (Haug 1993, Öztürk ve Bildik 2005).

Kompost üretim yöntemleri yukarıda sıralandığı gibi olsa da günümüzde gerek teknolojik ve gerekse de ekonomik faktörlerin etkisi ile yukarıda sıralanan yöntemlerin bir arada kullanıldığı yöntemler de bulunmaktadır (Haug 1993).

1.2.1 Pasif kompostlaştırma

Pasif kompostlaştırma yönteminde, yığınların döndürülme sıklığı yok denecek kadar azdır. Yığına oksijen girişi pasif bir şekilde olmaktadır. Pasif kompostlaştırma yönteminde oluşturulan yığınların boyutları küçük ve yükseklikleri azdır (Şekil 1.3). Pasif kompostlaştırma, iş gücü ihtiyacı en düşük olan yöntemlerden birisidir. Pasif kompostlaştırmada, karıştırmalı yığın kompostlaştırma yöntemine göre döndürme ve çevirme daha azdır (Öztürk ve Bildik 2005). Yığındaki oksijen miktarı az olduğundan pasif kompostlaştırma 3-6 ay gibi uzun bir sürede gerçekleşmektedir. Bu nedenle koku sorunu fazladır (Külcü 2013).



Şekil 1.3 Pasif kompostlaştırma yığını (Uygun 2012)

1.2.2 Karıştırmalı yığın kompostlaştırma

Karıştırmalı yığın kompostlaştırma yönteminde, kompostlaştırma için uygun hale getirilen materyaller uzun yığınlar şekline getirilerek havalandırma amacıyla belirli aralıklarla çevrilerek karıştırılmaktadır (Diaz vd. 1993). Şekil 1.4'de karıştırmalı yığın kompostlaştırma yöntemindeki yığınlar gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Karıştırmalı yığın kompostlaştırma (Uygun 2012)

Bu yöntemde yığın yüksekliği; yoğun maddeler için 0.3 m, yaprak gibi kabarık maddeler için ise 3.6 m'dir. Yığın genişlikleri, karıştırmada kullanılacak olan makinaya bağlı olarak 3-6 m arasında değişir (Öztürk ve Bildik 2005). Kompost yığınlarının karıştırılma aralığı, teknik ve ekonomik imkanlara bağlı olmakla birlikte materyalin özellikleri ile de doğrudan ilgilidir. Genel olarak yapılan çalışmalarda karıştırma zaman aralığının 4-5 günde bir olmasının uygun olduğunu belirlenmiştir (Diaz vd. 1993, Külcü ve Yaldız 2005). Karıştırmada temel amaç, doğal havalandırma ile yığına oksijen sağlanmasının yanı sıra materyal boyutunu küçülterek kompostun homojen hale gelmesini sağlamaktır. Kompost yığınlarının beton zemin üzerinde olması tercih edilmekle birlikte bu durum, son yıllarda birçok ülkede yasal zorunluluk haline getirilmiştir. Yığınlar, traktör ile çekilir tip (Şekil 1.5) veya kendi yürür kompost karıştırma makinalarıyla (Şekil 1.6) karıştırılırlar.



Şekil 1.5 Çekilir tip kompost karıştırma makinası (Uygun 2012)



Şekil 1.6 Kendi yürür tip kompost karıştırma makinası (Anonymous 2007)

Traktörle çekilir tip kompost karıştırma makinaları, traktörün üç nokta askı sistemine takılarak kuyruk milinden hareket almaktadır. Kendi yürür tip kompost karıştırma makinaları ise kompostlaştırma için özel tasarlanmış makinalardır. Bu makinalar, traktör ile çekilir tip makinalara göre kapasiteleri daha yüksek olup kompostlaştırma işlemi daha başarılı şekilde gerçekleşmektedir. Ayrıca traktör ile çekilir tip karıştırma makinalarında, traktör dönme ve ilerleme aralığı bırakılmak zorunda olunduğundan aynı miktardaki materyalin kompostlaştırılması için gerekli beton zeminde birim alan maliyeti artmaktadır (Külcü ve Yaldız 2005).

Bu yöntemde, yığınlar pasif hava akımı ile havalandırıldığı için yığındaki oksijen miktarı materyalin porozitesine bağlıdır. Yığın sıralarının karıştırılması sayesinde yığın içerisindeki boşluk miktarı, sıcaklık derecesi ve nem içeriği uygun sınırlara gelmekte ve gazlar serbest bırakılmaktadır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Sıralı yığın döndürme işlemi (Uygun 2012)

Kompost karışımının yapısına ve çevirme sıklığına bağlı olarak kompostlaştırma süresi bu yöntemde 3-9 hafta arasında değişmektedir. Hayvansal materyal kompostlaştırılıyor ise bu süre 8 hafta olabilmektedir (Uygun 2012).

1.2.3 Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma

Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma yöntemi daha çok hayvansal kökenli materyallerin kompostlaştırılmasında tercih edilmektedir. Bu yönteminin pasif havalandırmalı ve zorlamalı havalandırmalı olmak üzere başlıca 2 tipi vardır.

1.2.3.1 Pasif havalandırmalı tip

Pasif havalandırmalı tip sıralı yığın kompostlaştırma yöntemi, küçük ve orta büyüklükteki işletmeler için uygun olup kurulumu ve yönetimi oldukça kolaydır (Yıldız vd. 2009). Bu yöntemde yığınların içerisine yatay konumda yerleştirilen delikli borularla yığına oksijen sağlanır (Şekil 1.8). Karışım ve yığınlar elde edildikten sonra materyal tekrar döndürülemediğinden işlem başlamadan önce iyice karıştırılması gerekmektedir (Öztürk ve Bildik 2005). Boruların uçları açıktır. Sıcak havanın yığının dışında yükselmesiyle birlikte oluşan baca etkisiyle hava, borulara ve sıralı yığına doğru hareket eder (Uygun 2012). Materyal karıştırılmadan kompostlaştırma işlemi bitene kadar biyolojik ayrışmanın tamamlanması beklenir.

Özellikle ısınma olasılığı yüksek olan hayvansal gübrelerin kompostlaştırılmasında materyalin yeterli ısı salınımını ve hava değişimini sağlamak amacıyla sıralı yığın yüksekliğinin 1 m'den fazla olmaması gerekmektedir. Yüksekliği düşük tutmak, yığının sıcaklığının fazla yükselmesini önlemektedir (Yıldız vd. 2009). Ortamdaki nemin emilebilmesi için yığını oluşturan materyalin saman veya bitmiş kompostun üzerine serilmesi gerekir. Ayrıca bitmiş kompostun örtü malzemesi olarak kullanılması sayesinde sinekler önlenir, nem ve koku tutulur.



Şekil 1.8 Pasif havalandırmalı yöntemle kompostlaştırma (Stofella ve Kahn 2001)

Kompostlaştırma işlemi bittiğinde yığın içerisindeki borular çıkarılır ve yığın tekrar karıştırılır (Öztürk ve Bildik 2005). Pasif havalandırmalı tip kompostlaştırma yönteminin en önemli sorunu; fermantasyon esnasında kontrollü bir ortam olmadığından yığın çok fazla ısınır veya özellikle yağış alması durumunda sıkışma meydana gelirse anaerobik ortam oluşur ve koku problemi ortaya çıkabilir (Yıldız vd. 2009). Kompostlaştırma işlemi materyale göre değişmekle birlikte, karışımda hayvan gübresi kullanılıyor ise yaklaşık olarak 3 ayda tamamlanmaktadır (Öztürk ve Bildik 2005, Uygun 2012).

1.2.3.2 Zorlamalı havalandırmalı tip

Bu yöntemde, basınçlı havalandırma sayesinde kompostlaştırma süresi ve kompostta oluşan koku azalmaktadır (Stofella ve Kahn 2001). Zorlamalı havalandırmalı tip kompostlaştırma yönteminde, yığınının altına uygun aralıklarla delikli borular yerleştirilir (Şekil 1.9). Daha sonra bitki sap samanı gibi gözenek miktarı fazla organik maddeler bu boruların üzerine serilir. Oluşturulan gözenekli taban sayesinde mikroorganizmalar için gerekli oksijen yığın içerisine homojen bir şekilde dağılabilir. Delikli boruların bir ucu hava hattına bağlanırken diğer ucu kapatılır. Sıcaklığın ve oksijenin istenilen aralıkta olması için yığına hava verilir. Sıcaklığın 55-65 °C arasında olması istenir. Havalandırma fanlarının, sürekli çalışma ve aralıklarla çalışma gibi farklı kontrol yöntemleri vardır. Sürekli hava sağlanması yığın sıcaklığının her noktada aynı veya yakın değerlerde olmasının önüne geçer. Yığın içerisinde soğuk bölgeler oluşur ve kompostlaştırma için istenilen sıcaklık değerlerine ulaşılması imkansızlaşır. Belirli aralıklarla fanların çalışması işleminde ise kontrol mekanizması olarak ya bir kronometre ya da sıcaklık

sensörü kullanılır. Fanlar durduğu zaman yığın içerisindeki farklı noktaların sıcaklık farklılıkları eşitlenir ya da birbirine yakın değerlere ulaşır. Kronometre yardımıyla fanları kontrol etmek hem maliyeti ucuz hem de basit sistemlerdir. Burada uygun sıcaklığı sağlayabilmek neredeyse imkansızdır. Yığının sadece oksijen ihtiyacını azaltmaktadır. Kontrol edilemeyen düşük veya yüksek sıcaklıklar mikrobiyal aktiviteyi yavaşlatır ve kompostlaştırma süreci uzar. Sıcaklık sensörleri yardımıyla kontrol edilen sistemlerde havalandırma sıcaklığa göre yapılabildiğinden uygun koşulların sağlanması daha kolay olmaktadır. Bu sistemlerde sıcaklık ile birlikte hava kontrolü de sağlanmış olur. Aktif kompostlaştırma işlemi, materyale göre değişmekle birlikte havalandırma verimli ve yığındaki oksijen miktarı yeterli ise yaklaşık olarak bir ay içerisinde tamamlanır (Öztürk 2017). Daha sonra olgunlaşma için 2 ay daha süreye ihtiyaç duyulabilmektedir (Anonim 2005).



Şekil 1.9 Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma (Stofella and Kahn 2001)

Pasif havalandırmalı yöntemde olduğu gibi bu yöntemde de borular yerleştirildikten sonra materyal karıştırılamayacağından kompostlaştırma başlatılmadan önce karışım homojen şekilde yapılmaya çalışılmalıdır. Oluşturulan karışıma basınçlı hava sağlandığından yığın yüksekliği pasif havalandırmalı yöntemden daha fazla olmakla birlikte 2-3 m arasında olması önerilir. Bu değer, başlangıç materyalinin özelliklerine göre değişiklik gösterir (Stofella and Kahn 2001, Öztürk 2017). Yığın yüksekliğinin fazla olması, özellikle soğuk iklim koşullarında materyal sıcaklığının korunması açısından oldukça önemlidir. Gerekli durumlarda yine sıcaklık muhafazası için yığınların üzeri bitmiş kompost vb. materyallerle kapatılabilir. Böylelikle ısı kayıpları önlenirken, yığında oluşan kötü kokunun oluşması da engellenmiş olur (Öztürk 2017).

1.2.4 Kapalı sistemlerde kompostlaştırma

Kapalı sistemlerde kompostlaştırma yönteminde, hammadde ve çevresel şartlar kapalı ortamlarda kontrol altına alınmaya çalışılır. Yöntemin enerji maaliyeti yüksek olduğundan, üretim ticari amaçla gerçekleştirilir. Kapalı sistemlerde kompostlaştırma yönteminin depoda kompostlaştırma, tünel kompostlaştırma, kule tipi reaktörlerde kompostlaştırma ve döner tambur tipi kompostlaştırma olmak üzere 4 farklı tipi vardır (Uygun 2012). Bu sistemlerin yönetimi, kontrollü şartlar oluşturulabildiği için diğer kompostlaştırma yöntemlerine göre daha kolaydır ve bu sistemler en yüksek teknolojiye sahiptir (Uygun 2012, Öztürk 2017).

1.2.4.1 Depoda kompostlaştırma

Depoda kompostlaştırma yöntemi, genellikle mantar kompostu üreten işletmelerde tercih edilir. Bununla birlikte evsel atıkların işlendiği tesislerde de bu yöntemden yararlanılmaktadır (Uygun 2012). Kompostlaştırılacak materyaller kapalı bir ortamda işleme alınırlar. Yapının tabanından yığına oksijen verilerek yığınlar seyrek aralıklarla çevrilir (Şekil 1.10). Diğer kompostlaştırma yöntemleri ile karşılaştırıldığında nemin ve sıcaklığın kontrol edilmesi en önemli üstünlüğüdür. Bundan dolayı gerek dünyada gerekse ülkemizde birçok işletme tarafından tercih edilir (Uygun ve Dursun 2012).



Şekil 1.10 Depoda kompostlaştırma yöntemi (Uygun 2012)

Depoda kompostlaştırma yöntemi, havalandırmalı statik yığın yöntemi ile benzer prensipte çalışır. Ana hatları ile aynı kurallar ve işlemler geçerlidir. Fakat deponun yüksekliği ve materyal yoğunluğu fazla olduğundan daha yüksek basınçta çalışan fanlar gereklidir. Depo içerisine konulan materyal birkaç defa döndürülür ise kompostlaştırma süresi kısalır. Bu döndürme işlemi eğer birden fazla depo varsa birbirine aktarma şeklinde de yapılabilir (Uygun 2012, Öztürk 2017, Özkan 2019).

1.2.4.2 Tünel kompostlaştırma

Tünel kompostlaştırma yöntemi, en fazla tercih edilen yöntemlerin başında gelir. Şekil 1.11'de görüldüğü gibi bu yöntemde, materyal sıklıkla elle veya otomatik olarak döndürülebilmektedir (Bayer 2008).



Şekil 1.11 Tünel kompostlaştırma sistemi (Uygun 2012)

Bu yöntemde kompostlaştırılacak hammaddeler, kenarları duvar şeklinde uzun, dar ve yatay bir kanal içerisinde kontrol edilerek işlenirler. Kanalın üzerinde hareket eden bir karıştırıcı, materyali karıştırarak ilerler. Hammadde, kanalın ön ucundan yüklenirken bitmiş kompost ise diğer taraftan alınır. Karıştırmaya bağlı olarak kompostlaştırılan materyal, her bir döndürme ile 4 m'ye kadar ileriye doğru iletilir. Bu yöntemde, kompostlaştırma süresi birçok tesiste 28 gündür (Stofella and Kahn 2001, Uygun ve Dursun 2012). Kontrollü havalandırma ve döndürme işlemiyle doğal havalandırmanın bir arada kullanıldığı bu yöntemde daha hızlı ayrışma ve daha yüksek kompost kalitesi elde edilmektedir (Tan 2021). Fakat işletme maliyetlerinden ötürü birçok tesiste havalandırma

sistemi kullanılamamaktadır. Bu durum da kompostlaştırma işlemini uzatabilmektedir (Uygun 2012, Öztürk 2017).

1.2.4.3 Kule tipi reaktörlerde kompostlaştırma

Bu yöntemde, içerisinde ham maddelerin yukarıdan aşağı doğru hareket ettiği, birden fazla sayıda, düşey olarak konumlandırılmış reaktörlerden yararlanılır (Şekil 1.12). Bir boşaltma mekanizması aracılığıyla kompostun bir kısmının kulenin altından boşaltılmasıyla materyal yer değiştirmeye başlar. Üstteki materyaller aşağı doğru hareket ederler. Daha sonra yeni hammadde karışımı, kulenin üst kısmında boşalan yere doldurulur. Ancak kulenin içindeki materyaller hareket etse de tam olarak karışmazlar. Bu nedenle hammadde karışımı, yükleme yapılmadan önce iyice karıştırılmalıdır. Karışım özelliklerine bağlı olarak materyaller, sistemde 30 güne kadar kalırlar. Bir reaktörden çıkan materyal ikince reaktöre aktarılır (Stofella and Kahn 2001). Bu yöntemde; fermantasyon alanı ve yüksek basınçlı hava besleme ünitesinin yanı sıra hidrolik güç, koku giderme, besleme-boşaltma ve otomatik kontrol sistemleri bulunmaktadır. Kontrol sistemi sayesinde besleme, fermantasyon, sıcaklık, nem kontrolü ve boşaltma işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilir (Tan 2021).



Şekil 1.12 Kule tipi reaktörlerde kompostlaştırma (Uygun 2012)

1.2.4.4 Döner tambur tipi kompostlaştırma

Şekil 1.13'de görüldüğü gibi bu yöntemde, kompostlaştırma işlemi tamamıyla kapalı olan bir döner tambur içerisinde gerçekleşir. Döner tambur, hafif bir eğime sahiptir. Tambur, devamlı ya da aralıklı olarak düşük bir hızla döner. Sıcaklık, nem ve oksijen miktarı kontrol altından tutulur.



Şekil 1.13 Döner tambur tipi kompost reaktörü (Uygun 2012)

Döner tambur tipi kompostlaştırma yönteminde, tamburun bir tarafından hammaddelerin yüklenmesi diğer tarafından ise kompostun çıkışı sağlanır. Materyale oksijen verilmesi ve oluşan gazların sistemden uzaklaştırılması için basınçlı havalandırma yönteminden yararlanılır (Bayer 2008). Tambur içerisindeki kompostlaştırma işlemi çok hızlı bir şekilde başlar ve tamamlanır (Tan 2021). Genellikle işlem parametreleri bilgisayar ile takip edildiğinden istenilen hedeflere ulaşılabildiğinden başarılı bir kompostlaştırma gerçekleştirilmektedir (Külcü ve Yaldız 2005).

Genel itibariyle kompostlaştırma yöntemlerinden açık ve kontrolsüz şartlarda üretilen kompost doğal şartlarda gerçekleştiğinden süreç uzun olmaktadır. Kapalı ve kontrollü şartlarda gerçekleşen kompostlaştırma ise iklim koşullarına çok fazla bağlı olmadığından kısa sürede gerçekleşmektedir. Fakat fazla enerji ihtiyacı olduğundan kuruluş maliyetleri ve bakım giderleri yüksek olmaktadır. Kompostlaştırma işlemi; aktif kompostlaştırma ve

olgunlaştırma olmak üzere iki temel biyolojik aşamadan oluşmaktadır. Ülkemizde havalandırmalı kompostlaştırma yöntemlerinde ihtiyaç duyulan makina ve ekipmanları üreten işletmelerin yetersiz sayıda olmasından dolayı kompost üretiminde teknolojik ilerlemede zorluklar yaşanmaktadır (Uygun 2012, Külcü 2013). Bu çalışmada; tavuk dışkısı ve bitkisel sap/saman karışımından kompost yapılması için havalandırmalı statik yığın (HSY) + tünel kompostlaştırma (TK) yönteminden oluşan iki aşamalı kompostlaştırma yönteminin (HSY + TK) geliştirilmesi, geliştirilen yöntemin havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma (HSY) ve tünel kompostlaştırma (TK) yöntemleriyle iş gücü ihtiyacı, enerji tüketimi, ortam koşulları, kimyasal parametreler ve kompost kalite kriterleri gibi çeşitli yönlerden karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

Vuorinen ve Saharinen (1997) tarafından arpa samanı ile süt sığırı gübresi karışımının 4 seri halinde tamburda kompostlaştırma işlemine tabi tutulduğu açıklanmıştır. Kompostlaştırma sırasında kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerin ölçüldüğü belirtilmiştir. Çalışmada, Fekal streptokokin ve Fekal koliformun elemine edilmesiyle belirlenen hijyenleştirme işleminin kompostlaştırma sürecinin ilk 1 haftasında gerçekleştirildiği bulunmuştur. C/N oranının, kompostlaştırma süresince 22.6 - 28.5'den 12.7 - 13.6 düzeylerine kadar gerilediği tespit edilmiştir. Aktif kompostlaştırmanın ilk 1. haftasında başlangıçtaki toplam karbon miktarının % 11 – 27'lik kısmı azalmışken, bütün kompostlaştırma süresince bu değerin % 63 - 66 kadar azaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak toplam azotun % 13 - 23 ile % 23 - 37 düzeyinde azaldığı bulunmuştur.

Wei vd. (2000) tarafından Çin Halk Cumhuriyeti'nde evsel katı atıklar ile arıtma çamurundan elde edilen kompostun sektörel durumunun ele alındığı belirtilmiştir. Elde edilen verilere göre kompostlaştırmanın ülkede son yıllarda giderek artmakta olduğu bulunmuştur. Çin Halk Cumhuriyeti'nde mevcut durumda ev kaynaklı katı atıkların 1/5'inin komposta işlenerek değerlendirildiği açılanmıştır. Ancak kompostlaştırma teknolojisinin geliştirilmesi için konunun devlet tarafından desteklenmesi ve aynı zamanda toplum bilincini arttırıcı yönde faaliyetlerin yapılması gerektiği bildirilmiştir.

Eiland vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, saman da uzun dönemli kompostlaştırma işleminin başlangıçtaki C/N oranı ile mikrobiyal ve kimyasal bileşenler üzerine olan etkileri incelenmiştir. Parçalanmış samanın domuz sıvı gübresi ile çeşitli oranlarda karıştırılması ile farklı C/N oranları (11, 35, 47, 50 ve 54) elde edilmiştir. Parçalanan samana farklı oranlarda sıvı domuz gübresinin katılması koşulunda C/N oranlarının sırasıyla 11, 35, 47 ve 54 olduğu bulunmuştur. 12 ay sürdürülen kompostlaştırma işlemi yapılırken araştırıcılar alt ve üst yüzeyleri açık bırakarak pasif havalandırmaya maruz bırakırken geri kalan yüzeyler için ısı yalıtımı sağlanan 800 L'lik kasalar kullanılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen, düşük C/N oranları kompostlaştırmanın ilk 3 aylık dönem sonunda liflerin hızlıca ayrışmasına yol açtığı (selüloz % 40-60 ile hemiselüloz % 50-80)

yüksek olan C/N oranlarının da hem selüloz hem de hemiselülozun % 10-20 oranında ayrıştığı sonucuna ulaşılmıştır.

Slater ve Frederickson (2001) tarafından yapılan araştırmada, Birleşik Krallık ile bazı Avrupa ülkelerindeki kompost endüstrisinin durumu anketler aracılığıyla belirlenerek karşılaştırılmıştır. Üretilen kompostun %92'lik kısmının küçük ölçekli ve az gelişmiş teknolojiye sahip tesislerden sağlandığını bulunmuştur. Bu tesislerde, budama artıkları ile bahçe atıklarının da hammadde olarak değerlendirildiği bildirilmiştir. Çalışma sonucunda, Birleşik Krallığın kompost endüstrisindeki gelişmenin kritik bir düzeyde bulunduğu ve kompost mekanizasyon düzeyinin arttırılmasına ciddi bir ihtiyaç duyulduğu kanısına ulaşılmıştır.

Tiquia ve Tam (2001) tarafından ağaç rendesi talaşı, tavuk dışkısı, besi artıkları ve tüy karışımlarının havalandırmalı statik yığın yöntemiyle kompostlaştırılma olanakları araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, tavuk gübresinin P, K, Zn, Cu ve NOx-N içeriklerinin arttığı; C, OM, mikroorganizma aktivitesi ve suda çözünebilir bileşiklerin (Zn, Cu, NH_4-N) içeriklerinin ise azaldığı gözlenmiştir. Yığın sıcaklığının ortam sıcaklığına erişmesinin kompostlaştırma işleminin 128. gününde meydana geldiği bildirilmiştir. Başlangıçtaki N miktarının %58'inin kompostlaştırma sürecinde kaybedildiği açıklanmıştır. Bu durumun tavuk dışkısından yapılan kompostun kalitesinde azalmaya yol açtığı belirtilmiştir. Buna karşılık elde edilen kompostun, kompostlaştırma işlemine tabi tutulmayan tavuk dışkısıyla harmanlandığında OM içeriğinin arttığı bulunmuştur. Ayrıca kompostlaştırma sayesinde çözünebilir besin elementlerinin daha stabil organik forma dönüştükleri bulunmuştur.

Wong vd. (2001), yaptıkları çalışmalarında soya fasulyesi yaprakları ile artıklarının kompostlaştırılması ve kompostun karıştırma sıklığının nihai ürün olan kompostun kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada; soya fasulyesi küspesi, yaprakları ve talaş, yaş ağırlık olarak 1:1:3 miktarında karıştırılarak C/N oranı yaklaşık olarak 30 olan bir karışım elde edilmiştir. Hacimleri yaklaşık olarak 4 m^3 olan 3 yığından; ilki her gün karıştırılmış, ikincisi üç günde bir ve üçüncüsü ise haftada bir kez olmak

üzere karıştırılmıştır. Araştırma sonucunda; söz konusu 3 karıştırma sıklığının kompostlaştırma işlemi sürecinde pH değerlerini etkilemediği bulunmuştur. Ancak karıştırma sıklığının artması, elektriksel iletkenliğin düşmesine ve termofilik fazın kısalmasına neden olmuştur. C ayrışmasının en yüksek %4'e ulaştığı ve bunun da 3 günlük karıştırma sıklığı koşulundan elde edildiği bulunmuştur. Farklı karıştırma sıklığına tabi tutulan bütün uygulamalarda, suda çözünebilir organik karbon, C/N oranı ile çimlenme indeksiyle tespit edilen olgunluk düzeyine 63. günde ulaşıldığı bildirilmiştir. Araştırma sonucunda, sabit ve değişken işletme giderleri göz önüne alındığında en ideal karıştırma sıklığının 3 gün olduğunu belirtilmiştir.

Mbuligwe vd. (2002) tarafından gelişmekte olan ülkelerde kompostlaştırma teknolojisinin etkilerini ve yaygınlaştırılmasını incelemek amacıyla Tanzanya' da pilot ölçekli bir kompostlaştırma tesisinin kurulduğu açıklanmıştır. Bu pilot tesiste, hammadde olarak mutfak atıkları kullanılmıştır. Başlangıçtaki C/N oranının 37-43 arasında değiştiği, son ürün olan kompostun C/N oranının ise 6-21 arasında değiştiği belirtilmiştir. Kompostlaştırma işlemi sonucunda meydana gelen son üründe hacimsel olarak % 50-70 arasında azalma olduğu kaydedilmiştir. Üretilen kompostun tarım topraklarında kullanılması sonucunda, sebze türlerinin bazılarında % 35'lere ulaşan verim artışları elde edilmiştir.

Sasaki vd. (2003), yaptıkları araştırmalarında kompostlaştırmada atık yağların kullanılmasına bağlı olarak kompostun pH ve C/N oranlarındaki değişimlerini incelemişlerdir. Soya fasulyesi yağı ve talaş materyal olarak kullanılmıştır. Kompostlaştırma işlemi süresince pH kontrolü için farklı kimyasallardan yararlanılmıştır. Sonuç olarak yağların ayrışması sırasında pH kontrolünün yapılmadığı durumlarda pH seviyesinin 2'ye kadar düştüğü ve yağ ayrışmasının durduğu belirlenmiştir. Bu durumun önlenmesi amacıyla kompostun pH'nın yapılan kontrollerle çeşitli ilave maddeler katılarak 7 düzeyinde tutulmasının zorunlu olduğu açıklanmıştır. Başlangıçtaki yağ içeriğine göre %83.5'e kadar ayrışma oranına ulaşıldığı gözlenmiştir. Yağların ayrışmasında en ideal C/N oranının 10-40 arasında değiştiği bulunmuştur.

Cooperband'e göre (2004) organik atıkların bitkisel üretimde toprak düzenleyicisi olarak kullanılmaları, atıkların değerlendirilmesinde oldukça önemlidir.

Toruk ve Ülger (2004), yapmış oldukları çalışmada kompostlaştırma işleminde tavuk gübresini değerlendirmişlerdir. Tavuk gübresi nem miktarının santrifüjlü kurutucu kullanarak %20-25'e kadar düşebileceğini belirleyen araştırmacılar, kurutma işleminden sonra nem miktarının daha kolay düştüğünü ve gübre içerisindeki besin içeriklerinin korunduğunu tespit etmişlerdir. Kompostlaştırma esnasında materyal içerisindeki ham protein değerinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmada en etkili atık yönetim uygulaması olan kompostlaştırma işleminin sadece büyük işletmelerde değil, aynı zamanda küçük çiftlikler için de kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Bayer (2008) tarafından yapılan araştırmada, İstanbul'da günlük ortalama 14000 t civarında açığa çıkan evsel katı atığın karışık olarak ve sadece organik kısımlarının kompostlaştırılmasının karşılaştırıldığı açıklanmıştır. Çalışma sonucunda, katı atıkların ayrı ayrı toplanmalarının ve bu şekildeki kompostlaştırma işleminin karışık haldeki kompostlaştırmaya göre harcanan zaman, işçilik ve maliyet yönünden daha üstün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Petric vd. (2009) tarafından Bosna'da yapılan bir araştırmada, kanatlı gübresi ve buğday samanı karışımı ile kompost üretiminde başlangıç nem içeriğinin; sıcaklık, karbondioksit ve amonyak emisyonu ile organik madde içeriğine etkisi araştırılmıştır. Laboratuvar ölçekli kapalı reaktörlerde adyabatik koşullar altında üç deney gerçekleştirilmiştir. Kanatlı gübresi ve buğday samanı karışımında, başlangıç nem içeriğinin aerobik kompostlaşma süreci üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, kanatlı gübresinin buğday samanı ile kompostlaşması için nispeten yüksek nem içeriğinin daha yüksek sıcaklıklara ulaşmada daha iyi olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, buğday samanı ile karıştırılmış kanatlı gübresinin verimli bir şekilde kompostlaştırılması için yaklaşık %69'luk bir başlangıç neminin uygun olarak kabul edilebileceğini göstermektedir.

Tanuğur (2009) çalışmasında, kümes atıklarına değişik katkı malzemeleri eklenmesiyle kompostlaştırlması konusu üzerinde durmuştur. Tavuk atıklarının nem içeriklerini ayarlamak ve bitki besin maddelerinde oluşacak kaybı en düşük düzeye indirmek için tavuk atıkları; pomza, sepiyolit, klinoptilolit ve manyezit mineralleri ile belirli miktarlarda karıştırılarak bu durumunn işletme parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kompostlaştırmada, hacmi 200 L olan 4 reaktörden yararlanılmıştır. Araştırmada; OM, nem içeriği, sıcaklık, pH, N ve P gibi parametrelerin değişimleri izlenmiştir. Tavuk atıklarının kullanılan katkı veya gözenek materyalleriyle birlikte kompostlaştırılma olanağı ve üretilen kompostun tarımda ağır metal ve patojen mikroorganizma baskısı yönünden sorunsuz bir şekilde kullanılabilmesi araştırılmıştır. Sonuç olarak üretilen kompostun standart sınırlar içerisinde olduğu, katı ve gözenekli malzemelerin tavuk gübresi ile karıştırılması halinde kompostlaştırmanın daha etkin olduğu ve çevreye olan zararın bertaraf edildiği kanaatine varılmıştır.

Vandecasteele vd. (2014) tarafından yapılan araştırmada tavuk gübresine diğer hammaddelerin (buğday samanı, çim samanı, çim parçaları, kavak kabuğu, odun talaşı) ilavesiyle kompostlaştırılmasının, tavuk gübresinin tek başına kompostlaştırılmasından daha yüksek kalitede kompost ürettiğini bulmuşlardır.

Külcü ve Çaylak (2014) tarafından yapılan araştırmada, kompostlaştırmada havalandırma oranı ile sıcaklık arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Araştırmada, tavuk gübresi ile samanın optimum karışım oranının belirlenmesi de amaçlanmıştır. Laboratuvar koşullarında yapılan denemeler sonucunda, tavuk gübresi ve saman karışımı için en elverişli karışım oranının %15 saman ve %85 tavuk gübresinden oluştuğu bulunmuştur. Havalandırma oranı (y) ve sıcaklık (x) arasındaki ilişki, y = 0.075 x 2.1667 eşitliği ile ortaya konulmuştur.

Wong vd. (2016a), kompostlaştırma işleminde önemli role sahip bazı parametrelerin azot kaybına neden olduğunu belirlemişlerdir. Azot kaybının azaltılması için alınan tedbirler, mikroorganizmaların faaliyetlerini yavaşlattığını ve bu durumun da kompostlaştırma süresini uzattığını tespit etmişlerdir. Azot kaybının önüne geçilmesi için çok fazla

seçeneğin olmadığını vurgulayan araştırmacılar, düşük fermantasyon durumu oluştuğunda istenmeyen patojenlerin yok olmadığına dikkat çekmişlerdir.

Zhang ve Sun (2016b, 2016c) tarafından yapılan iki araştırmada da kompost ph aralığının 7.5-8.5 aralığında olması kompost içerisindeki mikrobiyal gelişimi desteklediği ve organik maddelerin ayrışmasını kolaylaştırdığı sonucu ortaya koyulmuştur.

Onwosi vd. (2017) tarafından Nijerya'da yapılan bir araştırmada, kompostlaştırma teknolojisinin, şehir atıklarının değerlendirilmesinde son derece önemli hale geldiği belirtilmiştir. Birbirinden farklı kompostlaştırma yöntemlerinin incelendiği bu araştırmada sıcaklık, pH, C/N oranı gibi ana faktörlerin yanı sıra nem ve parçacık boyutunun da kompostlaştırma sürecinde önemli bir etken olduğu belirtilmiştir.

Kaçar (2018) tarafından elma meyvesinin işlenme (ön eleme-ayırma) katı atıklarının (EİKA), sığır gübresi (SG), tavuk gübresi (TG) ve saman ile karıştırılmasıyla farklı sıcaklık derecelerinde kompostlaştırılmasının kompostlama performans parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kompostun başlangıç karışımında; % 44.17 EİKA, % 36.42 SG, % 10.18 TG ve % 9.23 saman oluşan karışım kullanılmıştır. Denemeler, 100 L kapasiteli otomatik kontrollü reaktörlerde Rutgers havalandırma stratejisine göre yapılmıştır. Kompostlama performans parametrelerinden olan ayrışma hızı, kompostlama kayıpları (kuru madde kaybı, organik madde kaybı ve C kaybı), elektrik enerjisi tüketimi ile bazı olgunlaşma parametrelerinin (çimlenme indeksi, deneme sonundaki NH_4/NO_3 ile C/N oranları) değişimleri incelenmiştir. Optimum kompostlama sıcaklık aralığı, bu parametrelere göre bulunmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak kompostlaştırma sırasında, sıcaklık yükseldikçe havalandırma kaynaklı enerji tüketim değerlerinin azalan üstel fonksiyona bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir.

Hwang vd. (2020) tarafından Kore'de yürütülen bir çalışmada, tavuk gübresini; büyükbaş hayvan gübresi, domuz gübresi, bitki artıkları ve mantar torfu ile karışım oluşturarak kompostlaştırma işlemi başlatmıştır. Sera gazı ve amonyak emisyonları, kompost kalitesi, olgunlaşma süreci ve bu değerlerin birbirleri ile korelasyonları incelenmiştir. Bu

çalışmanın sonucunda tek başına tavuk gübresinin veya büyükbaş hayvan gübresiyle karışımlarının, kompost kalitesini iyileştirdiği, tavuk gübresinin kompostlaştırma sırasında gaz kayıplarını en aza indirmek için etkili bir strateji olabileceğini göstermişlerdir.

Suhartini vd. (2020) tarafından Endonezya'da yürütülen bir çalışmada, tavuk gübresinin biyogübre için değerlendirilme potansiyeli araştırılmıştır. Ayrıca tavuk gübresinin ve büyükbaş hayvan gübresinin şeker kamışı ile birlikte kompostlaştırılmasının, kompost kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucu işlenmemiş gübreden kaynaklanan kirlilik sorunlarıyla mücadele için, tavuk gübresi veya büyükbaş hayvan gübresinin şeker kamışı ile veya şeker kamışı olmadan kompostlaştırılması alternatif bir yol olabileceğini göstermektedir.

Balanda vd. (2022) tarafından Polonya'da yapılan bir araştırmada; tavuk gübresinde mikroorganizmaların hızlı gelişimi için kontrollü koşullar oluşturarak mümkün olan en yüksek humik asit içeriğine sahip gübreyi etkili bir şekilde elde etmeyi sağlayan kompost odaları yapılmıştır. Kompostlaştırma işlemi için oluşturulan bu odaların içine; otomatik karıştırma ve havalandırma sistemi yerleştirilmiştir. Başlangıç materyali kompostlaştırma sürecinden önce parçalanmış daha sonra ağırlığı tespit edilmiş ve kompost odasına konulmuştur. Kompostlaştırma işlemi sırasında karıştırma günde iki kez gerçekleştirilmiştir. Kompostlaştırma odası %55-60 nem seviyesinde, oksijen konsantrasyonu ise yaklaşık %10-20 arasında değişiklik göstermiştir. Sıcaklık ölçümünün 24 saat yapıldığı araştırmada kompostlaştırma sürecini hızlandıran doğal bir preparat kullanmışlardır. Bu preparatın kullanılmasının kompostlaştırma işlemi sırasında, aerobik mikroorganizmaların kolay ve hızlı bir şekilde gelişmesini sağladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca bu mikroorganizmaların kontrollü büyümesinin optimum sıcaklık, nem ve oksijen sürecinin seyrine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Ghasemzadeh vd. (2022) tarafından İran'da yapılan bir araştırmada, çeltik bitkisi atıkları ile 3 farklı materyalden oluşan çeşitli karışımlardan kompost elde edildiği bildirilmiştir. Araştırmada; ÇK (kontrol, sadece çeltik kavuzu), ÇK + tavuk gübresi (T1), ÇK + tavuk gübresi + mikrobiyal karışım (T2) ve K + tavuk gübresi + şarap atığı (T3) ve ÇK + şarap

atığı + mikrobiyal karışımları (T4) ele alınmıştır. Kompostun elde edildiği karışımların başlangıçtaki EC (elektriksel iletkenlik) değerlerinin 2.3-2.55 ms cm^{-1} aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kompostlaştırma sonucunda ÇK + tavuk gübresi + mikrobiyal karışımındaki düşük EC değerinin iyi tarım uygulamaları için oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Kompostlaştırma sürecinin başlangıcında yaklaşık olarak 6.4 olan pH değerinin kompostun ısısının yükselmesiyle birlikte 7.00-7.20'ye kadar yükseldiği bulunmuştur. C/N oranı yönünden ÇK (kontrol) ile diğer uygulamalar karşılaştırıldığında, bu oranın diğer tüm kompost uygulamalarında düştüğü belirlenmiştir. Kompostta yüksek C/N oranlarının ayrışmamış organik materyallerin varlığında ortaya çıktığı, düşük C/N oranının ise biokütlenin tamamı ile ayrıştığında oluştuğu açıklanmıştır.

Özbek ve Uçaroğlu (2022) tarafından yapılan araştırmada büyükbaş hayvan gübresi (BHG), at gübresi (AG) ve tavuk gübresinin (TG) kompostlaştırılabilirliğini araştırılmıştır. Araştırmada katkı maddesi olarak ayçiçeği sapı (AS) kullanılmış ve üç farklı reaktör ile (G1, G2, G3) çalıştırılmıştır. Tüm reaktörlere %80 hayvan gübresi ile %20 AS eklenmiştir. G1 reaktörüne büyükbaş hayvan gübresi, G2 reaktörüne at gübresi ve G3 reaktörüne ise tavuk gübresi ilave edilmiştir. Bu süreç 21 gün boyunca devam etmiş olup sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, organik madde, nem, C/N oranı, Toplam Kjeldahl Azotu ve Toplam Fosfor parametreleri takip edilmiştir. G1, G2 ve G3 reaktörlerinde bu süreç boyunca en yüksek sıcaklıklar sırasıyla 58.7 ˚C, 44.6 ˚C ve 54 ˚C olarak gözlemlenmiştir. G1 reaktöründe, diğer reaktörlere göre en yüksek C/N oranı azalması (%42.4), en fazla OM kaybı (%57) gerçekleşerek en yüksek sıcaklığa (58.7 ˚C) ulaşılmıştır. G1 reaktörü en yüksek mineralizasyonu gerçekleştirerek diğerleri arasında en verimli reaktör olmuştur. Farklı yapılara sahip hayvan gübrelerinin kompost yapımlarının incelendiği bu araştırmada, en yüksek verimlilik büyükbaş hayvan gübresi ile çalıştırılan G1 reaktöründe görülürken, onu tavuk gübresinin kullanıldığı G3 reaktörünün takip ettiği, en düşük verimin ise at gübresinin kullanıldığı G2 rektöründe elde edildiği ortaya konulmuştur.

Genetu (2024) çalışmasında; kompostlaştırmayı etkileyen faktörlerden sıcaklık aralığının 55 - 65 ^{0}C arasında, C/N oranının 25 - 30 arasında, nem içeriğinin % 50 - 60 düzeyinde, ortalama partikül çapının 0.3 - 5 cm aralığında, kompostlaşma zamanının 10 - 14 hafta

aralığında, pH'ın kompostlaşma başlangıcında 4.5 - 5 aralığında iken olgunlaşma tamamlandığında 7.5 - 8.5 aralığında olduğunu ve organik bileşiklerin hızla bozularak kompostlaşma işleminin gerçekleşmesi için havalandırmanın önemli olduğunu belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada; tavuk dışkısı ve bitkisel sap-saman karışımından kompost yapılması için havalandırmalı statik yığın ile tünel kompostlaştırma yönteminden oluşan iki aşamalı kompostlaştırma yönteminin geliştirilmesi, geliştirilen yöntemin havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma ve tünel kompostlaştırma yöntemleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

3.1.1 Araştırma alanının özellikleri

Bu Doktora Tezinin denemeleri; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne bağlı İkizce Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde yapılmıştır. İkizce Araştırma ve Uygulama Çiftliği, Ankara ilinin Gölbaşı ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Aynı kampüs içerisinde Tavukçuluk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü de bulunmaktadır. Şekil 3.1'de, Gölbaşı-Haymana yolunun 25. km'si üzerinde yer alan çiftliğin GoogleEarth uydu görüntüsü gösterilmiştir. Deneme alanı, 39°36′25″ kuzey enlemi ve 32°39′40″ doğu boylamı koordinatlarında ve rakımı 1082 m'dir. Bölgede İç Anadolu Bölgesi'nin karakteristik iklim özelliklerini yansıtan karasal iklim özelliği hüküm sürmektedir.

Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, tarla bitkileri alanında ülkemiz tarımının ve üreticilerinin ihtiyacını karşılayacak moleküler biyoteknoloji ve konvansiyonel ıslah yöntemleri kullanarak yeni çeşit geliştirmekte, geliştirilen çeşitlerin tohumluklarını üretmekte ve uygulamalı yetiştirme tekniği projelerini yürütmektedir. Tavukçuluk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü ise tavukçuluk sektöründe ihtiyaç duyulan yüksek verimli ebeveyn genotiplerinin geliştirilmesini sağlamak amacıyla ve ıslah yöntemleri ile kanatlı besleme konularında araştırmalar yürütmektedir. Her iki enstitüde de araştırma ve üretim faaliyetleri neticesinde atıklar meydana gelmektedir. Araştırmada;

söz konusu enstitülerin bitkisel ve hayvansal atıklarından yararlanılarak bu atıklarının faydaya dönüşümü sağlanmış, sürdürülebilir tarıma katkıda bulunulmuş ve çeşitli çevre sorunlarının oluşması önlenmiştir.



Şekil 3.1 Deneme alanının uydu görüntüsü (Anonim 2024a)

3.1.2 Araştırmada kullanılan yöntemlerin kompost üretim alanları

Şekil 3.2'de, deneme alanının drone ile çekilen bir görüntüsüne yer verilmiştir. Burada sol tarafa deneme amacıyla inşa edilen havalandırmalı statik yığın kabinleri, sağ tarafta ise tünel kompostlaştırma tesisi görülmektedir. Tünel kompostlaştırma tesisi, hâlihazırda Tavukçuluk Araştırma Enstitüsü'nde bulunmaktadır. Tünel kompostlaştırma tesisi, çalışma kapsamında aktif hale getirilerek revize edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2 Deneme alanının drone ile çekilen görüntüsü



Şekil 3.3 Araştırmada kullanılan tünel kompostlaştırma tesisi

Şekil 3.4'de, sağ yan tarafta görülen 4 bölmeli havalandırmalı statik yığın kabinleri ve sol yan tarafta yer alan otomasyon kabini araştırma kapsamında tasarlanarak inşa edilmiştir. Beton zemin üzerine kurulan statik yığın kabinlerinin çatısı, sandviç panel malzemeden yapılmıştır. Kabinin yüksekliği 3.85 m ve taban alanı ise 15 m²'dir (Şekil 3.5). Kompost

yapımında kullanılacak olan karışımlar, bir kepçe yardımıyla kabinlere rahatça doldurularak çıkartılabilmektedir.



Şekil 3.4 Havalandırmalı statik yığın ve otomasyon kabinleri



Şekil 3.5 Havalandırmalı statik yığın kabinleri

3.1.3 Cihaz, alet ve ekipman varlığı

Deneme alanının içerisinde bulunduğu çiftlikte, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ait 6000 da alanda tarımsal araştırmaların gerçekleştirildiği,

ayrıca tohumluk üretiminin yapıldığı bir ar-ge ve üretim merkezidir. Enstitüye ait 18 adet traktör, 8 adet tarım arabası, 2 adet kamyon, 1 adet kazıcı-yükleyici kepçe, 1 adet forklift, 2 adet biçerdöver, 5 adet parsel biçerdöveri, 1 adet sulama sistemi, 7 adet tamburlu sulama makinası, 2 adet tohum eleme ünitesi, 1 adet tamir bakım atölyesi, 1 adet jeneratör, çok sayıda toprak işleme aletleri, ilaçlama, gübreleme ve ekim makinaları bulunmaktadır. Tavukçuluk Araştırma Enstitüsü'nün 20.000 adedi proje materyali olmak üzere toplam tavuk kapasitesi 50.000 adettir. Ayrıca enstitü, 11 da alan üzerinde bir adet kuluçkahaneye sahiptir.

Araştırma kapsamında inşa edilen havalandırma kabinlerinin parçaları Enstitüye ait bakım onarım atölyesinde yapılıp yerine kurulumu yapılmıştır. Denemelerde; havalandırma fanları, sıcaklık sensörleri, nem ölçer, kontrol ünitesi ve enerji analizörleri kullanılmıştır. Ayrıca deneme materyallerinin taşınması için bir kazıcı yükleyici kepçeden ve bir tarım arabasından yararlanılmıştır.

3.1.4 Kompostlaştırmada kullanılan hammaddeler

Kümes tavukçuluğu, gerek Dünya'da gerekse ülkemizde hızlı gelişme gösteren bir sektördür. Artan üretim ile birlikte atık miktarlarında da artış olmaktadır. Bu nedenle tavuk dışkılarının bertaraf edilmesi yerine faydaya dönüşümü oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada hammadde olarak; Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ait buğday üretimi neticesinde ortaya çıkan sap-saman artıkları ve tavuk dışkısı kullanılmıştır.

3.1.5 İklim verileri

Denemeler, Ankara ili, Gölbaşı ilçe sınırları içerisinde yer alan İkizce Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde 2024 yılı Eylül ve Ekim aylarında yürütülmüştür. Söz konusu deneme zamanına ait iklim verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 2024 yılı Eylül ve Ekim aylarına ait iklim verileri

2024	Toplam Yağış (mm)	Ortalama Sıcaklık (°C)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)
Eylül	16	18.92	31.1	8
Ekim	1.2	11.78	29.1	0.6

3.2 Yöntem

Ülkemizdeki tavuk dışkısından kompost yapan işletmelerin büyük bir kısmı tünel kompostlaştırma yöntemini tercih etmektedir. Ancak tavuk dışkısı yüksek oranda azot içerdiğinden tavuk dışkısından kompost yapma yerine tavuk dışkısını kurutmaya doğru bir yönelim olduğu gözlenmektedir (Uygun ve Dursun 2012). Tavuk dışkısından kompost yapılmasının, kurutulması ya da sulandırılarak kullanılmasına göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Bu nedenle, çalışmada tavuk dışkısından kompost yapılması için havalandırmalı statik yığın ve tünel kompostlaştırma yöntemlerine alternatif olacak tünel kompostlaştırma ve havalandırmalı statik yığın yöntemlerinin bir arada kullanılacağı yeni bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

3.2.1 HSY'de havalandırma sistemi

Denemeler sırasında kompost yığınlarına hava sağlanması için zemine PVC malzemeden havalandırma boruları (Şekil 3.6) ve kabinlerin arkasına ise bu borulara basınçlı hava basan havalandırma fanları yerleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6 Kabin havalandırma borusu



Şekil 3.7 Havalandırma fanları

Havalandırma fanları, 4 kabin için toplam 4 adet olup güç kaynağı olarak üç fazlı blower fan motorlarından yararlanılmıştır. Kompostlaştırma için gerekli minimum havalandırma debisi ve havalandırma boruları ölçüleri, yığın boyutlarına göre belirlenmiştir. 3.35 x 1.67 x 4.4 m yığın boyutlarına göre; minimum 111 m^3 h^{-1} hava miktarı, 105 cm boru boyu, 6.22 cm boru çapı, 1.92 cm delik çapı ve 10 cm delikler aralığı hesaplanmıştır (Rynk 1992). Bu hesaplanan değerler ışığında, söz konusu özelliklere sahip havalandırma fanları ve boruları tercih edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Tercih edilen havalandırma fanları

3.2.2 HSY'de sıcaklığa bağlı kontrol ünitesi

Hız kontrol sürücüsünü barındıran kontrol ünitesi, yağışlardan etkilenmeyecek uygun bir kabine konumlandırılmıştır. Yığın sıcaklıkları, PT100 sıcaklık sensörleriyle (paslanmaz çelik ve 1 m uzunluğunda) ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.9). Her yığında 4 adet olmak üzere toplam 16 adet sıcaklık sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.10). Kompostlaştırma işlemi sırasında bu 4 sensörün hem ayrı ayrı ölçümleri kaydedilmekte hem de ortalaması alınarak o yığınların sıcaklıkları belirlenmektedir. Sıcaklığın ölçülmesi sayesinde havalandırma fanlarının çalışması kontrol altına alınmış ve kompost yığınlarının sıcaklıkları istenilen değerde olması sağlanmıştır. Sistemde yer alan sıcaklık ölçüm cihazı ve fanın kontrolü anlık olarak sağlanabilmektedir. Ayrıca ortam sıcaklığını ölçmek için kabine de bir sıcaklık sensörü monte edilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.9 PT100 Sıcaklık sensörleri



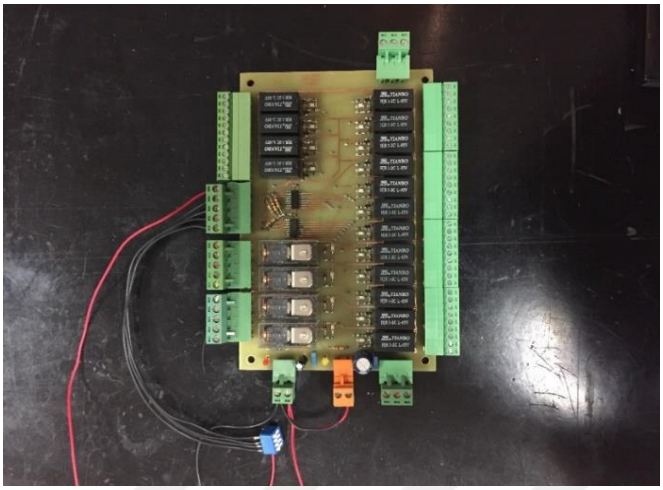
Şekil 3.10 Yığınların sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.11 Ortam sıcaklığı sensörü

Yığınların havalandırma stratejisi, sıcaklık geri beslemeli Rutger's stratejisidir. Rutger's havalandırma kontrol stratejisinde, yığın sıcaklığının 60 °C seviyesini aşması istenmez ve sıcaklık geri beslemeli fan kontrolüyle ayarlanır (Bhamidimarri ve Pandey 1996, Külcü ve Çaylak 2014). Ölçüm ve kontrol ünitesi, programlama kartı tabanlı altyapıya sahiptir. Toplam 16 adet sıcaklık sensöründen gelen bilgileri ölçen ve aynı zamanda

PLC’nin 4 adet dijital çıkışını röle ile güçlendirerek fan motorlarını devreye alınıp çıkaran elektronik devre kartı tasarlanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Tasarlanan elektronik devre kartı

Sistemde 1 adet RTD/RS485 çevirici bulunmaktadır. İstenilen sıcaklıkta sensörün rölesi PLC ile aktive edilmektedir. RTD uçları çeviricinin girişine bağlanmıştır. Çeviricinin RS485 çıkışı ise PLC ile haberleşmektedir. PLC hangi röleyi aktive ettiğini bildiği için gelen sıcaklık değerinin hangi RTD elemanına ait olduğunu da bilerek kaydetmektedir.

Sistemin ayarlarının yapılması, ölçülen değerlerin izlenmesi vb.’leri için HMI (Human Machine Interface) ekranı kullanılmıştır. Bu ekran, kompostlaştırma sırasında kritik değerleri, ekran üzerinde izlemek ve ölçülen değerleri tarihe ve saate göre hafızaya kaydetmek için kullanılmıştır. Söz konusu ekran, PLC ve RS485 Modbus ile haberleşmektedir.

Havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma yönteminin elektrik enerjisi tüketimini ölçmek ve kaydetmek için enerji analizörü kullanılmıştır. Bu analizör, hem PLC hem de HMI ekranı aracılığıyla RS485 Modbus ile haberleşmektedir. Tüketim değerleri, hafızaya kaydedilmektedir. Kaydedilen veriler, bir USB bellek aracılığıyla sistemden kopyalanabilmektedir.

3.2.3 TK'da elektrik enerjisi tüketimi

Tünel kompostlaştırma tesisinin elektrik enerjisi tüketimini izlemek ve kaydetmek amacıyla 3 fazlı bir başka enerji analizörü daha kullanılmıştır (Şekil 3.13). Bu analizör de hem PLC hem de HMI ekran aracılığıyla RS485 Modbus ile haberleşmektedir.



Şekil 3.13 Tünel kompostlaştırma sistemi enerji analizörü montajı

Tünel kompostlaştırma yönteminde kompostlaştırılacak materyaller, kenarları duvar şeklinde uzun bir kanal içerisinde ve bu kanallar üzerinde hareket eden bir karıştırıcı ile karıştırılarak işlem gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14). Sistem elle manuel olarak çalıştırmaktadır. Kompostlaştırılacak materyaller günde bir kez karıştırılmıştır. Karıştırıcının üzerinde 3 adet motor bulunmaktadır. Karıştırma işlemini gerçekleştiren motor 22 kW gücündedir. Kanal boyunca karıştırıcıyı ileri geri hareket ettiren motorlar ise her biri 1.8 kW'dır. Ayrıca kanal içerisindeki materyal miktarına göre karıştırıcının aşağı yukarı hareketini sağlayan 4 kW'lık bir hidrolik pompa bulunmaktadır. Karıştırıcıda toplam 35 adet ayak bulunmaktadır. Kanalın uzunluğu 67.5 m, eni 6 m ve derinlik ise 1 m'dir.



Şekil 3.14 Tünel kompostlaştırma karıştırıcısı

3.2.4 HSY, TK ve HSY+TK değerlerinin takibi için kontrol ünitesi

Kullanılan otomasyon elemanlarının birbiriyle bağlantılarının kolay ve sağlıklı yapılabilmesi ve ortam koşullarından etkilenmemeleri için kapaklı bir pano yapılmıştır. Şekil 3.15'de görüldüğü gibi MHI ekran, panonun kapağını açmadan izleme ve ayarların yapılabilmesi için panonun kapağına monte edilmiştir.



Şekil 3.15 Kontrol ünitesi

3.2.5 Hammadde özellikleri ve karışım hazırlığı

Araştırmada kompost karışımı için et tavuğu dışkısı ile birlikte buğdayın sap/saman artıkları tercih edilmiştir. Bitkisel kaynak olarak kullanılan materyal, İkizce Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde hasat sonrasında hazırlanmıştır. Şekil 3.16'da görüldüğü gibi bu amaçla buğdayın hasat edilmesinden sonra toprak yüzeyinde kalan saplar, bir sap toplamalı saman makinasıyla parçalanarak, mm ölçekli cetvelle yapılan ölçümlerde 2.6 cm – 4.7 cm boyutlarına getirilmiş ve sap toplamalı saman makinası tarafından çekilen arka sıradaki tarım arabasına yüklenmiştir. Samanlardan alınan örnekler 103°C, 24 saat etüvde kurutulmuş (ASAE Standarts 2002) ve nem içeriklerinin % 13-14 arasında olduğu belirlenmiştir. Saman materyalinden havalandırmanın daha başarılı olabilmesi için boşluk yaratma amacının yanı sıra karbon kaynağı olarak da yararlanılmıştır. Kompostlaştırma için hazırlanan saman Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Ele alınan yöntemlerde aynı özelliklerdeki materyaller kullanılmıştır.



Şekil 3.16 Sap/Saman hazırlama işlemi



Şekil 3.17 Kompostlaştırma için bitkisel materyal

Kompost materyalinin farklı karışım oranlarıyla ilgili olarak materyallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri konusuna birçok literatürde değinilmesine rağmen materyal içeriğinin farklılık göstermesi nedeniyle kompostlaştırılacak materyalin analiz edilmesi gerekmektedir (Keneer vd. 2000). Araştırmanın ilk aşaması, et tavuğu dışkısı ve bitkisel sap/saman karışım reçetelerinin oluşturulması için yapılacak olan ön denemeler ve karışımla ilgili literatür araştırmasından oluşmuştur.

Tavuk dışkısı ve buğday sap-saman artıklarıyla kompostlaştırma yapılan bu çalışmada karışım oranı belirlenmesinde C/N oranı dikkate alınmıştır. Başlangıç materyalinin C/N oranı 20 (+/- 1) olarak belirlenerek karışım oluşturulmuştur (Şekil 3.18). Yapılan ön çalışma neticesinde yığın sıcaklığında artış gözlemlenmiştir. Bu durum kompostlaştırma sürecinin başladığını göstermiştir. Yapılan ön deneme literatür çalışmalarıyla ilişkilendirilmiş ve tavuk dışkısı – saman karışımı % 80 tavuk dışkısı, % 20 saman şeklinde belirlenmiştir. Bu karışım oranları belirlendikten sonra denemelere geçilmiştir. Karışım nem içeriğinin istenilen değere ulaşması için (% 60) nemlendirme işlemi yapılmıştır. Karışım oluşturmada ve ilgili üretim yöntemlerine materyalleri taşımak amacıyla bir kendi yürür kazıcı yükleyici kepçeden faydalanılmıştır. Kepçe 74.5 kW motor gücüne sahiptir.



Şekil 3.18 Tavuk dışkısı saman karışımı

3.2.6 Kompost üretim süreçleri

Seçilen kompostlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması amacıyla havalandırmalı statik yığın (HSY) ve tünel kompostlaştırma (TK) denemeleri aynı anda başlatılmıştır. HSY yönteminde süreç devam ederken materyalin bir kısmı, tünel sistemindeki işlem tamamlandıktan sonra yine bu sisteme entegre edilmiş ve havalandırmalı statik yığın + tünel kompostlaştırma (HSY+TK) yöntemi incelemeye alınmıştır.

Kompost denemesinin karşılaştırma örnekleri, HSY kabininde sıcaklığın ortam sıcaklıklarına ulaştığı anda, ikinci karşılaştırma örnekleri TK sisteminde sıcaklığın ortam sıcaklığına ulaştığı anda alınmıştır. Üçüncü karşılaştırma örneği (HSY + TK) ise 15 gün HSY kabinlerinde işleme alınmış daha sonra işlem TK'da yine ortam sıcaklığına ulaşıldığı noktada alınmıştır. Elde edilen 3 farklı kompostun kalite kriterlerine uygunluğu denetlenmiştir. Kompost kalitesinin belirlenmesinde; pH, nem içeriği, C/N oranı, organik madde ve tuz dikkate alınmıştır.

3.2.7 Kompost analizleri

Karşılaştırılan 3 yöntemden elde edilen kompostlar üçer tekerrür şeklinde analizlere tabi tutulmuştur. Toplam tuz analizi Tübitak Bursa Test Analiz Laboratuvarı Müdürlüğü'nde diğer analizler ise Ankara Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde yapılmıştır. Yapılan analizler ve metotları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kompost materyalinde makro ve mikro element analizleri 4:1 nitrik-perklorik asit karışımı ile yaş yakılmış örnekler ile belirlenmiştir. Organik karbon (%) ve organik madde (%) miktarları kül fırınında yakılan örneklerde toplam kül miktarının belirlenmesi ile hesaplanmıştır (Kaçar 1984).

Çizelge 3.2 Yapılan analizler ve analiz metotları (Anonim 2024b)

ANALİZLER	ANALİZ METODU
Nem (%)	A.O.A.C. 1995
Organik Madde Tayini (%)	Yakma Metodu (Kaçar 1984)
Organik Karbon (%)	Yakma Metodu (Kaçar 1984)
pH	1/10 Potansiyometrik
EC (mS/cm)	1/10 Potansiyometrik
Toplam Azot (N) (%)	TL 7.02-02 (Rev:4) TS EN 15478
Toplam Potasyum (K) (%)	ICP,EPA 3052
Toplam Bakır (Cu) (%)	GPGDY EK-2 9.1/10.1
Toplam Fosfor (P) (%)	ICP
Toplam Çinko (Zn) (ppm)	GPGDY EK-2 9.1/10.1
Toplam Mangan (Mn) (ppm)	GPGDY EK-2 9.1/10.1
Toplam Demir (Fe) (ppm)	GPGDY EK-2 9.1/10.1
Toplam Magnezyum (Mg) (%)	GPGDY EK-2 9.1/10.1
Toplam Kalsiyum (Ca) (%)	GPGDY EK-2 9.1/10.1
Toplam Tuz (NaCl) (%)	Titrimetrik Metot

3.2.8 İstatistik analiz

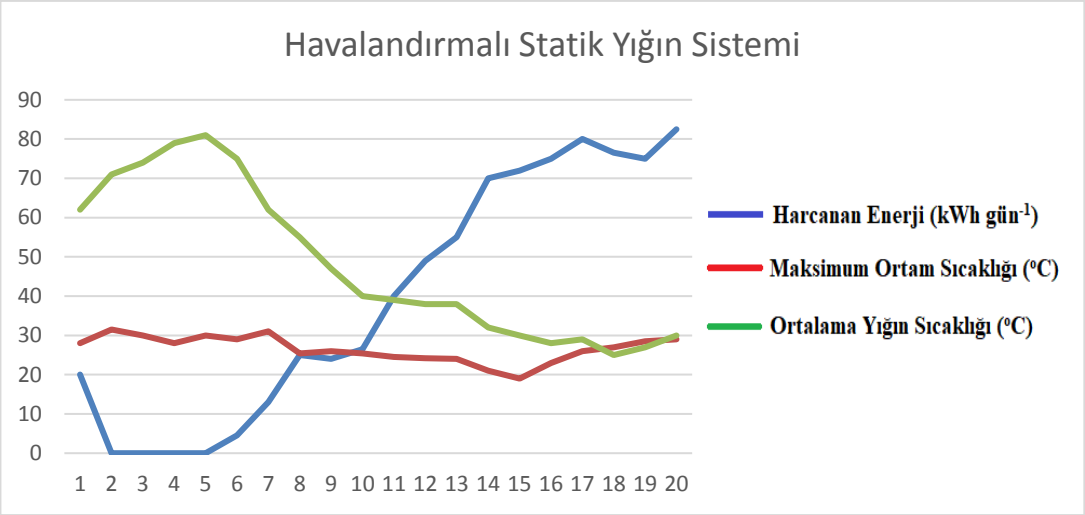
Deneme sonuçları, istatiksel olarak değerlendirilmiştir. Buna göre denemelerden elde edilen değerlere "JMP 11" istatistik paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmış; anlamlı bulunan interaksiyonlar MSTAT-C programında etkileri ayrılarak ortalamalar asgari önem fark testine "AÖF" göre sınıflandırılmıştır (Düzgüneş vd. 1987; Snedecor ve William 1989; Yurtsever 2011).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu araştırmada; havalandırmalı statik yığın yöntemi (HSY), tünel kompostlaştırma yöntemi (TK) ve havalandırmalı statik yığın + tünel kompostlaştırma yöntemi (HS + TK) olmak üzere 3 farklı kompostlaştırma yöntemi ele alınmıştır. Bunlardan HSY ve TK yöntemleri, kontrol yöntemleri olup HSY + TK yöntemi ise geliştirilmesi amaçlanan yeni kompostlaştırma yöntemidir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, istatistiksel analizler yapılarak karşılaştırılmıştır.

4.1 HSY'de Süre, Sıcaklık ve Enerji Tüketimine İlişkin Sonuçlar

Şekil 4.1'den anlaşılacağı gibi havalandırmalı statik yığın yönteminde kompostlaştırma toplam 20 gün sürmüş olup denemelere ait görsel Şekil 4.2'de yer almaktadır. 1-20. gün boyunca ortam sıcaklığı 19 ^{o}C - 31.5 ^{o}C arasında değişmiştir. En yüksek ortam sıcaklık değeri, 31.5 ^{o}C ile 2. günde, en düşük ortam sıcaklığı ise 19 ^{o}C ile 15. gün ölçülmüştür. Bu süreçte ortalama yığın sıcaklığının 1. günden itibaren 5. güne kadar yükseldiği, 6. günden itibaren ise 20. güne kadar düşüş seyrinde olduğu tespit edilmiştir. 20. günde yığın sıcaklık ortalamaları, ortam sıcaklığı ile en yakın seviyeye gelerek kompostlaştırma işlemi tamamlanmıştır. Bu süreçte günlük olarak harcanan enerji miktarı, 6. günden sonra birbirine yakın değerler ile önemli olmayan dalgalanmalar görülmesine rağmen, genel olarak yükseliş göstererek en yüksek değeri (82.5 kWh gün^{-1}) 20. günde göstermiştir. Havalandırmalı statik yığın yönteminde karışımın kompostlaştırılması için geçen 20 günlük süreçte, toplam 788 kWh enerji tüketildiği belirlenmiştir.



Şekil 4.1 HSY'de günlere göre sıcaklık ve harcanan enerji değerleri

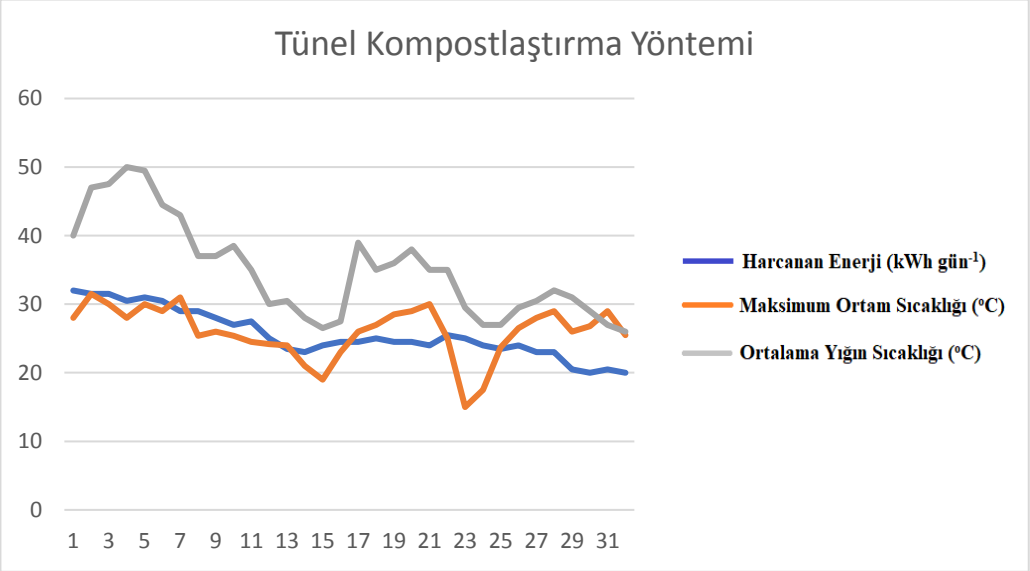


Şekil 4.2 HSY denemeleri

4.2 TK'da Süre, Sıcaklık ve Enerji Tüketimine İlişkin Sonuçlar

Şekil 4.3'den anlaşılacağı gibi kompostlaştırmanın 32 gün sürdüğü tünel komposlaştırma yönteminde, kompostlaştırma süresi boyunca günlük harcanan enerji miktarının çok fazla değişmediği belirlenmiştir (20–32 kWh gün^{-1}). Kompostlaştırmanın ilk günlerinde harcanan enerjinin, son günlere oranla biraz yüksek olmasının nedeni materyalinin nem içeriğinin fazla olması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Tünel komposlaştırma yönteminde, komposlaştırma için geçen toplam 32 günde toplam 819 kWh enerji harcanmıştır (Şekil 4.3). Tünel kompolaştırma yönteminde, yığın sıcaklığı 4. günde

50 ºC ile en yüksek değere ulaşmıştır. İzleyen günlerde bu değer dalgalı bir seyir izlemiş ve 32. günde en düşük sıcaklık değeri olan 26 ºC ölçülmüş ve ölçülen bu sıcaklık değeri ortam sıcaklığına yakın değer olduğundan işlem sonlandırılmıştır. Şekil 4.4'de tünel kompostlaştırma denemesine ait görsel yer almaktadır.



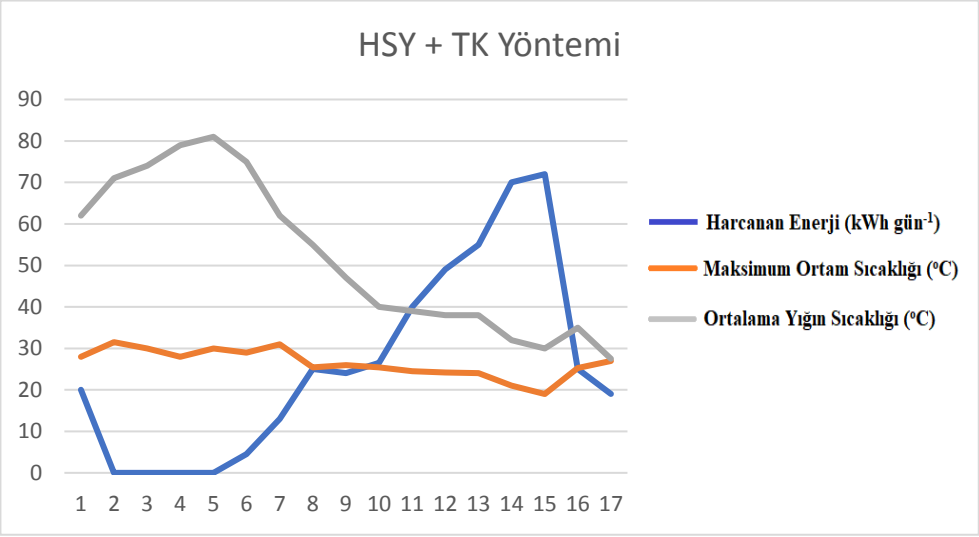
Şekil 4.3 TK'da günlere göre sıcaklık ve harcanan enerji değerleri



Şekil 4.4 TK denemeleri

4.3 HSY+TK'da Süre, Sıcaklık ve Enerji Tüketimine İlişkin Sonuçlar

Şekil 4.5'de havalandırmalı statik yığın + tünel kompostlaştırmada günlere göre sıcaklık ve harcanan enerji değerleri yer almaktadır. Havalandırmalı statik yığın ve tünel kompostlaştırma yöntemlerinin denemeleri aynı anda başlatılmıştır. Havalandırmalı statik yığın yöntemindeki toplamda 4 kabinde yer alan materyallerin 2 tanesi 15. günde tünel kompostlaştırma yöntemine alınması için çıkartılmıştır. Tünel kompostlaştırma denemesi tamamlanır tamamlanmaz havalandırmalı statik yığın yönteminden çıkarılan materyaller, kompostlaştırma işleminin tamamlanması ve kompostun stabil hale gelmesi için tünel kompostlaştırma işlemine dahil edilmiştir. Şekil 4.5'den anlaşılacağı üzere HSY + TK yönteminde kompostlaştırma süreci, toplam 17 günde tamamlanmıştır. Olgunlaşmış kompostun sıcaklığı (27.5 ^{o}C) ile ortam sıcaklığı (27 ^{o}C) yakın değerdedir. Denemeye ait görseller Şekil 4.6'da verilmiştir.



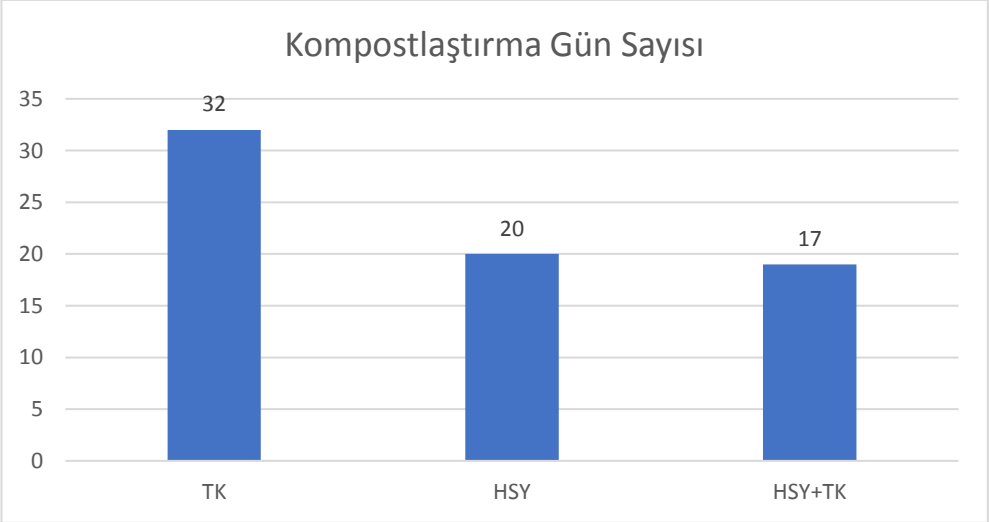
Şekil 4.5 HSY + TK'da günlere göre sıcaklık ve harcanan enerji değerleri



Şekil 4.6 HSY + TK denemeleri

4.4 Kompostlaştırma Sürelerinin Karşılaştırılmasına İlişkin Sonuçlar

Şekil 4.7'den anlaşılacağı gibi HSY, TK ve HSY + TK yöntemlerinin kompostlaştırma gün sayıları 17-32 gün arasında değişmiştir. En yüksek kompostlaştırma gün sayısı 32 gün ile TK yönteminde, en düşük gün sayısı ise 17 gün ile HSY+TK yönteminde elde edilmiştir.



Şekil 4.7 Karşılaştırılan 3 yöntemde kompostlaştırma gün sayıları

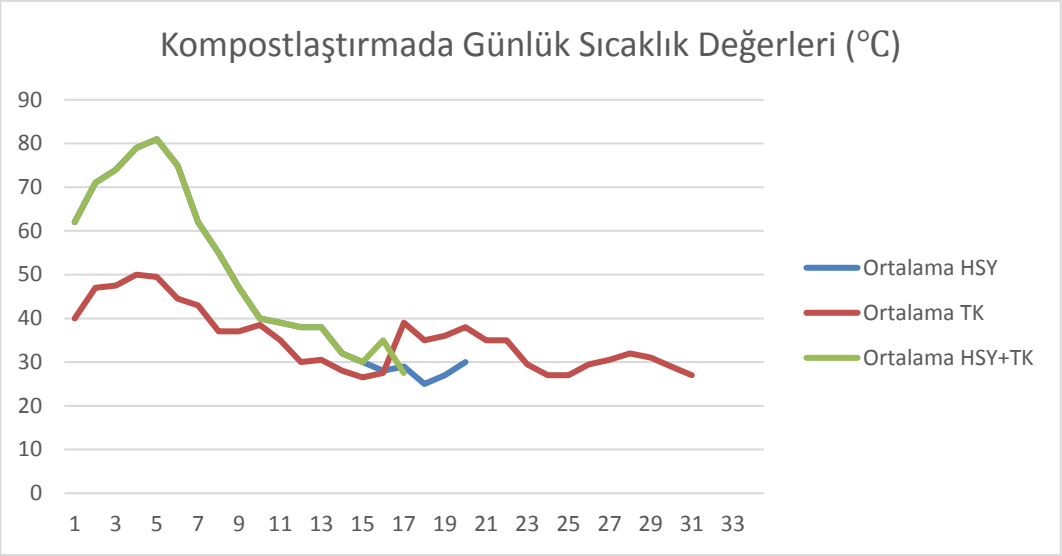
Teorik olarak havalandırmalı statik yığın (HSY) yönteminde, sıcaklık ve oksijen yönünden optimum şartlarda çalışıldığı için kompostun daha kısa sürede olgunluğa erişmesi beklenir (Haug 1993). Keener vd. (2000) tarafından da tavuk dışkısından kompost yapılmasında azot kaybı en aza inmiş kaliteli kompostun, havalandırmalı ve minimum karıştırmalı yöntemden elde edileceği belirtilmiştir. HSY + TK yönteminden bu durumu destekleyen sonuçlar alınmıştır.

Çaycı vd. (2015b), etlik tavuk gübresi ile çeltik kavuzundan elde edilen karışımla kompostlaştırma yaparlarken işlem süresince içerikteki değişimleri takip ettikleri çalışmalarında; küçük ölçekli üretimlerde herhangi bir havalandırma sistemi kullanmadan kompostlaştırmanın 2-3 ay süreceğini belirtmişlerdir.

Külcü ve Yaldız 2007 yılında yayınladıkları araştırmalarında, tavuk gübresi ile karanfil ve çim atıklarını kullanarak kompostlaştırma işlemindeki parametreleri tespit etmişlerdir. Kontrollü koşullar altında ve 6 farklı karışımla yürüttükleri çalışmada 21 günde kompostlaştırma işlemini tamamlamışlardır.

4.5 Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılmasına İlişkin Sonuçlar

Şekil 4.8'de HSY, TK ve HSY + TK yöntemlerinin günlük sıcaklık değişimleri görülmektedir. HSY ve HSY + TK yöntemlerinde günlük en yüksek materyal sıcaklığına ulaşılmıştır (81 ^{o}C). Kompostlaştırma süreci boyunca, TK yönteminin günlük sıcaklık değerleri değişim aralığı diğer iki yönteme kıyasla daha az olmuştur.



Şekil 4.8 İncelenen yöntemlerin günlük sıcaklık değerleri

Kompost üretim sürecinde uygun sıcaklık değerlerinin belirlenmesi oldukça zor bir durumdur. Farklı özelliklerdeki kompost materyallerinin sıcaklık değerleri ile ilgili yapılan birçok çalışma olmakla birlikte verimli bir mikrobiyolojik aktivite için başlangıç sıcaklığının 40 ºC olması önerilmektedir (Hamoda vd. 1998, Erdener 2010). Yapılan bu çalışmada başlangıç sıcaklıkları üç yöntemde de 40 ºC ve üzeri olduğundan, başlangıç optimum sıcaklıkların sağlandığı tespit edilmiştir.

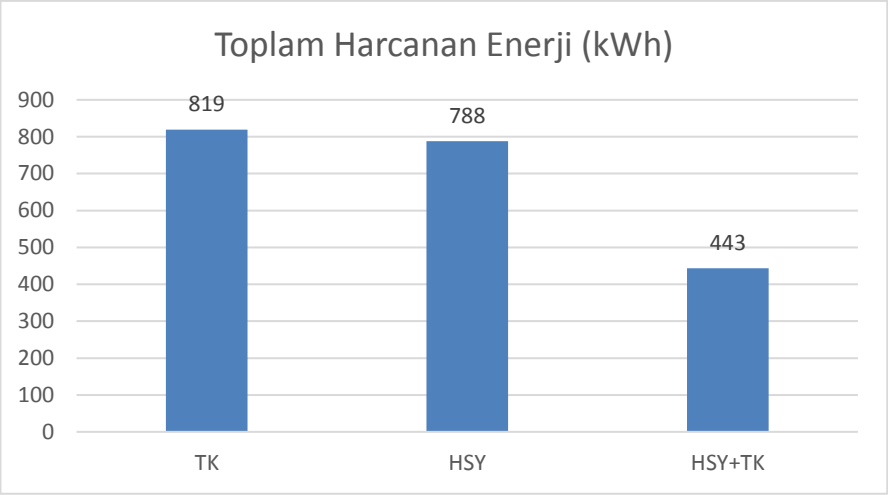
Külcü ve Çaylak (2014), yılında kompostlaştırma işleminde sıcaklık ve havalandırma oranı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Söz konusu çalışmada kompostlaştırmanın ilk günlerinde sıcaklığın yükseldiği, sürecin sonuna doğru da azalma seyri gösterdiği belirlenmiştir. Yine Kınık'ın (2023) de tamamladığı araştırmasında kompost materyali olarak çeltik kavuzunu tercih etmiş ve kompostlaştırmanın ilk günlerinde materyalin içerisinde bulunan ve kolay parçalanabilen karbonhidratlar, protein ve aminoasit miktarlarının fazla olması nedeni ile mikroorganizma faaliyetlerinin hızla artışı ile sıcaklığın yükseldiği tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında da üretimi gerçekleştirilen üç yöntemde de benzer durumun gerçekleştiği görülmüştür.

Çaycı vd. (2015), taze tavuk gübresi ile tavuk gübresi + çeltik kavuzundan elde edilen kompostun toprak agregasyonuna etkilerini araştırmışlardır. Kompostlaştırma işleminde başlangıç C/N oranını 25, nemi ise % 50 almışlardır. İşlemi 3 ay sürdürmüşler ve sıcaklık değerlerini takip etmişlerdir. Kompostlaştırmanın ilk iki gününde sıcaklığın 58 ^{o}C'ye yükselmiş, tüm işlem boyunca da en yüksek sıcaklık değerinin 70 ^{o}C ölçülmüşlerdir. 60 gün sonunda sıcaklık bakımından stabilite sağlanmış, denemenin son 30 gününde sıcaklık değeri 28-30 ^{o}C arasında sabit kalmıştır. Yapılan bu çalışmada da HSY ve HSY + TK yöntemlerinde benzer sıcaklık ölçümleri alınmış fakat TK yönteminde maksimum sıcaklık değeri tüm bu yöntemlere göre düşük olmuştur. Bunun nedeni TK yönteminde çevresel hava sıcaklığının etkisinin fazla olmasıdır.

Tavuk gübresi kullanarak 6 farklı oranda karışım oluşturan Külcü ve Yaldız 2007, kompostlaştırma işleminde sıcaklık değerlerini takip etmişlerdir. Tüm karışım oranlarında ilk 5 gün sıcaklıklar yükselmiş, daha sonra kademeli sıcaklık düşüşleri tespit edilmiştir. C/N oranı 28-30 aralığında olan karışımda en yüksek sıcaklık belirlenmiştir (70 ^{o}C). Yaptığımız bu çalışmada da kompostlaştırmanın ilk evrelerinde yüksek sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

4.6 Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılmasına ilişkin Sonuçlar

Karşılaştırılan yöntemlerdeki toplam harcanan enerji miktarları (kWh), kompostlaştırma gün sayısı ile paralellik göstermektedir. Kompostlaştırma sürecinde en fazla toplam harcanan enerji 819 kWh ile tünel komposlaştırma yöntemine aittir. Bunu sırasıyla HSY (788 kWh) ve HSY + TK (443 kWh) takip etmiştir (Şekil 4.9). Kompostlaştırma gün sayısı uzadıkça harcanan enerji miktarı artmaktadır.



Şekil 4.9 İncelenen yöntemlerin toplam enerji tüketim miktarları

Güzel (2019); tavuk dışkısı ve saman karışımının kompostlaştırılmasında, materyal sıcaklığı yükseldikçe enerji değerlerinin azaldığını tespit etmiştir. Fakat bu durumun organik madde, azot ve kuru madde kaybına sebep olduğu belirtilmiştir. Yine Kaçar (2018) tarafından elma atıklarının, sığır gübresi, tavuk gübresi ve saman ile karıştırılmasıyla farklı sıcaklık derecelerinde kompostlaştırılmasının kompostlama performans parametreleri üzerine etkisini araştırdığı çalışmasında, sıcaklık yükseldikçe havalandırma kaynaklı enerji tüketim değerlerinin azalan üstel fonksiyona bağlı olarak azaldığını ortaya koymuştur. Çalışmamızda da benzer durumlar olmasına rağmen kompostlaştırma sürecinin TK'da tamamlandığı HSY+TK yönteminde minimum enerji harcandığı tespit edilmiştir.

Külcü ve Çaylak (2014), tavuk dışkısı ve saman materyallerinin farklı karışım oranlarında enerji değerlerini incelemiş, en düşük enerji tüketimi % 90 tavuk dışkısı, % 10 saman karışımından elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise karışım oranları sabit tutularak farklı yöntemlerdeki enerji tüketimleri irdelenmiştir.

Zhu (2007) yayınladığı çalışmada; kompostlaştırma materyali olarak domuz gübresi ile pirinç atıklarını tercih etmiştir. Aynı özelliklerdeki 3 materyali farklı yöntemler kullanarak kompostlaştırmıştır. Pasif havalandırma, doğal havalandırma ve fanla havalandırma sistemleri karşılaştırılmıştır. Araştırmacı, elde ettiği parametreler ışığında

küçük ölçekli işletmelere pasif kompostlaştırmayı, orta ve büyük ölçekli işletmelere ise havalandırmalı statik yığın yöntemini önermiştir.

4.7 Kompostların İçerik Yönünden Karşılaştırılmalarına İlişkin Sonuçlar

Çizelge 4.1 incelendiğinde, 3 farklı kompostlaştırma yönteminden (HSY, TK, HSY + TK) elde edilen kompostların nem içeriği, organik madde miktarı, Ph, EC (Electrical Conductivity) yönünden aralarında istatistiksel olarak % 1 düzeyinde; organik karbon ve C/N oranında ise % 5 düzeyinde farklılıklar olduğu anlaşılmaktadır. Yöntemlerin tuz içerikleri arasındaki istatistiksel olarak fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.1 Farklı yöntemlerden elde edilen kompostların içerikleri

Yöntem	Nem İçeriği (%)	Organik Madde (%)	Organik Karbon (%)	pH	EC (mS/cm)	C/N	Tuz (%)
HSY	14.40 B	81.40 A	72.40 A	6.30 A	2.50 B	18.45 B	2.20
TK	19.47 A	75.90 B	68.70 B	6.00 A	3.63 A	21.98 A	2.20
HSY+TK	9.70 C	75.43 B	71.73 A	5.20 B	2.37 B	18.88 B	2.13
F	87.523**	14.895**	5.350*	19.400**	16.987**	8.044*	0.211
LSD	1.81	2.98	2.95	0.45	0.58	2.35	Ö.D.

**: 0.01 önem düzeyinde önemli, *: 0.05 düzeyinde önemli, Ö.D.: İstatiksel olarak önemsiz.

Çizelge 4.1'e göre materyallerin nem içerikleri, % 9.70-19.47 arasında değişmektedir. Farklı yöntemler ile elde edilen kompostlarda en yüksek nem içeriği % 19.47 ile TK'da tespit edilmiştir. Onu HSY yöntemi % 14.40 ve HSY+TK yöntemi de % 9.70 ile takip etmiştir.

Kompostların organik madde miktarları % 75.43-81.40 arasında değişmektedir. En yüksek organik madde miktarı % 81.40 ile HSY uygulamasında tespit edilmiştir. Bu değeri, % 75.90 ile TK, % 75.43 ile HSY+TK takip etmiş olup istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1'e göre organik karbon oranı % 68.70-72.40 arasında değişmektedir. Yöntemlerden elde edilen kompostların organik karbon oranları, en yüksek % 72.40 ile HSY ve % 71.73 ile HSY + TK yönteminden elde edilmiş ve bu iki uygulama istatistiki açıdan aynı grupta yer almıştır. En düşük organik karbon oranı ise % 68.70 ile TK yönteminde tespit edilmiştir.

Kompostların pH değerlerindeki değişim 5.20-6.30 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek pH değerleri 6.30 ile HSY yönteminden ve 6.00 ile TK yönteminde ölçülmüştür. Bu iki yöntem arasında istatistiki olarak fark bulunmamış olup A grubunda yer almıştır. HSY + TK yöntemi ise 5.20 ile en düşük pH değeri ile diğer uygulamalardan daha asidik özellik göstermiştir (Çizelge 4.1).

Materyallerin elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin 2.37-3.63 mS cm^{-1} arasında değiştikleri ölçülmüştür. En yüksek EC değerinin 3.63 mS cm^{-1} ile TK yöntemine ait olduğu ve en düşük EC değerinin ise sırasıyla 2.50 mS cm^{-1} ve 2.37 mS cm^{-1} ile HSY ve HSY + TK yöntemlerinden elde edilen komposta ait olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.1).

C/N oranı yönünden en yüksek oran 21.98 ile TK yöntemine aittir. Bunu sırasıyla 18.88 ile HSY+TK yöntemi, 18.45 ile HSY yöntemi izlemiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 incelendiğinde materyallerin tuz içeriklerinin % 2.13-2.60 arasında değiştiği tespit edilmiş olup, yöntemler arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. En yüksek tuz içerikleri % 2.20 ile HSY ve TK yöntemlerinden elde edilmiştir. En düşük tuz oranı ise % 2.13 ile HSY+TK yönteminde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2'de, farklı yöntemlerle elde edilen kompostların toplam azot (N), toplam fosfor (P) ve toplam potasyum (K) içerikleri verilmiştir. Buna göre kompostların toplam N içeriklerinde % 1 düzeyinde istatistiki olarak önemli fark bulunmuştur. Toplam P ve toplam K içerikleri yönünden değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2 Farklı yöntemlerden elde edilen kompostların N, P, K içerikleri

Yöntem	Toplam Azot (N) (%)	Toplam Fosfor (P) (%)	Toplam Potasyum (K) (%)
HSY	3.93 A	0.41	1.60
TK	3.13 B	0.41	1.60
HSY+TK	3.80 A	0.40	1.57
F	21.565**	0.250	0.143
LSD	0.32	Ö.D.	Ö.D.

**: 0.01 önem düzeyinde önemli, Ö.D.: İstatiksel olarak önemsiz.

Kompostların toplam azot (N) içeriklerinin % 3.13-3.93 arasında değiştiği belirlenmiştir. Toplam azot içerikleri bakımından en yüksek değeri % 3.93 ile HSY yönteminden elde edilmiştir. Bu yöntemi % 3.80 ile HSY + TK yöntemi takip etmiş ve istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük toplam azot değeri ise % 3.13 ile TK yönteminden elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2'ye göre kompostların toplam fosfor (P) içerikleri yönünden incelediğinde, HSY ve TK yöntemlerinde % 0.41, HSY + TK yönteminde ise % 0.40 tespit edilmiştir.

Toplam potasyum (K) oranı incelendiğinde, kompostlarda HSY ve TK yöntemlerinde aynı miktarda % 1.60 olarak tespit edilmiş olup, HSY+TK yönteminde ise % 1.57 tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.3'de, materyallerin toplam bakır (Cu), toplam çinko (Zn), toplam mangan (Mn), toplam demir (Fe), toplam magnezyum (Mg) ve toplam kalsiyum (Ca) içerikleri verilmiştir.

Çizelge 4.3 Farklı yöntemlere göre Cu, Zn, Mn, Fe, Mg ve Ca içerikleri

Yöntem	Toplam Bakır (Cu) (ppm)	Toplam Çinko (Zn) (ppm)	Toplam Mangan (Mn) (ppm)	Toplam Demir (Fe) (ppm)	Toplam Magnezyum (Mg) (%)	Toplam Kalsiyum (Ca) (%)
HSY	60.33 B	438.00	345.00	510.33	0.40	0.90 B
TK	60.33 B	438.33	353.00	500.00	0.44	1.03 A
HSY+TK	63.00 A	438.67	361.67	503.00	0.43	0.99 A
F	8.000*	0.085	3.185	0.804	1.525	7.757**
LSD	1.88	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	0.08

**: 0.01 önem düzeyinde önemli, *: 0.05 düzeyinde önemli, Ö.D.: İstatiksel olarak önemsiz.

Yapılan istatiksel analiz sonucunda; toplam Ca içerikleri arasında % 1, toplam Cu içerikleri arasında ise % 5 önem seviyesinde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Toplam Zn, toplam Mn, toplam Fe ve toplam Mg içerikleri arasında ise istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır (Çizelge 4.3).

Kompostların toplam bakır içerikleri 60.33-63.00 ppm arasında değişmektedir. En yüksek değer HSY + TK yönteminde tespit edilmiştir (63.00 ppm). HSY ve TK yöntemlerinde ise 60.33 ppm ile en düşük değer belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

En yüksek toplam kalsiyum içeriği ise TK yönteminde % 1.03 ile tespit edilmiş olup onu % 0.99 ile HSY + TK yöntemi takip etmiştir. Bu iki yöntem istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük toplam kalsiyum değerini ise % 0.90 ile HSY yönteminde tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Kompostların toplam çinko (Zn) içerikleri 438.00-438.67 ppm arasında değişmiştir. En yüksek toplam çinko içeriği HSY + TK yönteminde (438.67 ppm), en düşük ise HSY yönteminde (438.00 ppm) tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Kompostların toplam mangan (Mn) içerikleri 345.00-361.67 ppm arasında değişmiştir. En yüksek toplam mangan içeriği HSY + TK yönteminde (361.67 ppm), en düşük ise HSY yönteminde (345.00 ppm) tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Kompostların toplam demir (Fe) içerikleri 500.00 - 510.33 ppm arasında değişmiştir. En yüksek toplam demir içeriği HSY yönteminde (510.33 ppm), en düşük ise TK yönteminde (500.00 ppm) tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Kompostların toplam magnezyum (Mg) içerikleri % 0.400-0.440 arasında değişmiştir. En yüksek toplam magnezyum içeriği HSY yönteminde (% 0.440), en düşük ise TK yönteminde (% 0.400) tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Onwosi vd. (2017) tarafından Nijerya'da yapılan, birbirinden farklı kompostlaştırma yöntemlerinin incelendiği araştırmada sıcaklık, pH, C/N oranı ve nem içeriğinin kompostlaştırma sürecinde önemli bir etken olduğu belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda incelenen farklı kompostlaştırma yöntemleri denemelerinde bu değerler dikkate alınarak kompostlaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Özbek ve Uçaroğlu 2022, farklı hayvan gübrelerinin kompostlaştırılması üzerine bir çalışma yapmış, araştırmada başlangıç materyali olarak tavuk, at ve büyükbaş hayvan gübresini tercih etmişlerdir. Bitkisel kaynak olarak ise ayçiçeği artıklarını kullanmışlardır. Karışım oranını bizim çalışmamızda olduğu gibi % 80 hayvan gübresi, % 20'de bitkisel atık kullanılmıştır. Çalışmada kompostlaştırma süreci 21 gün olarak belirlenmiştir. Aerobik kompost reaktörlerinde gerçekleştirilen çalışmada C/N oranında üç farklı karışımda da yükselmeler ve düşüşler gözlemlemişlerdir. C/N oranının kıyaslanmasında 05.03.2015 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan Kompost Tebliği'ni baz alan araştırmacılar, tebliğde yer alan % 10-30 aralığını tavuk ve büyükbaş hayvan gübresinin kompostlaştırılmasında yakalamışlar, at gübresinde ise C/N yüksek çıkmıştır (% 31.9). pH üç materyalde de yakın değerler çıkmıştır (8.35-8.66). Tavuk gübresinin kompostunda EC değeri ise 5.76 mS/cm bulunmuştur. Kompost içerikleri ile ilgili elde edilen sonuçlar bizim çalışmamızla benzerlik göstermektedir.

Diaz vd. (2007), kompostlaştırma sırasında mikrobiyal canlılık için karışım nem içeriğinin % 8-12 arasında olması gerektiğini, işlemin devamlılığı için % 40 seviyesinin altına düşmemesini önermişlerdir. Öztürk ve Bildik (2005), nem içeriğini % 40-65, Haug (1993) ise % 55-65 arasında olmasını önermişlerdir. Erdener 2010 kompostlaştırma süreci tamamlandığında başlangıç nemine oranla doğal olarak düşme olduğunu bulmuştur. Çalışma kapsamında üretimi gerçekleştirilen üç yöntemde de bu değerlerin benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır.

Arslan Topal ve Topal (2013) yılında kompost içerik değerleri yönünden birçok ülkede kabul edilir sınırları yayınlamışlardır. Tez çalışması kapsamında elde edilen kompostlardaki içeriklerin bu değerlere uygunluk gösterdiği anlaşılmıştır.

Sülük (2022), elma işleme atıkları ile tavuk gübresi, sığır gübresi ve saman kullanarak kompost yaptığı araştırmasında, organik madde miktarında süreç ilerledikçe düşüşler gözlemlemiştir. Bu durum sabit C/N oranı ile başlattığı tüm farklı karışımlarda oluşmuştur. Kompostlaştırma tamamlandığında pH 8.97-8.25 aralığında çıkmıştır. Bu durum başlangıç materyaline göre artış olduğunu göstermiştir. Benzer değerler ve değişimler bizim araştırmamızda da gözlemlenmiş olup bu durumun mikroorganizmaların faaliyetleri ile doğrudan ilgili olduğu Chung vd. (2021) tarafından bildirilmiştir. Kompostlaştırmada pH miktarındaki artış, azotun amonyağa daha sonra ise amonyum azotuna dönüşmesi nedeniyle gerçekleştiği bilinmektedir (Sanchez Monodero vd. 2001, Dhillon vd. 2011, Sülük 2022).

Kompost içerisindeki çözünür tuzların varlığını gösteren değere elektriksel iletkenlik (EC) denilmektedir (Yılmaz vd. 2022). Yapılan birçok araştırmada kompostlaştırma işlemi sırasında organik maddelerin parçalanmasıyla çözünmüş tuzlar ortaya çıkabilmekte, bu durumda EC değerinin azalışına veya düşüşüne sebep olabilmektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada tüm yöntemlerde EC değeri 2.37-3.63 mS cm^{-1} arasında çıkarken, Sülük (2022) ise, 0.936–2.303 mS cm^{-1} bulmuştur.

Çaycı vd. (2015a), tavuk gübresi ve çeltik kavuzu ile gerçekleştirdikleri kompost denemesinde karbon % 25.2, azot % 1.26, ph 7.84 ve EC 2.83 mS cm^{-1} olarak tespit etmişlerdir.

Yapılan araştırmalarda; Aviani vd. (2010), komposttaki P (fosfor) değerini % 0.2–1.6 arasında bulmuş olup bu değer çalışmamız ile benzerlik göstermekte, Eleroğlu ve Yıldırım (2014), potasyum miktarını % 2.7-4.1 arasında bulmuş, bizim çalışmamızda ise bu durum daha düşük belirlenmiştir. Yine Eleroğlu ve Yıldırım (2014) komposttaki azot miktarını 1.8–5.4 aralığında tespit etmiş, yapılan bu araştırmayla benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır.

Sönmez vd. (2002), farklı kompost materyallerinin besin içeriklerini kıyaslamıştır. Tavuk gübresinde; azot (N) % 2.2, fosfor (P) % 1.69, potasyum (K) % 1.28, kalsiyum (Ca) % 5.53, magnezyum (Mg) % 0.68, demir (Fe) 1993.0 ppm, mangan (Mn) 496 ppm, çinko (Zn) 372 ppm ve bakır (Cu) 52.4 ppm olarak belirlenmiştir. Bu değerler bizim yaptığımız çalışmayla benzer nitelikte olup afaki farklılıklar gözlemlenmemiştir.

4.8 Kompost Kalite Kriterleri ve İş Gücü İhtiyacı

Kompostlaştırma işleminde ana hedef minimum maliyet ve iş gücü ile kaliteli bir kompost elde edebilmek olmalıdır. Komposttaki kalite kriterlerinde kıyaslama yapılırken besin içeriği, pH, C/N oranı, organik madde, tuz ve nem oranı dikkate alınmaktadır (Tosun 2003, Sülük 2022). Arslan Topal ve Topal (2013) yılında yaptıkları çalışmada, kompost kalite kriterlerini ortaya koymuştur. Kompostun içeriğinde; pH'ın 5-8, nemin % 50'nin altında, C/N oranının 35'in altında, organik madde miktarının % 35'in üzerinde ve tuz içeriğinin % 2.5'in altında olması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2010 yılında resmi gazetede yayınladığı "Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında, kompostun toprağa uygulanabilmesi için; organik maddenin % 35'den az olmaması, ticari amaç ile satışı gerçekleştirilecek kompostun nem içeriğinin % 50'yi geçmemesi, C/N oranının % 35'den az olması gerekmektedir (Anonim 2025a). Yine Tarım ve Orman Bakanlığı'nın 2018 yılında yayınladığı "Tarımda Kullanılan

Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübreler" yönetmeliğinde; organik madde en az %35, nem en fazla % 30, C/N oranı 8-22 aralığında ve EC en fazla 10 mS/cm^{-1} olarak belirtilmiştir (Anonim 2025b). Çalışma kapsamında üç farklı yöntemle elde edilen kompostların tamamının bu kriterlere uygun olduğu anlaşılmıştır.

Külcü ve Yaldız (2005) tarafından da belirtildiği gibi, kompost mekanizasyon seviyesinin artmasıyla birlikte iş gücü ihtiyacının azaldığını, buna karşın yatırım maliyetlerinin yükseldiğini, ancak uygun yöntem ve uygun yer seçimi, yüksek kapasiteli ekipmanlar ile kompostlaştırma işleminin daha basit ve ekonomik olduğu dolayısı ile daha az iş gücü gerektirmektedir.

Bu çalışmada da, HSY + TK yöntemi ile kompostlaştırma süresinin kısaltılması, enerji tüketimin azaltılması ve tasarlanan otomasyon sistemi sayesinde iş gücü gereksiniminin azaltılması sağlanmıştır. Ayrıca Lim vd. (2017), yayınladıkları iki aşamalı kompostlaştırma yönteminin (sıralı yığın kompostlaştırma + depoda kompostlaştırma) kompostlaştırma sürecinde başarılı olabileceği yönündeki çalışmada, iki aşamalı sistemde iş gücü ihtiyacının daha az olabileceği vurgulanmıştır.

5. SONUÇ

Kompostlaştırma; tarımsal faaliyetler neticesinde bitkisel ve hayvansal üretim sonrası meydana gelen atıkların geri dönüşümü için en uygun yöntemlerin başında gelmektedir. Kompostlaştırma teknolojisi ne kadar etkin olursa beklenilen fayda ve süreçteki başarı da o oranda artacaktır.

Tavuk dışkısı ve bitkisel sap/saman karışımından kompost yapılması için havalandırmalı statik yığın (HSY) + tünel kompostlaştırma (TK) yönteminden oluşan iki aşamalı kompostlaştırma yönteminin (HSY + TK) geliştirilmesi, geliştirilen yöntemin havalandırmalı statik yığın kompostlaştırma (HSY) ve tünel kompostlaştırma (TK) yöntemleriyle karşılaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen bazı sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Organik atıkların kompostlaştırma ile faydaya dönüşümünde geleneksel yöntemlere alternatif olabilecek bir sistem kazandırılmıştır. Söz konusu HSY + TK yöntemi, diğer karşılaştırılan HSY ve TK yöntemlerine göre enerji tüketimi daha az gerçekleşirken, kompostlaştırma süresi açısından da en kısa yöntem olarak belirlenmiştir.

2. Eşit ortam koşullarında ve aynı karışımla yapılan kıyaslamalarda üç yöntem sonucu elde edilen kompost, kompost kalite kriterlerine uygun olduğundan aynı amaca daha kısa sürede ve daha az üretim maliyetiyle ulaşılmış olunması HSY + TK yönteminin örnek alınarak yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

3. En düşük düzeyde enerji harcayarak en uygun kompost üretimi ancak kontrollü koşullarda gerçekleştirilebilir. Otomasyon sistemi dahilinde çalıştırılan yöntemler iş gücü ihtiyacına en az seviyede ihtiyaç duyulan yöntemlerdir.

4. HSY + TK ile maksimum havalandırma ve minimum karıştırma sağlanarak hem kompost kalite kriterlerine uygun bir kompost üretilmiş, hem de stabilizasyon işlemi

gerçekleştirilmiştir. Homojen bir kompost elde etme yönünden HYS + TK yönteminin diğer iki yönteme göre daha başarılı olduğu söylenebilir.

5. N, P ve K değerleri açısından incelendiğinde kompostun gübre olarak değerlendirilemeyeceği fakat organik madde miktarının yüksek değerlere sahip olması nedeniyle iyi bir toprak iyileştirici materyal olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca ihtiyaç duyulan topraklarda, toprağın fiziksel özelliklerinde de iyileştirmeler yapabileceği düşünülmektedir.

Hızla artan dünya nüfusu, beslenme ihtiyaçlarındaki artışı beraberinde getirmektedir. Bu durum, bitkisel ve hayvansal üretimde atık miktarının sürekli artacağının bir göstergesi olmaktadır. Sürdürülebilir bir dünya için atıkların mutlak surette kontrol altına alınması ve geri dönüşüme dahil edilmesi gerekmektedir. Kompostlaştırma teknolojisi, tarımda sürdürülebilir yönetimlerin başında gelmektedir. Gelişen teknolojik imkânlardan faydalanılarak daha kısa sürede, minimum maliyetle, maksimum kalitede kompost üretilmesi ile ilgili araştırmaların yapılmaya devam edilmesi ve yapılan bu araştırmaların sonuçlarının uygulamaya aktarılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Anonim. 2005. Çanakkale katı atık yönetim birliği. Çanakkale Katı Atık Yönetim Sistemi Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi. Çed Raporu, Çanakkale.

Anonim. 2024a. Google maps, Erişim Adresi: http://google.com/maps/place/ikizce, Erişim Tarihi 01.10.2024

Anonim. 2024b. Erişim Adresi: https://arastirma.tarimorman.gov.tr/toprakgubre, Erişim Tarihi 01.11.2024

Anonim. 2025a. T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, Erişim Adresi: https://mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi 01.02.2025

Anonim. 2025b. T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, Erişim Adresi: https://mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi 02.02.2025

Anonymous. 2007. Premier Compost, LLC, Erişim Adresi: http://premiercompost.com, Erişim Tarihi 20.07.2012

Arslan Topal, E. I., ve Topal, M. 2013. Kompost Standartları Üzerine Bir Derleme, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 2(2) 85-108.

ASAE Standarts. 2002. Moisture Measurement - Forages. ASAE S358.2. Standards 2002; 565. St. Joseph, MI.

Avcıoğlu, A., Türker, U., Atasoy, Z. ve Koçtürk, D. 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar. Nobel yayınları, 493, Ankara.

Aviani, I., Laor, Y., Medina, S., Krassnovsky, A., Raviv, M., 2010. Co-composting of Solid and Liquid Olive Mill Wastes: Management Aspects and The Horticultural Value Of The Resulting Composts. Bioresource Technology 101, 6699-6706.

Balanda, O., Serafinowska, D., Marchenkoa, O., and Svystunovaa, I. 2022. Innovatıve technology of accelerated compostıng of chıcken manure to obtaın an organıc fertılızer wıth a hıgh content of humıc acıds. Agricultural Engineering, 26(2022), 133-144.

Bayer, Y. 2008. Ayrı Toplamanın Kompostlaştırma Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 113 s., İstanbul.

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.

Bhamidimarri, S. M. ve Pandey, S. P., 1996. Aerobic Thermophilic Composting of Piggery Solid Wastes, Water Science & Technology 33(8): 89-94.

Bilgili, M.S. 2013. Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Chung, W.J., Chang, S.W., Chaudhary, D.K., Shin, J., Kim, H., Karmegam, N., Govarthanan, M., Chandrasekaran, M. ve Ravindran, B. 2021. Effect of biochar amendment on compost quality, gaseous emissions and pathogen reduction during in-vessel composting of chicken manure, Chemosphere, 283, 131129.

Cooperband, L. 2004. Paper Mill Sludge and Compost Effects on Soil Properties and Potato Production. Department of Soil Science University of Wisconsin-Madison.

Çaycı, G., Temiz Ç., Sözüdoğru Ok, S. 2015a. Taze ve Kompost Edilmiş Etlik Tavuk Gübrelerinin Toprak Agregasyonuna Etkileri, 3. Uluslararası Beyaz Et Kongresi, Antalya.

Çaycı, G., Temiz Ç., Sözüdoğru Ok, S., Depel, G. 2015b. Etlik Tavuk Gübrelerinin Kompostlama Sürecindeki Değişimler, 3. Uluslararası Beyaz Et Kongresi, Antalya.

Diaz, L. D., Savage, G. M., Eggerth, L. L., Golueke, C. G. 1993. Composting and Recycling Municipal Solid Waste Lewis Publishers, Florida.

Diaz, L. F., Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., Stentiford, E. 2007. Compost Science and Technology, Waste Management Series 8, 364p, Netherlands.

Dhillon, G.S., Brar, S.K., Verma, M., Tyagi, R.D. 2011. Utilization of different agroindustrial wastes for sustainable bioproduction of citric acid by Aspergillus niger. Biochemical Engineering Journal. 54, 83-92.

Dursun, İ. 2002. Yüzey Artıklarıyla Erozyon Kontrolüne Uygun Toprak İşleme ve Ekim Alet-Makine Setlerinin Hesaplama Yöntemiyle Belirlenmesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 8 (2) 149-156.

Dursun, İ. ve Erol, M.A. 2015. Ekim, Bakım ve Gübreleme Makinaları (Gözden Geçirilmiş ve Genişletilmiş II. Baskı), Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1628, Ders Kitabı: 580, 402 s., Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.

Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O. ve Gürbüz, F. 1987, Araştırma ve Deneme Metotları. İstatistik Metotları-II., Ankara, Ankara Üniversitesi Yayınları, Ankara.

Eiland, F., Klamer, M., Lind, A.M., Leth, M. and Baath., E. 2001. Influence of Initial C/N Ratio on Chemical and Microbial Composition During Long Term Composting of Straw. Microb Ecol 41: 272-280.

Eleroğlu, H. ve Yıldırım A. 2014. Yeni Bir Teknoloji ile Kurutulan Tavuk Dışkısının Mikrobiyolojik ve Kimyasal Yapısının Belirlenmesi, Tavukçuluk Araştırma Dergisi 11 (1):28-34, Ankara.

Epstein, E. 1997. The Science of Composting. Technomic Publishing Company, Inc. CRC Press, 504, New York.

Erdener, U. 2010. Farklı Karıştırma Uygulamalarının Kompost Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.

Genetu, A. 2024. Composting Technology for Municipal Solid Waste Management and Production of Organic Fertilizer. Advance in Environmental Waste Management & Recycling, 7(2), 01-13.

Ghasemzadeh, S., Sharafi, R, Jouzani, G. S., Karimi, E., Ardakani, M.R. and Vazan, S., 2022. Efficient Lignocellulose Degradation During Rice Straw Composting With Native Effective Microorganisms and Chicken Manure. Organic Agriculture, 12, 397-409. https://doi.org/10.1007/s13165-022-00397-z.

Güzel, H. 2019. Farklı Kompostlama Sıcaklıklarının 3 Faz Sistem Pirinasının Tavuk Gübresi ve Talaş ile Kompostlanmasına Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.

Hamoda, M. F., Abu Qdais, H. A. and Newham, J., 1998. Evaluation of Municipal Solid Waste Composting Kinetics, Resources, Conservation and Recycling. 23:4, 209-223.

Haug, R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, London.

Hwang, H. Y., Kim, S. H., Kim, M. S., Park, S. J., and Lee, C. H. 2020. Co‐composting of chicken manure with organic wastes: characterization of gases emissions and compost quality. Applied Biological Chemistry, 63(3).

Kaçar, B., 1984. Bitki Besleme Uygulama Kılavuzu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 900.

Kaçar, H. 2018. Elma İşleme (ön eleme-ayırma) Katı Atıklarının Kompostlaştırılmasında Farklı Sıcaklık Uygulamalarının Süreç Performansına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Süleyman Demirel Üniversitesi.

Keneer, H. M., Dick W. A., Hoitink H. A. J. 2000. Composting and Beneficial Utilization of Composted By-Product Materials. Chapter 10. pp. 315-341. In: J. F. Poer vd., (eds). Beneficial Uses of Agricultural, Industrial and Muncipal By-Products. Soil Science Society of Amerika. Madison, Wisconsin.

Kınık, Ç. 2023. Otomatik Kontrollü Kompost Reaktörleri ile Çeltik Kavuzu Kompostu Yapımı ve Kompostun Kil Bünyeli Toprakların Bazı Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.

Kreith, F. 1999. Handbook of Solid Waste Management.

Külcü, R. ve Yaldız, O. 2005. Kompostlaştırma Tesislerinde Farklı Mekanizasyon Uygulamalarının Yatırım ve Üretim Maliyetlerine Etkisinin Belirlenmesi, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 1 (3), 189-196.

Külcü, R. ve Yaldız, O. 2007. Tavuk Gübresi, Karanfil ve Çim Atıklarının Kompostlaştırılmasında İşlem Parametrelerinin Belirlenmesi, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 3 (3), 161-167.

Külcü, R. 2013. Kompostlaştırma İşleminde Proses Yönetimi ve Sistemler, I. Ulusal Kompost ve Biyogaz Çalıştayı, 9-9, Antalya.

Külcü, R. ve Çaylak, R. 2014. Kompostlaştırma Prosesinde Sıcaklık ve Havalandırma Oranı Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9 (1), 118-126.

Kütük, C. 2013. Bolu'daki Tavuk Dışkılarından Kompost Gübre Olarak Yararlanılması. Tavukçuluk Araştırma Dergisi 10: 40-46, Basılı ISSN: 1302-3209, Ankara Tavukçuluk Araştırma İstasyonu, Ankara.

Lim, L. Y., Bong, C. P. C., Lee, C. T., Klemes, J. J., Sarmidi, M. R. and Lim, J.S. 2017. Review on the Current Composting Practices and the Potential of Improvement using Two-Stage Composting, Chemical Engineering Transsactions, Vol.61.

Mbuligwe, S.E., Kassenga, G.R., Kaseva M.E. and Chaggu E.J. 2002. Potential and Constraints of Composting Domestic Solid Waste in Developing countries: findings from a pilot study in Dar es Salaam, Tanzania Resources, Conservation and Recycling.

Mussatto, S.I., Ballesteros, L. F., Martins, S., Teixeira, J. A. 2012. Use of Agro-Industrial Wastes in Solid-State Fermentation Processes. Show, K. Y. (Ed.), Industrial Waste (121-140). InTech, 274p, Rijeka.

Onwosi, C., Igbokwe, V., Odimba, J., Eke, I., Nwankwoala, M., Iroh, I., and Ezeogu, L. 2017. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. Journal of Environmental Management, 190(2017), 140-157.

Özbek, B. ve Uçaroğlu, S. 2022. Farklı Hayvan Gübrelerinin Kompostlanması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 27(1), 437-452.

Özkan, A. 2019. Bioreaktör, Windrow ve Kapalı Statik Yığın Kompostlaştırma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış). Sakarya Üniversitesi, 70 s., Sakarya.

Öztürk, M. ve Bildik, B. 2005. Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, 160 s., Ankara.

Öztürk, M. 2017. Hayvan Gübresinden ve Atıklardan Kompost Üretimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Petric, I., Sestan, A., and Sestan, I. 2009. Influence of initial moisture content on the composting of poultry manure with wheat straw. Biosystems Engineering, 104(2009), 125-134.

Pichtel, J. 2005. Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial. CRC Press, 688p, Boca Raton.

Rynk, R. 1992. On Farm Composting Handbook. NRAES-54, Cooperative Extension Service, Northeast Regional Agricultural Engineering Services, Ithaca NY, USA.

Sanchez-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.

Sasaki, N., Suehara, K., Kohda, J., Nakano., Y. and Yang. Y. 2003. Effects of C/N Ratio and pH of Raw Materials on Oil Degradation Efficiency in a Compost Fermentation Process Journal of Bioscience and Bioengineering, 96,(1):47-52.

Schulze, K. L. 1962. Continuous Thermophilic Composting. Applied Microbiology, 10:108-122.

Slater R.A. and Frederickson, J. 2001. Composting Municipal Waste in The UK: Some Lessons from Europe Resources, Conservation and Recycling 32-359-374.

Snedecor, G.W.C. and William, G. 1989, Statistiscal Methots/George W. Snedecor and William G. Cochran.

Sönmez, İ., Sönmez, S., Kaplan, M. 2002. Çöp Kompostunun Bitki Besin Maddesi İçerikleri ve Bazı Organik Gübrelerle Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 16 (29): 31-38, Konya.

Stofella, P.J. and Kahn B.A. 2001. Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems. CRC Pres LLC.

Suhartini, S., Wijana, S., Surjono, S., Wardhani, N. W. S., and Muttaqin, S. 2020. Composting of chicken manure for biofertiliser production: a case study in Kidal

Village, Malang Regency. International Conference on Innovation and Technology, 524(2020).

Sülük, K. 2022. Sabit C/N Oranında Farklı Materyallerden Kompost ve Solucan Kompost Çayı Üretimi, Üretilen Kompost Çaylarının Zenginleştirilmesi ve Etkilerinin Belirlenmesi: Elma İşleme Atıkları Örneği. Doktora Tezi (Basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, 123 s., Isparta.

Süslü, A. 2018. Kompostlaştırma Sistemleri İçin Egzoz Gazı İçeriğini Temel Alan Proses Kontrol ve Yönetim Cihazının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, 58 s., Isparta.

Şekerci, Y. 2008. Karaman İlinde Elma Ağaçlarına Uygulanan Kentsel Katı Atık Kompostunun Toprak ve Bitkinin Bazı Özelliklerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış). Selçuk Üniversitesi, 91 s., Konya.

Tan, F. 2021. Composting Technology, In: Fertilizers and Their Efficient Use In Sustainable Agriculture. Bellitürk, K., Aslam, Z. (eds), Iksad Publishing House, 539-556, Ankara.

Tanuğur, I. 2009. Besi Tavuğu Kümes Atıklarının Farklı Katı Malzemeleriyle Aerobik Kompostlaştırılması. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi, 93 s., İstanbul.

Tiquia, M.S. and Tam, F.Y.N. 2000. Fate of Nitrojen During Composting of Chicken Litter. Environmental Pollution, 110 (3), 535-541.

Tiquia, M.S. and Tam, F.Y.N. 2001. Characterization and Composting of Poultry Litter in Forced-Aeration Piles. Process Biochemistry 37: 869-880.

Topkaya, B. 2004. Kompost. Ders notu (Basılmamış). Akdeniz Üniversitesi, 17 s., Antalya.

Toruk, F. and Ulger, P. 2004. Evaluation of Chicken Manure During The Composting Period, Bulgarian Journal of Agricultural Science, 10(4), 473-478.

Tosun, İ. 2003. Gül İşleme Posasının Evsel Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaşabilirliği. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi (Basılmamış). İstanbul.

Uygun, S. 2012. Ülkemizde Compost Üretimi Yapan Bazı Tesislerdeki Mekanizasyon Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Ankara.

Uygun, S. ve Dursun, İ. 2012. Türkiye' de Kompost Üretimi Yapan Bazı Tesislerin Mekanizasyon Özelliklerinin belirlenmesi, 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Samsun.

Vandecasteele, B., Reubens, B., Willekens, K., and De Neve, S. 2014. Composting for increasing the fertilizer value of chicken manure: effects of feedstock on P availability Waste Biomass Valor. Waste and Biomass Valorization, 5(3), 491-503.

Vuorinen, A.H. and Saharinen, M.H. 1997. Evolution of Micrbiological and Chemical Parameters During Manure and Straw Co-Composting in A Drum Composting System.

Wei, Y.S., Fan, Y.B., Wang, M. J., Wang, J. S. 2000. Composting and Compost Application in China. Resources, Conservation and Recycling, 30, 277-300.

Wong, J.W.C., Mak, K.F., Chan, N.W., Lam. A., Fang, M., Zhou, L.X., Wu, Q.T. and Liao, X.D. 2001. Co-composting of Soybean Residues and Leaves in Hong Kong. Bioresource Technology 76: 99-106.

Wong, J. W. C., Fung, S. O., Selvam, A. 2009. Coal Fly Ash and Lime Addition Enhances the Rate and Efficiency of Decomposition of Food Waste During Composting, Bioresource Technology, 100, 3324-3331.

Wong, J. W. C., Tyagi, R., Pandey, A. 2016a. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Elsevier, 534p, US.

Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş, A. 2009. Kompost Teknolojileri ve İstanbul'daki Uygulamaları, Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, İstanbul.

Yılmaz, E.C., Temel, F.A., Yolcu, Ö.C., Turan, N.G. 2022. Modeling and optimization of process parameters in co-composting of tea waste and food waste: Radial basis function neural networks and genetic algorithm. Bioresource Technology. 363,127910.

Yurtsever, N. 2011. Deneysel İstatistik Metodları, Ankara, T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü, Ankara.

Zhang, L., Sun, X., 2016b. Improving green waste composting by addition of sugarcane bagasse and exhausted grape marc. Bioresour. Technol. 218(2016), 335-343.

Zhang, L., Sun, X., 2016c. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. Waste Manage 48(2016), 115-126.

Zhu, N. 2007. Effect of Low Initial C/N Ratio on Aerobic Composting of Swine Manure with Rice Straw. Bioresource Technolog .98(1), 9–13.