

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİOREAKTÖR, WİNDROW VE KAPALI STATİK
YIĞIN KOMPOSTLAŞTIRMA YÖNTEMLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ÖZKAN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Meral YURTSEVER

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BIÖREAKTÖR, WİNDROW VE KAPALI STATİK
YIĞIN KOMPOSTLAŞTIRMA YÖNTEMLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Abdullah ÖZKAN


Enstitü Anabilim Dalı

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 18/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Dr. Öğr. Üyesi
Meral YURTSEVER
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Fatih KARADAĞLI
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Nursel Kırath YILMAZÇOBAN
Üye

BEYAN

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Abdullah ÖZKAN

18.09.2019

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Meral Yurtsever'e, Sakarya Üniversitesi'nde tanıdığım hocalarıma ve ilk öğretmenim İsmail Orhan başta olmak üzere bugüne kadar bana emeği geçen tüm öğretmenlerime teşekkürlerimi sunarım.

Beni yetiőtiren ve hiçbir konuda desteğini esirgemeyen sevgili annem, babam ve hep yanımda olan kardeőtine, desteklerini daima yanımda hissettiğim Alparslan ailesi ve tüm yakınlarıma, tüm arkadaşlarıma ve bana iş hayatımda her konuda destek olan sevgili Ergün Özkan'a ve daha ismini sayamadığım tüm tanıdıklarına teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde yanımda duracağına söz veren, her konuda olduğu gibi öğrenim hayatımda da hep destekçim olan sevgili eőtım Uzman Sosyolog Feyza Nur Alparslan Özkan'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vi |
| TABLolar LİSTESİ | vii |
| ÖZET..... | viii |
| SUMMARY | ix |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Kompost'un Tarihçesi | 3 |
| 1.2. Kompost Tanımı..... | 4 |
| 1.3. Kompostun Kullanım Alanları | 6 |
| 1.4. Kompostlaştırma Süreci | 9 |
| 1.5. Kompostlaştırma Sürecindeki Mikroorganizmalar | 10 |
| 1.6. Kompostlaştırmanın Aşamaları..... | 12 |
| 1.6.1. Aktif kompostlaştırma | 12 |
| 1.6.2. Olgunlaşma aşaması | 13 |
| 1.7. Kompostlaştırmayı Etkileyen Faktörler | 14 |
| 1.8. Kompostlaştırma Yöntemleri | 17 |
| 1.8.1. Biyoreaktör yöntemi..... | 17 |
| 1.8.2. Aktarmalı yığın kompostlaştırma..... | 19 |

| | |
|---|----|
| 1.8.3. Havalandırılmalı statik yığında kompostlaştırma..... | 22 |
| 1.8.4. Pasif yığında kompostlaştırma | 24 |
| 1.8.5. Küçük ölçekli kompostlaştırma yöntemleri | 26 |

BÖLÜM 2.

BİOREAKTÖR, WINDROW VE KAPALI STATİK YIĞIN KOMPOSTLAŞTIRMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

| | |
|---|----|
| 2.1. Biyoreaktör Yöntemi | 29 |
| 2.1.1. Biyoreaktör kompostlaştırma tesisi işletme incelemesi | 32 |
| 2.1.2. Biyoreaktör kompostlaştırma yöntemi değerlendirilmesi | 34 |
| 2.2. Windrow Kompost Yöntemi | 36 |
| 2.2.1. Windrow kompost tesisi işletme incelemesi | 39 |
| 2.2.2. Windrow kompost yöntemi değerlendirilmesi | 42 |
| 2.3. Kapalı Statik Yığın Kompostlaştırma | 43 |
| 2.3.1. Kapalı statik yığın kompostlaştırma tesisi işletme incelemesi | 45 |
| 2.3.2. Kapalı Statik Yığın Kompostlaştırma Yöntemi Değerlendirilmesi..... | 49 |
| 2.4. İş ve İşçi Sağlığı ve Güvenliği | 50 |

BÖLÜM 3.

KOMPOST MALZEMESİ VE OLGUN KOMPOSTTAKİ PLASTİK KİRLİLİĞİ DEĞERLENDİRMESİ

| | |
|---|----|
| 3.1. Mikroplastikler'in Transferi, Besin Zinciri ve İnsan | 55 |
| 3.2. Kompostlaştırma-Mikroplastik Kirliliği ile ilgili Yaşam Döngüsü Yaklaşımı | 56 |

BÖLÜM 4.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER 59

KAYNAKÇA 64

EK 68

ÖZGEÇMİŞ 71



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C/N : Karbon/Azot

Kg : Kilogram

Kw : Kilowatt

Kw/sa : Kilowatt/Saat

m : Metre

m³ : Metreküp

O² : Oksijen

OM : Organik Madde

°C : Santigrat Derece

Sm³ : Standart Metreküp

% : Yüzde

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Kompostun Sınıflandırılması ve İlgili Kullanım Alanları | 7 |
| Şekil 1.2. Aktarmalı Yığın Kompostlaştırma Yöntemi Aktarma Ekipmanı Örneği | 20 |
| Şekil 1.3. Traktör Tahrikli Arıştırma Ekipmanı | 21 |
| Şekil 1.4. Kendi Yürür Tip Karıştırma Ekipmanı | 21 |
| Şekil 1.5. Havalandırmalı Statik Yığın | 22 |
| Şekil 1.6. Hammadde Karıştırma Ekipmanı | 23 |
| Şekil 1.7. Hücre Eklemeli Havalandırmalı Statik Yığın | 24 |
| Şekil 1.8. Pasif Havalandırmalı Yığın | 25 |
| Şekil 1.9. Bulky Malzeme Örneği | 25 |
| Şekil 1.10. Küçük Ölçekli Kompostlaştırma Örnekleri | 26 |
| Şekil 2.1. Sabit Kırıcı | 28 |
| Şekil 2.2. Mobil Kırıcı | 28 |
| Şekil 2.3. Biyoreaktör Genel Görünüm – 1 | 30 |
| Şekil 2.4. Biyoreaktör Genel Görünüm – 2 | 30 |
| Şekil 2.5. Biyoreaktör Kompostlaştırma Yöntemi İş Akım Şeması | 32 |
| Şekil 2.6. Kendi Yürür Tip Kompost Karıştırıcı | 36 |
| Şekil 2.7. Windrow Kompost Yöntemi İş Akım Şeması | 39 |
| Şekil 2.8. Windrow Kompost Yığın Oluşurma – 1 | 40 |
| Şekil 2.9. Windrow Kompost Yığın Oluşurma – 2 | 40 |
| Şekil 2.10. Windrow Kompost Yığını Sıcaklık Ölçümü | 41 |
| Şekil 2.11. Windrow Kompost Yığını Sıcaklık Ölçüm Probu Örneği | 41 |
| Şekil 2.12. Kapalı Statik Yığın (Tünel) Kompost Yöntemi | 43 |
| Şekil 2.13. Yığın Havaandırma Kanalları | 45 |
| Şekil 2.14. Kapalı Statik Yığın Kompost Yöntemi İş Akım Şeması | 45 |
| Şekil 2.15. Kapalı Statik Yığın Kompost (Tünel) Dolum Örneği | 47 |
| Şekil 3.1. Kompostlar ve Çevreye Dağılan Mikroplastikler | 58 |

TABLolar LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Tablo 1.1. Nihai Kullanıma Bağlı Olarak Kompost Kalite Kılavuzu..... | 8 |
| Tablo 1.2. Dewar Isınma Testi Stabilite Sınıflandırması..... | 9 |
| Tablo 1.3. Bakteri ve mantarların tipik özellikleri..... | 11 |
| Tablo 2.1. Hammadde İçerik Kabulleri..... | 29 |
| Tablo 2.2. Hammadde Türüne Göre Nem İçerikleri..... | 29 |
| Tablo 2.3. Biyoreaktör Kompostlaştırma Yöntemi Nihai Ürün Deposu Ölçüleri..... | 34 |
| Tablo 2.4. Windrow Kompost Yığın Ölçüleri..... | 37 |
| Tablo 2.5. Windrow Kompost Yöntemi Olgunlaştırma Deposu Ölçüleri..... | 38 |
| Tablo 2.6. Windrow Kompost Yöntemi Nihai Ürün Deposu Ölçüleri..... | 38 |
| Tablo 2.7. Kapalı Statik Yığın Kompost Alanı (Tünel) Ölçüleri..... | 44 |
| Tablo 2.8. Kapalı Statik Yığın Kompost Olgunlaştırma Alanı Ölçüleri..... | 48 |
| Tablo 2.9. Kapalı Statik Yığın Kompost Yöntemi Nihai Ürün Deposu Ölçüleri..... | 49 |
| Tablo 4.1. Yıllık İşletme Maliyetleri..... | 61 |
| Tablo 4.2. Entegre Yöntemler Yıllık Giderleri..... | 62 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Geri kazanım, kompost, teknikler, atık, içerik, plastik

Dünya nüfusunun gün geçtikçe artışı, şehirleşmenin hızlanması, teknolojinin ve endüstrileşmenin gelişmesi kaynaklı yoğun üretim ve tüketim çağı başlamıştır. Hız kesmeden artan üretim talepleri hammadde tüketiminin aşırılaşması ve tüketim sonucu ortaya çıkan atıkların her gün daha da büyük sorunlar haline dönüşmesi ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu çalışmada son zamanların en büyük çevre kirliliği kaynağı olan katı atıkların bertaraf sorunlarına çözüm olarak oluşturulmuş geri kazanım sistemleri içerisinde en hızlı ve en aktif sistem olan kompostlaştırma ele alınmıştır. Kompostlaştırma ile geri kazanım hem çevresel sorunları çözmekte en kolay erişilebilir bir uygulama hem de diğer yöntemlere göre ekonomik getirisi çok yüksek bir yöntemdir. Çalışmada günden güne artan teknolojik ilerlemeler ile öne çıkmaya ve pratikte de uygulamaları yaygınlaşmaya başlamış olan üç ayrı kompostlaştırma yöntemi incelenmiş ve kıyaslanmıştır. Biyoreaktör, Windrow ve kapalı statik yığında (Tünel) kompostlaştırma yöntemleri değerlendirilerek bu yöntemlerle işletilen tesislerde hammadde, verimlilik ve sürdürülebilirlik konuları irdelenmiştir. Dünyamızda son on yılda üretimi, kullanımı ve buna bağlı olarak çevredeki atıkları katlanarak artmakta olan ve parçalanması için yüzyıllar gereken plastik atıkların, kompostlarda bulunma ihtimali dikkate alınarak bazı analizler yapılmış ve yaklaşımlarda bulunulmuştur. Plastik parçacıklarının (nano, mikro ve mezo boyutta) kompost hammaddesi ve olgun kompostta bulunması durumunda çevrede oluşturabileceği riskler sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmiştir.

EVALUATION OF BIOREACTOR, WINDROW AND CLOSED STATIC MASS COMPOSTING METHODS

SUMMARY

Keywords: Recycling, compost, techniques, waste, content, plastic

The intensified production and consumption era started with the increasing population of the world, accelerating urbanization, and the development of technology and industrialization. Increasing production demands, the excessive increase in raw material consumption and the wastes resulting from consumption becoming a bigger problem cause serious environmental issues. In this study, composting, which is the fastest and most active system of Recycling Systems, is considered as the solution to the problem of disposal of solid wastes, which is the biggest source of environmental pollution recently. Recycling by composting is an easily accessible application to solve environmental problems and is a highly economical method compared to other methods. This study examined and compared three composting methods which have started to stand out with advancing technological developments and become popular in practice. Bioreactor, Windrow and closed static mass (Tunnel) composting methods were investigated, and subjects of raw material, productivity and sustainability at facilities using these methods were addressed. Certain analyses were made and approaches were evaluated based on the possible presence of plastic wastes, which have been increasing in the environment due to production and usage in the last decade and take centuries to degrade, in composts. Risks that may be posed on environment by plastic particles (in nano, micro and meso sizes) in case of being in the compost raw material and mature compost were evaluated in terms of sustainability.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Giderek artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak beraberinde gelen şehirleşmenin en üst düzeye çıkması, endüstrileşme ve teknolojik gelişmelerin getirdiği yoğun üretim ve hammadde ihtiyacının durdurulamaz seviyede artmış olması onarılması neredeyse sıfır derecesinde olan ciddi çevre sorunlarına sebep olmaktadır. İhtiyaçların karşılanması için üretim devam etmek zorundadır ancak kullanılan hammaddenin en hızlı şekilde geri kazanılıp çevresel döngüdeki yerine koyulması dünya yaşamının, sürdürülebilirliğin tek çözümüdür.

Çevre kirliliğinde en büyük paya sahip olan atıkların (katı, sıvı, gaz) kontrol altına alınması ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilerek tahribatı minimize etmek çevresel döngünün devamlılığı için tartışmasız tek çözüm yoludur. Şehirleşmenin kaçınılmaz getirisi olarak hızlı ve yüklü miktarlarda atık oluşumu, bu atıkların en hızlı ve güvenilir yöntemlerle kontrol altına alınması için entegre kontrol sistemlerinin geliştirilmesini gerektirmiştir.

Kompostlaştırma yöntemi, doğadaki madde döngüsüne en aktif ve en hızlı katkı sağlayan bir yöntemdir. Hızlı bir şekilde organik maddenin geri kazanımı sağlanarak üretilen kompostun tarım uygulamalarında pratik bir şekilde kullanımı mümkün olmaktadır. Kompostlaştırma sonucu elde edilen kompost, gübreden farklı olarak toprağı ıslah edici, organik değeri ve su tutma kabiliyeti yüksek olan bir malzemedir. Toprağın boşluk hacmini arttırıp havalandırılmasını, besin maddelerinin daha iyi kullanılmasını sağlamak ve toprağın işlenebilirliğini kolaylaştırmaktadır [1-3].

Kompostlaştırma sürecinin temel olarak aktif kompostlaştırma ve olgunlaştırma şeklinde iki biyolojik aşaması bulunur. Birbiri ardına işleyen iki aşamayı ayrı ayrı belirlemek ve gerekli müdahaleleri yapmak, nihai ürünün kalitesi ve içerik özellikleri

açısından büyük öneme sahiptir. Degradasyonun aktif kompostlaştırmada tam sağlanabilmiş olması son üründe stabil yapıyı etkiler.

Stabilite sınıflarına göre nihai kompost ürününün kullanım alanları değişmektedir. Nihai ürün kalitesi ne kadar yükselirse, ekonomik olarak değerlendirilebilirliği de o ölçüde artar [3-6]. İhtiyaçların karşılanması için üretim devam etmek zorundadır ancak kullanılan hammaddenin en hızlı şekilde geri kazanılıp çevresel döngüdeki yerine konulması sürdürülebilirliğin tek çözümüdür. Bu çözümler içerisinde, son zamanlarda önemi iyice anlaşılan ve üzerinde çalışılması gereken yöntem, kompostlaştırmadır.

Kompostlama işlemlerinde genel olarak kompost yapıldıktan sonra olgun kompost kısmı, tamamen ayrılmamış organik materyallerden ve diğer safsızlıklardan (cam, metal ve plastik) elenerek ayrılır. Ayrılabilen bu safsızlıklar bertaraf için düzenli depolama tesislerine gönderilir.

Ancak ayrılamayan ve elek altındaki kompost içinde kalan mikro boyuttaki plastik parçacıkları kompostların tarım arazilerine uygulanması gibi süreçlerle tüm çevreye dağılabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı katı atık bertaraf çalışmalarını, çevrede olumsuz etkilere sahip mikroplastikleri artıran değil azaltıcı süreçlere ağırlık vererek yürütebilmek son derece önemlidir.

Bu çalışmada çevre kirliliğinin önemli bir kaynağı olan katı atıkların, çevre ile en uyumlu yapıya dönüştürülerek doğada tekrar kullanımını sağlayan ve son yılların en aktif ve çevresel döngüye en hızlı cevap verecek olan kompostlaştırma yöntemleri endüstriyel boyuttaki tesisler üzerinden değerlendirilmiştir.

Kompost hammaddesi içerisinde bulunması arzu edilmeyen plastik gibi maddelerin parçacıklarının yani mikro ve mezoplastiklerin komposta girebilme ihtimali ve kompostun çevredeki topraklara faydalı uygulamaları neticesinde çevrede nasıl bir plastik kirliliği yayılmasına sebep olacağı konuları da irdelenerek bu durum bir yaşam döngüsü analizi üzerinden açıklanmaya çalışılmıştır.

1.1. Kompost'un Tarihçesi

Eski çağlarda tarıma bağlı toplumlar araştırıldığında genelde nehir kenarlarında yaşadığı görülmektedir. Nehir kenarlarında yaşamının tek bir sebebi vardı; bu da nehir sularının taşıdığı alüvyon ile yatak boyunca tarımsal hayatın sürekli devam ediyor olmasıydı. Zaman ilerledikçe tarım faaliyetlerinde verimliliğin artırılması ve sürekliliğin sağlanması için gübre kullanımı konusu ortaya çıktı.

Yapılan denemeler ve gözlemler sonunda en yararlı gübrenin hayvansal gübre olduğu fark edilmiş ve çeşitli yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu yöntemlerin içerisinde bulunan ve halihazırda uygulama şekli ve kontrol edilebilirliği ile organik varlığın toprağa geri verilebilmesi için kompostlaştırma en öne çıkan yöntem olmuştur.

Kompostlaştırma hakkında yapılan çalışmalar ilk olarak Amerika'da 1880'li yıllarda başlamış olup, "Nort Carolina Agricutural Experimental Station" tarafından 1888 yılında 61 numaralı bültende "Compost-Formulas, Analyses And Value" adlı çalışma ile yayınlamıştır.

İlk aşamalarda uzun yıllar denemeler yapılmış, neticeler kayıt altına alınmıştır. Kayıtlara göre büyük ölçekli ilk kompostlaştırma çalışması 1924-1931 yılları arasında Hindistan' da yapılmış ve uzun araştırma ve geliştirmeler ile günümüz kompostlaştırma proseslerinin temelleri atılmıştır [7].

Kompostlaştırma prosesi en hızlı gelişim dönemini 1950-1960 yılları arasında yaşamış, günümüz yöntemleri bu dönemde geliştirilmiştir. Teknolojik gelişmelerin çevresel boyutta eksileri olduğu gibi katı atık geri kazanım yöntemleri arasında en hızlı geri dönüşe sahip olan kompostlaştırma yöntemlerinin gelişmesi ve çeşitlenmesine katkısı büyüktür.

Günümüzde ev tipi sistemlerden, entegre katı atık yönetimi içerisinde değerlendirilen büyük ölçekli endüstriyel yöntemlere kadar birçok sistem geliştirilmiştir.

Kompostun birçok farklı şekilde üretimi gerçekleştirildiği gibi farklı alanlarda kullanımında söz konusudur. Örneğin, istiridye mantarı üretimi için kompost kullanılmakta veya maden sahaları rehabilitasyonu içinde kompost kullanımı önemli bir yer tutmaktadır.

1.2. Kompost Tanımı

Kompost, organik atıkların aerobik/anaerobik ortamda biyolojik olarak ayrışması sonucunda oluşan humus içeriği yüksek, toprak şartlandırıcısı olarak gübre niteliği bulunan geri kazanım ürünüdür.

Kompostlaştırmanın en büyük faydası; atıkların stabil hale dönüştürülmesidir. Kontrol altına alınan ve işlem sonrası faydalı ürüne dönüşme oranı ile katı atık entegre yönetimi için en büyük sorun olan inert atık miktarını minimize eden kompost, üzerinde durulması ve geliştirilmesi gereken yöntemlerin en başındadır.

Kompost üretimiyle sağlanan başlıca faydalar [7];

- Düzenli depolama için ihtiyaç duyulan kullanım hacminin maksimum seviyede düşmesi
- Topraktaki Organik Madde (OM) oranının kontrol edilebilir şekilde artırılması
- Toprak su tutma kapasitesinin artarak su tasarrufu sağlanması
- Toprak için gerekli temel besin maddelerinin en aktif şekilde geri kazanılması ve beraberinde gübre maliyetlerinde tasarruf edilmesi
- Kompostlaştırma süreci sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar ile zararlı patojenlerin giderilmesi
- Doğaya (Toprak, su, hava) karışarak kirliliği artıracak olan kimyasalların biyobozunumunun sağlanması
- Kimyasal gübrenin aksine toprak kalitesinin ve rejenerasyonun hızlı bir şekilde artırılması
- Yapısal özelliği gereği toprak yapısındaki su tutma ve hava geçirgenliği artırarak verimliliğe katkı sağlaması

Yukarıda sayılan ve daha birçok faydası ile vazgeçilmez hale gelen kompost sürdürülebilir gelişim için zorunludur.

Türkiye açısından gün geçtikçe şehirleşme artıyor ve atık miktarları katlanıyor. Gelişimin en büyük temeli olarak hammadde ihtiyacının her geçen gün artması nedeniyle, verimlilik artırmak amacıyla maksimum seviyede ve bilinçsiz olarak kimyasal gübre kullanımı toprak yapısındaki OM miktarını düşürmektedir, toprak zenginliğimiz zayıflamaktadır.

Topraklarımızı iyileştirmek için kompost üretimi ve aktif olarak kullanımı kaçınılmazdır. Bu nedenle ülkemizde son yıllarda kompost üzerine çalışmalar artmış yeni tesisler kurulmaya başlamış ancak yetersizdir.

Türkiye’de açığa çıkan atık miktarının ortalama yarısının içeriğinin organik olduğu varsayılırsa bertaraf yöntemleri içinde kompostlaştırmanın önemi göz ardı edilemez derecede büyüktür.

Kompostun faydalarını iki başlık altında ele alabiliriz;

1. Belediyelere faydaları; Belediyelerde oluşan kentsel katı atıkların optimum fayda ve maliyet göz önünde bulundurularak değerlendirilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle kentsel katı atık içerisindeki organik materyalin kompostlanması ile hem ekonomik hem de çevresel yararlar elde edilir;
 - Katı atığın bertarafında uygulanan diğer yöntemlere göre kompostlaştırma maliyeti daha düşüktür.
 - Deponi sahalarına gönderilen atık miktarlarını ciddi miktarda azaltır. Dolayısı ile deponi sahasının kullanım ömrünü uzatır.
 - Deponi sahalarından kaynaklı kirletici hava emisyonlarına ve yeraltı suyu kirlenmesinin önlenmesi sağlanır.
 - Deponi sahalarının kullanım ömrünün uzamasına bağlı olarak depolama için harcanacak giderlerde düşme sağlanacaktır.

- Belediyeler, tatil yerleri, yeşil alanlar ve tarımsal alanlarda kullanılabilecek ayrıca ticari değere sahip organik ve temiz bir ürün elde edilir.
- Atık geri kazanımı ile topraktan gelen organik maddelerin tekrar toprağa iadesi sağlanabilmekte ve toplum için potansiyel bir kazanç oluşmaktadır.

2. Tarımsal faydaları; kompostlama prosesi ile toprağı zenginleştirme imkânı sağlayan bir ürün elde etmek mümkündür. “Kompost üretmek ve tarım alanlarına uygulamak, daha sürdürülebilir gıda üretim sisteminin bir parçasıdır. Amerika’da 8000’den fazla çiftlik, hayvan ölülerini, dışkılarını, ürün atıklarını, şehir veya endüstriden aldıkları bazı organik maddeleri kompostlamaktadır” [8].

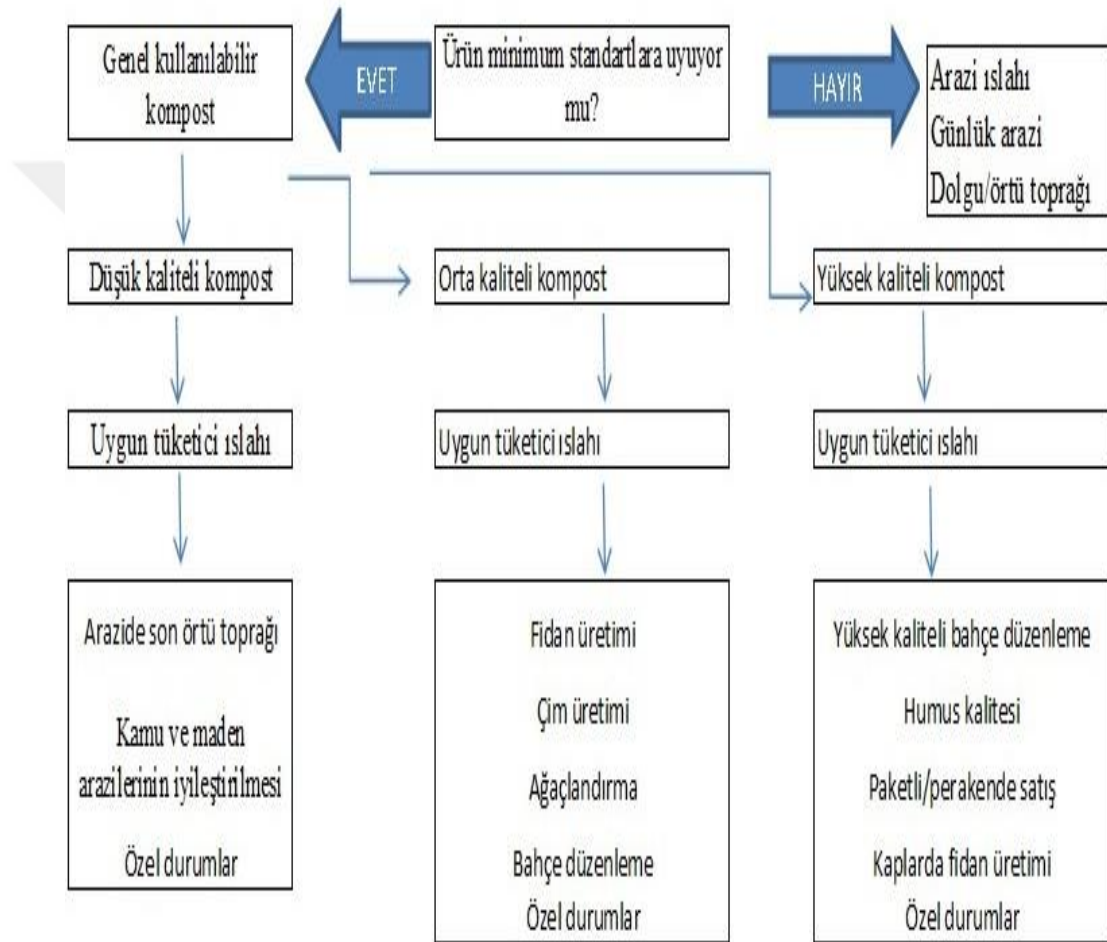
- Ziraî ürün atıkları ve hayvan gübreleri için verimli bir geri dönüşüm yöntemidir.
- Depolanan gübrenin nem, ağırlık ve hacmi azalır
- Gübre ve diğer tarımsal yan ürünlerden kaynaklı sinek, koku ve yabancı ot problemini azaltır.
- Yeraltı sularına veya yüzeysel su kaynaklarına sızma ihtimali daha düşük bir azot yapısı elde edilir.
- Bitkiye faydalı besin maddeleri daha yavaş salınır.
- Toprağın su tutma kapasitesini ve porozitesini artırır.
- Yoğunluğu yüksek topraklarda hacmi artırır dolayısıyla süzülme hızını artırarak erozyonu azaltır.
- Düzenli olarak kullanılması ile toprak kalitesini artırır ve sürdürülebilir tarıma olanak sağlar.

1.3. Kompostun Kullanım Alanları

Gelişen kompostlaştırma yöntemleri ile nihai ürün kalitesi artmakta dolayısıyla piyasa değeri hızla artmaktadır. Kompostun kalitesini kontrol ederken; kompostun kalitesine

göre nihai kullanımın belirlenmesi veya nihai kullanıma göre kompostun kalitesinin belirlenmesi yaklaşımlarına göre hareket edilir.

Dikkat edilmesi gereken; kullanılacak yaklaşımın kompostlamanın amaç ve öncelikleri ile ham maddelerin bulunabilirliğine bağlı olarak seçilmesidir.



Şekil 1.1. Kompostun Sınıflandırılması ve İlgili Kullanım Alanları [7]

En kritik kompost kalite unsurları kompostun planlanan nihai kullanımına bağlıdır. Nihai kullanıma bağlı olarak kompost kalite kılavuzu Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Nihai Kullanıma Bağlı Olarak Kompost Kalite Kılavuzu [8]

| Kalite Hatları Kompostun Nihai Kullanımı | | | | |
|--|---|---|---|---|
| Karakteristik | Saksı Toprağı Sınıfı | Saksı Malzemesi İyileştirme Sınıfı | Üst Giydirme Sınıfı | Toprağı İyileştirme Sınıfı |
| Tavsiye edilen kullanım | İlave karıştırmasız büyüme ortamı olarak | Saksı ürünleri için pH < 7,2'de büyüme ortamını formüle etmede | Esasen üst giydirme | Tarım topraklarını düzeltme, bozulmuş toprağın onarımı, pH 7,2' den az olan peyzaj bitkilerinin bakımı ve onarımı |
| Renk | Koyu kahve veya siyah | Koyu kahve veya siyah | Koyu kahve veya siyah | Koyu kahve veya siyah |
| Koku | İyi, toprak kokusunda olmalı | İstenmeyen koku olmamalı | İstenmeyen koku olmamalı | İstenmeyen koku olmamalı |
| pH | 5,0 - 7,6 | Aralık tanımlanmalıdır | Aralık tanımlanmalıdır | Aralık tanımlanmalıdır |
| Partikül boyutu | < 13 mm | < 13 mm | < 7 mm | < 13 mm |
| Çözülür tuz konsantrasyonu | < 2,5 | < 6 | < 5 | < 20 |
| Yabancı maddeler | Cam, plastik ve 3- 13 cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının % 1'inden fazlasını içermemeli | Cam, plastik ve 3- 13 cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının % 1'inden fazlasını içermemeli | Cam, plastik ve 3- 13 cm çaplı yabancı partiküllerin ıslak karışımının % 1'inden fazlasını içermemeli | Cam, plastik ve yabancı partiküllerin ıslak karışımının % 5'inden fazlasını içermemeli |
| Ağır metaller | Sınırsız kullanım için EPA standartlarında verilen değerleri aşmamalı | Sınırsız kullanım için EPA standartlarında verilen değerleri aşmamalı | Sınırsız kullanım için EPA standartlarında verilen değerleri aşmamalı | Sınırsız kullanım için EPA standartlarında verilen değerleri aşmamalı |
| Solunum oranı mg/kg saat | < 200 | < 200 | < 200 | < 400 |

Bu çalışmada kompost kalite ölçüm parametresi olarak Dewar İndisi baz alınmıştır.

Dewar İndisi; biyolojik aktivitenin göstergesi olarak, kompost ürününün kendiliğinden ısınmasını ölçen standart bir yöntemdir. Özel ortam sıcaklığına göre kalibre edilmiş izole Dewar kaplarında kompost numunesinin 10 gün boyunca inkübasyonu sonucunda ürettiği en yüksek sıcaklık farkının ölçülmesi esasına dayanır.

Test sonuçlarının yorumlanması kompost sıcaklıklarının her 10°' lik artışına karşılık gelen beş seviyeye ayrılarak yapılmaktadır. Tablo 1.2.'de Dewar ısınma testi stabilite

sınıflandırması gösterilmiştir [7]. Tablodaki stabilite sınıfına göre nihai ürün kalitesi ve uygun kullanım alanları belirlenir.

Tablo 1.2. Dewar Isınma Testi Stabilite Sınıflandırması [7]

| Ortam ile Dewar kabı içerisindeki sıcaklık farkı (°C) | Stabilite sınıfı | Olgunluk tanımı |
|---|------------------|--|
| <10 | V | Bitmiş kompost, çok stabil |
| 10-20. | IV | Olgunlaşan kompost, orta stabil |
| 20-30 | III | Aktif kompost, ayrışan ve stabil olmayan |
| 30-40 | III | Olgunlaşmamış kompost, çok aktif kompost |
| >40 | I | Ham atık, taze kompost |

1.4. Kompostlaştırma Süreci

Kompostlaştırma; doğada biyolojik olarak kendiliğinden oluşan degradasyon sürecinin optimize edilmiş gerekli şartlarını sağlayarak, kontrollü yöntemler sonucunda etkin ve kararlı bir son ürün elde edilmesi yöntemidir. Evsel amaçlı kompost üretim türlerinden, endüstriyel boyutta kompost üretimine, solucan veya mantar kompostu üretimine kadar çok çeşitli yöntemler mevcuttur ve geliştirilmeye devam etmektedir.

Kompostlaştırma sürecinin aktif olarak devamlılığının sağlanması nihai ürün kalitesinin istenilen nitelikte olması için kontrol edilmesi gerekenler [7];

- a. Malzeme;
 - Organik atık, hacim artırıcı maddeler, diğer iyileştirici katkı maddeleri
- b. İşletim koşulları;
 - Nem
 - Sıcaklık
 - Partikül boyutu ve dağıtımı, yüzey alanı
 - Besin maddesi dengesi ve C/N oranı, biyobozunabilir içerik
 - pH
 - Havalandırma

- Porozite
- c. Çevresel, ekonomik ve sosyal etki
 - Havaya, suya, toprağa karışan kirleticiler
 - Sistem ve ekipmanlar
 - Maliyet
 - Güvenlik

Kompostlaştırmada dört önemli adım bulunmaktadır;

1. Hammaddenin istenilen genel özelliklere sahip karışıma ulaşmak için işlenerek ve karıştırılarak hazırlandığı ön işlem
2. Aktif kompostlaştırma
3. Olgun ve stabil ürün elde etmek için gerekli olgunlaştırma aşaması
4. Ürünün satılması ve dağıtımı için kalite kriterlerini karşılamak üzere uygulanan yöntemler

1.5. Kompostlaştırma Sürecindeki Mikroorganizmalar

Atığın kompostlaştırılmasında birbiri ardına devam eden çok kompleks bir mikroorganizma faaliyeti görülür. Süreç içerisinde dahil olan organizmalar belirleyici aktif özelliklerine göre sınıflandırılır. Bunların en önemli role sahip olanları; bakteri, mantar ve aktinomisetlerdir. Bunlar ayrıştırıcılar olarak görev alırlar.

Aktif kompostlaştırmanın safhaları göz önüne alınırsa; 25 °C altında çoğalan mikroorganizmalara psikrofilik, 25°C - 45°C aralığında çoğalanlara mezofilik ve 45°C - 80°C arasındaki sıcaklıklarda çoğalanlara ise termofilik mikroorganizma adı verilir. Aktif kompostlaştırmanın başlangıç safhası olan mezofilik safhada daha çok kolay deşere olan OM'lerin ayrıştırılmasında bakteriler rol alır. Aktinomisetler ve mantarlar ağırlıklı olarak diğer aşamalarda aktiftirler.

Bakteriler sayısal açıdan baskın tür olmalarına rağmen, nispeten küçük boyutları nedeniyle mikrobiyolojik kütlede mantarlar kadar etki etmezler. Genel olarak düşük nem ve pH ortamlarında faaliyet gösteremezler. Ancak 75°C' ye kadar dayanıklı yapıda olan türleri kompostlaştırma prosesinde bulunur.

Mantarlar filament oluşturabildikleri için kimi zaman gözle görülebilecek boyutlara ulaşır. Bunlar lignin gibi degradesyonu zor olan kompleks polimer yapıya sahip OM'leri parçalar. Kompostu fiziksel olarak küçük parçalara ayırma özellikleri sayesinde kompost yığınının etkili hava girişinin ve oluşturduğu gözenekli yapı sayesinde su drenajı sağlar. Düşük pH, kuru ortamlar ve 60 °C 'ye kadar olan sıcaklıklarda çoğalarak etkin olurlar.

Kompost sürecinde rol oynayan bakteri ve mantarların karşılaştırılması Tablo 1.3.'te verilmiştir [7].

Tablo 1.3 Bakteri ve mantarların tipik özellikleri [7]

| Parametre | Bakteri | Maya |
|-------------|-----------------------|----------------------|
| Karbon/azot | Azot tercihi | Karbon tercihi |
| Su | Yüksek Nem | Düşük Nem |
| Oksijen | Düşük Oksijende Yaşar | > %6 Oksijen Gerekir |
| Sıcaklık | 75 °C | 60 °C |
| Ph | < 5' te Yavaş | < 5' te Uygun |
| Süre | Daha Hızlı Çoğalma | Daha Yavaş Çoğalma |

Aktinomisetler ise patojenik özelliklere sahip olan ve OM ayrıştırıcı görevi üstlenen, aktivitesi sonucunda kompostta topraksı koku veren filamentli yapıya sahip bakteri ailesinden sayılan mikroorganizma türüdür.

Kompost sürecinde yer alan mikroorganizmaların genel özellikleri [7];

a. Bakteriler;

- Miktar ve faaliyet açısından baskın
- Hızlı büyür
- Yüksek pH ortamlarına uyum sağlar
- Yüksek nem içeriğine daha iyi uyum sağlar
- Aerobik ve anaerobik ortamlarda yaşayabilir

b. Mantarlar;

- Olgunlaşma aşamasında etkin
- Ayrışmaya dirençli maddeler üzerinde çoğalabilir
- Geniş pH aralığında yaşayabilir

- Düşük nem ortamında yaşayabilir
- c. Aktinomisetler
 - Kompostun son aşamasında etkin
 - Lignin ve selüloz üzerinde çoğalır
 - Nötr ila hafif bazik koşullarda aktif
 - Toprağa benzer koku salar

1.6. Kompostlaştırmanın Aşamaları

Kompostlaştırma sürecinin temel olarak iki biyolojik aşaması vardır;

1. Aktif kompostlaştırma
2. Olgunlaştırma

Birbiri ardına işleyen iki aşamayı ayrı ayrı belirlemek ve gerekli müdahaleleri yapmak nihai ürünün kalitesinde ve içerik özelliklerinde büyük öneme sahiptir. Degredasyonun aktif kompostlaştırmada tam sağlanabilmiş olması son üründe stabil yapıyı etkiler.

Stabilite sınıflarına göre nihai kompost ürününün kullanım alanları değişmektedir. Nihai ürün kalitesi ne kadar yükselirse ekonomik olarak değerlendirilebilirliği artar. Bu nedenle endsütriyel kompost tesislerinde takip edilmesi gereken en önemli parametre kompost stabilite sınıfıdır.

1.6.1. Aktif kompostlaştırma

Kompostlaştırmanın ilk aşamasında OM'lerin ayrışması ve fermantasyonu baskındır. Organik malzeme uygun şartlarda hazırlandığında sırasıyla mezofiliik ve termofilik sıcaklıkları içeren iki aşamada degredasyona uğrar. Ancak bu iki aşamada temel olarak; hammadde içeriği, oksijen temini ve nem içeriği gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterir.

Mezofilik sıcaklık hali hammaddenin biyobozunurluk durumuna göre 1 gün veya daha fazla sürebilir. Bu süreçte şekerler, organik ve amino asitler gibi kolay bozunabilir olan bileşikler kolayca bozunur.

Sürecde en aktif mikroorganizma bakterilerdir. Ortam sıcaklığı 45°C üzerine çıkmaya başlayınca mezofilik ortamda yaşam sağlayabilen mikroorganizmalar yerlerini termofilik ortama uygun mikroorganizmalara bırakır.

Termofilik sıcaklık evresinde kompost yığını içerisinde sıcaklık 1 veya 3 gün içinde (çevresel şartlar, nem içeriği vb. etmenler nedeniyle) 55 – 75 °C aralığına yükselir. Bu evre kompostlaştırma süreci şartlarındaki değişime göre birkaç gün veya birkaç hafta sürebilir. Bu yüksek sıcaklıklar degradasyonu zor olan selüloz gibi kompleks karbonhidratlar ile protein ve yağların degradasyonunu hızlandırır.

Yüksek enerji içerikli bileşikler azalmaya başladığında kompost sıcaklığı tekrar düşer. Sıcaklık düşüşü ile mezofilik mikroorganizmalar tekrar aktif hale gelir ve kalan OM'nin degradasyonuna devam eder. Seçilen teknoloji ve hammadde gibi kompostlaştırmayı doğrudan etkileyen faktörlere bağlı olarak aktif kompostlaştırma 4-6 hafta aralığında sürebilir.

1.6.2. Olgunlaşma aşaması

Aktif kompostlaştırma sürecinin takibi için belirli aralıklarla sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilir. Yaklaşık 4-6 hafta sonunda kompostlaştırmada rol alan mikroorganizma faaliyetleri yavaşlar ve sıcaklıkta belirgin bir düşüş yaşanır. Bu aşamadan sonra kompostlaştırılan hammadde olgunlaştırma safhasına geçmiştir ve belirlenen olgunlaştırma alanına alınmalıdır.

Olgunlaşma aşamasında hammadde içeriğindeki daha kompleks yapıya sahip olan organik moleküller bozunur ve daha kararlı humuslu maddeler oluşur. Bu süreç birkaç hafta sürebilir. Olgunlaştırmanın tamamlandığını yapılacak olan stabilite testi ile belirlemek mümkündür.

Genel uygulamada olgunlaşma süreci üzerinde çok durulmaz. Ancak yüksek kaliteli ve bitkiler için faydalı bir kompost üretimi için olgunlaştırma safhası çok önemlidir. Olgunlaşmamış kompost içeriğinde yüksek C/N oranı, kararsız pH veya yüksek tuz içeriği bulunabileceğinden mikrobiyolojik faaliyetin devam edebileceği ortam mevcut olabilir. Bu nedenle toprağa uygulanacak olgunlaşmamış kompost parçalanma sürecine devam ederek topraktaki azotu ve oksijeni kullanmaya başlar ve toprak organizmasının kötü etkilenmesine yol açabilir.

Olgunlaşmış kompost ürününde mikrobiyolojik faaliyet durmak üzeredir ve içeriğindeki basit yapılı organik maddeler tükenmiştir. Orijinal hammadde içeriğindeki moleküller parçalandığı için fiziki görünüm tamamen değişmiş olup koyu renk ve topraksı koku gözlemlenir. En ideal ve kaliteli kompostta ulaşmak için aktif kompostlaştırma ve olgunlaştırma safhalarının uygun olarak tamamlanması önemlidir.

1.7. Kompostlaştırmayı Etkileyen Faktörler

a. Oksijen

Kompostlaştırma için hazırlanan hammadde karışımının degradasyonunu sağlayan mikroorganizma grubunun etkinliği ortamdaki oksijen varlığı ile devam eder. Oksijen varlığı ile organik malzeme degradasyonu hızlı bir şekilde gerçekleşir. Oksijensiz ortamda üretilen kompost hem kalite olarak hem de kompostlaştırma süreci içerisinde ortaya çıkabilecek olan patojenik etkiye sahip bileşikler ve bunların ortaya çıkaracağı istemeyen kötü kokular nedeniyle oksijenli ortamda üretilen komposttan daha kötü durumdadır.

Genel olarak oksijenli kompostlaştırma yöntemleri daha hızlı olmaları ve degradasyon esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık sayesinde patojenik etkinin azalmasına fayda sağlamaları sebebiyle endüstriyel tesislerde tercih edilir. Aktif kompostlaştırma safhasında minimum %10, olgunlaşma aşamasında ise %5 civarında O₂ konsantrasyonu bulunmalıdır.

“Eğer ortamda yeterli oksijen bulunmazsa ortam anaerobik olur. Anaerobik bozunma farklı mikroorganizma yapısı ve farklı biyokimyasal reaksiyonları gerektirir. Ayrıca anaerobik işlem aerobik işlemde daha yavaştır ve verimi daha azdır. Maddelerin yapısındaki suyu buharlaştırmayı sağlayan ısı üretimi de azdır. Anaerobik işlemlerde metan , karbondioksit, organik asitler, hidrojen sülfür ve diğer maddeleri de içeren ara ürünler oluşur. Bu bileşiklerin bir çoğu, çok ağır koku yaydığından kontrol edilmesi gerekir. Ara ürünler (organik asitler) aerobik bozunmayla oluşmasına rağmen bu maddeler oksijen varlığında bozunmaya devam eder. Anaerobik şartlarda bu ara ürünler birikir. Anaerobik koşullarda oluşan kötü kokunun giderilmesi ve kompost ürününün daha kısa sürede elde edilebilmesi için aerobik koşulların korunması gerekir.” [9].

b. Serbest Hava Boşluğu, Yoğunluk ve Partikül Boyutu

Kompostlaştırmanın başlayabilmesi ve devam edebilmesi için hammadde partikülleri arasında serbest hava boşluğu bulunması önemlidir. Degredasyonun devam için gerekli olan oksijenin ortamda yeterli düzeyde dağılmış olması ve yanma prosesi sonrasında açığa çıkan gazların ortamdan ayrılabilmesi için danecik boyutu ve aralarındaki boşluğun iyi ayarlanması gereklidir. Aksi halde yetersiz oksijen seviyesi nedeniyle oksijensiz ortam oluşur, kompostlaştırma prosesi yavaşlar, istenmeyen kokular ortaya çıkar ve ürün kalitesi düşer. Kompostlaştırma için genellikle optimum partikül boyutu 6 ile 75 mm aralığında olmalıdır [7]. Genellikle partiküller arası boşluğun %35 - %50 arasında olması istenir. Daha yüksek boşluk seviyelerinde kompost içeriğindeki ısı kaybı artar ve düşük sıcaklıklara yol açar. Daha düşük boşluk seviyelerinde ise anaerobik şartlar ortaya çıkmaya başlar.

c. Sıcaklık

Kompostlaştırma mezofilik (10-40 °C) ve termofilik (>40 °C) sıcaklıklarda gerçekleşir. Kompostlaştırma mezofilik şartlarda tesirli olmasına rağmen çoğu araştırmacı sıcaklığın 43-65 °C arasında muhafaza edilmesini tavsiye etmektedir. [9] Hammadde karışımı içeriğindeki sıcaklık, nem ve oksijen muhtevası süreçte en önemli

parametrelerdir. Mikroorganizmaların belli alt ve üst yaşama sıcaklık aralığı vardır. Bu aralık dışına çıkıldığında büyüme ve çoğalma yavaşlayarak durma seviyelerine düşer.

Sıcaklık kontrolü nem ve oksijen muhtevası ölçümlerinden nispeten daha kolaydır. Degredasyonun devamlılığı için ortamda oksijen ve nem bulunmalıdır. Degredasyon sonucunda da ısı açığa çıkmaktadır. Bu nedenle sıcaklık kontrolü oksijen ve nem varlığında yorumlanmasında bilgi verir. Sıcaklığın belirli seviyede seyrediyor olması faaliyetin sorunsuz devam ettiğinin bir göstergesidir. Sıcaklıkta meydana gelen değişimler oksijen ve nem içeriğinin kontrol edilmesi için bir ön bilgilendirme niteliğindedir.

d. Nem

“Neredeyse tüm biyolojik faaliyetlerde olduğu gibi kompostlaştırma prosesinin devamlılığı içinde olmazsa olmaz parametre nem içeriğidir. Kompostlaştırılacak hammaddenin su tutma kapasitesine göre değişiklikler görülse de genel olarak uygun nem oranı %45-60 arasındadır. %40 altında nem içeriği mikrobiyal faaliyetin yavaşlayıp durmasına neden olur. Tam tersine %60 üzerinde nem içeriğinde ise partiküller arası boşluklar hava yerine su ile dolmaya başlayacak, aerobik ortam yerini anaerobik şartlara bırakacaktır. Anaerobik şartlarda degredasyon yavaşlayacak, kötü koku oluşumu başlayacak ve kompostlaştırma prosesi duracaktır. Bu nedenle kompostlaştırma sürecinde belirlenen periyotlarla nem içeriği kontrol edilmeli, gerekli durumlarda su takviyesi veya fazla nemi absorbe etmek amacıyla kuru hammadde karışımı yapılarak nem dengesi korunmalıdır.”[10].

e. C/N Oranı

Mikrobiyal faaliyetin varlığı için gerekli olan birçok elementin en önemlileri karbon ve azottur. Kompostlaştırma proseslerinin başlaması için prosese katılacak tüm hammaddelerin karbon ve azot içerikleri analiz edilmelidir. En ideal C/N oranı 30:1 olarak belirlenmiştir. Bu oranı sağlamak için hammadde karışım oranları belirlenmelidir.

Düşük C/N oranında ortamdaki azotun parçalanması için gerekli olan karbon bittiğinde kötü kokulara ve hatta zehirli etkiye sahip amonyaklı bileşikler oluşacak ve kompost süreci duracaktır. Yüksek C/N oranında ise mikroorganizma popülasyonunun büyümesi için ortamda yeterli azot kalmayacağı için degradasyon yavaşlar ve sıcaklık düşük seviyelerde seyreder.

f. Biyobozunurluk (Degradasyon)

Kompost üretimi için C/N oranı temel belirleyici olmasına rağmen hammadde içeriğinin biyobozunurluk seviyeleri kompostlaştırma sürecini doğrudan etkiler. Kompostlaştırma süresinin uzamaması ve nihai ürünün stabilitesinin yüksek olması için biyobozunurluğu yüksek hammadde tercih edilmelidir. Biyobozunurluk seviyesinin yükseltilmesi amacıyla hammaddenin partikül boyutu düşürülebilir böylelikle partiküller arası temas yüzeyi artırılabilir ve aktivite hızlandırılabilir.

g. pH

Kompostlaştırmayı sağlayan mikroorganizmalar genel olarak nötr pH koşullarında en verimli şekilde çalışırlar. pH değeri 6,5-8,0 aralığında olması tavsiye edilir. Kompost süreci başlangıcında nötr şartlar mevcut iken degradasyon sonucunda organik asitler oluşur ve pH değeri düşerek asidik ortam oluşmaya başlar. Yeterli havalandırma ile bu durum ortadan kaldırılarak kompostlaştırma süreci devamlılığı sağlanır. Belirli periyotlarda yapılacak olan pH kontrolü havalandırma verimliliği açısından da yorum yapılmasına olanak sağlar.

1. 8. Kompostlaştırma Yöntemleri

1.8.1. Biyoreaktör yöntemi

Reaktör kompostlaştırma yönteminde, hammadde kapalı bir bina, kanal veya makinada toplanır. Bu kapalı sistemde meydana gelen proses sürekli kontrol altında tutulabilir ve istenildiği zaman müdahale edilebilir en yüksek teknolojiye ait

kompostlaştırma yöntemidir. Kompostlaştırma işlemini hızlandırmak ve süreci stabil hale getirebilmek için sıcaklık, basınç ve mekanik işlemler uygulanır. Mekanik sistemler, hava akımı, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu gibi kompostlaştırmaya etki eden faktörleri kontrol altında tutmak, kompostlaştırma sürecini kısaltmak ve kokuyu azaltmak için kullanılır.

Bu yöntem ile kompostlaştırmada kapalı sistem içerisinde kompostlaştırma evreleri sırasıyla kısa sürede gerçekleştirilebilir. Sistem dış ortama kapalı olduğu için koku problemi oluşmaz. Ve diğer klasik yöntemlere göre iş gücü ve yer kaybı yaşanmaz. Aktif kompostlaştırma için geçen süre 1-2 hafta arasında değişiklik gösterir, ama yavaş kompostlaştırma ile birlikte kompostun olgunlaşması için toplam olarak 4-12 hafta gerekmektedir. Genellikle küçük reaktör sistemleri kümes hayvanı (tavuk vb.) ölüleri ve dışkılarının kompostlaştırılmasında kullanılır. Bu tür sistemler çiftlikte oluşan pek çok OM'nin bir arada kompostlaştırılmasını sağlar.

Teknolojilerine göre sınıflandırılan biorekator kompostlaştırma sistemleri;

- Piston akımlı dikey reaktörler
- Piston akımlı yatay tank
- Silo tipi reaktör
- Yatay döner tambur reaktörü
- Karıştırmalı dikey reaktör
- Karıştırmalı dikdörtgen yataklar olarak adlandırılırlar.

Son yıllarda kompost bioteknolojisi üzerine yapılan çalışmalarda kompostlaştırma hızını ve kalitesini artırmak için mikroorganizma kütürleri geliştirilmiş, çeşitli kompostlaştırma reaktörlerinde uygulamaya geçilmiştir. Şimdiye kadar denenen ve en verimli şekilde çalışan mikroorganizma kütürü ve reaktör tipi hakkında detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde verilecektir. Yapılan arge çalışmaları neticesinde hammadde içeriğine ve biobozunurluk seviyesine göre değişim göstermek kaydıyla kompostlaştırma süreci 24/36 saat aralığına indirilebilmiş ve olgun kompost stabilitesi ve hijyenizasyonu en üst düzeylere çıkarılmıştır.

1.8.2. Aktarmalı yığın kompostlaştırma

Kompostlaştırma yöntemleri içerisinde aktarmalı yığın kompost yöntemi en çok kullanılmaktadır. Hammadde yığınları uygun karıştırma ekipmanları ile karıştırılarak proses gerçekleştirilir. Karıştırma işlemi hammaddenin gözeneklilik yapısını artırır ve bu sayede yığın içerisine hava girişi aktif bir şekilde sağlanır. Ayrıca karıştırma işlemi yığın içerisindeki tüm hammaddenin homojen olarak karışmasını sağlar. Böylece maddeler eşit olarak kompostlaşır.

Hayvan gübresi kompostlama, ekin alanlarında toprak yapısını ve fertilitasını geliştirmek için organik gübre üreten organik atık yönetiminde uygulanan alternatif bir tarım stratejisidir. Ayrıca gübre kompostlaştırma, iki güçlü sera gazı olan atmosferik metan (CH_4) ve azot oksitinin (N_2O) önemli bir kaynağıdır. Spesifik bakteriyel fonksiyonel gruplarının karşılaştırmalı kantitatif analizleri ve onların gübre kompostlaması sırasında CH_4 ve N_2O emisyonlarındaki etkileşimleri hala sınırlıdır [11].

Windrow kompostlaştırma metodu, katı atıkların biyolojik olarak parçalanabilir kısmı için en yaygın kullanılan aerobik ayrıştırma tekniğidir [12]. Düzenli aralıklarla karıştırılan/aktarılan kompostlaştırma yığınlarının yükseklikleri 0.9 m (yoğun maddeler için) ile 3.6 m (yaprak gibi kabarık maddeler için) arasında, genişlikleri ise 3-6 m arasında değişir. Uzunlukları kapasiteye göre 30-100 m aralığındadır. Windrow kompostlama işlemi sırasında gözlemlenen üç faz kısaca şöyledir, ilk aktivasyon, mezofilik / olgunlaşma ve termofilik faz.

Organik maddenin bozunmasının çoğu termofilik fazda gerçekleşir. Kompost yapımında kullanılacak hammadde, istenen kompost kalitesine bağlı olarak seçilir. Kompostlamada farklı parametreleri sağlamak amacıyla kullanılacak materyaller yeşiller (bahçe atıkları, sebzeler, gıda atıkları, inek gübresi, tavuk atıkları) ve kahverengiler (talaş, saman, yapraklar, meyve atıkları, gazete parçaları) olarak genellenebilir. Yeşiller, karbon içeriği bakımından zenginken, daha az azot içeriğine sahiptir. Her iki tür malzeme de windrow kompost hazırlanması için birbirini izleyen

katmanlar halinde birbirine karıştırılır. Örneğin tavuk gübresi ile meyve atığı C/N oranı 35/1 alınabilir [13].

İlave olarak, çevirme kompost maddelerini harmanlar, daha küçük partiküllere parçalar ve biyolojik olarak aktif yüzey alanlarını arttırır. Ancak çok fazla karıştırma ise hammadde gözeneklilik yapısını olumsuz etkileyebilir. Bu da yığma hava girişini engelleyeceği için sürecin verimini azaltır. Kompostlaştırılacak hammaddenin sıcaklığının sürekli takip edilmesi karıştırma sıklığının belirlenmesinde yol gösterici olacaktır. Sıcaklığın istenmeyen düzeyde artışı gözlemlenirse karıştırma sıklığı artırılmalıdır. Karıştırmada kullanılan ekipmanlar, yığının kapasitesine göre yığın geometrisini ve yığınlar arasındaki mesafeyi belirler. Kurulacak tesisin hacmine göre yana aktarmalı, tahrik sistemli karıştırmalı ve kendi yürür tipte olmak üzere çeşitlilik gösterir.



Şekil 1.2. Aktarmalı Yığın Kompostlaştırma Yöntemi Aktarma Ekipmanı Örneği [14]

Çok amaçlı olarak kullanılan yükleyici iş makineleri ile çevirme, karıştırma ve taşıma işlemi gerçekleştirilebilir. Küçük veya orta büyüklükteki işletmelerde bu tür yükleyici özelliğe sahip iş makineleri kompostlaştırma işleminin tüm aşamalarında kullanılabilir. İlave bir ekipman veya yatırım gerektirmez. Özel çevirme/aktarma ekipmanları kullanılarak yapılan aktarmalı yığma kompostlaştırma için özel çevirme ekipmanları kullanılmaktadır. Küçük traktöre bağlı çevricilerden kendinden tahrikli büyük aktarma makinelerine kadar kapasiteye ve kurulacak sistemin yönetim şekline göre değişik tasarımlarda makineler mevcuttur.



Şekil 1.3. Traktör Tahrikli Arıştırma Ekipmanı [14]



Şekil 1.4. Kendi Yürür Tip Karıştırma Ekipmanı [14]

Bu çalışmada hidrolik hareket kabiliyetine sahip “Turner” adı verilen özel tasarım karıştırıcı ile oluşturulan aktif kompostlaştırma yönteminden ileriki bölümlerde detaylı olarak bahsedilecek, endüstriyel boyutta değerlendirilmesi yapılacaktır.

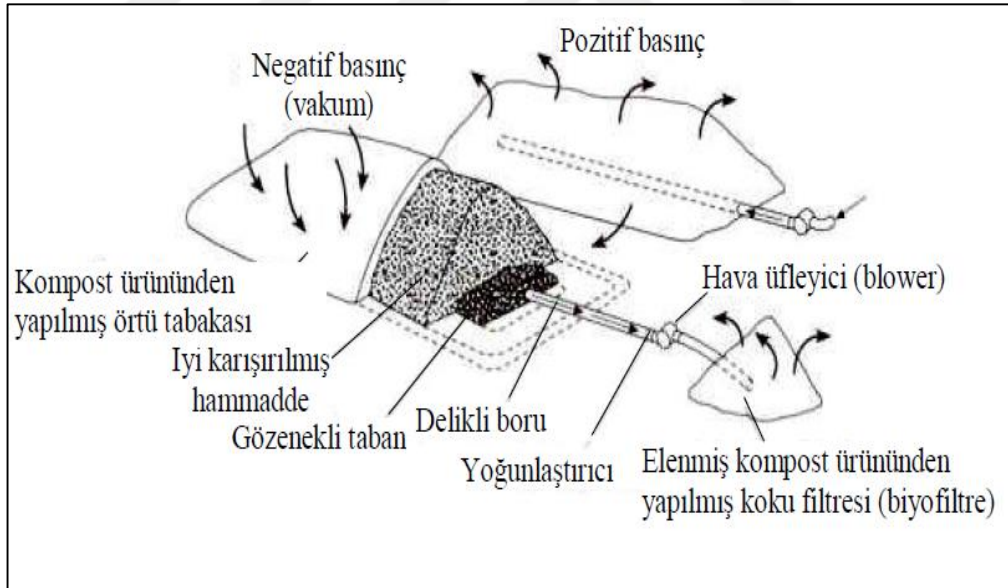
Aktif yığında kompostlaştırmanın sağladığı en büyük fayda kompostlaştırmaya etki eden temel faktörlerin (su muhtevası, sıcaklık ve oksijen) belirli periyotlarla yapılacak olan kontroller ile takip edilebilir olmasıdır. Yapılan kontroller ve alınacak önlemlerle kompostlaştırmanın devamlılığı sağlanmış olacaktır.

1.8.3. Havalandırmalı statik yığında kompostlaştırma

Havalandırmalı statik yığınlar üzeri açıkta ya da kapalı olarak yapılan kontrollü yığınlardır. Pasif ve basınçlı havalandırma olmak üzere iki türlü havalandırmalı statik yığın yöntemi vardır.

Pasif havalandırmalı statik yığınlar, oluşturulan yığın içerisine gömülü halde bir ucu açık delikli borular bulunmaktadır. Yığın içerisindeki sıcak gazlar yükseliş gösterirken, tabanda bulunan borulardan yığın içerisine hava girişi olur ve yığından yukarı doğru çıkış yapar.

Basınçlı havalandırmada ise negatif (emme) ve pozitif (basınçlı) havalandırma olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Her iki sistemde de havalandırma hava üfleyici (blower) ile yığın tabanından sağlanır.



Şekil 1.5. Havalandırmalı Statik Yığın [10]

Alternatif olarak negatif basınç ile havanın yığından geçmesi de sağlanabilir. Negatif basınçlı sistemler genelde koku problemini önlemek için kullanılır. Koku kontrolü, emilen havanın biyofiltreye yönlendirilmesiyle sağlanır. Basınçlı havalandırma

sistemlerinde çoğunlukla kompost prosesinin doğrudan kontrolü yapılabilir ve böylece daha büyük yığın oluşturulabilir.

Havalandırılmalı statik yığınların zemini talaş, saman veya diğer gözenekli maddeler ile oluşturulur. Gözenekli zemin malzemesi içerisine özerinde delikler bulunan havalandırma boruları yerleştirilir. Tercih edilen hammadde ve ilk karışım oldukça önemlidir, oluşturulan yığının yapısı proses boyunca gözenekliliğini koruması proses devamlılığı için önemlidir. Bu da genelde saman veya parçalanmış ağaç yongaları gibi boşluk arttırıcı maddeleri gerektirir.

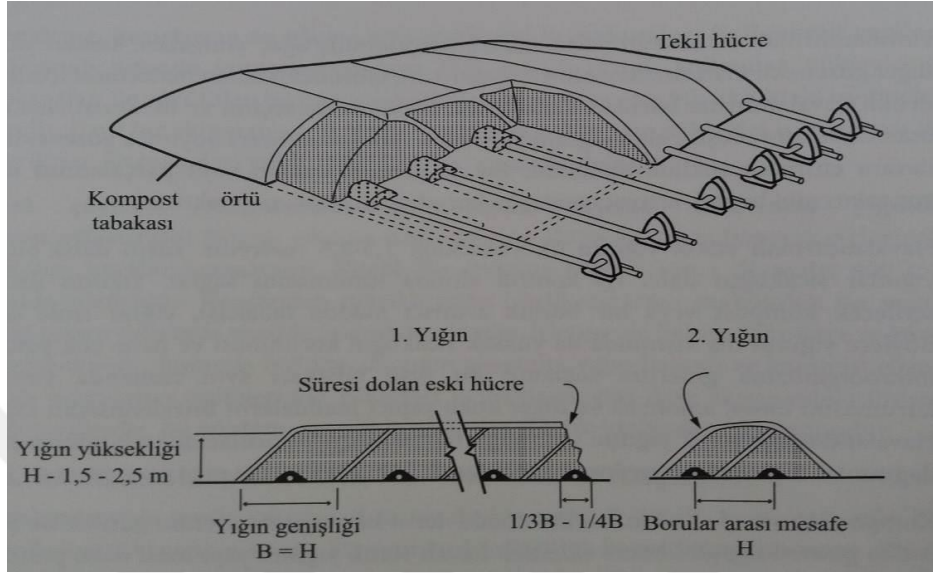
Hammaddenin homojen karışımının sağlanması amacıyla besleme reçetesi belirlenir. Bu reçeteye göre küçük ölçekli karışımlar oluşturulur. Bu işlem için kapasiteye uygun mekanik karıştırıcılar kullanılır.



Şekil 1.6. Hammadde Karıştırma Ekipmanı [14]

Havalandırılmalı statik yığının ilk yüksekliği 1,5-2,5 metredir. Kışın daha büyük yığınlar sıcaklığın daha iyi kontrol altında tutulmasını sağlar. Yığının üstüne serilecek kompost veya bir boşluk arttırıcı madde tabakası, yığını izole eder. Böylece yığının dış kısmında da yüksek sıcaklığın korunması ve daha çok patojen

mikroorganizma giderimi sağlar. Bu örtü tabakası aynı zamanda yüzeyin kurumasını önler, amonyak ve diğer kokuların filtrelenmesini sağlar. Havalandırmalı statik yığının uzunluğu havalanma borularında hava dağıtımı sebebiyle kısıtlanmaktadır.



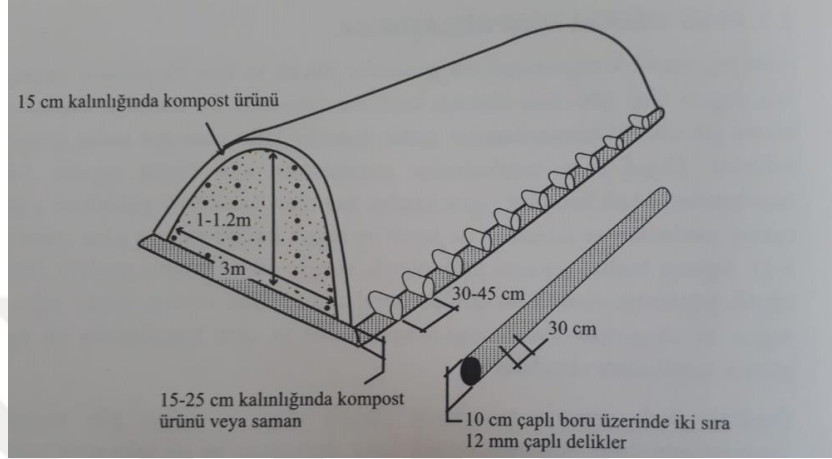
Şekil 1.7. Hücre Eklemeli Havalandırmalı Statik Yığın [7]

Kompostta kullanılan hammaddelerin üretimi günlük ise hücre eklemeli havalı statikyığının yapılması daha pratiktir. Hücreler yanyana birbirine yapışık şekilde oluşturularak diğer proseslere göre daha az yer kapladığı için kompost alanı daha verimli kullanılmaktadır. Genellikle bu tür sistemlerde işletme kolaylığı açısından her bir tekil hücrenin havalandırması için ayrı üfleyici (blower) kullanılmaktadır.

1.8.4. Pasif yığında kompostlaştırma

Pasif yığın kompostlaştırma yöntemi küçük ve orta kapasitede işletmeler için en uygun yöntem olup, oldukça basit bir sistemdir. Bu yöntemde, organik maddeler stabil ürün oluşturulana kadar sabit bir yığın haline getirilir. Küçük ölçekli yığınlar yapılarak doğal havahareketinden yararlanmak amaçlanır. Aktif kompost yığını içerden ısınırken, sıcak hava yükselerek yığından uzaklaşır, sıcak hava yığınterkederken yan yüzeylerden ve zeminden temiz, soğuk havayı yığının içine giriş yapar. Yığının boşluk yapısına bağlı olarak, rüzgar da yığının içine girebilir. Özellikle ısınma potansiyeli

yüksek olan hayvan altlığı gibi maddelerin kompostlaştırılması esnasında, yeterli hava değişimini ve sıcaklık değişimlerini sağlamak için yığın yüksekliği 1-1,2 metreden fazla olmaması tercih edilmelidir. Yığınları küçük tutmak, bilhassa yüksek sıcaklıklara ulaşan kütlenin soğutulmasına yardımcı eder.



Şekil 1.8. Pasif Havalandırmalı Yığın [7]

Pasif kompostlaştırmanın bir mahzuru, yığın kontrol edilemez, çok fazla ıslanır ve sıkıştırsa yığın içerisinde anaerobik ortam oluşur ve bu nedenle koku oluşumu riski yükselir. Bu nedenle yığının hava geçirgenliği yüksek yapıda porozif malzemelerden oluşturulması gereklidir. Hammadde içeriğinin geçirgenliğini artırmak için degradasyonu zor olan ve partikül boyutu büyük olan malzemeler karışım içerisine eklenir. (Selüloz içerikli ağaç parçaları, kırılma/parçalanması zor plastik takozlar vs.)



Şekil 1.9. Bulky Malzeme Örneği [14]

1.8.5. Küçük ölçekli kompostlaştırma yöntemleri

Bahçe ve evlerde üretilen organik atıkların yerinde kompostlaştırılarak atığın kaynağında azaltılması için çeşitli basit metotlar kullanılmaktadır. Bunun için öncelikle üretilen atıkların doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Atık karakterizasyonu sonrasında biyobozunma için ne kadar zaman ve enerji harcanacağına karar verilmelidir. Atık miktarına, uygulama alanının büyüklüğüne göre çeşitli basit kompostlaştırma yöntemleri geliştirilmiştir. Seçim yapılırken dikkat edilecek en önemli konu üretilen atık/tüketilen atık dengesinin korunarak sürekliliği sağlanabilecek kompostlaştırma tekniğinin belirlenmesidir.



Şekil 1.10. Küçük Ölçekli Kompostlaştırma Örnekleri [14]

BÖLÜM 2. BİOREAKTÖR, WINDROW VE KAPALI STATİK YIĞIN KOMPOSTLAŞTIRMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Genel olarak kompost süreçlerinde kompostlaştırılacak hammaddeler çeşitli içeriklerde olmaktadır. Endüstriyel boyutta kompostlaştırmada ilk dikkat edilecek husus hammadde muhtevasının çok büyük sapmalarda olmamasını sağlamaktır. Stabil hammadde içeriği işletmesel olarak kolaylık sağlayacağı gibi nihai ürün kalitesini de doğrudan etkiler. Hammadde içeriği değişimlerinin kompost üretimine etkisini azaltmak ve kontrol altında tutmak kompostlaştırma tesislerinde karşılaşılan en büyük sorundur.

Tedarik edilecek hammaddenin zaman içerisinde hangi oranlarda sapmalara uğrayacağı doğru analiz edilmelidir. Kompostlaştırma için gerekli olan karbon, azot, nem, pH gibi belirleyici parametrelere göre tedarik edilen hammadde ön hazırlık işlemleri uygulanır. Kompostlaştırma için gerekli parametrelere göre mevcuttaki hammadde belirli miktarlarda karıştırılmalıdır. Bunun için kapasiteye uygun karıştırma mekanizmaları kurulumu gereklidir.

Küçük ölçekli işletmeler için bu karışımı yükleyici iş makinesi ile yapmak mümkündür. Ancak bunun bir sakıncası hammaddenin ilk anda homojenliğinin sağlanamaması nedeniyle kompostlaştırma sürecinde aktivitenin devamlılığı sağlanamaz, bölgesel soğumalar ve kompostlaştırma aktivitesinde durmalar gözlemlenebilir. Kompostlaştırma için tedarik edilecek hammaddenin içeriği olduğu kadar partikül boyutuda değişkendir. Kompostlaştırma sürecini hızlandırmak için hammadde partikül boyutunu minimize etmek önemlidir. Bu nedenle orta ve büyük ölçekli tesislerde ön hazırlık aşaması olarak kabul edilebilecek olan hammadde kırıcı mekanizması oluşturulması önemlidir.

Hammadde partikül boyutu ne kadar küçük olursa kompostlaşma aktivasyonu hızı artacaktır ve nihai ürün partikül boyutu daha iyi olacaktır. Kurulacak bir kırıcı sayesinde verimliliği artırma ve stabil hale getirmek kolaylaşacaktır.



Şekil 2.1. Sabit Kırıcı [14]



Şekil 2.2. Mobil Kırıcı [14]

Çalışmanın devamında tüm hammadde girdi şartları aynı olmak üzere 3 farklı kompostlaştırma yöntemi için kurulacak tesis detayları incelenecek olup, sonuç kısmında yöntemlerin avantaj ve dezavantajları tartışılacaktır. Yapılan çalışmalarda bir yılda aktif çalışma günü 360 gün olarak kabul edilmiştir. Yıl boyunca tedarik edilecek hammadde özellikleri Tablo 2.1. ve Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Hammadde İçerik Kabulleri

| Atık Türü | Miktar | Yoğunluk |
|-------------|-------------|-----------------------|
| At Altlığı | 600 ton/ay | 500 kg/m ³ |
| Tavuk Dışkı | 400 ton/ay | 650 kg/m ³ |
| Karışım* | 1000 ton/ay | 560 kg/m ³ |

*Gelen hammadde oranları sabit ve %60 At Altlığı, %40 Tavuk Dışkı olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2.2. Hammadde Türüne Göre Nem İçerikleri

| Ay | At Altlığı | Tavuk Dışkı | Karışım* |
|---------|------------|-------------|----------|
| Ocak | 50 | 45 | 48 |
| Şubat | 50 | 45 | 48 |
| Mart | 50 | 45 | 48 |
| Nisan | 45 | 41 | 43 |
| Mayıs | 43 | 38 | 41 |
| Haziran | 43 | 38 | 41 |
| Temmuz | 43 | 38 | 41 |
| Ağustos | 43 | 38 | 41 |
| Eylül | 43 | 38 | 41 |
| Ekim | 45 | 41 | 43 |
| Kasım | 45 | 41 | 43 |
| Aralık | 50 | 45 | 48 |

*Gelen hammadde oranları sabit ve %60 At Altlığı, %40 Tavuk Dışkı olarak kabul edilmiştir.

İncelenecek tüm tesislerde olgunlaşmış kompost nemi %30 olarak kabul edilmiştir. Hammadde kabul kriterlerinde OM oranı %75'in üstünde olmalı, organik karbon içeriği % 30-40, azot içeriği %1-1,35 aralığında ve pH değeri 6,5-8 aralığında olmalıdır. Yıl içinde bu parametrelerde değişiklik söz konusu olursa hammadde karışım reçetesini belirtilen içerik sınırlarına uygun olacak şekilde değiştirmek kompostlaştırma evrelerinde sorun yaşanmamasını sağlayacaktır. Bu nedenle süreç içinde kabul edilen tüm hammaddelerin sıkı takibi yapıp içeriklerinden emin olunmalıdır.

2.1. Biyoreaktör Yöntemi

Hammadde kapasitesi göz önünde bulundurularak yapılan Microsoft Excel tabanlı hesaplamalar sonucunda bu çalışmada 20 m³ hacme sahip 5 adet biyoreaktör seçilmiştir.



Şekil 2.3. Biyoreaktör Genel Görünüm – 1 [15]



Şekil 2.4. Biyoreaktör Genel Görünüm – 2 [16]

Biyoreaktörlerde, kompostlaştırma için gerekli olan termofilik safhada ihtiyaç duyulan yüksek sıcaklığı sağlamak için ısıtma sistemleri kullanılır. Bu çalışmada ısı kaynağı olarak ısı transfer yağı kullanılmıştır. Isı transfer yağı bir kazanda brülör yardımıyla ısıtılmakta, ısınan yağ sirkülasyon pompaları yardımıyla reaktörün dış cidarında sirküle olmaktadır. Reaktör dış cidarında dolaşımı sağlanan transfer yağı yardımıyla reaktör içerisindeki hammadde ısınmaktadır.

Seçilen biyoreaktör karıştırma kazanı hacmine göre karışımı sağlayacak ana motor minimum 75 Kw/sa güce sahip 1400 devir/dk özellikte ve üzerinde devir kontrolünü sağlayacak sürücü bulunmalıdır. Ayrıca biyoreaktörün dış cidarında kızgın yağ sirkülasyonunu sağlamak amacıyla her biyoreaktöre entegre olarak çalışabilen minimum 1,5 Kw/sa güce sahip sirkülasyon pompası bulunmalıdır.

Tesis yılda 360 gün 24 saat çalışma olacak şekilde tasarladığı için yapılan hesaplarda minimum elektrik harcaması 1.800.000 Kw civarında olacaktır (harcama hesabında maksimum ve minimum yükte ana motorun yapacağı harcama oransal olarak değişken kabul edilmiştir).

Biorekatör yöntemi ile kompostlaştırmada en önemli nokta kompostlaştırılacak hammaddenin termofilik faza geçişi için ihtiyaç duyulan sürenin sıfır olmasıdır. Dışarıdan sağlanan ısı sayesinde hammadde direkt olarak termofilik fazda reaksiyona başlayabilmektedir. Ayrıca sürekli aynı sıcaklık seviyesi sağlanabildiği için kompostlaştırma prosesi verimi çok yüksek olmaktadır.

Kompostlaştırma için ihtiyaç duyulan 60-75 °C arası hammadde sıcaklığını sağlamak için, kızgın yağ kazanından reaktöre kadar gelişte yaşanan ısı kayıpları göz önünde bulundurularak, ısı transfer yağının 120 °C'ye kadar ısıtılması gereklidir. Isı transfer yağının sıcaklığının ± 10 °C'nin üzerinde değişmemesi önemlidir.

Tüm reaktörlerin dış cidarının ısıtılması için ihtiyaç duyulan ısı tranfer yağı miktarı yaklaşık 20 m³ civarındadır. Bu miktarda ısı transfer yağının 120 °C sıcaklıkta sabit tutulması için gerekli olan brülör kapasitesi 1.000.000 kcal/sa olarak seçilmiştir. Bu kapasistede brülörün tüketeceği CNG miktarı yıllık ortalama 200.000 Sm³ civarında olacaktır (Yıl içerisinde iklim şartlarına bağlı olarak tüketimler değişkenlik göstermektedir. Hesaplarda bu değişkenlik göz önünde bulundurulmuştur.)

Sahada incelenen biyoreaktörlerde kompostlaştırma süresini minimuma indirmek için kompostlaştırmaya elverişli mikroorganizma küre takviyesi yapılmaktadır. Bu sayede proses süresi 24 saat gibi çok düşük bir seviyeye düşmektedir.

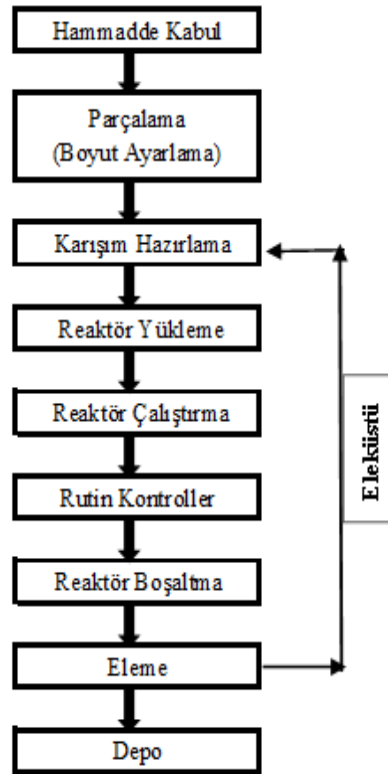
Kullanılan mikroorganizma kürü hammadde özelliğine göre 0,3 kg/ton olacak şekilde kullanılmaktadır. Üretim kapasitesine göre yıllık mikroorganizma kürü tüketimi 3.600kg civarında olacaktır.

Kullanılan hammadde içerik özellikleri göz önünde bulundurularak seçilen mikroorganizma kürü hem süreci kısaltmakta hem de nihai ürünün stabilitesi çok daha yüksek seviyelere çıkmaktadır.

Hammadde giriş özellikleri ne kadar aynı özelliklerde olursa nihai ürün kompostun çıkış özellikleride aynı kalacaktır. Bu özelliği ile biyoreaktör yöntem ile kompostlaştırma endüstriyel fayda sağlamak amacıyla kurulacak tesislerde tercih sebebi olacaktır.

2.1.1. Biyoreaktör kompostlaştırma tesisi işletme incelemesi

Biyoreaktör yöntemi ile kompost üretimi işletme akım şeması Şekil 2.5.'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Biyoreaktör Kompostlaştırma Yöntemi İş Akım Şeması

Tesise kabul edilen hammaddeler içerik özellikleri ve partikül boyutları sabitlenmek üzere kırıcıdan geçirilerek kompostlaştırma prosesine tabî tutulur. Partikül boyutu hazırlanmış ve kompostlaştırmaya uygun olacak şekilde reçetesi belirlenmiş hammadde bir lastikli yükleyici iş makinesi yardımıyla biyoreaktör yükleme bunkerine yüklenir. Reaktör iç hacminin ve karıştırma kaynaklı oluşacak hacim hesaplamaları göz önünde bulundurularak yapılan hesaplarda her bir reaktöre bir seferde 6,6 ton hammadde yüklenmektedir. Her biyoreaktörün yükleme işlemi için lastikli yükleyici yaklaşık 20 dakika harcayacaktır. Üretim kapasitesine göre yükleme işlemi için yıllık motorin ihtiyacı yaklaşık 9.000 litre civarında olacaktır.

Yükleme bunkerindeki hammadde, her bir reaktörün üstüne yönelimi bulunan taşıyıcı konveyörler yardımıyla yan yana sıralanmış olan reaktörlere aktarılmaktadır. İstenilen tonajda hammadde yüklemesi gerçekleştirildikten sonra yüklenen tonaja uygun olarak mikroorganizma kürü eklemesi yapılır ve karıştırıcı çalıştırılır. İlk yüklemeden 30-60 dakika sonra (hammaddenin homojen bir şekilde karışımı gerçekleşmesi beklenir.) numune alınır ve ilgili kontroller yapılır. Yaz aylarında hammadde nemi kompostlaştırma için gerekli olan nemden daha düşük olabileceği için su takviyesi yapılabilmektedir. İlk numune kontrolleri neticesinde kompostlaştırma için sorun teşkil edecek bir durum yok ise proses devam ettirilir.

Proses devamlılığının kontrolü için belirli aralıklar ile tekrar numuneleri alınır. Reaktör içindeki hammaddenin ısınmasını sağlamak amacıyla reaktör cidarında sirküle olan ısı transfer yağının sıcaklığı sürekli takip edilmelidir. Bunun için otomatik sıcaklık ölçüm propları kullanılmaktadır. Sıcaklıkta yaşanacak ani değişimlere hemen müdahale büyük önem taşımaktadır. Sıcaklık artış veya düşüşlerine derhal müdahale edilmelidir. Aksi halde kompostlaştırma prosesi duracak kullanılan hammadde ve mikroorganizma kürü zayi olacaktır.

Yapılan tekrar kontroller sonunda istenilen ürün özelliklerine geldiği gözlemlenen kompost reaktörün alt kısmında bulunan boşaltma kapağı açılarak altındaki taşıyıcı konveyöre boşaltılır ve yine konveyörler yardımı ile ilgili ara stok alanına yönlendirilir. Diğer kompostlaştırma yöntemlerinin aksine mikroorganizma kürü ile

yapılan biyoreaktör kompostlaştırma yönteminde aktif kompostlaştırma sonunda olgunlaştırma safhasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Proses sonucunda hammaddenin %25'lik kısmı nem ve degradasyon kaybı ile eksilmiştir. Reaktörden çıkan ürün direkt olarak eleme işlemine tabî tutulabilmektedir. Eleme sonrası elekaltı ürün direkt olarak satışa hazırdır. Yönetmeliklerde belirtilen hijyenizasyon şartı dışarıdan sağlanan ısı sayesinde gerçekleştirilmiş olmaktadır. Elenmiş ve satışa hazır kompostun depolanması için gerekli alan boyutları Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Biyoreaktör Kompostlaştırma Yöntemi Nihai Ürün Deposu Ölçüleri

| | |
|----------------------|-------|
| Taban genişliği | 20 m |
| Taban uzunluğu | 30 m |
| Yan duvar yüksekliği | 1,5 m |
| Tavan yüksekliği | 10 m |

2.1.2. Biyoreaktör kompostlaştırma yöntemi değerlendirilmesi

Son yıllarda biyoteknoloji uygulamalarında yapılan araştırmalar sayesinde hızla gelişen biyoreaktör kompostlaştırma yöntemi sayesinde kompostlaştırma mekanizması kontrol edilebilir ve ihtiyaca yönelik yönlendirilebilir hale dönüşmüş durumdadır. Kompostlaştırma için gerekli tüm şartların tek bir noktadan sağlanabilir olması ve nihai ürünün ihtiyaca göre değişik versiyonlarda üretilir hale gelmesi endüstriyel boyutta kurulacak tesisler için büyük avantaj sağlayacaktır. Ülkemizde çevre yatırımları son dönemde hız kazanmaya başlamışken biyoreaktör kompostlaştırma gibi hem çevresel katkısı büyük hem de ekonomi yaratacak yöntemlerin denenmesi ve gerekli adımların atılması önemlidir.

Biyoreaktör yöntemin avantajları;

- Kompostlaştırma süreci dış ortam şartlarından etkilenmemektedir
- Nihai ürün kalitesi/stabilitesi ihtiyaca göre yönlendirilebilmektedir
- Kompost ürünün piyasaya satışında istenilen hijyenizasyon şartı kendi içerisinde sağlanabildiği için extra yatırım gerektirmemektedir
- İstenilen kapasiteye göre reaktör tasarımı yapılarak ihtiyaca yönelik sistemler kurulma imkanı vardır.

Saha gözlemleri ve yapılan incelemeler neticesinde biyoreaktör ile kompostlaştırma yönteminde diğer kompostlaştırma yöntemlerine göre daha üst düzey teknik bilgi gereklidir. Hammadde içerik durumuna göre mikroorganizma kürü seçimi ve proses süresinin uygun aralıklarda olmasını tayin etmek bu yöntem için ana unsurların başında gelmektedir.

Ülkemizde halihazırda biyoreaktör kompostlaştırma yöntemlerini kullanan tesis sayısının çok az olması nedeniyle tesis yönetimi gerçekleştirecek teknik ekip yeterli sayıda mevcut değildir. Yetiştirilmiş personel olmaması nedeniyle kurulan veya kurulacak tesislerde problemler yaşanması kaçınılmaz olacaktır.

Halihazırda kurulu olan tesislerde yaşanan işletmesel sorunlar ve buna yönelik uygulanan çözüm uygulamaları belirli düzeylerde eğitim olarak verilebilir ve yöntemin yayılmasına katkı sağlanabilir.

Reaktörün takibi ayrı bir uzmanlık gerektirdiği gibi sıcaklık sağlamak amacıyla kurulan kızgın yağ kazan sisteminin kontrolleri ve takibi de ayrıca bir uzmanlık gerektirmektedir. Isı sistemleri üzerine bilgi sahibi personel çalıştırma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Biyoreaktör kompostlaştırma yöntemi işletme aşamasında enerji sarfiyatının yüksek olması nedeniyle üretim maliyetleri diğer yöntemlere göre oldukça yüksektir. Diğer bir maliyet kapısında kompostlaştırma sürecini hızlandırmak için kullanılan mikroorganizma kürüdür.

Son zamanlarda yapılan biyoteknolojik araştırmalar ile çeşitli kürler oluşturulmuş olsa bile henüz bu konuda istenilen seviyeye gelinememiştir ve mikroorganizma kürü tedariki oldukça yüksek maliyetler ile yurt dışından sağlanabilmektedir. Ancak nihai ürün kalitesi diğer yöntemlerden çok daha iyi ve istenilen değerde değiştirilebilir olması nedeniyle müşteri bulmak oldukça kolaydır. Bu nedenle kompostun piyasaya satış rakamları yüksektir. Özellikle son yıllarda hızla kullanımı ve talebi artmakta olan organomineral gübre üretiminde kompost kullanımı oldukça revaçtadır.

Organik kısmı kompost ile oluşturulmuş organomineral gübreler tarımsal alanda büyük fayda sağlamaktadır. Bu nedenle gübre sektöründeki bu yönelim kompost üretiminide tetiklemekte, gübre üretiminde hammadde arayışı kompost tesislerinin kurulmasına vesile olmaktadır. Bu tür talepler doğrultusunda biyoreaktör kompostlaştırma yönteminden alınacak sürekli aynı kalitedeki kompost ürünü satış getirisi diğer yöntemlere göre oldukça yüksek olacaktır.

2.2. Windrow Kompost Yöntemi

Bu çalışmada windrow kompost üretim yöntemini gerçekleştirmek için yapılan literatür araştırması ve saha gözlemleri sonucunda hem alan kullanımında verimlilik hemde kullanım kolaylığı sağlaması nedeniyle kendi yürür tip kompost karıştırma makinası tercih edilmiştir. Kendi yürür tip kompost karıştırıcıların karıştırma için ihtiyaç duyduğu karıştırma alanı diğer tipdeki karıştırma ekipmanlarına göre minimumdur. Bu özelliği sayesinde alan tasarrufu yapılarak maksimum fayda sağlanmaktadır.



Şekil 2.6. Kendi Yürür Tip Kompost Karıştırıcı [17]

Windrow kompostlaştırma yöntemi açık alanda yapıldığı için yıl içerisindeki hava şartlarındaki değişimler kompostlaştırma sürecinde farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Yapılan saha çalışmalarında kışlık ve yazlık dönemde kompostlaştırma sürelerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Ocak ayında kurulacak ilk yığın için aktif kompostlaştırma süreci 40 gün, Nisan ortalarından Ekim ortalarına kadar olan süreçte 30 gün, yıl sonuna kadar ise 40 gün olarak gözlemlenmiştir. Bu gözlemler ile yapılan kabuller neticesinde 1 yıl içerisinde her bir holde 11 defa yığın oluşturulabileceği hesaplanmıştır.

Hammadde giriş kapasitesi göz önünde bulundurularak windrow kompost yöntemindeki aktif kompostlaştırma aşamasında ihtiyaç duyulan alan hesabı için Microsoft Excel tabanlı bir çalışma sayfası oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 2.4.'de paylaşılmıştır.

Tablo 2.4. Windrow Kompost Yığın Ölçüleri

| | |
|----------------------------|-------------|
| Aylık Hammadde Tonajı | 1000 ton/ay |
| Kurulacak hol sayısı | 10 |
| Hol Ebatları (En x Boy) | 4m x 90m |
| Aktif yığın taban uzunluğu | 88 m |
| Yığın yüksekliği | 1,2 m |
| Yığın taban genişliği | 3,7 m |

Kurulacak hollerde işlem yapmak üzere seçilecek olan karıştırıcı dizel motora sahip kendi yürür tipte ve hol yüksekliğine göre karıştırıcı yüksekliğinin ayarlanabildiği özelliktedir. Bu özellikte bir karıştırıcı ortalama 15 lt/sa motorin tüketmektedir. Yıllık üretim kapasitesi hesabına göre karıştırıcının yıllık motorin ihtiyacı 40.000 litre civarında olacaktır.

Aktif kompostlaştırma süreci boyunca hammaddenin yıllık ortalama %25'nin nem ve degradasyon kaybı ile eksildiği gözlemlenmiştir. Aktif kompostlaştırma sonucunda oluşan kompostun yoğunluğu 650 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Bu kabuller ile üzeri

kapalı olarak inşa edilecek olgunlaştırma alanı hesabı Microsoft Excel çalışma sayfasında gerçekleştirilmiş, sonuçlar Tablo 2.5.'de verilmiştir.

Tablo 2.5. Windrow Kompost Yöntemi Olgunlaştırma Deposu Ölçüleri

| | |
|----------------------|-------|
| Taban genişliği | 20 m |
| Taban uzunluğu | 30 m |
| Yan duvar yüksekliği | 1,5 m |
| Tavan yüksekliği | 10 m |

Olgunlaşmış kompost içerisinde bulunan inert malzemelerden arındırılmak üzere döner tambur elekten elenir. Eleme sonucunda olgunlaşmış kompostun %15'lik kısmı inert olarak çıkmaktadır. Elekt altında kalan kompost piyasaya satış için depo alanına alınır. Kalan ürünün hacim hesabı yapılarak ihtiyaç duyulan depolama alanı ebatları Tablo 2.6.'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Windrow Kompost Yöntemi Nihai Ürün Deposu Ölçüleri

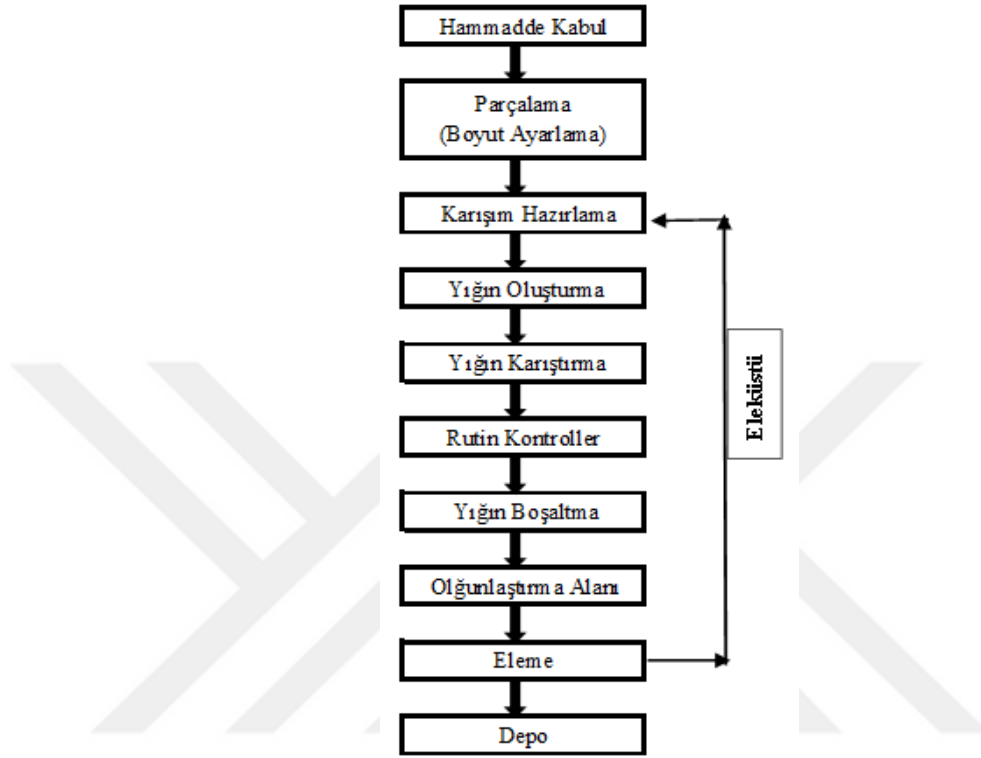
| | |
|----------------------|------|
| Taban genişliği | 20 m |
| Taban uzunluğu | 30 m |
| Yan duvar yüksekliği | 2 m |
| Tavan yüksekliği | 10 m |

Depoda hazır halde bulunan kompostun piyasaya satılabilmesi için Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 29286 sayılı Kompost Tebliği madde 11'in 5. Bendinde belirtilen "Hayvansal atık kullanılması durumunda, kompostlaştırma ünitesinde 70 °C sıcaklığın en az 1 saat boyunca kesintisiz olarak sağlanması ve sağlandığının belgelenmesi veya tesiste 1 saat 70 °C sıcaklığın uygulanacağı hijyenizasyon ünitesi şartı aranır." şartının sağlanması gereklidir. Bu aşama için ekstra hijyenizasyon ünitesi kurulmalı veya hijyenizasyon amacıyla başka bir tesise gönderilmelidir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınladığı yönetmelikler gereği, Windrow kompost üretim tesisi için kurulacak tüm alanların sızdırmazlığı sağlanmış ve hammaddeden sızacak sızıntı sularının bir atıksu deposunda toplanıp bertarafa gönderilmesi gerekmektedir.

2.2.1. Windrow kompost tesisi işletme incelemesi

Windrow kompost üretim yöntemi işletme akım şeması Şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Windrow Kompost Yöntemi İş Akım Şeması

Kompostlaştırma prosesinin uygun şartlarda devam edebilmesi için hammaddenin içerik özellikleri sıkı takip edilmelidir. Bu nedenle tesise kabul edilen tüm hammaddelerin pH, organik karbon, azot, nem değerleri sürekli kontrol edilmelidir. Yapılan içerik analizlerinin sonucuna göre kompostlaştırmaya elverişli olacak yığın oluşturma reçeteleri belirlenmelidir. Belirlenen reçeteye göre uygun iş makinası yardımıyla yığın oluşturulur.

Üretim kapasitesi göz önünde bulundurulacak olursa yığın oluşturma işlemi için önden yüklemeli lastikli yükleyici kullanımı uygun olacaktır. Yukarıda belirtilen ebatlardaki bir yığın oluşturulması için yaklaşık 12 saatlik bir çalışma gereklidir. Aynı şekilde aktif kompostlaştırma safhası bitmiş olan kompostun ilgili holden olgunlaştırma alanına alınma işlemi için yaklaşık 8 saatlik süreç gereklidir. Seçilen

yükleyicinin saatlik yakıt tüketimi yaklaşık olarak 15 lt/sa olarak hesaplanırsa yıllık üretim kapasitesine göre toplam yakıt tüketimi 33.000 litre motorin olacaktır. Yığın oluşturmada dikkat edilecek diğer husus ise karışımı sağlayacak olan karıştırma ekipmanının kapasitesine uygun geometride ve mümkün olduğunca homojen dağılımlı yığın oluşturmaktır. Bu çalışmada yığın oluşturmak için mobil parçalayıcı ve yükleme yapmak üzere lastikli yükleyici iş makinesi kullanılmıştır.



Şekil 2.8. Windrow Kompost Yığın Oluşurma – 1 [18]



Şekil 2.9. Windrow Kompost Yığın Oluşurma – 2 [19]

Yığın oluşturulduktan hemen sonra literatüre göre kabul edilen en güvenilir kaynak olan Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC, 2001)'da belirtilen windrow kompost yığını numune alma kriterlerine uygun olarak numuneler alınmalıdır. Yığın uzunluğu dikkate alınarak (başlangıç ve sondan 8 metre boş geçilip, her 15 metrede bir olacak şekilde) altı ayrı noktadan, yığının yüzeyinin 30-90 cm derinliğinden ayrı ayrı numuneler alınmalıdır.

Numune alınan yerler bir şablon üzerinde işaretlenmeli, kompostlaştırma aşaması boyunca alınacak numunelerin bu noktalardan veya en yakınından alınması sağlanmalıdır. İlk numunede tüm içerik parametreleri kontrolü yapılır, kompostlaştırma için uygun ise proses başlatılır. Eğer uygun değilse gerekli eklemeler yapılmalıdır. Proses başladıktan sonra haftada bir tüm noktalardan kontrol numuneleri alınır, alınan numune sonuçlarına göre prosesin devamlılığı izlenir. Yığında hergün mümkün olduğunca günün hep aynı saatlerinde sıcaklık kontrolü yapılır. Sıcaklık kontrolü için yine numune alınan bölgelerin mümkün olduğunca yakını seçilir. Sıcaklık kontrolü için TMECC' de detayları belirtilen mobil ölçüm probu tercih edilir. Yığının yüzeyinden 20-40 cm derinliğe prop saplanır, sıcaklık değerinin sabitlenmesi beklenir. Bu şekilde tüm noktalardan değerler alınır ve yorum yapılmak üzere saklanır.



Şekil 2.10. Windrow Kompost Yığını Sıcaklık Ölçümü [20]



Şekil 2.11. Windrow Kompost Yığını Sıcaklık Ölçüm Probu Örneği [21]

Saha gözlemlerinde hava sıcaklığının yıl ortalamasının üstünde olduğu günlerde her gün, sıcaklığın ortalamasının altında olduğu günlerde ise 1 karıştırma 1 gün bekleme olacak şekilde gün aşırı karıştırma yapılması gerektiği görülmüştür. Burada belirleyici parametre yığının belirli bölgelerinden yapılan sıcaklık ölçümüdür. Prosesin ilk günlerinde sıcaklığın 25 – 40 °C arasında seyrettiği, 7 -10 gün sonra ise 40 –65°C'lere

yükseldiği, 21. günden sonra ise 55 °C'nin altına düştüğü gözlemlenmiştir. Sıcaklık düşüşü 30-40 °C aralığına gerilediğinde aktif kompostlaştırma aşaması bitmiştir. Yığındaki malzeme olgunlaştırma alanına taşınmaya başlanabilir. Boşaltılan yığın alanı bir sonraki yığının oluşturulması için temizlenir ve yeni yığın işleme alınır. Olgunlaştırma alanındaki kompostun sıcaklığı belirli aralıklar ile kontrol edilir. Sıcaklık 25 °C sınırına indiğinde kompost ürün haline dönüşmüş sayılır ve bir sonraki aşama olan eleme işlemine tabi tutulur. Eleme işlemi için işletmesel kullanım kolaylığı sağladığı için döner tambur elek seçilmiştir. Elek gözenek çapları nihai ürünün satılacağı müşteri kriterlerine göre seçileceği gibi standart uygulamada 25 – 40 mm çapında gözenek çapı seçimi uygun olacaktır. Eleme sonrası oluşan elek altı malzeme satış için hazırdır. Ancak Kompost Tebliği'nde belirtilen hijyenizasyon şartını sağlayabilmek için extra hijyenizasyon ünitesi yatırımı gereklidir. Veya hijyenizasyon amacıyla başka bir tesise satışı gerçekleştirilebilir.

2.2.2. Windrow kompost yöntemi değerlendirilmesi

Windrow kompostlaştırma yöntemine, teknik olarak detay içermediği ve kontrol mekanizmaları ile standart düzeyde kompostlaştırma sağladığı için endüstriyel kompostlaştırma tesislerinde çokça rastlanılmaktadır. Ülkemiz genelinde kurulu olan kompost tesislerinin çoğunluğunda bu yönteme başvurulmuştur.

Windrow kompostlaştırma tekniğinin tercih edilme sebepleri;

- İlk yatırım maliyetleri düşüktür,
- Kompostlaştırma mekanizmasının teknik tecrübe istemez,
- Büyük kapasitelerde üretime olanak sağlar,
- Kompost yığınının herhangi bir bölgesinde yaşanan sorun gözlemlenebilir ve buna müdahale edilebilir,
- İşletme maliyetleri düşüktür.

Saha incelemeleri sonucunda yukarıda sayılan faydaları yanında windrow kompost yönteminin dezavantajları da bulunmaktadır. Açık alanda yapılan windrow kompost üretim yöntemi dış ortam şartlarından çok etkilenmekte, bu nedenle nihai ürün

stabilitesi değişkenlik göstermektedir. Olgunlaşmış kompostun satışı için nem içeriğinin düşük olması istenir. Bu yöntemde özellikle kış şartlarında düşük neme sahip olgun kompost sağlamak oldukça zordur. Sıcaklığın yüksek olduğu yaz dönemlerinde hızlı nem kaybı prosesi durma noktasına getirdiği gibi kış aylarında yağış ile birlikte kompostlaştırma uzun sürelerde dahi tamamlanamamaktadır. Sıcaklıkta yaşanan değişimler süreci negatif etkilemektedir.

Piyasaya satış için yönetmeliklerde belirtilen hijyenizasyon şartının sağlanabilmesi için ekstra maliyet gereklidir. Hijyenizasyon şartının sağlanamaması nedeniyle nihai ürün direkt toprak uygulamalarında kullanılamaz, tekrar işlem görmek üzere farklı tesislere gönderilir. Bu özelliği nedeniyle windrow kompost yöntemi ile üretilecek kompost satış getirileri düşük olacaktır.

2.3. Kapalı Statik Yığın Kompostlaştırma

Kompostlaştırma sistemlerinde yaşanan gelişmeler neticesinde her geçen gün daha verimli kompostlaştırma yöntemi ortaya çıkmakta, var olanlar geliştirilmektedir. Bunlar arasında uzun zamandır yer edinmiş ve kullanımı oldukça çok olan yöntem kapalı statik yığında kompostlaştırma yöntemidir. Bu çalışmada yapılan saha gözlemleri ve literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak zorlamalı havalandırmaya sahip olan ve üstten helezon yardımı ile dolumu yapılabilen tünel yöntemi seçilmiştir.



Şekil 2.32 Kapalı Statik Yığın (Tünel) Kompost Yöntemi [22]

Tünel kompostlaştırma yönteminde hem teorik olarak hem de saha gözlemleri neticesinde sürecin 4 hafta (28 gün) sürdüğü görülmüştür.

Proses süresi ve hammadde kapasitesi göz önünde bulundurularak yapılan Microsoft Excel tabanlı hesaplamalar neticesinde 4 adet tünel kullanımına karar verilmiştir. Tünellerin ebatları Tablo 2.7.'de verilmiştir. Burada tünel tabanında 1,3 m yükseklikte tam dolu alan, daha üstünde ise 1 m yükseklikte trapez dolu alan oluşacağı hesabı yapılmıştır.

Tablo 2.7. Kapalı Statik Yığın Kompost Alanı (Tünel) Ölçüleri

| | |
|-----------|------|
| Uzunluk | 60 m |
| Genişlik | 4 m |
| Yükseklik | 4 m |

Tünel kompostlaştırma yönteminde oksijenin tüm hammadde yığını içerisinde homojen dağılımı en önemli faktördür. Seçilen sistemde havalandırma işlemi tünel tabanına açılan havalandırma deliklerinden basınçlı havalandırma ile yapılmaktadır.

Tünel tabanına tünel giriş kapısından sona uzanacak şekilde her 80 cm'de bir havalandırma kanalı açılmıştır. Başlangıçtan sona kadar her kanal üzerinde 50 cm'de bir olmak üzere hava çıkış delikleri açılmıştır.

Hammaddenin kompostlaştırma için ihtiyaç duyduğu oksijeni sağlamak için havalandırma sistemi start/stop şeklinde aralıklarla çalıştırılır ve bu sayede hem enerji tasarrufu yapılır hem de aşırı oksijen kaynaklı yanmalar engellenmiş olur.

Her tünel için yapılan oksijen ihtiyacı hesabına göre kullanılacak havalandırma fanlarında 50 Kw/sa güce sahip motorlar kullanılacak ve bunlar 10 dakika çalış 10 dakika dur şeklinde otomatik sisteme bağlı olarak çalıştırılacaktır.

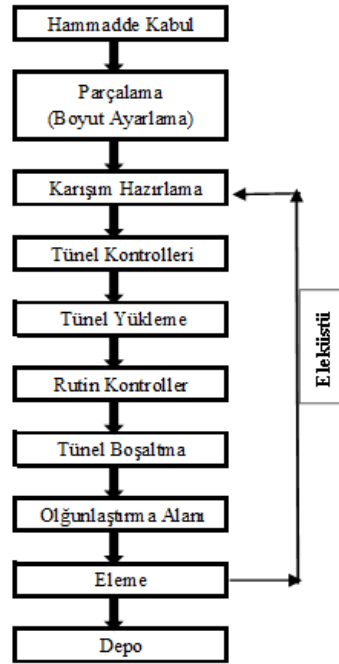
Yapılan kabûller ve hesaplamalara göre 1 tünel için yıllık enerji ihtiyacı 200.000 Kw, toplam kapasite için ise yaklaşık 800.000 Kw enerji tüketimi gerçekleşecektir.



Şekil 2.13. Yığın Havalandırma Kanalları [23]

2.3.1. Kapalı statik yığın kompostlaştırma esisi işletme incelemesi

Kapalı statik yığında kompost üretimi işletme akım şeması Şekil 2.14.'de verilmiştir.



Şekil 2.14. Kapalı Statik Yığın Kompost Yöntemi İş Akım Şeması

Bir önceki yığın tünelden boşaltıldıktan sonra tünel içerisindeki gerekli bakımlar yapılır. Tünel içerisindeki yığının sıcaklığını kontrol etmek amacıyla belirli aralıklarda sıcaklık ölçüm propları hammadde içerisine karışacak şekilde bırakılır. Tünel

boşaltımında bu proplar kablolarından kopup kullanılamaz hale gelmektedir. Her tünel yükleme öncesi propların yenilenmesi gereklidir.

Tünel içi hammadde taşıma için kullanılan helezonların yapraklarında yaşanan yırtılmalar veya yamulmalar hammaddenin tünel boyunca taşınımını güçleştirir. Bunu engellemek için her boşaltım sonrası helezon bakımı yapılır. Sonrasında ise tünel tabanındaki havalandırma deliklerinin tıkanık olanları açılır ve hepsinin aktif olarak çalışıp çalışmadığı kontrol edilir.

Tünel tabanında bulunan havalandırma kanallarının hammadde ile tıkanmaması ve havanın tüm yığına homojen dağılımı için taban 10-15 cm yüksekliğinde bulky malzeme serilir. Bulky malzeme genelde degradasyonu kompostlaştırılacak hammadden daha zor olan ve tekrar kullanıma uygun olan organik maddelerden seçilir.

Bu çalışmada 3 – 5 cm çapa 10-15 cm uzunluğa sahip selüloz içeriği yüksek kereste parçaları kullanılmıştır. Bulky malzeme lastikli yükleyici ile tünel tabanına serilir. Olgunlaşmış kompost içerisinde belirli oranda hacim ebat kaybetmiş olan bulky malzeme eleme esnasında %25 oranında geri kazanılır. Her tünel yüklemesi için ortalama 30 m³ bulkye ihtiyaç vardır. Bunun %25'i olgunlaşmış kompost içerisinden geri alınarak bir sonraki tünel yükleme işlemi için kullanılabilir. Yıllık kapasite dikkat alınarak yapılan hesap ile tabana serilecek toplam bulky malzeme ihtiyacı 1.100 m³ civarında olacaktır.

Kırcıdan geçirilmiş ve uygun partikül boyutuna getirilmiş hammadde içerisine tüm hammadde tonajının %10 olacak şekilde bulky malzeme karıştırılır. Bulky malzeme sayesinde tüm hammadde yığını içerisinde hava geçişlerini sağlayacak boşluklar oluşacak ve tüm yığın homojen bir şekilde havalandırılmış olacaktır.

Bulky malzemenin yaklaşık %25'i olgunlaşmış kompostu eleme sonrası geri kazanılabilmektedir. Yıllık kapasiteye göre toplam bulky ihtiyacı 2.500 m³ civarında olacaktır.

Stokta bulunan tüm hammaddeler kompostlaştırmaya uygun reçete belirlenerek tüm hazırlıkları tamamlanmış, kontrolleri yapılmış boş olan tünele yüklenmek üzere bir lastikli yükleyici ile karıştırma ekipmanına taşınır. Karıştırma ekipmanı kapasite göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamalar sonucunda yaklaşık 10 m³ hacime sahip bir bunker ve bunkerin iç kısmında homojen karışımı sağlayabilecek 50 Kw/h gücünde motordan hareket alan 4 adet karıştırma burgusundan oluşmaktadır. Bu hacimdeki bir karıştırıcı ile bir tünel yükleme işlemi yaklaşık olarak 24 saat sürmektedir.

Yıl boyunca karıştırma ekipmanının enerji ihtiyacı yaklaşık 60.000 Kw olacaktır. Yükleme yapacak olan iş makinesinin bir tünel yüklemesi için çalışma saati yaklaşık 8 saattir. Yıllık tüm hammaddenin tünellere yüklenmesi işlemi için iş makinesinin yakıt ihtiyacı 6.000 litre olacaktır.

Karıştırma ekipmanı yardımıyla uygun reçetede karışımı sağlanmış olan hammadde taşıyıcı konveyör sistemi ile her bir kompostlaştırma tünelinin üzerinde bulunan dolum kapağına taşınır. Bu bölgeden aşağıya akışı sağlanan hammadde tabandan birikerek tünel tavanında bulunan helezon yapıklarına değmeye başladığında helezon çalıştırılır. Helezon hareketi ile hammadde tünel boyunca taşınmış olur.



Şekil 2.15. Kapalı Statik Yığın (Tünel) Dolum Örneği [23]

Tünel dolumu tamamlandığında havalandırma sistemi devreye alınır. Kanallardan havanın geçtiği gözlemlendiğinde tünelin sızdırmaz özelliğe sahip kapısı kapatılır ve proses başlamış olur.

Proses başlangıcından 1 gün sonra tünel kapısı açılıp yığının ön kısmından standartlara uygun şekilde 3 ayrı noktadan numune alınır ve kontroller yapılır. Proses boyunca yaklaşık aynı noktalardan olmak üzere numune alma işlemine devam edilir ve proses devamlılığı kontrol edilir. Süreç tamamlandığında tünel kapısı açılıp lastikli yükleyici yardımıyla kompostlaşmış ürün olgunlaşma alanına alınır.

Olgunlaşma sürecini tamamlamış bir tünelin lastikli yükleyici iş makinesi ile boşaltılması işlemi yaklaşık 12 saat sürmektedir. Bu değer göz önüne alınarak tünel boşaltma işlemi iş makinesinin ihtiyaç duyacağı motorin miktarı yıllık yaklaşık 9.000 litre olacaktır.

Hammaddenin ortalama %25'lik kısmı degradasyon ve nem kaybı ile eksilmiş olacaktır. Bu değer göz önünde bulundurularak yapılan Microsoft Excel tabanlı hesaplarda olgunlaşma alanı ebatları Tablo 2.8.'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Kapalı Statik Yığın Kompost Olgunlaştırma Alanı Ölçüleri

| | |
|----------------------|-------|
| Taban genişliği | 20 m |
| Taban uzunluğu | 35 m |
| Yan duvar yüksekliği | 1,5 m |
| Tavan yüksekliği | 10 m |

Olgunlaştırma alanındaki yığından haftada bir numune alınır ve kompostun sıcaklığının düşüşü izlenir. Yaklaşık 28 gün sonunda olgunlaşma safhası tamamlanan kompost tambur tipi elek yardımı ile elenir.

Elenen ürünün %15'i elek üstü olarak çıkar ve bunun %5'lik kısmı ürün içerisinde degrade olmadan kalmış bulky malzemedir. Eleme işlemi ile ayrılan bulky malzeme bir sonraki tünel yükleme işleminde kullanılmak üzere ilgili alana taşınır. Elek altı malzeme depo alanı için yapılan hesaplama sonuçları Tablo 2.9.'da verilmiştir.

Tablo 2.9. Kapalı Statik Yığın Yöntemi Nihai Ürün Deposu Ölçüleri

| | |
|----------------------|------|
| Taban genişliği | 20 m |
| Taban uzunluğu | 35 m |
| Yan duvar yüksekliği | 2 m |
| Tavan yüksekliği | 10 m |

Depoda hazır halde bulunan kompostun piyasaya satılabilmesi için yönetmeliklerde belirtilen hijyenizasyon şartının sağlanması gereklidir. Bu aşama için ekstra hijyenizasyon ünitesi kurulmalı veya hijyenizasyon amacıyla başka bir tesise gönderilmelidir.

2.3.2. Kapalı Statik Yığın Kompostlaştırma Yöntemi Değerlendirmesi

Kapalı statik yığında kompostlaştırma işlemi birçok avantajı nedeniyle birçok işletme tarafından tercih sebebi olmuştur. Bu yöntem ilk kurulum aşamasında teknik detay içermekte ancak kurulum sonrası işletme aşamasında uygulanabilir basitliğe sahiptir. Hammaddenin ihtiyaç duyacağı oksijen miktarının belirlenmesi ve nihai ürünün kalitesinin tayinine göre proses süresinin belirlenmesi ilk aşamada tecrübe gerektirse de işletme devam ettikçe bu detaylar daha kolay kontrol altında tutulabilir düzeye gelmektedir.

Kapalı statik yığında kompostlaştırma yönteminin avantajları;

- İlk yatırım maliyeti diğer iki yönteme göre orta düzeydedir.
- Kompostlaştırma prosesi dış ortam şartlarından etkilenmez bu sayede süreç aynı periyotlarda devam edebilir
- İlk kurulum ve devreye alma aşaması sonrasında teknik detay daha azdır ve personel yetiştirmek daha kolaydır
- Havalandırma sistemine dahil edilecek bir ısıtıcı yardımıyla hijyenizasyon şartı sağlanabilir

Birçok işletmede tünel kompost yöntemi avantajları nedeniyle tercih edilir. Bu yöntemde hem işletme kolaylığı hem de sürecin aynı periyotlarda devamlılığı sayesinde nihai ürün kompost kalitesi belirli düzeyde sabitlenebilmektedir.

Kapalı statik yığında kompostlaştırma için en büyük işletme maliyeti havalandırma için harcanan enerji ve bulky malzeme için yapılan harcamalardır. Büyük ölçekli yığınların kompostlaştırılması için gerekli olan oksijeni sağlamak için havalandırma sistemi sürekli ve yüksek kapasitede çalıştırılır. Bu çalışma maliyetleri oldukça artırır. Oksijenin yığın içerisinde homojen dağılımı için kullanılan bulky malzeme her yığın oluşturulmasında gereklidir. Bulky temini için yapılan harcamalarda maliyetleri artırmaktadır.

Bu yöntemde tüm süreç kapalı bir tünel içerisinde gerçekleştiği için yığın içerisinde oluşabilecek problem gözlemlenemez ve düzeltilmesi için müdahale şansı yoktur. Yığın içerisinde fazla veya eksik havalandırma neticesinde kızışma bölgeleri oluşur ve alevli yanmalar gözlemlenebilir.

Aynı şekilde yığının içerisindeki bulky malzemenin homojen dağılımının gerçekleşmediği yerde oksijensiz ortam oluşup kompostlaştırma süreci durma noktasına gelebilmektedir. Bu gibi olumsuz durumlara bölgesel müdahale şansı yoktur. Tüm yığın tünelden uzaklaştırılmalı ve süreç uygun şartlara getirilerek baştan başlatılmalıdır. Bu tür riskler nedeniyle proses başlangıcında seçilen reçete çok önemlidir. Karışımın uygun olarak yapıldığından emin olunmadan hammaddenin tünele yüklenilmesi yapılmamalıdır.

2.4. İş ve İşçi Sağlığı ve Güvenliği

Çalışma boyunca kullanılması planlanan hayvansal kökenli atıklar oluşum ortamları gereği bazı inert malzemeler içerebilmektedir. At çiftliklerinden gelen at altlığı olarak isimlendirilen sap-saman ve dışkı karışımı içerisinde özellikle yaz aylarında açık otlaklara çıkarılacak atlar için kullanılan at nalı, çivi ve at binicilikte kullanılan malzemeler, kış aylarında ise kapalı haralarda tutulan atların üzerine serilen ısıtma amaçlı battaniyeler, kışlık takviye besinlerinin kutuları bulunmaktadır. Sezonluk değişim gösteren bu malzemeler haricinde tüm yıl boyunca sıklıkla ilaç kutularına, serumlara ve iğnelere rastlamakta mümkündür.

Tavuk çiftliklerinden gelen altlık ve dışkı karışımında ise açık veya kapalı çiftlikler fark etmeksizin plastik veya metal yemlik ve suluk parçalarına, yem çuvallarına, ilaç veya vitamin kutularına ve kümes tamamen boşaltılıp temizlik yapılacak ise buralardan kaynaklı tavuk ölümlerine sıklıkla rastlanmaktadır.

Bu inert malzemeler tüm atığın % 2-3'ünü geçmemektedir. Ancak hem kesici ve delici özellikte olmaları hem de ilaç vb. atıklar nedeniyle biyolojik risk taşımaktadırlar ve bu nedenle kontrol altında tutulmaları gereklidir. Ayrıca tüm üretim sürecinde çalışacak personeli inert atıklardan oluşabilecek risklerden korumak için uygun önlemler alınmalıdır.

Tesislerde iş ve işçi sağlığı ve güvenliği açısından dikkat edilmesi gerekli en önemli husus atıklar içinde gelen inert malzemeler ve bunlar ile kontamine olmuş diğer atıklardır. Kontrol altına alınmamış inert kirleticilerin etkisi ile ortaya çıkabilecek en büyük risk biyolojik ve radyoaktif risklerdir. İlk aşamada bu riskleri ortadan kaldırmak için tesislerde atık kabul birimi oluşturulmalı ve gelen tüm atıklarda belirlenen parametrelere göre inceleme yapılmalıdır.

Kompost üretim tesisine kabul edilecek hammadde niteliğindeki atıklara inert kirleticilerin bulaşmaması için kaynağında önlemler alınması hususunda şartlar koyulmalı ve sıklıkla kontrol edilerek bu şartlara uygunluk tespiti yapılmalıdır. Kaynakta alınacak bu önlem sonrası gelen atıklar tesise kabul edilmeden önce tesis içine kontaminasyonu olmayacak şekilde hazırlanmış bir karantina bölgesine alınmalı ve burada belirlenen parametrelere göre kontrol ölçümleri yapılmalıdır. Bunların ilki radyasyon doz ölçümüdür. Radyasyon seviyesi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun yönetmeliklerle belirlediği seviyeden yüksek ise karantina bölgesinden asla çıkarılmamalı ve ilgili resmi kuruluşlara haber verilerek gerekli işlemler yapılmalıdır.

Radyasyon seviyesi normal ise atığın belirli bölgelerinden numuneler alınarak gözle inert atık tespiti yapılmalı ve çok fazla miktarda inert malzeme içeriyorsa karantina bölgesinden çıkarılmadan ilgili operasyonlar için idare bilgilendirilmelidir. Alınacak numunelerden kaynaklabilecek riskleri ortadan kaldırmak için personel kişisel

koruyucu donanımlarını tam ve eksiksiz kullanmalıdır. Bu donanımlar iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliklerinde belirtilen standartlarda olmalıdır. Atık kabul şartlarını sağlayan atıklar stok sahasına yönlendirilmeli ve en uygun alanda stoklanması sağlanmalıdır.

Tesislere gelen hammaddeye en çok temas üretim safhasından önceki parçalama ve eleme gibi ön işlemlerde gerçekleşir. Bu alanlarda çalışan personellere kişisel koruyucu donanımlar tam ve eksiksiz verilmeli ve bu ekipmanları kullanmasının takibi yapılmalıdır. Aksi takdirde sıklıkla kesik oluşumu, kanamalı yaralanmalar, biyolojik etkiler sonucu oluşan hastalıklar meydana gelebilmektedir. Tüm bu sonuçlardan daha kötüsü ölümlerle sonuçlanabilecek kazalar ortaya çıkabilmektedir.

Tesis genelinde ve özellikle hammadde ile temas olması söz konusu olan birimlerde görevlendirilecek personeller EN 388:2016 standardına sahip mekanik risklere karşı koruma sağlayan eldivenler, FFP3 özellikli yüksek toksisiteli katı ve sıvı aerosollere karşı koruma özelliğine sahip solunum maskesi ve EN 166 standardına sahip özellikle partikül batmalarına karşı koruma özelliği bulunan gözlük kullanılması gereklidir. Riskleri en aza indirmek için üretim faaliyetinin tüm aşamalarında iş sağlığı ve güvenliği talimatlarının tümüne eksiksiz uyulması gereklidir.

BÖLÜM 3. KOMPOST MALZEMESİ VE OLGUN KOMPOSTTAKİ PLASTİK KİRLİLİĞİ DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışmada kompostlar içerisindeki plastik parçacıklarının (mikroplastiklerin) varlığı ve çevredeki dolaşımını gerçek bir örnek üzerinden açıklanmaya ve kompostların ciddi bir mikroplastik kaynağı olup olmayacağı da irdelenmeye çalışılmıştır. Mikroplastikler (MP), çevre ve sağlığa olası tehlikeleri henüz tartışılan ve günümüzde hala standart ayırma ve inceleme prosedürü bulunmayan önemli kirleticilerdendir.

Boyutlarına göre çevredeki plastik kirliliği;

- Nanoplastikler: 1nm-1000 nm
- Mikroplastikler: 1µm -1000 µm
- Mezoplastikler: 1mm-10 mm
- Makroplastikler: >1 cm olarak tanımlanmaktadır [24]

Çalışmada dikkate alınan kompostlama tesisindeki kompost yapımında kullanılan hammaddeler çoğunlukla tavuk dışkısı ile at altlığından oluşmakla beraber geriye kalan kısım ise zamana göre değişebilen oranda hazır organik atıklardan oluşmaktadır. Tavuk üretiminde kullanılan tavuk yemlikleri genellikle polietilen (PE) plastikten imal edilir ve plastik yemlikler tavukların gagalarıyla vurmasının etkisiyle belli oranlarda deformasyona ve kayba uğrayarak zamanla kullanılmaz hale gelir. Diğer taraftan serbest gezerek beslenen tavukların ise bulabildikleri plastik çöp dahil her şeyi yedikleri bilinmektedir. Buna ilaveten at altlığı olarak kullanılan materyaller de plastik (sentetik kauçuk vb.) olabilmekte veya malzeme içerisinde plastik içerebilen paket sargısı gibi dikkat edilmeyen parçalar bulunabilmektedir.

Çevredeki mikroplastiklerin (MP) en önemli kaynakları olarak, ambalaj malzemeleri ile her yerde yaygın kullanıma sahip tek kullanımlık ürünlerden oluşan plastik çöpler

ve sentetik tekstil ürünleri sayılabilir [25-27]. Günümüzde plastik üretim peletleri ve kozmetiklerdeki mikroboncuklar gibi birincil mikroplastiklerin ve büyük plastik parçaların çeşitli etkilerle parçalanması sonucu ortaya çıkan ikincil mikroplastiklerin (sentetik giysiler, sentetik tekstil ürünleri, sentetik lifler, araç lastiği döküntüleri, zirai, denizcilik, balıkçılık, taşımacılık sırasında kullanılan malzemelerin kopan parçaları ve yol kaplama-yol işaretlerinin döküntüleri, düzenli depolamadan, şehir tozundan gelen mikroplastikler) çevredeki miktarının ve dolaşımının ortaya çıkarılması gerekli görünmektedir. Esas olarak çevredeki bir kirliliği önleyebilmek için o kirliliğin kaynaklarını, miktarını, geçiş yollarını ve etkilerini bütüncül olarak ele alabilmek, kısacası yaşam döngüsünü açık bir şekilde ortaya koyabilmek önemlidir.

Genelde üretilen ve tarım arazilerinde kullanılabilen olgun kompostun tane çapı <5 mm boyutunu da kapsadığından dolayı kompost içerisinde mikro- ve nanoplastikler kalabilmektedir [28-30]. Çevredeki mikroplastiklerin kaynaklarının ve dağılımlarının taranması ve önceliklendirilmesi konusunda ilgili olarak yapılan bir çalışmada, büyük ölçüde ambalaj malzemeleri ve tek kullanımlık ürünlerden oluşan plastik çöpler mikroplastiklerin en önemli kaynağı olduğu belirtilmektedir (1-10 arası bir ölçekte 8-9 arası puan). Yine bu çalışmada, atık su, kanalizasyon çamuru ve kompost nispeten yüksek bir puan almıştır (6 puan). Görüldüğü gibi iyi tarım uygulaması amacıyla yapılan kompost ve arıtma çamurları, çevreye mikroplastiklerin dağılmasında dikkate değer payı olan bir mikroplastik kaynağı gibidir [27].

Atık hayvan gübrelerinden yapılan endüstriyel ölçeklerde kompostlandığı ve üretilen olgun kompostların önemli bir ticari değere sahip olduğu bilinmektedir [31]. Çalışmanın bu kısmında amaç, kompostların çevrede önemli bir mikroplastik kaynağı olup olmadığı üzerinde durularak, kompost-mikroplastik ilişkisi ile çevreye dağılabilecek mikroplastik kirliliğine dikkat çekebilmektir.

Bu amaçla üç farklı kompost tesisinden alınan numunelerde mikro ve mezoplastik varlığı incelenmiştir. Alınan kompost örnekleri başlıca, su ilavesi, hidrojen peroksit (H_2O_2) ile $60\ ^\circ C$ ' de oksidasyon, karıştırma, filtre ile süzme işlemlerinden sonra kompost içeriğinde rastlanan bazı safsızlıkların kimyasal yapısı analiz edilmiştir.

İncelemelerde Bruker (Lumos) marka mikroskoplu ATR-FT-IR Spektrofotometre (attenuated total reflection/Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre) kullanılmıştır. Mikroskop incelemeleri sırasında çoğunlukla hayvan kılına rastlanmakla beraber bazı iplikçiklere de (mikrolif) rastlanmıştır. Bu liflerin çoğunluğunun plastik polimer kaynaklı lifler olacağı düşünülse de tespit edilen mikroliflerin genel olarak pamuk, selüloz, rayon, plastorit, pigment ve stabilizer parçacıkları olduğu anlaşılmıştır. Bu incelemelere ait bazı spektrumlar Ek-1' de örnek olarak verilmiştir. ATR-FT-IR cihazı ile yapılan incelemelerde korelasyonun genelde % 50' den düşük olduğu görülmektedir. Bu sebeple kompost-mikroplastik ayırma ve inceleme işlemlerinin daha ileri ayırma ve inceleme teknikleriyle geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

3.1. Mikroplastikler' in Transferi, Besin Zinciri ve İnsan

Bazı türdeki solucanlar ve mikroorganizmalar mikroplastikleri yiyerek dönüştürebilmektedir. Ancak bu, oldukça spesifik bir şekilde gerçekleşen olaydır. Çünkü her organizmanın sindirebildiği plastik türü farklı polimer tipindedir [32-34]. Ancak mikroplastikleri yutan sucul canlıların çoğunda sindirim güçlüğü, büyüme problemleri, hatta ölüm görülebilmektedir [35]. Plastik ve mikroplastik yutan çoğu kuşlar, balıklar vb. hayvanlar, dolu bir mide ile açlıktan ölmektedir.

Güneydoğu Meksika' da, atıkların kötü yönetiminin yaygın olduğu geleneksel Maya ev bahçelerinde topraktan tavuklara mikro ve makroplastiklerin transferini kanıtlayan bir çalışma yapılmıştır [36]. Çalışmada, toprakta, solucan atığında, tavukların dışkısında, kursağında ve taşlığındaki (insan tüketimi için kullanılır) mikro ve makroplastikler incelenmiştir. Toprakta (0.87 ± 1.9 partikül g^{-1}), solucan atığına (14.8 ± 28.8 partikül g^{-1}) ve tavuk dışkısına (129.8 ± 82.3 partikül g^{-1}) doğru mikroplastik konsantrasyonlarının arttığı görülmüştür. Tavuk taşlıklarının ise 10.2 ± 13.8 mikroplastik parçacık içerdiği, kursaklarında ise mikroplastik bulunmadığı tespit edilmiştir. İncelenen her bir taşlık başına ortalama 45.82 ± 42.6 makroplastik parçacık, ve kursak başına 11 ± 15.3 makroplastik parçacık bulunduğu ve özellikle 1–10 mm makroplastik partiküllerin, taşlıklarda (31.8 ± 27.27 partikül) kursakta bulunanlara (1

± 2.2) oranla belirgin bir şekilde daha bol olduğu bildirilmiştir. Bu veriler, mikro ve makroplastiklerin karasal besin zincirine girebileceğini göstermesi açısından önemlidir. Her bir bahçeden, toplam 100 toprak numunesi ile sonuçlanan, 0–10 ve 10-20 cm derinlikte alınan beş adet 50 g toprak örneği toplanmıştır. Toprak örneklerinin elde edildiği noktaların her birinden, toprak solucanı atıkları da toplanmıştır. Her ev bahçesinden iki adet 10 gram tavuk dışkı örneği alınmıştır. Yaşları 5-8 aylık olan beş tavuk rastgele alınmıştır. Bahçelerdeki plastik şişeler ve yüzeydeki plastiklerin (> 5mm) bulunduğu kapsama alanı m² başına görsel olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan da anlaşılacağı gibi mikroplastiklerin karasal hayvanlar tarafından yenebilmesi ve karasal besin zinciri boyunca aktarılabilmesi söz konusudur.

Hatta farklı coğrafik konumlardaki 8 farklı ülkeden (Avusturya, Finlandiya, İngiltere, İtalya, Japonya, Hollanda, Polonya ve Rusya) alınan insan dışkısı numunelerinde yapılan yeni bir çalışmada da 10 gram dışkıda yaklaşık 9-24 adet MP parçacığına (50-500 µm) rastlandığı bildirilmiştir [37]. Buradan hareketle, insanoğlu da dahil olmak üzere tüm canlıların, havada, suda veya toprakta bulunan ve besinleriyle karışmış olan [38] mikroplastiklere maruziyeti söz konusudur.

3.2. Kompostlaştırma-Mikroplastik Kirliliği ile ilgili Yaşam Döngüsü Yaklaşımı

Kompostlamada kullanılan malzemelerin hepsi doğal ve parçalanabilir malzemeler olarak bilinse de bunların içerisine bilmeden veya kazara çeşitli tipte plastik içeren atıklar da karışabilmektedir. Genel olarak kompost yapımında [39] poşet çaylar (poşet kısmı, PP, PET ve polyester içerebilmektedir), hayvan dışkısı, kurumuş yaprak, budanmış bitkiler ve içeriğinde mikroplastik döküntüsü (sentetik tekstil lifleri, plastiklerden aşınmış ve kopmuş parçalar) bulunma olasılığı çok yüksek olan organik atıklar kullanılmaktadır. Bu sebeple kompostlar mikroplastiklerin çevreye dağılmasında önemli bir kaynak olmaktadır. Örneğin tavuk yetiştirme çiftliklerinde kullanılan plastik tavuk yemlikleri % 98 Plastik (Plastik= %75 HDPE, %25 LDPE) ve %2 Boya (Masterbach boya)' dan oluşabilmektedir. Yemlikler kullanıldıkça zamanla deformasyona uğrayabilmekte ve kopan parçaları tavuklar yutabilmektedir. Serbest

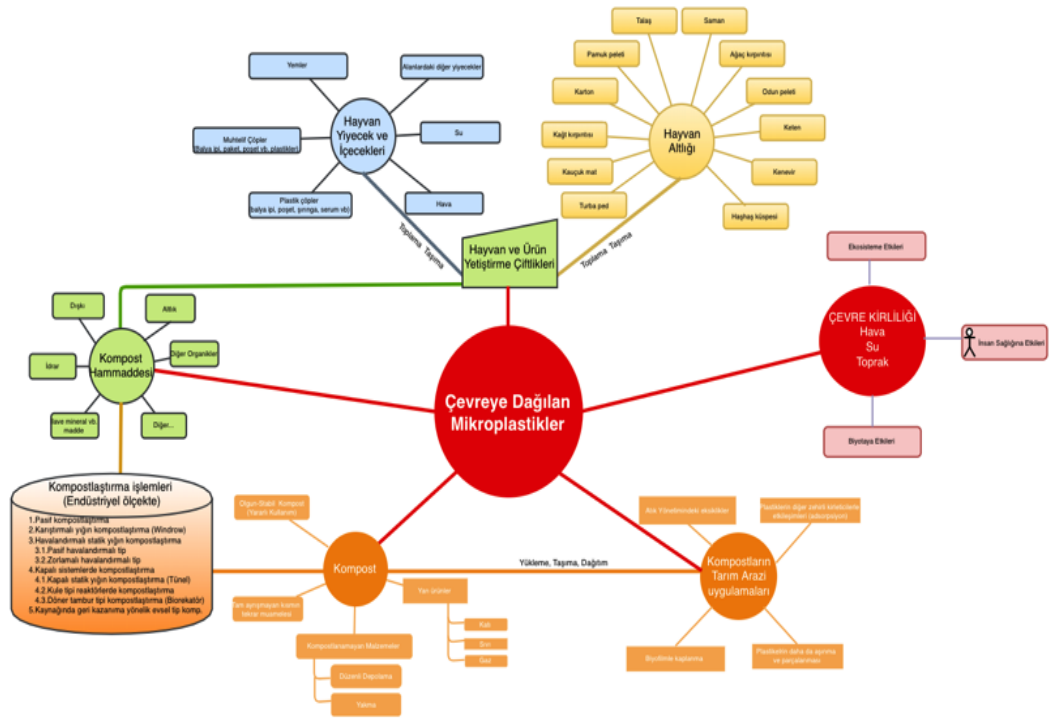
dolaşan tavukların yediği yiyeceklere de bakıldığında dışarıda rastladığı ve yutabildiği her tür çöpü (plastik de dahil olmak üzere) yediği bilinmektedir.

At altlıklarında kullanılan malzemelerin [40] temininde de dikkatli olunmazsa altlık malzemesi içerisinde orijinal ambalajından veya paket sargısından parçalanmış plastiklere bulunabilir. Hayvanlar da bu malzemeleri bilmeden yem ile birlikte yutabilir. Bu sebeple hayvan yetiştiriciliğinde yem, altlık ve benzeri malzemeler alınırken satıcıya bu malzemelerden içerip içermediği konusunda kesin ve güvenilir bilgi ve belge dahilinde alım yapılması çok doğru olacaktır. Dahası bu sorgulamanın özellikle kompost yapan firma tarafından kompost için gelen gübre materyalinde de bulunup bulunmadığının sıkı bir şekilde yapılması ve ona göre kompost malzemesinin alınması iyi olacaktır. Çünkü mikroplastiklerin kaynağı hiç bilinmeyen veya öngörülmeyen bir malzemedен kaynaklanabilmektedir.

Belediye atıkları incelendiğinde, başlıca evsel çöpleri, geri dönüştürülebilir atıkları, tehlikeli atıkları, evsel nitelikli endüstriyel atıkları, ticari atıkları ve cadde sokak çöpleri gibi bileşenleri içerdiği görülmektedir. Bu içeriklerin çoğunda da çok yüksek oranda plastikler bulunabilmektedir. Günümüzde çöplerdeki plastiklerin çoğunluğu tek kullanımlık plastik ürünlerden oluşmakla beraber çok kullanımlık ürünleri ve onların döküntülerini de içermektedir.

Çevredeki mikroplastiklerin yaşam döngüsünü ve sağlığa olası olumsuz etkilerini ortaya koyabilmek için öncelikle mikroplastiklerin kaynaklarını, dağılımını ve transfer yollarını anlamak gerekir. Bu konuların anlaşılması, mikroplastik kirliliğinin uzun vadede çevre ve insan sağlığına olası etkilerini daha iyi belirlemek için maruziyetin değerlendirilmesine imkan sağlayacaktır. Kompostların arazi uygulamalarında sonradan çevrede mikroplastik kirliliği gibi ciddi bir probleme yol açmasını önlemek için, kompost yapılacak organik atıklar içerisindeki plastiklerin iyice ayrılmasına dikkat edilmelidir [41].

Şekil 3.1’de kompostların arazi uygulaması sırasında çevreye dağılması muhtemel mikroplastik kaynakları verilmiştir.



Şekil 3.1. Kompostlar ve Çevreye Dağılan Mikroplastikler [24]

BÖLÜM 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada günbegün artan çevresel problemlerin en önemlilerinden biri olan katı atıkların kontrolünde büyük avantajlara sahip kompostlaştırma yöntemlerinden 3 tanesi ele alınmıştır. Bu yöntemler ile kurulmuş olan tesisler izlenmiş ve belirli düzeyde saha gözlemleri neticesinde tüm hammadde girdileri aynı olacak şekilde 3 ayrı yöntemin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada biyoreaktör, windrow ve tünel kompostlaştırma yöntemleri değerlendirilmiştir.

Klasik yöntemler ile kompostlaştırmada birçok dış etmen sürece etki edebilmektedir. Yaşanan teknolojik gelişmeler bir yandan çevresel sorunlar getirdiği gibi diğer yandan da bu sorunları ortadan kaldırmaya yardımcı yöntemlerden sağlanan faydanın yükselmesine yardımcı olmaktadır.

En bilinen ve en yaygın olarak kullanılan yöntem olan windrow kompostlaştırma yöntemi süreç stabilitesi olmaması sebebiyle endüstriyel boyutta kurulacak tesislerde tercih edilmemektedir. Yatırım ve işletme maliyetleri diğer iki yönteme göre çok düşüktür. Ancak nihai ürün piyasaya satışı ile elde edilecek fayda diğer yöntemlerin çok altındadır ve bu nedenle kompost ürününün ekonomik bir değere sahip olması beklenen tesislerde tercih edilmesi uygun olmayacaktır.

Kapalı statik yığılma kompostlaştırma sisteminde ise dış ortam şartlarının etkisi yoktur ve işletme şartları optimum düzeyde tutulursa nihai ürün stabilitesi sabit olabilmektedir. İlk yatırım maliyeti olarak üç yöntem içerisinde ikinci sıraya sahiptir ancak proses sürecinde yaşanacak problemlere müdahale şansının olmaması nedeniyle işletme riski en yüksek yöntemdir.

Biyoreaktör kompostlaştırma yöntemi halihazırda ülkemizde yaygın olamayan ancak zamanla tercih sebebi olacak bir yöntemdir. Diğer yöntemlere göre daha fazla teknik

detayları bulunmakta ve henüz yaygın olmadığı için bu detaylara hakim personel bulunmadığı için kurulacak tesislerde bu yöntem seçimi risk taşımaktadır. Ancak hiçbir dış ortam şartından etkilenmemesi nedeniyle nihai ürün kalitesinin sürekli oluşu, proses süresinin çok kısa ve istenilen nihai ürüne göre yönlendirilebiliyor oluşu sayesinde bu yöntem tercih edilmelidir.

Kompostlaştırma yöntemi, gün geçtikçe daha büyük çevresel sorunlar oluşturmaya başlayan katı atıklar içerisindeki organik içeriğin geri kazanımı için kullanılması kaçınılmaz bir yöntemdir. Bu nedenle kurulacak kompostlaştırma tesislerinin en ekonomik ve en verimli sistemle işletilmesi önemlidir.

Yapılan değerlendirmelerde görüldüğü üzere kompost üretimi ile hem çevresel açıdan sağlanacak faydayı en üst düzeye çıkarmak hem de ekonomi yaratmak amacıyla tek bir kompostlaştırma yöntemine bağlı kalmak doğru bir yaklaşım olmayacaktır.

Her yöntemin kendi içerisinde artı ve eksileri olduğu gibi bunları minimize etmek üzere birkaç yöntemi birbiri ile entegre şekilde birleştirmek en verimli ve en değerli kompostlaştırma yöntemi olacaktır. Tünel ve biyoreaktör sistemleri veya windrow ve bioreaktör sistemlerin birlikte kullanılarak hem yüksek kapasitede kompostlaştırma gerçekleştirilir hem de stabil özelliklere sahip olan standart bir ürün elde edilebilir [42].

İncelenen 3 ayrı kompostlaştırma yöntemi için kurulum maliyetleri hariç tutularak yıllık işletme maliyetleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Üretim yöntemlerinin kullanılacağı tesisler için sadece enerji ve hammaddeye eklenecek ekstralar dikkate alınmıştır.

Maliyetler incelendiğinde biyoreaktör yöntemi için diğer iki yöntemden çok daha yüksek maliyetler ortaya çıktığı görülmüştür. En az maliyete sahip yöntemin windrow olduğu ancak kompost ürününden ekonomi elde etmek amacıyla kurulan endüstriyel tesislerde bu yöntem getiri sağlamayacaktır.

Tablo 4.1. Yıllık İşletme Maliyetleri

| | Elektrik (Kw/Yıl) | Motorin (Litre/Yıl) | CNG (Sm³/Yıl) | Mikroorganizma Kürü (Kg/Yıl) | Bulky Malzeme (m³/Yıl) |
|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| Biyoreaktör Yöntem | 1.800.000 | 9.000 | 200.000 | 3.600 | 0 |
| Windrow Yöntemi | 0 | 73.000 | 0 | 0 | 0 |
| Kapalı Statik Yığın Yöntemi | 860.000 | 15.000 | 0 | 0 | 36.000 |

Kompost ürününden getiri sağlamak amacıyla kurulacak tesislerde kompost ürünü direkt alıcıya satılması gereklidir. Bunu sağlayabilmek için yasal gereksinimler yerine getirilmek zorundadır. Bu nedenle sadece windrow veya sadece tünel kompost yöntemleri yasal şartları yerine getirmede yeterli olmamakta bu yöntemlere ek olarak bir hijyenizasyon sistemide kurulması gerekmektedir. Yapılan çalışma içerisinde incelenen biyoreaktör yöntem için kullanılan ısıtma sistemli karıştırıcı kazanlar yapısı gereği hijyenizasyon işleminde gerçekleştirebildiği için windrow ve tünel kompost yöntemleri ile üretilmiş olan kompostun hijyenizasyonunda da kullanılabilir. Bu nedenle windrow+biyoreaktör ve tünel+biyoreaktör şeklinde işletilecek tesislerde üretilen kompostlar direkt satıcıya satılabilir durumda ve ekonomi oluşturulabilir yapıda olacaktır.

Windrow+biyoreaktör ve tünel+biyoreaktör şeklinde işletilecek tesisler için maliyetler tekrar hesaplanmış Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Bu tablodaki değerlerde windrow yöntemi sonunda ortaya çıkan kompostların hijyenizasyonu için biyoreaktörlerde mikroorganizma kücü kullanılmaksızın sadece 6 saat 70 °C’ de ısıya maruz bırakılması yeterli olacaktır. Sadece biyoreaktör yöntemde kompost üretimi için 24 saat gerekirken windrow kompostun hijyenizasyonu için 6 saat gereklidir. Bu nedenle Tablo 4.2’de verilen windrow kompost üretim maliyetleri üzerine hijyenizasyon için gerekli maliyet olarak Tablo 4.2’de verilen biyoreaktörde üretim için yıllık harcanan elektrik, motorin ve doğal gaz (CNG) giderlerinin %25’i eklenmiştir. Aynı şekilde tünel kompost üretim yöntemi ile üretilen kompostların hijyenizasyonu içinde 4 saat biyoreaktör içerisinde 70 °C’de ısıya maruz bırakılması gereklidir. Bu hesaplama Tablo 4.1’deki tünel kompost üretim maliyetleri üzerine biyoreaktör kompost üretim giderlerinden elektrik, motorin ve CNG giderlerinin %16,7’si eklenmiş Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Entegre yöntemler yıllık giderleri

| | Elektrik (Kw/Yıl) | Motorin (Litre/Yıl) | CNG (Sm³/Yıl) |
|---|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Windrow + Biorekatör Yöntemi | 450.000 | 75.000 | 50.000 |
| Kapalı Statik Yığın + Biyoreaktör Yöntemi | 1.160.000 | 16.500 | 35.000 |

Tablo 4.2'deki değerlerde görüldüğü üzere entegre sistemler kurmak işletme maliyetlerini düşürmede fayda sağlamaktadır. Sadece biyoreaktör sistem yine çok yüksek maliyetler oluşturmakta ancak diğer iki yöntem ile kompost üretilip biyoreaktör yöntemi ile hijyenizasyon işlemini tamamlamak ekonomik olacaktır. Ayrıca biyoreaktör yöntemin kendi içinde avantajlarından olan dış ortamdan etkilenmeme ve gerektiğinde küçük ölçekli müdahalelere imkan vermesi sayesinde entegre yöntemlerde windrow ve tünel içinde herhangi bir sorun yaşandığında hızlı bir şekilde müdahale fırsatı vererek üretim kapasitesinin düşmeden devamlılığını da sağlamış olacaktır.

Ayrıca bu kapsamda yapılacak atık yönetimi çalışmalarında, kompostlaştırma ve düzenli depolama aşamalarının topraklara dolayısıyla da hava ve suya mikroplastik dağılımında önemli bir kaynak olduğu dikkate alınarak [43, 44] öncelikle tek kullanımlık plastik ürünler yasaklanarak, plastik çöpler henüz mikroplastik haline dönüşmeden toplanıp mümkün olduğu ölçüde %100 geri dönüşümünün sağlanması veya diğer bertaraf tekniklerinden yakma ile enerji eldesi en iyi yol olacaktır.

Bunun yanı sıra yalnızca atıkların kompostlanarak tarım arazilerinde kullanımı değil, yüksek miktarlarda mikro-nanoplastik içeren arıtma çamurlarının da tarım uygulamalarında kullanımı yaygındır [45].

Mikroplastik kirliliği dikkate alındığında bu tarz arazi uygulamalarının çevreye mikroplastik yayan ciddi kaynaklar olacağı görülmektedir. Bu nedenle kompostlardaki, arıtılmış sulardaki ve arıtma çamurlarındaki mikroplastik içeriklerinin incelenmesi, belirlenmesi ve bu malzemelerin arazi uygulamalarında yasal düzenlemelerin yapılması gereklidir. Bu düzenlemeler yapılırken mikroplastiklerin mevcut agroekosistemdeki maksimum miktarlarının anlaşılmasına

çalışılması da alınması gereken tedbirlerin aciliyetini belirleme bakımından çok önemli olacaktır. Ayrıca, iyi bir atık yönetimi olmayan ve kullandıkları ürünleri çevreye bilinçsizce terkeden insanlar için tek kullanımlık plastik ürünlerin yasaklanması hızlı bir önlem olacaktır.

Tek kullanımlık plastik ürünlerin yasaklanması, ambalajlarla ilgili yeni düzenlemeler yapılması, firmalardan yıllık plastik ayak izi açıklamasının istenmesi, doğada biyoparçalanmayan sentetik polimerler yerine biyoplastik malzemelere geçişe teşvik ve desteklerin artırılması, en önemlisi de plastik kirliliği konusunda tedbir için, ilköğretimden başlayarak tüm okullarda çevre bilincini ve farkındalığı artırıcı faaliyetlerde bulunmak gerekir.

Çevreyi kirleten atıklar veya plastikler değil, insanlardır. Bu sebeple bu konuda bilinçlendirme çalışmaları yapmak aciliyet ve önem arz etmektedir. Topraklara kompost uygulamalarıyla ilgili bazı yasal sınırlandırmalar bulunsa da, mikroplastik kirliliği konusunda henüz bir bahis bile bulunmamaktadır. Bu bağlamda çevre için tehlike arzetmeyen, aşırı israfı ve aşırı kaynak tüketimini önleyen, atıkları değerlendirilebilen, ileri ve geri dönüştürmeye teşvik eden ve mümkün mertebede sıfır atık oluşumunu benimseyen bütüncül ve sürdürülebilir yaklaşımlarla toplumsal bilinci de uyaraabilen etkin ve çevreci bir atık yönetiminin sağlanması esastır.

KAYNAKÇA

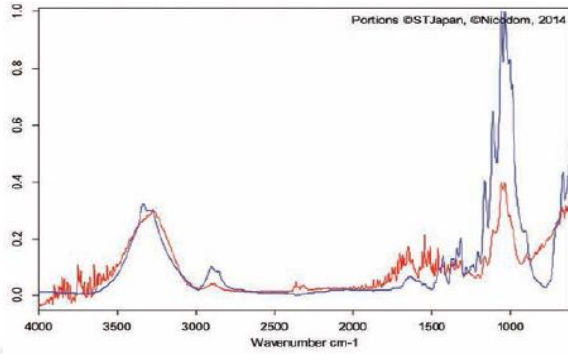
- [1] Kreith, F. (1999). Handbook of solid waste management.
- [2] Arıkan, O.A., (2003). Farklı Tipte Organik Katı Atıkların Havalı ve Havasız Kompostlaştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Haug, R.T., (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, London.
- [4] Topkaya, B., (2004). Kompost. Ders notu (basılmamış). Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- [5] Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş A., (2009). Kompost Teknolojileri Ve İstanbul'daki Uygulamaları. Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompost Kullanım Alanları Çalıştayı, İstanbul.
- [6] Öztürk, İ., (2015). Kompost El Kitabı Genişletilmiş 2. Baskı, İSTAÇ A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi 1, İstanbul.
- [7] Öztürk, İ., Demir, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O., Çiftçi, T., Çakmak, İ., Öztürk, L., Yıldız, Ş., Kiriş, A., (2015). Kompost El Kitabı Genişletilmiş 2. Baskı, İSTAÇ A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi 1, İstanbul.
- [8] Öztürk, M., Bildik, B., (2005). Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [9] Öztürk, M., (2017). Hayvan Gübresinden ve Atıklardan Kompost Üretimi, Ankara
- [10] Bilgili, M.S., (2013). Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [11] Li, S., Song, L., Gao, X., Jin, Y., Liu, S., Shen, Q., Zou, J., (2017). Microbial abundances predict methane and nitrous oxide fluxes from a windrow composting system. Frontiers in microbiology, 8, 409.

- [12] Kong, Z., Wang, X., Liu, Q., Li, T., Chen, X., Chai, L., Shen, Q., (2018). Evolution of various fractions during the windrow composting of chicken manure with rice chaff. *Journal of environmental management*, 207, 366-377.
- [13] Ahmad, N., Hussain, T., Awan, A. N., Sattar, A., Arslan, C., Tusief, M. Q., Mariam, Z., (2017). Efficient and eco-friendly management of biodegradable municipal solid waste (MSW) using naturally aerated windrow composting technique in district Lahore Pakistan.
- [14] <http://www.stratabiogreen-tr.com/kompost-makinası.html> Erişim Tarihi: 13.12.2018.
- [15] <https://ie.enterprisesg.gov.Sg/Venture-Overseas/SgGogesGlobal/BiomaxTechnologies>., Erişim Tarihi: 13.12.2018.
- [16] <https://www.komptech.com/en/products-komptech/pdetails/topturn-x55.html>., Erişim Tarihi: 13.12.2018.
- [17] <http://maf-compostingsystems.de/>., Erişim Tarihi: 13.12.2018.
- [18] <http://www.willibald-gmbh.de/willibald/produkte/>., Erişim Tarihi: 05.01.2019.
- [19] <https://www.compost.systems.com/en/green/messtechnik/>., Erişim Tarihi: 05.01.2019.
- [20] <https://www.kartalotomasyon.com.tr/urun/tp3001-uzun-problu-cubuk-termometre>., Erişim Tarihi: 05.01.2019.
- [21] Epstein, Eliot, (2011). *Industrial Composting – Environmental Engineerins and Facilities Management*, Taylor & Francis Group, USA.
- [22] <http://www.sermatec.com/en-225-644-404mushroom-growing-machines-compost-tunnel-filling-.html>., Erişim Tarihi: 12.04.2019
- [23] Hartmann, N., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Herrling, M. P. 2019. “Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris”, *Environmental science & technology*.
- [24] Yurtsever, M., *Küresel Plastik Kirliliği, Nano-Mikroplastik Tehlikesi ve Sürdürülebilirlik*, Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları, Editör: Ayşegül Akdoğan Eker, Fatma İlder Türkdoğan, Fatma Gülen İskender, Neşe Tüfekçi, Süleyman Övez, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-7594-06-8, 2018.

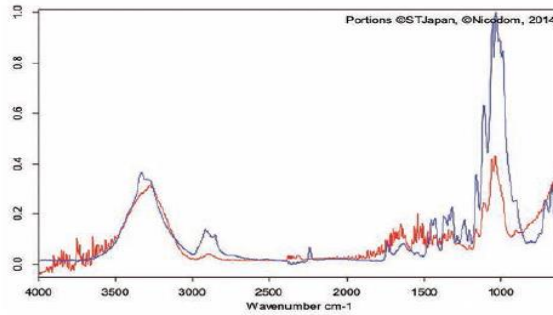
- [25] Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597.
- [26] Verschoor, A., de Poorter, L., Roex, E., Bellert, B., (2014). Quick scan and prioritization of microplastic sources and emissions. *RIVM letter report 2014-0156*.
- [27] Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Bundela, P. S., Wong, J. W., Li, R., Zhang, Z. (2016). Co-composting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. *Bioresource technology*, 213, 181-189.
- [28] Brodhagen, M., Goldberger, J. R., Hayes, D. G., Inglis, D. A., Marsh, T. L., Miles, C. (2017). Policy considerations for limiting unintended residual plastic in agricultural soils. *Environmental Science & Policy*, 69, 81-84.
- [29] Nizzetto, L., Futter, M., Langaas, S. (2016). Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin?.
- [30] Li, S., Li, J., Yuan, J., Li, G., Zang, B., Li, Y., (2017). The influences of inoculants from municipal sludge and solid waste on compost stability, maturity and enzyme activities during chicken manure composting. *Environmental technology*, 38(13-14), 1770-1778.
- [31] Bombelli, P., Howe, C. J., Bertocchini, F. (2017). Polyethylene biodegradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 27(8), R292-R293.
- [32] Yang, J., Yang, Y., Wu, W. M., Zhao, J., Jiang, L. (2014). Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms. *Environmental science & technology*, 48(23), 13776-13784.
- [33] Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Jiang, L. (2015). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 2. Role of gut microorganisms. *Environmental science & technology*, 49(20), 12087-12093.
- [34] Auta, H. S., Emenike, C. U., Fauziah, S. H., (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment international*, 102, 165-176.

- [35] Lwanga, E. H., Vega, J. M., Quej, V. K., de los Angeles Chi, J., del Cid, L. S., Chi, C., Koelmans, A. A. (2017). Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Scientific Reports*, 7(1), 14071.
- [36] Schwabl P., Liebmann B., Köppel S., Reiberger T., Assessment of microplastic concentrations in human stool – Preliminary results of a prospective study, International Conference On Emerging Contaminants (EmCon) In Oslo, June 2018.
- [37] Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A. K., Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine pollution bulletin*, 133, 336-348.
- [38] Saer, A., Lansing, S., Davitt, N. H., Graves, R. E. (2013). Life cycle assessment of a food waste composting system: environmental impact hotspots. *Journal of Cleaner Production*, 52, 234-244.
- [39] <http://www.sorbeohorsebedding.co.uk/2017/02/different-types-of-horse-bedding/> (E.T. 01.09.2018).
- [40] Yurtsever, M., Özkan, A., Wastes And Composting: A Life Cycle Approach For Microplastics, 1.International Conference On Resource Recovery In Environmental Engineering, 2018.
- [41] Özkan, A., Yurtsever, M., Biyoreaktör, Windrow Ve Kapalı Statik Yığın Kompostlaştırma Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi, 1.International Conference On Resource Recovery In Environmental Engineering, 2018.
- [42] Weithmann, N., Möller, J. N., Löder, M. G., Piehl, S., Laforsch, C., Freitag, R. (2018). Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *Science advances*, 4(4), eaap8060.
- [43] Martínez-Blanco, J., Colón, J., Gabarrell, X., Font, X., Sánchez, A., Artola, A., Rieradevall, J. (2010). The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. *Waste Management*, 30(6), 983-994.
- [44] Mahon, A. M., O'connell, B., Healy, M. G., O'connor, I., Officer, R., Nash, R., Morrison, L. (2016). Microplastics in sewage sludge: effects of treatment. *Environmental Science & Technology*, 51(2), 810-81

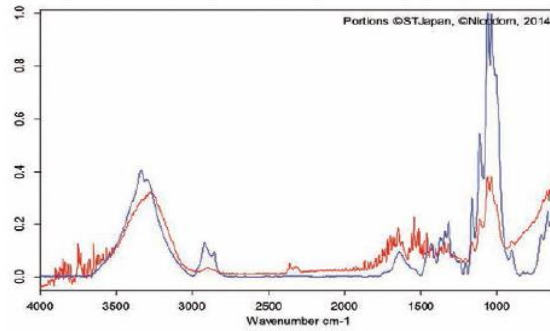
EK 1:ATR-FT-IR cihazı ile yapılan bazı incelemeler



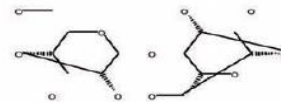
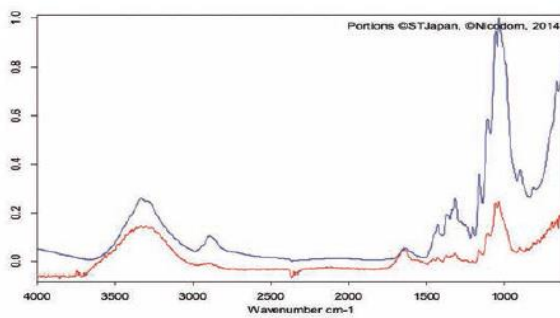
| | |
|---------------------|------------------------------|
| Compound Name | COTTON LOT#2 |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Comment | Fabric |
| Reference | G004/ MP1546 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodrom |
| Entry No. | 1288 |
| Library name | ATR-LIB-POLYMERS-2-472-2.501 |



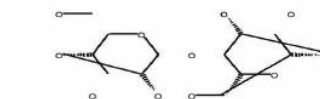
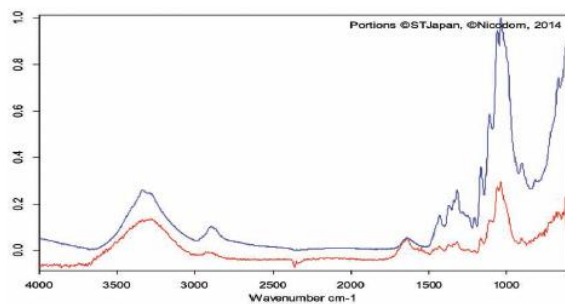
| | |
|---------------------|------------------------------|
| Compound Name | COTTON LOT#1 |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Comment | Fabric |
| Reference | MP1545/ MP1545 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodrom |
| Entry No. | 107 |
| Library name | ATR-LIB-POLYMERS-4-472-2.501 |



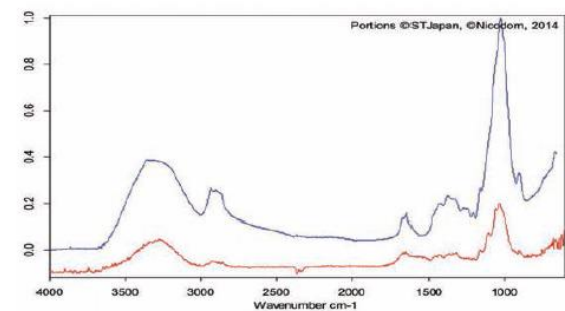
| | |
|---------------------|-------------------|
| Compound Name | COTTON FIBER |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Manufacturer | China |
| Comment | Carbohydrates |
| Reference | FB404/ NIC08831 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodrom |
| Entry No. | 403 |



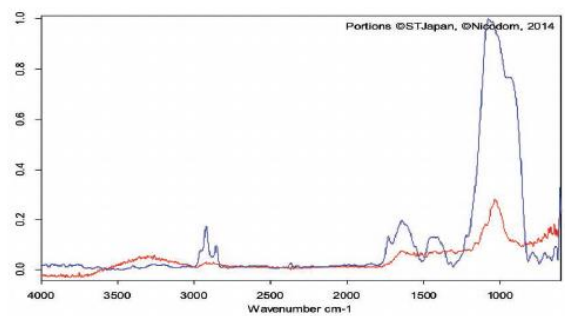
| | |
|---------------------|------------------------------|
| Compound Name | CELLULOSE SWARS |
| Molecular Formula | (C6H10O5) _n |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | 9004-34-6 |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Comment | natural based |
| Reference | MP1444/ MP1444 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodrom |
| Entry No. | 808 |
| Library name | ATR-LIB-POLYMERS-2-472-2.501 |



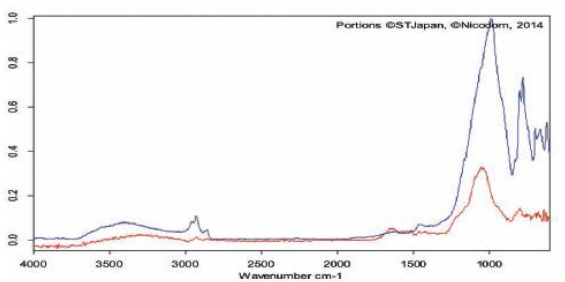
| | |
|---------------------|---|
| Compound Name | CELLULOSE SWABS |
| Molecular Formula | (C ₆ H ₁₀ O ₅) _n |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | 9004-34-6 |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Comment | natural based |
| Reference | MP0444/ MP0444 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodrom |
| Entry No. | 808 |
| Library name | ATR-LIB-POLYMERS-2-472-2.501 |



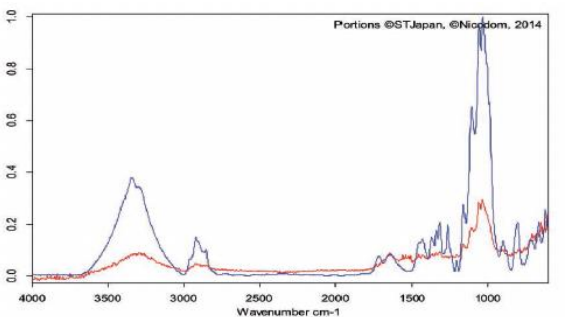
| | |
|---------------------|------------------------------|
| Compound Name | RAYON FIBER |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | |
| Boiling Point | FMC American Viscose, USA |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Reference | F01194/ F00105 |
| Copyright | Public Domain Spectrum |
| Entry No. | 1670 |
| Library name | ATR-LIB-POLYMERS-3-472-2.501 |



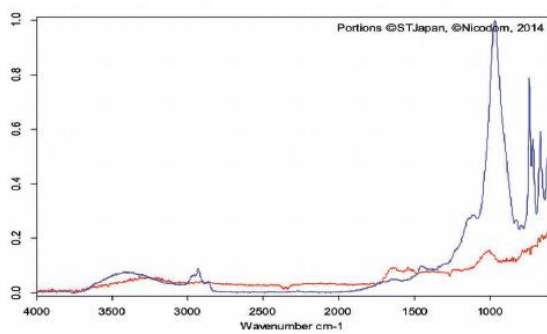
| | |
|---------------------|------------------------------|
| Compound Name | GLASS WOOL |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Comment | fiber 1 additive |
| Reference | MP0655/ NICD8923 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodrom |
| Entry No. | 445 |
| Library name | ATR-LIB-POLYMERS-4-472-2.501 |



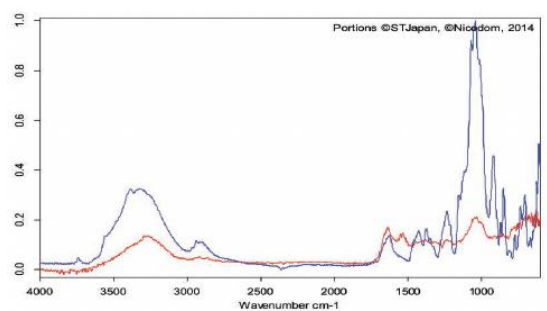
| | |
|---------------------|---------------------------|
| Compound Name | PLASTORITÄ® SUPER |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | |
| Other Names | Chlorite, mica and quartz |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Manufacturer | Re. Tinto |
| Comment | Inorganic/minerals |
| Reference | AC062/ NICD9282 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodrom |



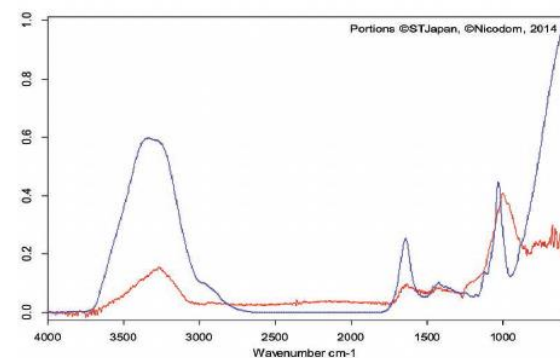
| | |
|---------------------|---------------------|
| Compound Name | FLAX, NATURAL FIBER |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Manufacturer | Ethno |
| Comment | Carbohydrates |
| Reference | FB265/ NICD8834 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodrom |
| Entry No. | 404 |



| | |
|---------------------|-------------------|
| Compound Name | PIGMENT HISTORIC |
| Molecular Formula | Na8Al6Si6O24Cl2 |
| Molecular Weight | 969.21 |
| CAS Registry Number | |
| Other Names | SODALITE |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Manufacturer | Kremer |
| Comment | pigments |
| Reference | AC203/ NIC07810 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodm |



| | |
|---------------------|---|
| Compound Name | CARRAGEENAN |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | 9000-07-1 |
| Other Names | E407 |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Comment | thickener, stabiliser, gelling agent, emulsif |
| Reference | T046/ MP0159 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodm |
| Entry No. | 601 |



| | |
|---------------------|-------------------|
| Compound Name | PREVENTOL D6 |
| Molecular Formula | |
| Molecular Weight | |
| CAS Registry Number | |
| Sample Preparation | ATR single bounce |
| Manufacturer | Lanxess |
| Comment | preservative |
| Reference | DK373/ NIC14905 |
| Copyright | (c) 2014 Nicodm |
| Entry No. | 2524 |

ÖZGEÇMİŞ

14 Mayıs 1988’de Kastamonu’da dünyaya gelmiştir. İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da lisans eğitimini 2010 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde tamamlamıştır. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamış olup halen devam etmektedir. 2011 yılından itibaren özel sektörde çeşitli firmalarda çevre mühendisi olarak görev almıştır. 2016 yılından itibaren Bilecik ilinde özel bir firmada kompost üretim sorumlusu çevre mühendisi olarak görev yapmaktadır.