

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ KATI ATIKLARLA BİRLİKTE
KOMPOSTLAŞTIRILMASI**

MUHAMMED SABRİ BİLGİLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET DEMİR**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ KATI ATIKLARLA BİRLİKTE
KOMPOSTLAŞTIRILMASI**

Muhammed Sabri BİLGİLİ tarafından hazırlanan tez çalışması 04.03.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ahmet DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güleda ENGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail TORÖZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2011-05-02-GEP02 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Katı atık ve arıtma çamurlarının bertarafı yerel yönetimler tarafından çözülmesi gereken önemli problemlerin başında gelmektedir. İstanbul'da günde yaklaşık 14000 ton çöp oluşmakta ve bu atıkların yaklaşık %50'lik kısmı biyolojik olarak ayrışabilen organik maddelerden meydana gelmektedir. Avrupa Birliği uyum sürecinde depo sahalarına gönderilen atıklar içerisindeki biyolojik olarak ayrışabilen atık miktarlarının azaltılması ile ilgili olarak 2010 yılına kadar 1995 yılındaki üretim miktarlarının %75'ine, 2015 yılına kadar %50'sine ve 2020 yılına kadar %35 değerlerine düşürülmesi hedeflenmiştir. Buna göre atıkların biyolojik olarak ayrışabilen kısmının önemli ölçüde azaltılması gerekmektedir.

İstanbul'da atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının miktarı ise 500 ton/gün civarında olup bu atıkların da organik içeriği oldukça yüksek değerlerdedir. Evsel katı atıkların arıtma tesisi çamurları ile karıştırılarak kompostlaştırılması, bu atıkların organik içeriğinin azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır. Kompostlaştırma proseslerinde uygulanacak yöntem ve karışım oranları kompost kalitesini etkileyen önemli birer faktördür.

Bu çalışmada, arıtma tesisi çamurlarının evsel katı atıklarla kompostlaştırılmasında uygulanacak karışım oranlarının kompost kalitesi ve işletme şartları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çalışmanın yürütülmesindeki ve yönlendirilmesindeki katkıları, gösterdiği yakın alaka ve desteği sebebiyle Sayın Hocam Prof. Dr. Ahmet DEMİR'e şükranlarımı arz ederim.

Çalışmanın Y.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmesine imkan veren İnşaat Fakültesi Dekanı sayın hocam Prof. Dr. Hayrullah Ağaçcioğlu, Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı sayın hocam Prof. Dr. Güleda Onkal Engin, Doç. Dr. M. Sinan Bilgili, Yrd. Doç. Dr. Gamze Varank ve Çevre Mühendisliği Bölümü'nün tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, emeklerini asla ödeyemeceğim sevgili anne ve babama, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2013

Muhammed Sabri BİLGİLİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
ARITMA ÇAMURLARI.....	5
2.1 Aritma Çamuru Hakkında Genel Bilgiler	5
2.2 Aritma Çamuru Kaynakları	6
2.2.1 Birincil Çamur	8
2.2.2 Kimyasal Çökeltme Çamuru	8
2.2.3 İkincil Çamur	9
2.2.4 Çürütücü Çamurları	11
2.3 Aritma Çamurlarının Özellikleri.....	12
2.3.1 Özgül Ağırlık	12
2.3.2 Çamur Katı Madde İçeriği	12
2.3.3 Çamur Hacim İndeksi	14
2.3.4 Çamurdaki Suyun Dağılımı	15
2.3.5 Çamurun Akışkanlık Özelliği	15
2.3.6 Çamur Partikül Boyut Dağılımı.....	16
2.3.7 Çamur Partiküllerinin Elektriksel Yükleri	16
2.3.8 Çamurun Isıl Değeri	17

2.3.9	Gübre Değeri	17
2.3.10	Çamurun Biyolojik Özellikleri	19
2.3.11	Çamurun Ağır Metal İçeriği	19
2.3.12	Çamurun Depolanabilirliği	20
2.3.13	Çamurun Pompalanabilirliği.....	22
2.3.14	Çamur Su Verme Özellikleri	23
2.3.15	pH	23
2.3.16	Organik bileşikler.....	23
2.3.17	Besleyici maddeler	24
2.3.18	Organik kimyasallar	27
2.3.19	Patojenler	28
2.4	Aritma Çamurlarının Bertarafı	29
2.4.1	Termal Çamur Kurutma	30
2.4.2	Alkali Stabilizasyonu	31
2.4.3	Çürütme	32
2.4.4	Kompostlaştırma	36
2.4.4.1	Havalı (Aerobik) Kompostlaştırma	42
2.4.4.2	Havasız Ortamda (Anaerobik) Kompostlaştırma	47
2.4.4.3	Aritma Çamurlarının Kompostlaştırılması.....	47
2.4.4.4	Kompostlaştırmayı Etkileyen Faktörler	49
2.4.4.5	Kompostun Faydaları ve Kullanım Alanları	55
2.4.5	Çeşitli Ülkelerde Uygulanan Çamur Bertaraf Yöntemleri.....	56

BÖLÜM 3

MATERYAL METOD	60
3.1 Kompostlaştırma Reaktörleri	60
3.2 Kompost Materyalinin Temini	65
3.3 Kompost Prosesinin İzlenmesi	66
3.3.1 pH Tayini	67
3.3.2 Su Muhtevası Tayini.....	67
3.3.3 Uçucu Katı Madde Tayini	68
3.3.4 TKN Analizi	68
3.3.5 TOK Analizi	68
3.3.6 Ağır Metal Analizi.....	68
3.4 Kompost Kalitesinin Belirlenmesi	69
3.4.1 Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi)	69
3.4.2 Fitotoksisite Analizi (Bitkiye Uygunluk Analizi).....	69
3.4.3 Salmonella Testi (Hijyen Testi)	70
3.4.4 Sıcaklık Ölçümleri.....	70

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER		71
4.1	pH	71
4.2	Su Muhtevası	73
4.3	Organik Madde Muhtevası	74

4.4	Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	76
4.5	C/N Oranı	78
4.6	Sıcaklık Ölçümleri	79
4.7	Kompost Kalitesinin Belirlenmesi Amacıyla Gerçekleştirilen Analizler	80
4.7.1	Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi)	80
4.7.2	Fitotoksisite Analizi (Bitkiye Uygunluk Analizi).....	83
4.7.3	Salmonella Testi (Hijyen Testi)	84
4.7.4	Ağır Metal Muhtevası	85
4.8	Nihai Ürün Kalitesi	89
 BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		93
KAYNAKLAR.....		98
ÖZGEÇMİŞ.....		102

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AK	Avrupa Konseyi
AKM	Askıda Katı Madde
AOX	Adsorblanabilen organik halojenler
BNQ	Bureau de normalisation du Québec
BOI ₅	Biyolojik Oksijen İhtiyacı(5 günlük)
ÇOK	Çözünmüş Organik Karbon
KM	Katı Madde
LAS	Lineer alkilbenzin sülfonat
LAGA	Landerarbeitsgemeinschaft Abfall
PAH	Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı
PCB	28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı
PCDD/F	Poliklorlu dibenzodiyoksin/dibenzofuranlar
S _ç	Çamurun Özgöl Ağırlığı
SVI	Çamur Hacim İndeksi
TDS	Toplam Çözünmüş Katı
TOK	Toplam Organik Karbon
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TSS	Toplam Askıda Katı Madde
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UKM	Uçucu Katı Madde
VSS	Uçucu Askıda Katı Madde
%KM	Yüzde Çamur Katı Madde İçeriği

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan işlemlere genel bakış.....	7
Şekil 2.2 Bir havalandırma havuzundan görünüm	9
Şekil 2.3 Bir son çökeltim havuzundan görünüm	10
Şekil 2.4 Klasik aktif çamur havuzunun yer aldığı arıtma tesisi akım şeması ve çamur kaynakları	10
Şekil 2. 5 Çeşitli susuzlaştırma kademelerinden geçmiş arıtma çamurlarına ait görüntüler	14
Şekil 2. 6 Imhoff hunisi düzeneği.....	15
Şekil 2. 7 Arıtma çamurlarının gübre olarak kullanılması halinde oluşan katı madde döngüsü.....	18
Şekil 2. 8 Çamur çürütme üniteleri.....	35
Şekil 2. 9 Aerobik kompostlaştırma prosesi	37
Şekil 2. 10 Arıtma çamurlarının kompostlaştırma işlem akış diyagramı	38
Şekil 2. 11 Kompost yığını.....	39
Şekil 2. 12 Kompostlaştırmada sıcaklık – süre ilişkisi	43
Şekil 2. 13 Havalandırma statik yığın	44
Şekil 2. 14 Sıralı yığın kompostlaştırma	45
Şekil 2. 15 Piston akışlı ve dinamik reaktörler	47
Şekil 3. 1 Kompostlaştırma reaktörünün şematik gösterimi.....	61
Şekil 3. 2 Kompostlaştırma reaktörleri	62
Şekil 3. 3 Reaktör tabanında bulunan 1 cm çaplı delikli polipropilen tabaka	64
Şekil 3. 4 Çakıl taşı tabakası.....	64
Şekil 3. 5 Atıkların karıştırılması	65
Şekil 3. 6 Atıkların kompost reaktörlerine doldurulması	66
Şekil 4. 1 Reaktörlerde pH nın zamanla değişimi	72
Şekil 4. 2 Su muhtevası analizlerinin gerçekleştirilmesi	73
Şekil 4. 3 Reaktörlerde su muhtevasının zamanla değişimi	74
Şekil 4. 4 UKM analizleri	75
Şekil 4. 5 Reaktörlerde UKM muhtevasının zamanla değişimi.....	75
Şekil 4. 6 TKN analizleri	77
Şekil 4. 7 TKN değerlerinin zamanla değişimi	77
Şekil 4. 8 Reaktörlerde sıcaklık değişimleri	79
Şekil 4. 9 Fermantasyon derecesinin belirlenmesi (Rottegrad deneyi)	81
Şekil 4. 10 Dewar kabı sıcaklık değişimleri	82

Şekil 4. 11	Fitotoksisite analizleri	83
Şekil 4. 12	Zn içeriğinin zamanla değişimi	86
Şekil 4. 13	Pb içeriğinin zamanla değişimi	86
Şekil 4. 14	Ni içeriğinin zamanla değişimi	87
Şekil 4. 15	Fe içeriğinin zamanla değişimi	87
Şekil 4. 16	Cr içeriğinin zamanla değişimi	88
Şekil 4. 17	Cu içeriğinin zamanla değişimi	88

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Çeşitli arıtma kademelerinde oluşan arıtma çamurlarının tipik katı madde konsantrasyonları..... 13
Çizelge 2. 2	Arıtma çamurunun fiziksel özellikleri 13
Çizelge 2. 3	Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları 20
Çizelge 2. 4	Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik 21
Çizelge 2. 5	Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik 22
Çizelge 2. 6	Çeşitli çamurlara ait organik madde miktarları..... 24
Çizelge 2. 7	Besleyici maddeler ve ortalama yüzde değerleri 25
Çizelge 2. 8	Çamurdaki besin maddelerinin kıyaslanması..... 25
Çizelge 2. 9	Arıtma çamurunda patojen seviyesi 28
Çizelge 2. 10	Patojenlerin toprakta kalma süreleri 29
Çizelge 2. 11	Hacim artırıcı maddeler ve özellikleri..... 50
Çizelge 2. 12	Komposttaki patojen ve parazitlerin bertarafı için gerekli sıcaklık ve süreleri..... 54
Çizelge 3. 1	Çalışmada kullanılan reaktörler ve içerikleri 63
Çizelge 3. 2	Analiz yöntemleri 67
Çizelge 4. 1	Aerobik kompost numuneleri C/N analiz sonuçları 79
Çizelge 4. 2	Dewar testi sonuçlarına göre kompostun stabilite sınıfları 82
Çizelge 4. 3	Fitotoksisite testi sonuçları 84
Çizelge 4. 4	Kompost stabilitesi ile fitotoksitite arasında sınıflandırma..... 84
Çizelge 4. 5	Salmonella testi sonuçları 85
Çizelge 4. 6	Nihai ürünlerin ağır metal konsantrasyonları 90
Çizelge 4. 7	BNQ standardizasyon sistemine göre kompostta kabul edilen maksimum iz element konsantrasyonları 90
Çizelge 4. 8	Avrupa ülkeleri kompost ağır metal limitleri 91

**EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ KATI ATIKLARLA BİRLİKTE
KOMPOSTLAŞTIRILMASI**

Muhammed Sabri BİLGİLİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet DEMİR

Bu çalışmanın amacı evsel katı atıkların önemli bir kısmını içeren organik atıklar ile atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının farklı oranlarda karıştırılarak kompost üretilmesi ve üretilen kompost kalitesinin belirlenmesidir. Kompostlaştırma için 40 cm çapında ve 100 cm yüksekliğinde 6 adet reaktör kullanılmıştır. Kompost üretiminde kullanılan arıtma çamurları İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nden, kentsel katı atıklar ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nden temin edilmiştir. Çalışma süresince reaktörlerden elde edilen numunelerde pH, su muhtevası, uçucu katı madde muhtevası (UKM), toplam Kjeldahl azotu (TKN) ve toplam organik karbon (TOK) analizleri gerçekleştirilerek kompost prosesi takip edilmiş, kompostlaştırma işlemi tamamlandıktan sonra oluşan kompost kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla da Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi), Fitotoksisite Analizi (Bitkiye Uygunluk Analizi), Salmonella Testi (Hijyen Testi) ve Ağır Metal (bakır, kurşun, demir, nikel, çinko, krom) analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, her bir reaktöre yerleştirilmiş olan dijital termometreler vasıtasıyla kompost yığınındaki sıcaklık değişimleri izlenmiştir.

Dewar testi sonuçlarına göre sadece R1 reaktöründen elde edilen kompostun olgun kompost sınıfına girdiği, R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen kompostun IV. Sınıf kompost grubuna dahil olduğu belirlenmiştir. Bitki Büyüme Performans Standartlarına

göre R1, R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen kompost numuneleri çok olgun kompost, R4, R5 ve R6 reaktörlerinden elde edilen kompost ise olgun olmayan kompost sınıfına girmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen kompost ürününden alınan numunelerde hijyeni belirlemek üzere yapılan Salmonella testleri sonuçları, kompost numunelerinin Salmonella açısından hijyenik olduğunu göstermiştir. Nihai üründe en yüksek ağır metal içeriklerine arıtma çamurunun fazla olduğu reaktörlerin sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Katı atık, arıtma çamuru, kompostlaştırma, kompost kalitesi

ABSTRACT

COMPOSTING OF WASTEWATER SLUDGES WITH SOLID WASTE

Muhammed Sabri BİLGİLİ

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ahmet DEMİR

The aim of this study was to determine the quality of compost produced from the organic part of the municipal solid waste and wastewater treatment plant sludge mixtures. 6 column reactors with a height of 100 cm and diameter of 40 cm were used for aerobic composting of solid waste and sludge mixtures. Wastewater sludges and municipal solid wastes were provided from İSKİ Paşaköy Advanced Biological Treatment Plant and Istanbul Metropolitan Municipality Composting and Recycling Plant, respectively. During the study compost process was followed by the analyses of pH, water content, volatile suspended solid content(VSS), total Kjeldahl nitrogen (TKN) and total organic carbon (TOC) parameters of the samples collected from reactors. After the end of the compost process, produced compost quality was determined by Rottegrad, phytotoxicity, Salmonella (hygiene) and heavy metal (copper, lead, ferrous, nickel, zinc and chromium) analysis. Further, the changes of the temperatures in compost reactors were followed with digital thermometer which was put in center of the compost reactors.

According to Dewar test results, product compost which obtained from the reactor R1 is classified into just finished compost and product compost which obtained from the reactor R2 and reactor R3 are included in 4th. class compost group. According to Plant Growth Performance Standards, produced compost samples which obtained from the reactors R1, R2 and R3 are classified very mature compost, produced compost samples which obtained from the reactors R4, R5 and R6 are classified as immature compost. Salmonella sp. bacteria

are not determined in all end products of all produced samples from reactors, indicating the hygienic quality of the compost product. The higher sludge content results with the higher heavy metal content in the final product.

Keywords: Solid waste, sewage sludge, compost, quality of compost

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Atık çamurlar tüm dünyada gün geçtikçe artan yeni bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Avrupa Konseyi (AK) yönergesinin (91/271/EEC) getirdiği sınırlamalarla AB'ye üye ülkelerde 1998'de oluşan 7.2 milyon ton çamur Katı Madde (KM) [1], 2005 yılında 19.4 milyon ton KM'ye çıkmıştır [2]. Ayrıca yapılan bir çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'nde (A.B.D.) 1998 yılında 6.9 milyon ton çamur KM oluşmuş, yine aynı çalışmada bu değerin 2005 yılında 8.2 milyon ton çamur KM'ye ulaşacağı belirtilmiştir [3]. Ülkemizde 2010 yılı verilerine göre toplam nüfusun ancak %73'üne kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilmekte ve yine nüfusun % 52'lik kısmının atıksuları bir arıtma tesisine ulaşmaktadır. Ayrıca 326 atıksu arıtma tesisi ile 438 belediyeye hizmet verilmektedir. Arıtma tesisine ulaşan atıksuların %38'ine ileri arıtma, %34'üne biyolojik arıtma ve %28'ine fiziksel arıtma uygulanmaktadır [4]. Avrupa Birliği (AB) adaylık çalışmalarında öncelikli dosyalardan birini oluşturan çevre konusunda yasal zorunlulukların gelmesiyle birlikte ülkemizde atıksu arıtımında yaşanacak gelişmeler atık çamur miktarını da önemli ölçüde arttıracaktır. Bu yüzden atıksu arıtma teknolojilerinin seçiminde çamur bertarafı önemli bir ana başlık oluşturmaktadır. Ülkemizde atıksu arıtma çamurlarıyla ilgili en yaygın bertaraf yöntemi depolamadır. Mekanik susuzlaştırma ekipmanlarıyla %20-30 Katı Madde (KM) içeriğine ulaştırılan atık çamurlar doğrudan veya kireç ilavesinden sonra düzensiz veya düzenli depolama sahalarına depolanmaktadır [5]. Arıtma işlemleri sonucunda oluşan çamurun biyolojik arıtma sistemlerinde arıtımı ve bertaraf edilmesi yaklaşık olarak toplam atıksu arıtma maliyetinin yarısını oluşturmaktadır [6, 7]. Toplam arıtım maliyetinin yarıya yakın kısmını oluşturan çamur arıtımında ülkemizde kullanılacak yöntemlerin araştırılması,

karşılanacak maliyetlerin azalmasında ve uygulamadan doğacak sorunların en aza indirilmesinde fayda sağlayacaktır.

Ülkemizde katı atıklar için yaygın olarak kullanılan bertaraf yöntemi vahşi depolama yöntemidir. Avrupa Birliği uyum sürecinde depolama alanlarının yeri, dizaynı, işletilmesi, izlenmesi ve bakımı ile ilgili somut hedefler yer almakta olup mevcut depolama sahalarının katılım tarihine kadar şartları karşılayacak şekilde iyileştirilmesi ya da kapatılması hedeflenmektedir. Ayrıca depo sahalarına gönderilen atıklar içerisindeki biyolojik olarak ayrışabilen atık miktarlarının azaltılması ile ilgili olarak 2010 yılına kadar 1995 yılındaki üretim miktarlarının %75'ine, 2015 yılına kadar %50'sine ve 2020 yılına kadar %35 değerlerine düşürülmesi hedeflenmiştir. Buna göre atıkların biyolojik olarak ayrışabilen kısmının önemli ölçüde azaltılması gerekmektedir. Atıksu arıtma çamurları gibi katı atıklar da organik içeriği yüksek atıklardır ve bu atıkların da düzenli depo sahalarında bertarafında AB direktifleri çerçevesinde kısıtlamalar mevcuttur [8].

1.1 Literatür Özeti

Entegre katı atık yönetimi başta evsel, endüstriyel, tıbbi ve tehlikeli atıklar olmak üzere tüm atıkların minimizasyonu, kaynağında ayrı toplanması, ara depolanması, transfer istasyonları oluşturulması, taşınması, geri kazanılması, bertarafı, tesislerin işletilmesi, kapatma ve izleme-kontrol süreçlerini içeren bir yönetim biçimidir. Atık yönetim sisteminin temel hedefleri en genel haliyle atık miktarının azaltılması, geri dönüşüm ve tekrar kullanım, atık dönüştürme ve nihai bertaraf şeklinde sıralanabilir. Bu kapsamda, atıkların kompostlaştırılması geri dönüşümü ve tekrar kullanılması mümkün olmayan atıkların atık dönüştürme prosesi içinde faydalı başka bir ürüne dönüştürülmesi yoluyla miktarının azaltılmasını hedefleyen bir proses olarak tanımlanabilir [8].

1991 yılında yürürlüğe giren ve son olarak 2005 yılında revize edilen Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, *“üreticisi tarafından atılmak istenen, toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı madde ve arıtma çamurlarının tümü”* [9] şeklinde tanımlanan katı atıklar, toprak, hava ve su kirliliğine sebep olma açısından önemli bir risk teşkil etmektedir. Ülkemizde organik evsel katı atıklar ile arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları

organik atıklar içerisinde önemli yer tutmaktadır. İstanbul için yapılan bir araştırmada 2020 yılında 4.75 milyon ton katı atık oluşacağı ve bunun yaklaşık %50 sinin organik madde olacağı öngörülmektedir [10]. İstanbul’da arıtma tesislerinden 2012 yılı içerisinde %98 kurulukta 112,3 ton KM/gün arıtma çamuru çıkarken, 2040’ta ise %25 kurulukta 1476.9 ton KM/gün arıtma çamuru çıkacağı tahmini yapılmıştır [11]. Önemli miktardaki bu atıkların uzaklaştırılması ve bertarafı ciddi sorun olmaktadır. Kompostlaştırma, bu atıklar için Entegre Katı Atık Yönetimi’nin bileşenlerinden birisi olan atık dönüştürmenin en önemli uygulamasıdır. Bu metot, düzenli depolamaya göre biraz daha pahalı, yakmadan ise çok ucuz bir uzaklaştırma yöntemidir. Kompostlaştırma prosesi, düzenli depolamaya gidecek katı atık miktarının azalmasını sağlaması bakımından da, bütün dünyada çevre dostu bir katı atık yönetim sistemi olarak kabul edilmektedir [12].

1.2 Tezin Amacı

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması özellikle ABD’de yaygın olarak uygulanmaktadır. Ülkemizde ise organik evsel katı atıklar için bazı kompost tesisleri bulunmaktadır [12]. Bu çalışmada, evsel atıksu arıtma tesisi çamurları ile katı atıkların organik kısımlarının karıştırılarak kompostlaştırılması ve oluşan kompost kalitesinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Katı atık ve arıtma çamurlarının bertarafı yerel yönetimler tarafından çözülmesi gereken önemli problemlerin başında gelmektedir. İstanbul’da günde yaklaşık 14000 ton çöp oluşmakta ve bu atıkların yaklaşık %50’lik kısmı biyolojik olarak ayrışabilen organik maddelerden meydana gelmektedir. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının miktarı ise 500 ton/gün civarında olup bu atıkların da organik içeriği oldukça yüksek değerlerdedir. Evsel katı atıkların arıtma tesisi çamurları ile karıştırılarak kompostlaştırılması, bu atıkların organik içeriğinin azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır. AB uyum sürecinde depo sahalarında depolanmasına izin verilen organik atık miktarının azaltılmasını öngören hedefler doğrultusunda atıksu arıtma tesisi çamurları ile katı atıkların organik kısmının birlikte kompostlaştırılması önemli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada kompostlaştırma için uygulanabilecek evsel katı atıklar ve arıtma çamurlarının farklı karışım oranları ile bu karışımlardan elde edilen kompostun kalitesi karşılaştırılarak optimum bir karışım oranı belirlenecektir.

1.3 Hipotez

Evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının kentsel katı atıklarla birlikte kompostlaştırılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışma kapsamında 6 adet reaktör kullanılacaktır. Reaktörlere evsel atıksu arıtma tesisi çamurları ve evsel katı atıklar farklı oranlarda karıştırılarak aerobik olarak kompostlaştırılmak üzere depolanacaktır. Kompost üretiminde kullanılan arıtma çamurları Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nden, kentsel katı atıklar ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nden temin edilecektir. Reaktörlere doldurulmak üzere hazırlanan katı atıkların ve evsel arıtma çamurlarının, çalışma başlangıcında fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenip, çalışma süresince reaktörlerden elde edilen numunelerde pH, su muhtevası, uçucu katı madde muhtevası (UKM), toplam Kjeldahl azotu (TKN) ve toplam organik karbon (TOK) analizleri gerçekleştirilerek kompost prosesi takip edilecektir. Kompostlaştırma işlemi tamamlandıktan sonra oluşan kompost kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla da Fermantasyon Derecesi, Fitotoksisite Analizi, Salmonella Testi ve Ağır Metal analizleri gerçekleştirilecektir. Bu çalışma ile evsel atıksu arıtma tesisi çamuru ve organik evsel katı atık karışımının havalı olarak kompostlaşabilirliği araştırılacaktır.

BÖLÜM 2

ARITMA ÇAMURLARI

Küreselleşen dünyaya ayak uydurma noktasında, hızla gelişmekte olan teknoloji ve nüfus artışı çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Canlıların vazgeçilmez hayat kaynağı olan içme sularının, insan ve endüstriyel kaynaklı atıksuların arıtılması sonucunda oluşan her türlü arıtma çamurunun biriktirilmesi, toplanması, taşınması ve bertarafı aslında büyük bir sorundur.

Arıtma işlemi sonunda çıkan çamur genellikle sıvı veya katı formda olup kullanılan prosese ve işletmeye bağlı olarak % 0,25-12 oranında katı içermektedir. Çıkan çamur hacimce büyük olup, işlenmesi ve bertarafı atıksu arıtma alanında oldukça karmaşık bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle biyolojik arıtma işleminden oluşan arıtma çamurlarının organik madde içeriği çok yüksek olduğu için bu tip çamurlar bozunma ve kokuşma eğilimindedir. Çamur probleminin karmaşık olmasının başlıca sebepleri; arıtılmış atıksu içindeki önemli miktarlarla koku veren maddelerin olması, biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması, çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi, akıcılığının yüksek olması sebebiyle sahada tutulamayıp diğer alanlara yayılması olarak özetlenebilir [13].

2.1 Arıtma Çamuru Hakkında Genel Bilgiler

İçmesuyu ve atıksulara fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri uygulanması sonucunda çökebilir veya yüzebilir hale getirilen katı maddeler çamur olarak tarif

edilebilir. Su ve atıksuların arıtımında ortaya çıkan, taşıdıkları özelliklerden dolayı kendilerinin de ayrıca arıtılmaları gereken, arıtılmadan çevreye verildiklerinde çevrede hasar oluşturabilecek, katı ve sıvı karışımından oluşan maddelerdir. Yüksek miktarlarda organik madde, besin maddeleri, patojen mikroorganizmalar ve çok miktarda su içerdiklerinden arıtılmaları gerekmektedir.

Çamur bertaraf etme işlemleri arıtma tesisinin toplam yatırım masrafının %20-30'unu, işletme masrafının ise %50-70'ini oluşturmaktadır. Arıtılan suyun niteliğine ve uygulanan arıtma işlemlerine bağlı olarak arıtma çamurlarının özellikleri değişmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur, stabilizasyon işlemlerinden önce %50-70 C, %6,5-7,3 H, %21-24 O, %15-18 N, %1-1,5 P ve %0-2,4 S içermektedir [13].

2.2 Arıtma Çamuru Kaynakları

Genel olarak çamur kaynakları 3 ana kategori altında incelenebilir [13]. Bunlar;

- İçme suyu arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları
- Atıksu Arıtma Tesislerinden gelen arıtma çamurları
- Endüstriyel Atıksu Arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarıdır.

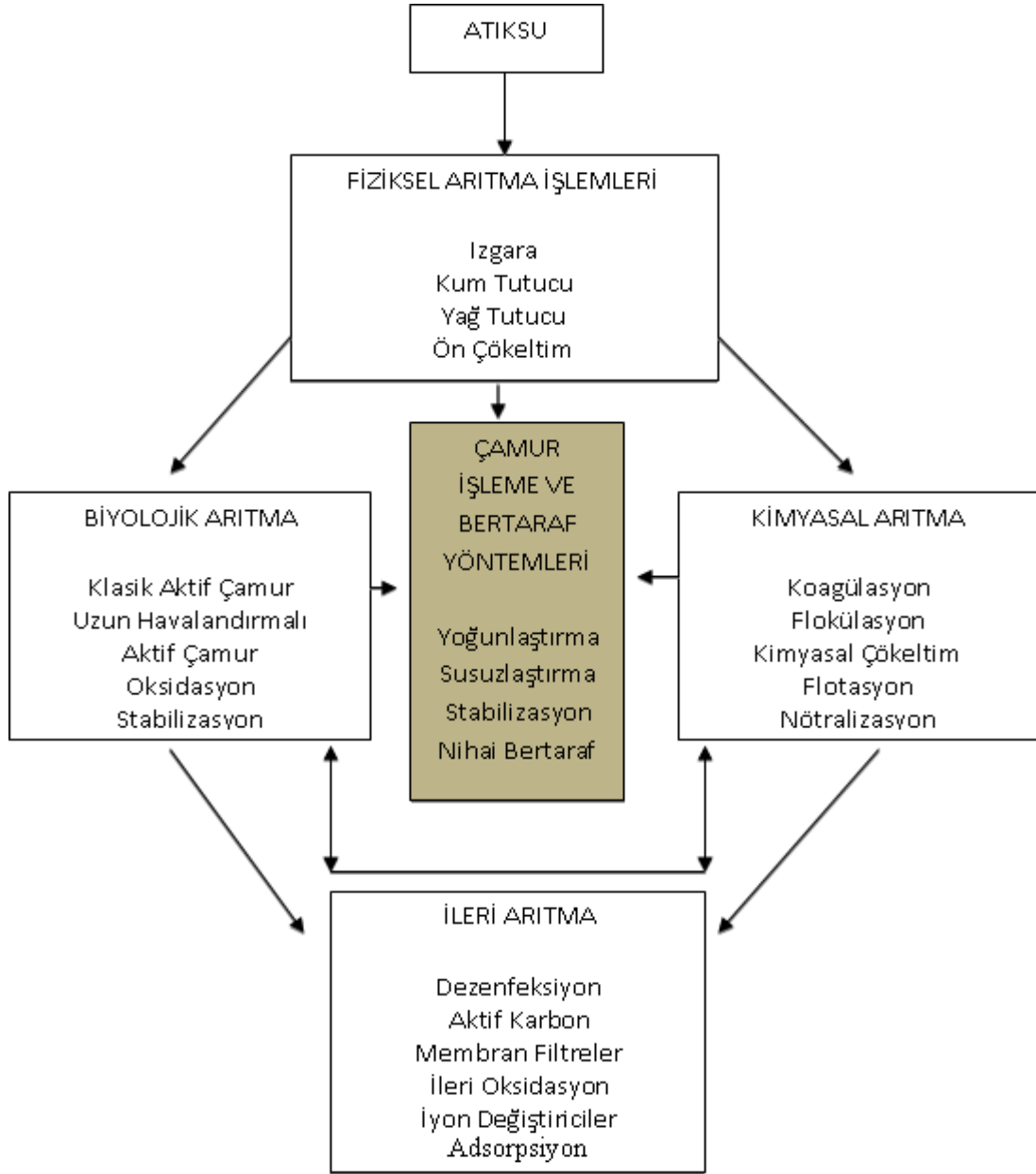
Arıtma tipine ve amacına göre arıtma çamurlarının cinsleri farklılık göstermektedir [13].

Bunlar;

- Çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamur,
- İleri Arıtma Çamuru

Yukarıda listelenen aşamalarda toplanan çamurlar sıvı formdadır. Sıvı formda toplanan çamur, susuzlaştırma ünitelerinde susuzlaştırılarak çamur keki olarak da adlandırılan ve %18 ile %40 kuru madde oranına sahip arıtma çamuruna dönüştürülür.

Atıksu arıtma tesislerinde farklı arıtma kademelerine örnekler ve çamur kaynakları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan işlemlere genel bakış [14]

Şekil 2.1’de şematik olarak açıklanan prosesler sonucunda oluşan çamur genellikle sıvı formda olup, uygulanan arıtım metoduna ve işletmeye bağlı olarak ortalama %1-2 oranında katı madde içermektedir. Çamur hacmi, arıtma sistemine eklenen yoğunlaştırıcılar sayesinde azaltılabilmektedir. Çamur yoğunlaştırma tanklarında %5 katı konsantrasyonuna kadar yükseltilebilen çamur buradan susuzlaştırma ünitelerine alınarak %20 ila %40 arasında katı madde oranına sahip çamur kekine dönüştürülmektedir [8].

Şekil 2.1 çerçevesinde çamurun oluşma süreci incelendiğinde, arıtma tesislerinde çamurun, ön çökeltme havuzlarından (birincil çamur), kimyasal çökeltme havuzlarından, son çökeltme havuzlarından (ikincil çamur) ve sisteme eklenmişse çamur çürütücülerden elde edildiği görülmektedir. Bu safhalarda toplanan çamurların temel karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

2.2.1 Birincil Çamur

Ön çökeltim üniteleri, atık suyun bekletilerek yerçekimi yardımıyla içerisindeki katı maddelerin çökmesini sağlamak için tasarlanan ünitelerdir. Ön çökeltim havuzunda çökelen çamur, kendiliğinden çökebilecek katı maddeleri içermektedir. Fiziksel bir proses olup, arıtma tesislerinde genelde askıda katı madde giderimi için kullanılmaktadır. Bu yöntem, basit ve ucuz olması nedeniyle askıda katı madde gideriminde en yaygın olarak uygulanan yöntemdir. Ön çökeltmede ortalama %50-70 oranında askıda katı madde, %25-40 oranında da biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) giderimi sağlanmaktadır. Giderim sonucunda ön çökeltme havuzlarında oluşan arıtma çamuruna birincil çamur adı verilmektedir.

Ön çökeltme çamuru karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Grimsi siyah renktedir,
- Yapışkan bir yapıya sahiptir,
- Rahatsız edici bir kokusu vardır,
- Yaklaşık %4 kuru madde (KM) içerir.

Birincil çamur içeriğindeki kuru maddenin %70-80'i organik ve uçucu katı maddedir. Organik madde genel olarak yağlar, bitkisel yağlar, yiyecek kalıntıları, dışkı, kağıt ve deterjanlardan oluşmaktadır. Birincil çamurdaki inorganik madde ise başlıca silisli kum içermektedir [8].

2.2.2 Kimyasal Çökeltme Çamuru

Kimyasal arıtım prosesleri de fiziksel arıtım gibi katı madde giderimi için kullanılmaktadır. Kimyasal arıtma işlemi genel olarak koagülasyon, flokülasyon ve

kimyasal çökeltim havuzundan oluşmaktadır. Koagülasyon (pıhtılaştırma)-flokülasyon (yumaklaştırma), su ortamındaki çok küçük, askıda halde bulunan ve yerçekimi ile çökmeyen parçacıklar olan kolloid parçacıkların, taşıdıkları elektriksel yükten dolayı oluşmuş, durağan hallerinin çeşitli yollarla bozularak birbirleriyle temas etmeleri sonucu, daha kolay çökebilen büyük kümeler (yumaklar) haline getirilmeleri olayıdır [15]. Kimyasal çökeltim çamuru, bu işlemler sonucunda ortaya çıkan çamurdur. Kimyasal arıtma işlemleri sonucunda oluşan arıtma çamurlarının özellikleri atıksuyun özelliğine ve kullanılan kimyasal maddelere bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; metal tuzlarının kimyasal çökmesi sonucu oluşan çamurlar, genellikle koyu renklidir, hatta çok fazla miktarda demir içeriyorsa yüzeyi kırmızımtıraktır. Kireç çamurları gri-kahverengidir. Kimyasal çamurların kokusu olmakla birlikte ön çökeltim çamurları kadar kötü kokulu değildir [14, 16]

2.2.3 İkincil Çamur

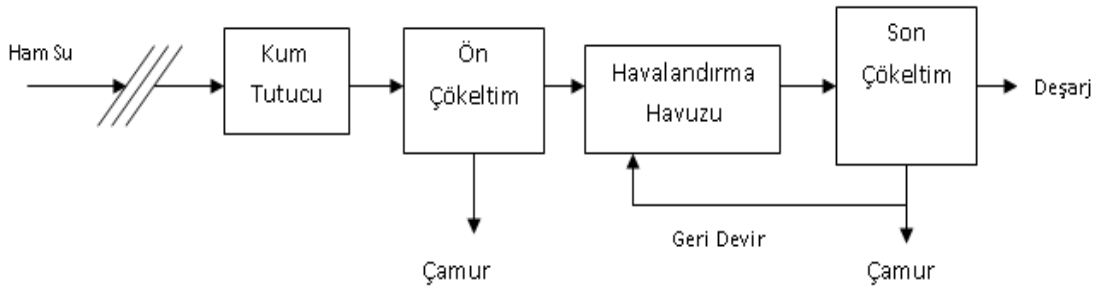
Biyolojik arıtma çamurlarının özellikleri kullanılan biyolojik arıtma işlemine göre değişiklik göstermektedir. Çözünebilir nitelikteki organik maddelerin oksidasyonu amacıyla en yaygın kullanılan biyolojik arıtma işlemi aktif çamur havuzudur. Aktif çamur sistemi esas olarak havalandırma havuzu (Şekil 2.2) ve çökeltim havuzundan (Şekil 2.3) oluşmaktadır. Klasik bir aktif çamur havuzunun yer aldığı evsel atıksu arıtma tesisinin akım şeması ve çamur kaynakları ise Şekil 2.4’de verilmektedir.



Şekil 2.2 Bir havalandırma havuzundan görünüm [17]



Şekil 2.3 Bir son çökeltim havuzundan görünüm [17]



Şekil 2.4 Klasik aktif çamur havuzunun yer aldığı arıtma tesisi akım şeması ve çamur kaynakları [18]

Birincil arıtmadan sonra atıksuda kalan organik maddelerin parçalanması esnasında oluşan çamurdur. İkincil çamurun oluşma aşamasında mikroorganizmalar önemli rol oynamaktadır. İkincil arıtmada aktif çamur sistemi, lagün sistemi ve bio-filtreler kullanılmakta olup bu proseslerin sonucunda son çökeltme tanklarında çöktürme sağlanmaktadır. Yani ikincil çamur atık suyun biyolojik arıtmaya tabi tutulması sonucunda ortaya çıkan organik katı malzemedir. Son çökeltme tanklarında toplanan bu çamura biyolojik filtre çamuru veya fazla aktif çamur da denmektedir. Birincil çamura kıyasla yoğunlaştırma veya susuzlaştırması daha zor olan bir çamur türüdür.

İkincil çamurun temel özellikleri aşağıda verilmiştir [8]:

- Kahverengi renktedir ve flok ağırlıklıdır,
- Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir.
- Renk açık ise az havalandırma sonucu çökme özelliği kötü çamurdur.
- İyi şartlardaki çamur toprak kokusundadır,
- Yaklaşık %1 kuru madde (KM) içerir. Bu kuru maddenin %70-80'i organik madde ihtiva eder,
- Kolaylıkla septikleşmeye meyillidir.

2.2.4 Çürütücü Çamurları

Atıksuyun arıtımı sonucu oluşan çamur, hacminin küçülmesi, stabilize olması ve patojenlerinin azaltılması için çeşitli işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu işlemlerden yaygınlıkla uygulananlardan bir tanesi çürütücüler vasıtasıyla çamurun oksijenli veya oksijensiz çürümeye tabi tutulmasıdır. Çürütücüden çıkan çamura çürütücü çamuru adı verilmektedir. Uygulanan çürütme işlemine göre çamurda gözlenen temel karakteristikler aşağıda listelenmiştir [8].

Oksijenli (Aerobik) çürütülmüş çamur:

- Kahve ve koyu kahve renklidir,
- Floküler özelliktedir,
- Kötü kokulu olmayıp, çoğunlukla küf kokuludur,
- İyi çürütülmüş çamur kuruma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.

Oksijensiz (Anaerobik) olarak çürütülmüş çamur ise:

- Koyu kahve-siyah renklidir,
- Çok miktarda gaz içerir,
- Tam çürütüldüğünde kötü kokmaz, kokusu hafif, sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir,
- Zengin bahçe toprağı özelliğindedir.

2.3 Arıtma Çamurlarının Özellikleri

Atıksu arıtma tesislerinde uygulanan prosesler sonucunda oluşan arıtma çamurunun içeriği ve karakteristik özellikleri arıtıma alınan suyun içeriği ile uygulanan arıtım prosesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Çamur özellikleri çamur işleme ve bertaraf etme ünitelerinin tasarımı, işletilmesi ve denetimi için kullanılmaktadır. Bu özellikler, çamurun organik madde içeriği, kimyasal özellikleri, çökelebilmek, su verme gibi fiziksel özellikleri ve ısı değeri hakkında bilgi vermektedir.

Çamur bertaraf planlaması yapılırken bu parametrelerin detaylı analiz edilmesi ve gerçekleştirilecek fizibilite çalışmasının bu analizlerden elde edilen bulgulara dayandırılması gerekmektedir [8].

2.3.1 Özgöl Ağırlık

Birim hacimdeki çamur ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı şeklinde tanımlanan özgül ağırlık, birçok çamur numunesi için yaklaşık olarak 1,0'dir. Başka bir ifadeyle çamurun ağırlığı hemen hemen suyunkine yakındır. 1 L çamur 1010 gram geliyorsa, özgül ağırlığı;

$$S_c = 1010/1000=1.01$$

olarak ifade edilir [14, 16].

2.3.2 Çamur Katı Madde İçeriği

Çamurun katı madde içeriği “mg/L” veya “% Katı Madde” olarak ifade edilmektedir. Çamurdaki toplam katı madde mg/L olarak, Standart Metotlarda verilen prosedüre göre belirlenir ve belli hacimdeki numunenin 105 °C’de etüvde buharlaştırılması neticesinde meydana gelen ağırlık kaybına göre hesaplanır [19].

Konsantre atıklar için mg/L olarak bulunan değer % Katı Madde’ye çevrilemez. Bunun için darası alınmış buharlaştırma kapları içine belli miktarda numune alınır, yaş çamurla birlikte kabı tartılır ve etüvde buharlaştıktan sonra tekrar tartım yapılır. Aradaki fark giderilen nem miktarıdır ve katı madde % Katı Madde olarak hesaplanır. Ağırlık/ağırlık olarak ifade edilir [16]. Katı madde ve su muhtevası arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$\% \text{ Katı Madde} = 100 - \% \text{ Su Muhtevası}$$

Çamurun katı madde içeriği olduğu arıtma kademesine göre değişim göstermektedir. Örneğin; ön çökeltim havuzunda oluşan çamur genellikle % 3 – 5, aktif çamur havuzunu takiben yer alan son çökeltim havuzunda oluşan çamur % 0,5 – 2, graviteli yoğunlaştırıcı çıkışı yoğun çamur % 5 – 10 katı madde içermektedir [14]. Çizelge 2. 1’de çeşitli arıtma kademelerinde oluşan arıtma çamurlarının tipik katı madde konsantrasyonları, Çizelge 2. 2 ’de ise çamurun çeşitli safhalardaki özgül ağırlık ve kuru madde miktarı gibi fiziksel özellikleri verilmektedir.

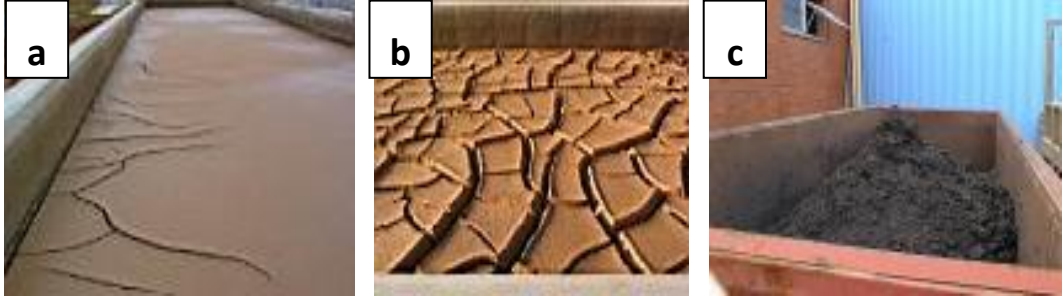
Çizelge 2. 1 Çeşitli arıtma kademelerinde oluşan arıtma çamurlarının tipik katı madde konsantrasyonları[14, 18]

Çamur Tipi	Katı Madde Konsantrasyonu, % KM	
	Aralık	Tipik
Ön Çökeltim Çamuru	4.0 - 10.0	5.0
Aktif Çamur	0.8 – 2.5	1.3
Damlatmalı Filtre Humusu	1.0 – 3.0	1.5
Ön Çökeltim Çamuru + Aktif Çamur	0.5 – 1.5	0.8
Anaerobik Çürütülmüş Çamur	5.0 – 10.0	8.0

Çizelge 2. 2 Arıtma çamurunun fiziksel özellikleri [18]

Çamur Tipi	Çamur Katısı Özgöl Ağırlığı (kg/1000 m³)	Çamur Özgöl Ağırlığı (kg/1000 m³)	Tipik Kuru Madde Ağırlığı (kg/1000 m³)
Ön Çökeltme Çamuru	1,40	1,020	151
Aktif Çamur	1,25	1,005	84
Damlatmalı Filtre Çamuru	1,45	1,025	72
Uzun Havalandırılmalı Sistem Çamuru	1,30	1,015	96
Havalandırılmalı Lagün Çamuru	1,30	1,010	96

Yoğunlaştırma ve su verme işlemleri uygulandıktan sonra çamur katı madde içeriği uygulanan metotlara bağlı olarak %50’ye kadar çıkabilmektedir. Çeşitli susuzlaştırma kademelerinden geçmiş arıtma çamurlarına ait görüntüler Şekil 2. 5’te verilmektedir.



Şekil 2. 5 Çeşitli susuzlaştırma kademelerinden geçmiş arıtma çamurlarına ait görüntüler [14]

a. Kurutma yatağında çamur suyu süzöldükten sonra görünüm, b. Vakum kurutma sonrası görünüm, c. Çamur keki

Toplam Askıda Katı Madde

Çamurdaki toplam katı maddeler askıda ve çözönmüş katı maddelerin toplamına eşittir. Askıda katı madde (TSS), numunenin filtrelenmesi ve üzerinde askıda katı maddelerin kaldığı filtre kâğıdının 105 °C’de etövde kurutulması esasına bağılı olarak bulunur. Deney sırasında düşük sıcaklık uygulandığı için yanma reaksiyonu gerçekleşmez, sadece su buharlaşır. Çözönmüş katı madde ise, askıda katı madde deneyinde numunenin filtrelenmesi sonucu filtrenin altına geçen kısımda katı madde analizi yapılması suretiyle hesaplanır.

Uçucu Askıda Katı Madde

Uçucu askıda katı madde (VSS), askıda katı madde deneyi yapıldıktan sonra etövden çıkıp tartılan filtre kâğıdının daha sonra 600 °C’de fırına konması ve yakılması esasına göre belirlenir. Fırın sonrası ağırlıkla etöv sonrası ağırlık arası fark uçucu askıda katı madde değerini vermektedir. Uçucu askıda katı madde değeri, suyun ve çamurun içerdığı katı maddenin organik kısmını ifade ettiğı için önemli bir parametredir.

2.3.3 Çamur Hacim İndeksi

Çamur hacim indeksi (SVI), çamurun çökelebیلme özelliğinin belirlenmesinde kullanılan ve belirlenmesi basit bir parametredir. SVI, bir gram katı maddenin 30 dakika çökelme sonucunda işgal ettiğı hacimdir ve mL/g olarak ifade edilmektedir. SVI 100’den büyük ise çökelmesi zor olan bir çamur olarak değerlendirilmektedir. SVI parametresini belirlemek amacıyla Şekil 2. 6’da verilen Imhoff Hunisi düzeneğı kullanılmaktadır.



Şekil 2. 6 Imhoff hunisi düzeneği [20]

2.3.4 Çamurdaki Suyun Dağılımı

Çamurdaki suyun hangi formda olduğuna bağlı olarak su verme işlemlerinden hangisinin daha etkili olacağı değişmektedir. Çamurdaki suyu dört grup halinde incelemek mümkündür [14, 16]:

- **Serbest Su:** Çamur partiküllerine bağlı olmayan ve graviteli çökeltme ile kolaylıkla ayrılabilen sudur.
- **Flok Suyu:** Çamur flokları içinde hapsedilmiş su olup, yumakla birlikte hareket eder. Mekanik su alma işlemleri ile giderilebilir.
- **Kapiler Su:** Partiküllerin üzerinde bağlı halde bulunur ve bu partiküllerin sıkıştırılarak deformasyonları sonucu uzaklaştırılabilir.
- **Kimyasal Bağlı Su:** Partiküller içinde kimyasal olarak bağlanmış sudur.

2.3.5 Çamurun Akışkanlık Özelliği

Çamurların akışkanlık özelliği “reoloji bilimi” ile tanımlanmaktadır. Reoloji; sıvı, kek ve katı formdaki materyallerin elastik ve viskoz özelliklerini ortaya koyan, materyal akışkanlığını ve deformasyonunu inceleyen bir bilimdir. Akışkanlık özelliğinin belirlenmesinde en yaygın parametre viskozitedir. Viskozite, akışkanın kayma gerilmesine karşı gösterdiği dirençtir. Bir akışkanın reolojisi, akışkanın viskoz karakteristikleri olarak bilinir ve viskozite, kayma hızı ve kayma gerilmeleri arasındaki ilişkileri incelemektedir. Genel olarak, gerilmelerin etkisi altındaki bir kütlenin deformasyonunu tanımlamaktadır.

Çamurun reolojik özellikleri, katı madde konsantrasyonu, katı madde partikül boyutu dağılımı ve sıvı yoğunluğu gibi pek çok faktöre bağlı olarak belirlenmektedir. Arıtma çamurlarının reolojik özellikleri, çamura uygulanan tüm çamur işleme süreçlerinin tasarımı, uygun ünite seçimi ve işletilmesi, çamur iletim hatları ve pompaj sistemlerinde, çamurun yoğunlaştırılması, şartlandırılması, aerobik ve anaerobik olarak çürütülmesi, taşınması, deponilerde depolanması veya tarımsal amaçlı kullanımında hem tasarım hem de kontrol parametreleri olarak yaygın olarak kullanılabilir. Arıtma çamurlarının depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesi için viskozite, plastisite gibi mekanik özelliklerin kontrolü gerekmektedir. Böylece çamurun sıvı-plastik ve katı-plastik davranışı hakkında fikir edinilir. Ancak çamurun mekanik özelliklerinin belirlenmesi oldukça güçtür ve şu anda bir standardizasyon mevcut değildir.

2.3.6 Çamur Partikül Boyut Dağılımı

Çamurların şartlandırılması ve su verme özelliklerinin belirlenmesinden çamurların işlendiği pek çok proste (filtrasyon, çökeltme vd.) önemli olan çamurdaki partikül boyut dağılımının belirlenmesidir.

2.3.7 Çamur Partiküllerinin Elektriksel Yükleri

Partiküller üzerindeki elektriksel yük “zeta potansiyeli” ile ölçülür. Zeta potansiyeli kolloidal halde bulunan katı maddelerin tanımlanması ve kontrolü amacıyla kullanılan bir elektrokinetik parametredir ve mV olarak ölçülmektedir.

Kentsel arıtma çamurlarının zeta potansiyeli -10 ila 20 mV arasında değişmektedir. Endüstriyel çamurlar ise -80 mV’u aşan zeta potansiyeline sahiptir [16].

Partikül üzerindeki yük büyükse bu durum flokülasyonu engeller ve bu tip çamurlar suyunu zor verir. Çamur su verme işlemleri öncesi kullanılan ve çamurun su verme özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılan şartlandırma işleminde uygun şartlandırıcı dozunun belirlenmesinde elektriksel yük yardımcı bir parametre olarak kullanılmaktadır [14, 16].

2.3.8 Çamurun Isıl Değeri

Çamurun ısı değeri, çamurun tipine ve içeriğindeki uçucu katı madde muhtevasına bağlıdır. Arıtılmamış ön çökeltim çamurunun ısı değeri, özellikle önemli miktarda yağ ve gres içeriyorsa çok yüksektir. Çürümüş çamur ham çamurdan daha düşük ısı değerine sahiptir. Çamurun ısı değeri bazı düşük kaliteli kömürlerin ısı değerine (7700 cal/g kuru madde) eşdeğerdir. Ortalama olarak ham ön çökeltim çamurunun ısı değeri 6100 cal/g, aktif çamurun 5000 cal/g ve anaerobik çürümüş çamurun 2750 cal/g kadardır [16]. Çamurun nihai bertaraf edilmesi için termal işlemler uygulanacaksa mümkün olduğunca çamurun suyu alınarak ısı değeri arttırılmalıdır[14].

2.3.9 Gübre Değeri

1940'lardan önce, hayvan gübresi ve insan atıkları ürün verimini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktaydı. Bu tarihten sonra sentetik gübreler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çoğu kimyasal gübre, suda kolay çözünebilen mineral tuzları halinde N, P ve K içermektedir. Bu maddeler, bitki yaşamının devamı için olması gereken ana besin maddeleridir. Suni gübre ile beslenen bitkiler çok hızlı büyürler. Bu doğal olmayan yetiştirilme şekli sulu hücrelere neden olmakta ve protein kalitesini (miktarını) düşürmektedir ve daha çok hastalık riski oluşmaktadır.

Çamurun gübre olarak kullanılması yeni bir kavram değildir. Çamurun gübre değeri içerdiği N, P ve K miktarına bağlıdır. Genellikle arıtma çamurlarında kimyasal gübrelerde bulunan değerden daha az miktarda bu maddeler bulunmaktadır. Şekil 2. 7'de arıtma tesislerinde oluşan çamurların gübre olarak kullanılması halinde, nasıl bir çevrimin oluşacağı görülmektedir [104].



Şekil 2. 7 Arıtma çamurlarının gübre olarak kullanılması halinde oluşan katı madde döngüsü [14]

Evsel nitelikli arıtma çamurları, bünyesindeki su azaltıldıktan ve aerobik veya anaerobik stabilizasyon işlemlerinden geçirildikten sonra tarımda kullanılabilir hale getirilebilir. Arıtma çamurlarının içindeki su, çözünebilir azot bileşiklerinden dolayı yeraltı suyunun kirlenmesine yol açabilecek nitelikte olabilir. Aynı zamanda içeriğindeki ağır metal konsantrasyonları tayin edilerek sınır değerleri aşıp aşmadığı sürekli izlenmelidir. Bu nedenle arazide bertaraf işleminden önce arıtma çamurlarına bazı ön işlemler uygulanmalı ve yeraltısuyu kalite değişimi sürekli olarak izlenmelidir.

Evsel arıtma çamurlarında her tür patojen mikroorganizma bulunabileceğinden bunların doğrudan araziye verilmesi sakıncalıdır. Taze çamurlar çürük çamurlara göre hijyenik açıdan daha sakıncalı olup, işlenmemiş haldeki arıtma çamurlarının sebze tarımında kullanılması istenmemektedir. Ayrıca patojen mikroorganizma içeriği hayvanları tehdit eden bir unsur sayıldığından otlaklarda kullanılmamalıdır [16]. Çamuru gübre olarak kullanmak için uygulanan işlemlerin maliyeti, ticari gübrelerin maliyetinden fazla olmamalıdır.

Çamurun gübre olarak kullanılması durumunda mısır, yonca, arpa gibi ürünlerde çarpıcı verim artışları gözlenmiştir. Verim artışı, toprağın cinsine, çamurun kompozisyonuna, iklime, çamur uygulama oranlarına ve kullanılan işletme tekniğine bağlıdır. İsveç

yönetmeliklerinde atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur gübre olarak adlandırılmaktadır. İsviçre’de, 1999 yılında 979 arıtma tesisinde 209.000 ton çamur oluşmuş ve oluşan bu çamurun 84.000 tonu tarımda kullanılarak geri kazanılmıştır [21]. Akhisar Atıksu Arıtma tesisinde stabilize olmuş çamur sürekli olarak kurutma yataklarına pompalanmakta ve kurumuş çamur gübre olarak kullanılmak üzere tarım sektörüne verilmektedir [14].

2.3.10 Çamurun Biyolojik Özellikleri

Arıtma çamurları çok farklı kaynaklardan oluştuğu için her kaynakta değişik organizmaların büyümesi için farklı besin maddeleri vardır. Ayrıca arıtma çamurlarında hastalık yapıcı mikroorganizmaların (patojenlerin) üremesi de mümkündür. Bir ortamda bulunan organizmaların sınıflandırılması “taxonomy” olarak adlandırılmaktadır ve bunların tür ve miktarlarını tespit etmek oldukça zordur. Arıtılan atıksuyun tipine bağlı olarak, özellikle, ham ön çökeltim çamuru çok sayıda ve değişik türde organizma içermektedir. Aktif çamurda pek çok organizma vardır. Sabit besin maddesinin verilmesi durumunda dahi organizmaların sayısı ve çeşidi sürekli değişim göstermektedir. Özellikle arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanılması durumunda çamurun içerdiği patojen organizmalar ve organik madde içeriği çok önemlidir. Bunun için mutlaka stabilizasyon işlemleri uygulanarak organik madde ve patojen giderimi yapılmalıdır.

2.3.11 Çamurun Ağır Metal İçeriği

Kentsel atıksu arıtma tesislerinde ve bazı endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları farklı konsantrasyonlarda ağır metal içermektedir. Özellikle arıtma çamurlarının araziye uygulanması ve tarımsal amaçlı kullanımında ağır metal içerikleri büyük önem taşımaktadır. Çizelge 2. 3’te 03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” Ek I-B’de toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları verilmektedir.

Çizelge 2. 3 Toprakta kullanılabilircek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları [22]

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg*kg⁻¹ kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Civa	10

Ağır metal içeriği Yönetmelikte belirtilen değerden fazla olan arıtma çamurlarından ağır metal giderimi için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Genel olarak bu yöntemler katı-sıvı ayırma (ekstraksiyon) işlemleri ve fiziksel ayırma işlemleri olarak ikiye ayrılabilir. Katı-sıvı ayırımı işlemleri, ağır metallerin düşük pH koşullarında çözünür hale gelmesi ve çamurun katı fazdan ayrılıp sıvı faza geçmesi ve katı-sıvı ayırımı ile çamurdan ağır metallerin uzaklaştırılması esasına dayanır. Bu amaçla kullanılacak ekstraksiyon maddeleri ya direkt olarak ilave edilir (inorganik asitler, organik asitler, EDTA, vb.) veya bazı biyolojik reaksiyonlar sonucu oluşturulur (bioleaching). Fiziksel ayırma işlemlerinde ise, ağır metallerin yoğun olarak bulunduğu katı kısım fiziksel işlemler kullanılarak ayrılır [14].

2.3.12 Çamurun Depolanabilirliği

Arıtma çamurları susuzlaştırılıp stabil hale getirildikten sonra uygulanabilecek nihai bertaraf yöntemlerinden birisi çamurun depolanmasıdır. Çamurun çevreye zarar vermeyecek şekilde depolanması için düzenli depolama kullanılmalıdır. Düzenli depolara verilecek çamurun doğal veya mekanik yöntemler kullanılarak susuzlaştırılması gerekmektedir. 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte arıtma çamurunun depolanabilmesi için gerekli kriterler verilmektedir. Buna göre; çamurların deponilere kabul edilmesi için ağırlıkça en az %50 kuru madde ihtiva etmesi, ön işleme tabi tutularak kötü kokunun giderilmesi ve atığın kararlı hale getirilmesi kaydıyla II. Sınıf düzenli depolama alanına kabulünde 1/1/2015 tarihine kadar Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) limit değerine uygunluk aranmayacağı belirtilmektedir [23].

Bazı endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları, tehlikeli ve zararlı atık sınıfına girmektedir. Bu tip çamurların monodeponilerde nihai bertaraf edilmesi daha uygundur. Ancak bu uygulamada yeraltı ve yüzeysel suların kirlenmemesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte belirtilen sınır değerler Çizelge 2. 4 ve Çizelge 2. 5’te verilmiştir.

Çizelge 2. 4 Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik (Ek-2) [23]

<i>Parametre</i>	<i>III. Sınıf Depolama Tesisleri: İnert Atık Olarak Muamele Görecek Atıklar(mg/lt)</i>	<i>II. Sınıf Depolama Tesisleri: Tehlikesiz Atık Olarak Muamele Görecek Atıklar(mg/lt)</i>	<i>I. Sınıf Depolama Tesisleri: Tehlikeli Atık Olarak Muamele Görecek Atıklar(mg/lt)</i>
Eluat Kriterleri L/S = 10 lt/kg			
As (Arsenik)	0,05	0,2	2,5
Ba (Baryum)	2	10	30
Cd (Kadmiyum)	0,004	0,1	0,5
Cr toplam (Toplam krom)	0,05	1	7
Cu (Bakır)	0,2	5	10
Hg (Civa)	0,001	0,02	0,2
Mo (Molibden)	0,05	1	3
Ni (Nikel)	0,04	1	4
Pb (Kurşun)	0,05	1	5
Sb (Antimon)	0,006	0,07	0,5
Se (Selenyum)	0,01	0,05	0,7
Zn (Çinko)	0,4	5	20
Klorür	80	1500	2500
Florür	1	15	50
Sülfat	100 ⁽¹⁾	2000	5000
Fenol indeksi	0,1	-	-
ÇOK (Çözülmüş organik karbon) ⁽²⁾	50	80	100
TÇK (Toplam çözünen katı) ⁽³⁾	400	6000	10000

(1) Eğer atık; sülfat için bu kriteri sağlayamıyorsa; 600 mg/lt değerini aşmamak kaydı ile kabul kriterlerine uygun olduğu kabul edilir.

(2) Çözülmüş Organik Karbon (ÇOK) sınır değeri atığın kendi pH değerinde sağlanamıyorsa, pH 7,5 – 8 değerinde test tekrarlanır ve sınır değerin aşılmadığı tespit edilir. Sınır değeri aşılmıyorsa; Çözülmüş Organik Karbon (ÇOK) değerinin kabul kriterlerine uygun olduğu kabul edilir.

(3) Toplam çözünmüş katı madde değerleri (TÇK), sülfat ve klor değerlerine alternatif olarak kullanılabilir.

Çizelge 2. 5 Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik (Ek-2) [23]

<i>Parametre</i>	<i>III. Sınıf Depolama Tesisleri: İnert Atık Olarak Muamele Görecek Atıklar(mg/kg)</i>	<i>II. Sınıf Depolama Tesisleri: Tehlikesiz Atık Olarak Muamele Görecek Atıklar(mg/kg)</i>	<i>I. Sınıf Depolama Tesisleri: Tehlikeli Atık Olarak Muamele Görecek Atıklar(mg/kg)</i>
TOK (Toplam Organik Karbon)	30000 ⁽¹⁾	50000 (%5) ⁽²⁾ - pH ≥ 6	60000 (%6) ⁽³⁾
BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen)	6	-	-
PCB'ler (7 türdeş)	1	-	-
Mineral yağ (C10 – C40'a kadar)	500	-	-
LOI (Yanma kaybı) ⁽⁴⁾	-	-	%10

(1) Toprak atıkları için; ancak toprağın kendi pH değerinde veya pH 7,5 ile 8 arasında Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) değerinin 50 mg/lit olması kaydı ile Bakanlık tarafından daha yüksek bir değer kabul edilir.

(2) Atığın kendi pH değerinde veya pH 7,5 ile 8 arasında Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) değerinin 80 mg/lit olması kaydı ile Bakanlık tarafından daha yüksek bir değer kabul edilebilir.

(3) Atığın kendi pH değerinde veya pH 7,5 ile 8 arasında Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) değerinin 100 mg/lit olması kaydı ile Bakanlık tarafından daha yüksek bir değer kabul edilebilir.

(4) Ya LOI ya da TOK kullanılır.

2.3.13 Çamurun Pompalanabilirliği

Evsel atıksu arıtma çamurlarının pompajı ile ilgili zorlukların büyük bir kısmı, katı konsantrasyonu, partikül boyutu ve organik madde içeriği tarafından etkilenen viskoziteden kaynaklanır. Pompanın yanlış uygulanması ile yetersiz yük ve kapasite yaratılırken arıtma işleminin verimi de olumsuz yönde etkilenir. Çamurlara uygulanacak işlemlerin özelliklerine bağlı olarak çok değişik pompa tipleri (santrifüj, hava yükseltmeli, helezonik, öğütücülü ve pozitif yer değiştirmeli) vardır. Santrifüj ve helezonik pompalar genelde, hassas debi kontrolünün gerekli olmadığı yerlerde düşük katı madde içeren yüksek çamur debileri için uygundur. Pozitif yer değiştirmeli pompalar, debi kontrolünün gerekli olduğu yerlerde yüksek viskoziteye sahip çamurların pompajı için tercih edilir. En yaygın tipleri; rotary, diyafram ve emme-basma pompalarıdır [14].

2.3.14 Çamur Su Verme Özellikleri

Doğal ve mekanik su alma işlemleri, nihai bertaraf öncesinde çamur hacmini azaltmak ve çamurda yüksek katı madde içeriğine ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır.

Çamur şartlandırma işlemi ise çamurun su verme özelliğini geliştirmek ve mekanik su alma işleminin verimini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal şartlandırma, elutrasyon, termal şartlandırma, dondurma-çözme gibi pek çok şartlandırma yöntemi olmakla birlikte kimyasal şartlandırma bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan yöntemdir.

Aritma çamurlarının su verme özelliklerinin ve uygulanacak olan şartlandırma işleminin etkisinin belirlenmesi amacıyla kullanılan pek çok laboratuvar testi mevcuttur. Özgül Filtre Direnci, Kapiler Emme Süresi ve Santrifüjlenebilir Çökebilirlik İndeksi Testleri en yaygın olarak kullanılan testlerdir. Zeta potansiyeli parametresi de en uygun şartlandırıcı dozu aralığının belirlenmesi amacıyla çamur şartlandırma uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır [14].

2.3.15 pH

Çamurun pH dengesinin düzenlenmesi, çamurdaki patojen miktarı ve taşıyıcıların kontrol altında tutulabilmesi için önem taşımaktadır. Düşük pH çamurdaki ağır metallerin toprakta süzülebilirliğini arttırırken, nötr ve yüksek pH değerleri ağır metallerin toprak içerisinde süzülmesini kısıtlamaktadır. Yüksek pH değerleri birçok bakteriyi öldürmesi sebebiyle patojen eliminasyonu için kullanılan metotlardan bir tanesidir.

2.3.16 Organik bileşikler

Organik bileşikler, yapısında karbon ve hidrojen barındıran kimyasal bileşenlerdir. Cansız ortamda bulunmayıp, ancak canlıların vücutlarında üretilirler. Protein, aminoasit, lipid, karbonhidrat, polimerler, alkol ve plastikler çok bilinen organik bileşenlerdir. Çamur içerisinde organik madde, çoğunlukla hidrokarbon, aminoasit, protein ve yağ olarak bulunur.

Ham çamur ve çeşitli işlemlerden geçmiş farklı arıtma çamurları için belirlenmiş ortalama organik madde miktarları Çizelge 2. 6'da verilmiştir.

Çamur içerisindeki organik madde konsantrasyonu çamurun stabilizasyon sonrası son kullanım veya bertaraf metodunun belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Zengin organik bileşik çamurun toprak toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmek üzere zenginleştirici olarak kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Çizelge 2. 6 Çeşitli çamurlara ait organik madde miktarları [8]

Çamur	Organik Madde Miktarı (% KM)
Ham çamur	70
Aerobik ortamda çürütülmüş çamur	60-70
Anaerobik ortamda çürütülmüş çamur	40-50
Isıl Arıtım	<40
Kireçle Stabilizasyon	<40
Kompostlaştırma	50-85

Organik maddeler, toprağın fiziksel özelliklerini mineral ve suyun toprakta kalma sürelerini arttırarak iyileştirmektedir. Ayrıca, organik bileşenler bozularak toprağın nitrojen, sülfür ve magnezyum yönünden zenginleşmesini sağlar ve çeşitli ürünlerin yetiştirilmesini kolaylaştırırlar. Organik bileşikler bir taraftan da topraktaki mikroorganizmalar için enerji kaynağıdır. Çamur içerisindeki organik bileşik konsantrasyonu, çamurun kalorifik değerini de etkilemesi sebebiyle çamurun yakıt olarak kullanılması opsiyonunda da değerlendirilmesi gereken bir parametre durumundadır.

2.3.17 Besleyici maddeler

Besleyici maddeler, organizmaların metabolizma faaliyetlerine, büyümelerine veya diğer yaşamsal fonksiyonlarına katkıda bulunan element veya bileşiklerdir. Enerji sağlayıcı ve metabolizma destekleyici olmak üzere iki ana başlık altında toplanmış toplam altı besleyici madde çeşidi vardır. Karbonhidrat, protein ve yağlar enerji sağlayıcı grupta yer alırken, mineraller, vitaminler ve su metabolizma destekleyici grupta yer almaktadır.

Çamur içerisinde bulunan azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) gibi besleyici elementler bitki gelişimi için gerekli maddeler olup çamura gübre özelliklerini kazandıran elementlerdir. İçeriğinde yüksek miktarda besleyici madde barındıran çamur, gübre olarak kullanıldığında yeraltı ve yerüstü sularının kirlenmesine yol açabilmektedir. Bu yüzden gelişmiş ülkelerde ve Türkiye’de yürürlükteki mevzuat uyarınca toprakta kullanıma çeşitli sınırlamalar getirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri’nde 15 farklı eyaletten toplanan toplam 1.252 çamur numunesinde yapılan ölçümlerde saptanan besleyici maddeler ve toplam kuru maddede yüzde oranları Çizelge 2. 7’de verilmiştir.

Çizelge 2. 7 Besleyici maddeler ve ortalama yüzde değerleri [8]

Besleyici Madde	Aralık (%)	Ortalama (%)
Toplam Azot	<0,1-17,6	3,90
Amonyum	0,0005-6,76	0,65
Amonyak	0,0002 - 0,49	0,05
Fosfor	< 0,1 - 14,3	2,50
Potasyum	0,02 - 2,64	0,40
Sodyum	0,01 - 3,07	0,57
Kalsiyum	0,1 – 25	4,90
Demir	< 0,1 - 15,3	1,30

Farklı çamurlar arasında besleyici madde oranları açısından büyük farklılıklarla karşılaşmak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla toprakta kullanımı düşünülen arıtma çamurlarına besleyici madde analizlerinin mutlaka yapılması gerekmektedir. Ticari gübre ile arıtma çamurunun ortalama besleyici madde karşılaştırması Çizelge 2. 8’de verilmiştir.

Çizelge 2. 8 Çamurdaki besin maddelerinin kıyaslanması [18]

Açıklama	Besin Maddesi (%)		
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımsal Gübre	5,0	10,0	10,0
Stabilize Çamur	3,3	2,3	0,3

Fosfor (P), Potasyum (K) ve diğer besleyici maddeler

Aritma çamuru, azot haricinde mikro ve makro boyutta çeşitli maddeler içermektedir. Bunlardan fosfor, kalsiyum, magnezyum ve demir gibi suda çözünmeyen maddeler diğerlerine göre daha yüksek miktarlarda bulunurlar. Potasyum ve sodyum gibi suda çözünebilen maddeler ise özel işlemler uygulanmadığı sürece büyük oranda arıtılmış suyla birlikte deşarj edilirler. Bu maddelerin çamur içerisinde kalan miktarları da susuzlaştırma işlemi sonrasında iyice azalmaktadır. Uçucu olmadıkları için, uygulanacak kurutma işlemi bu maddelerin çamur içerisindeki yüzdelerini arttırmaktadır. Fosfor, bitkilerin büyümesi ve köklerinin gelişmesi açısından önemli bir besin kaynağıdır.

Aritma çamurunda fosfor en yaygın olarak mineral formda bulunmaktadır. Mineral formdaki fosfor çamur içerisindeki toplam fosfor miktarının genelde %30-98'ini oluşturmaktadır. Potasyum, sülfür, magnezyum, sodyum gibi maddeler de bitki büyümesi ve gelişimi açısından önemli maddelerdir. Ancak bu maddeler arıtma çamurunda değişik formlarda bulunmakta olup toprak uygulamalarında bitkiler tarafından kullanılmaları zor olmaktadır.

2.3.18 Organik kimyasallar

Aritma çamuru içerisinde endüstriyel atıklar veya evlerde kullanılan ürünlerden kaynaklanan sentetik organik maddeler de bulunabilmektedir. Arıtma tesislerinin çok büyük bir kısmından çıkan çamurlarda bu maddelerin konsantrasyonları çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturmayacak seviyelerdedir. Ancak, belli seviyelerin üzerine çıktıkları zaman bazı organik kimyasallar ciddi riskler oluşturabilmektedir.

Çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri bilinen başlıca organik kimyasallar aşağıda listelenmiştir [24]:

PAH: Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı

PCB: 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı

PCDD/F: Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar

AOX: Adsorblanabilen organik halojenler

LAS: Lineer alkilbenzin sülfonat

2.3.19 Patojenler

Patojenler, hava, su, toprak, cilde direk temas veya böcek, kene, kuş gibi taşıyıcılar vasıtasıyla çeşitli hastalıklara yol açan mikroorganizmalardır. Patojen barındıran sebze, meyve veya et ürünlerini tüketmek, içerisinde patojen barındıran sular içmek de hastalık yapıcı bu mikroorganizmaların vücuda ulaşmasını sağlamaktadır. Patojen üremesini kolaylaştıran ve kontrolü zorlaştıran çeşitli etkenler bulunmakla birlikte toprak kirliliği patojenler için en önemli barınak olarak kabul edilmektedir. Toprakta biriken patojenler yukarıda bahsedilen tüm temas ve taşınma risklerini yüksek oranda taşımaktadır.

Patojenler arıtma çamurunda da bulunan mikroorganizmalardır. Patojenler suda çözünemeyen maddelerin üzerinde üreyebildikleri için birincil arıtma çamuru atıksuyun kendisinden daha fazla miktarlarda patojen barındırmaktadır. Biyolojik arıtmada tercih edilen proseslerden damlatmalı filtreler, lagünler ve aktif çamur sistemleri patojen giderimi sağlamaktadır. Ancak, bu giderim sonucu toplanan patojenler arıtma çamuru içerisinde konsantre olarak bulunduğu için arıtma çamurları çevre ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır. İşlenmemiş arıtma çamuru ve oksijensiz çürütmeye maruz bırakılmış arıtma çamuru içerisindeki tipik patojen konsantrasyonları Çizelge 2. 9'da verilmiştir.

Çizelge 2. 9 Arıtma çamurunda patojen seviyesi [25]

Patojen	İşlenmemiş Çamur	Oksijensiz Çürütme Sonunda
Virüs	2.500 - 70.000	100 - 1.000
Fecal Koliform Bakteri	1.000.000.000	30.000 - 6.000.000
Salmonella	8.000	3 - 62
Helminth	200 - 1.000	0-1.000

Bakteri, virüs, protozoa ve helmintler olmak üzere dört ana grup patojen bulunmaktadır. Patojenlerin yaşayabilmeleri pH, sıcaklık, güneş ışığı, besin ve nem miktarı gibi parametrelere bağlıdır. Bu mikroorganizmalar tamamen yok edilmedikleri takdirde yaşam şartlarının uygun olduğu ortamlarda büyük bir hızla üreyebilmektedirler. Virüsler, protozoalar ve helmintler taşıyıcıların olmadığı ortamda bir daha üremezler. Patojenik mikroorganizmalar uygun ortamda bir kez ürediği takdirde aylarca hatta yıllarca toprakta kalabilmektedirler [8]. Patojenlerin çeşitlerine göre toprakta kalma süreleri Çizelge 2. 10'da verilmiştir.

Çizelge 2. 10 Patojenlerin toprakta kalma süreleri [25]

<i>Patojen</i>	<i>Toprakta Kalış Süresi</i>	
	<i>Maksimum</i>	<i>Ortalama</i>
Bakteri	12 ay	2 ay
Virüs	6ay	3 ay
Protozoa	10 gün	2 gün
Helmint	7yıl	2 yıl

2.4 Arıtma Çamurlarının Bertarafı

Arıtılmamış atıksu içindeki önemli miktarlarda koku veren maddelerin olması, biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması, çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi ve de içerisinde patojen mikroorganizma olmasından dolayı bertarafa verilmeden önce mutlaka arıtılmaları gerekmektedir.

Atık bünyesindeki kirleticileri üç grup altında toplamak mümkündür. Bunlar; çökebilir katı maddeler, askıda katı maddeler ve çözünmüş katı maddelerdir. Arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının nihai bertarafından önce arıtılması gereklidir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurun arıtılması ve depolanması için seçilecek yöntem, atıksu karakterizasyonuna, arıtmada kullanılan kimyasal maddelere ve ilgili mevzuata bağlıdır. Arıtma çamurunun bertarafı işlemi de ayrı bir gider kalemi olacağından, atıksu arıtma tesisi kurulurken bu durum göz önünde bulundurulmalı ve projelendirme bu hususa göre yapılmalıdır. Maliyetler yerel şartlara ve işleme tesisinin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Arıtma çamurunun işlenmesi ve bertarafı ile ilgili değişik seçeneklerin doğru bir karşılaştırmasını yapabilmek için öncelikle yıllık yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve son ürünün tekrar kullanımına bağlı olarak oluşacak üç maliyet kaleminin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Avrupa Birliği atık politikasında yönetim öncelikleri şöyle sıralanmaktadır [13];

- Minimizasyon
- Geri kazanım
- Enerjiyi tekrar kazanarak yakma
- Düzenli depolama

Genel olarak atıksu arıtma çamurları stabilizasyon, şartlandırma, yoğunlaştırma, susuzlaştırma, çürütme, kompostlaştırma, dezenfeksiyon, çamur kurutma, zirai kullanım, düzenli depolama ve yakma ile bertaraf edilebilir. Ayrıca yaş oksidasyon, piroliz ve çamurdan yağ üretim prosesi, çamurdan türetilmiş yakıt ve gazlaştırma ve kombine prosesler de termal bertaraf yöntemi olarak kullanılabilir [13].

Bu bölümde dört ayrı çamur arıtım metodunun detaylı incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda kurutma, alkali stabilizasyonu, çürütme ve kompostlaştırma işlemleri incelenmiştir.

2.4.1 Termal Çamur Kurutma

Çamur kurutma işlemi, çamura ısı enerjisi transfer edilmesi yoluyla içerisindeki suyun buharlaştırılması olarak açıklanabilir. Kurutma işlemi ile çamur içerisindeki kuru madde oranı yükseltilmekte, yüksek ısı ile patojenler etkisiz hale getirilmekte ve sonuç olarak stabilize ve dezenfekte bir ürün elde edilmektedir. Stabilizasyon ve dezenfeksiyon şartlarının yerine getirilmesi, kurutma işlemini ileri arıtım metodları kategorisine sokmaktadır. Kurutma işlemi US Environmental Protection Agency (Amerikan Çevre Koruma Örgütü) tarafından belirlenen patojen ve taşıyıcı giderimi standartlarını karşılayan arıtım metodlarından bir tanesidir.

Arıtma tesislerinde susuzlaştırma ünitesinden çıkan çamur, uygulanan susuzlaştırma metoduna bağlı olarak ortalama %20-40 oranlarında kuru madde içermektedir. Diğer bir deyişle susuzlaştırma ünitelerinden çıkan çamur kekinin ortalama %60 ila %80'i sudan oluşmaktadır. Kurutma işlemi sonucunda çamur içerisindeki su oranı %10 ve aşağısına düşürülebilmektedir. Çamur keki olarak da adlandırılan susuzlaştırılmış çamurun diğer bir özelliği içerisinde önemli miktarda patojen barındırması ve bozunma ve çürüme eğiliminde olmasıdır. Ayrıca, arıtma suyunun özelliklerine bağlı olarak arıtma çamurları değişik konsantrasyon seviyelerinde ağır metal de barındırabilmektedirler.

Susuzlaştırılmış çamurun kurutma işlemine tabii tutulması sonucunda;

- Çamur içerisindeki suyun buharlaştırılmasıyla hacmin ve ağırlığın düşürülmesi, nakliyenin kolaylaşması ve nakliye maliyetlerinin azaltılması,

- Stabil, depolamaya uygun bir ürün elde edilmesi,
- Koku sorununun giderilmesi,
- Isıl işlem sonucunda çamurun patojenlerden ve taşıyıcılardan arındırılarak insan ve çevre sağlığını tehdit eden bir ürün olmaktan çıkarılması,
- Çamurun kalorifik değerinin yükseltilerek yakılmasının kolaylaşması,
- Kurutulan çamurun ekonomik değeri olan bir ürüne dönüşmesi ve içeriğine göre dolgu malzemesi, gübre veya yakıt olarak kullanılabilecek niteliğe kavuşturulması mümkün olmaktadır.

Çamur kurutma işlemi, çamuru stabil, hijyenik, kolayca depolanabilen veya çeşitli şekillerde kullanılabilen bir ürüne dönüştürmesi sebebiyle tüm dünyada kabul görmüş bir arıtım teknolojisidir. Sağladığı avantajlara mevzuattan gelen yükümlülüklerin eklenmesiyle son yıllarda hızla yayılan ve en çok talep gören ileri arıtım metotlarının başında gelmektedir. Artan çamur miktarları doğrultusunda gelişen talep, çamur kurutma sektörünü günümüzde milyar dolarlarla ölçülen yıllık hacme sahip bir sektör durumuna getirmiştir. Özellikle Avrupa ve Amerika’da birçok firma bu alanda mevcut teknolojileri geliştirmek üzere çalışmalarını sürdürmektedirler [8].

2.4.2 Alkali Stabilizasyonu

Temel olarak alkali stabilizasyonu işleminde çamura, pH değerini 12 veya daha yukarı çıkaracak miktarda alkali malzeme ilave edilmektedir. Yüksek pH ile kokuya neden olan vektörlerin gelişimini sağlayan mikrobiyal reaksiyonlar engellenmektedir[26, 27]. İşlemin genel ismi alkali stabilizasyonu olsa da büyük oranda kullanım kolaylığı ve kolay bulunabilir olması sebebiyle kireç tercih edildiği için kireç stabilizasyonu olarak da anılmaktadır. Kireç, çamurun su atma özelliklerini geliştirmek için kullanıldığı gibi, stabilizasyon amacıyla da kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda, kirece alternatif olarak uçucu kül, çimento fırın tozu ve karbid kireci de kullanılabilmektedir. Diğer taraftan, istenen pH seviyesinin yakalanması için alkali (sodyum ve potasyum) tabanlı hidroksitlerin kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde, çamurda toplam çözünmüş katı miktarı (TDS) artmakta, birçok bitki için zararlı olabilecek sodyum ve potasyum tuzları oluşmaktadır.

2.4.3 Çürütme

Aritma çamurunun içerisindeki patojenlerin yok edilmesi, kokunun giderilmesi, kokuşmanın engellenmesi ve çamur hacminin küçültülmesi için uygulanan arıtım yöntemlerinden bir tanesi de biyolojik çürütme işlemi olup mevcut arıtım yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyolojik çürütme havalı ortamda (aerobik) gerçekleşebileceği gibi havasız ortamda (anaerobik) da gerçekleşebilmektedir.

Aerobik ve anaerobik çürütücüler yaygın olarak kullanılan çamur çürütme sistemleridir. İşlem sonucunda büyük oranda biyolojik arıtım gerçekleşse de çamurun hacmi yeterince düşürülememektedir. Sonuç olarak çürütücüden çıkan çamur hala yüksek hacim ve kütleler ihtiva etmekte olup en azından susuzlaştırma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Çürütme işlemi çeşitli fazlarda gerçekleşebilen bir işlem olup çalışma sıcaklığına göre enerji ihtiyacı olmakta veya olmamaktadır. Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen çürütmede gerekli ısı enerjisini karşılamak maksadıyla ek yatırım maliyeti oluşmakta ve işletme maliyetleri artmaktadır. Diğer taraftan düşük sıcaklıkta çalışan sistemlerde çamurun bekleme süresi artacağı için daha yüksek kapasiteli tanklara ihtiyaç doğmakta dolayısıyla ilk yatırım bedeli ve işletme maliyetleri bu durumda da farklı etkenlerden dolayı artmaktadır [8].

Havasız Ortamda (Anaerobik) Çürütme

Anaerobik bozunma; yaklaşık 35°C'de ısıtılmış tanklarda çamurun ayrışmasına dayanan, çamur azaltılması, stabilizasyon ve kısmen dezenfeksiyon için yapılmaktadır. Havasız (anaerobik) ortamda çürütme çamurun stabilizasyonu için kullanılan en eski yöntemlerden bir tanesi olup moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması işlemidir. Proses tanımında ve kontrolünde, tankların boyutlandırılmasında, ekipmanların tasarımında ve işletilmesinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Enerji korunumu ve kazanımının yanı sıra arıtma çamurlarının faydalı kullanımına olanak sağlayan anaerobik çürütme, çamur stabilizasyonunda halen hakim proses olarak değerlendirilmektedir [26].

Genellikle evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımı sonucunda oluşan birincil arıtma çamurlarının stabilizasyonunda tercih edilen yöntemde çürütme işlemi, hava girişinin önleniği kapalı bir reaktörde gerçekleştirilmektedir. Arıtma çamuru, oksijensiz

ortamda bırakıldığında, başlayan mikrobiyolojik aktivetelerde çamurun organik madde içeriği Metan, Karbondioksit, Su, Amonyak, Hidrojen sülfür ve Hidrojene dönüşmektedir.

Anaerobik çürütmeden elde edilebilen önemli bir kazanım işlem sonucunda oluşan biyogazdır. Homojen konsantrasyonlarda üretilebildiği sürece yakıt olarak kullanılabilen biyogaz, ortalama olarak %65-85 metan ve %15-35 karbondioksit karışımından oluşmaktadır.

Anaerobik çamur çürütmenin avantajları [26, 28];

- Proses sonucu oluşan metan gazının kalorifik değeri yüksek olduğundan bir çok arıtma tesisinde enerji kaynağı olarak kullanılabilir.
- Üretilen enerji çamur çürütücülerin ısıtılmasında ve reaktör karıştırılmasında kullanılmaktadır.
- Ham çamurdaki katı madde gideriminin %25-50 civarında olması çamur uzaklaştırma maliyetini düşürmektedir.
- Anaerobik çürüme sonrası elde edilen stabil çamur kokusuzdur ve kokuşma gerçekleşmeksizin depo edilebilir.
- Organik maddelere ilave olarak, azot, fosfor ve diğer besin maddelerini de içerdiğinden toprağın verimini artırır.
- Bekletme süresi daha uzun olduğu için patojenlerin büyük kısmı zararsız hale gelmektedir.

Anaerobik çamur çürütmenin dezavantajları [26, 28];

- Besleme için pompalar, çamur karışımı, ısı değiştiriciler ve gaz karışımı için kompresörler ile donatılmış ağız kapalı tanklar daha yüksek maliyeti gerektirir.
- Metan üreten bakterilerin sürdürülebilirliği için 10 günden daha fazla bekletme süresine ihtiyaç duyulur.
- Çürüme sonrası oluşan üst faz suda (süpernatant) askıda katı madde, çözünmüş ve partikül organik maddeler, azot, fosfor ve diğer bileşikler bulunmaktadır. Bu geri devir akımı, atıksu arıtma tesisinin katı madde yükleme oranını, oksijen ihtiyacını ve besin maddesi yükünü artırır.

Havalı Ortamda (Aerobik) Çürütme

Aerobik çürütme de arıtma çamurunun biyolojik olarak arıtımı için kullanılan bir çürütme yöntemidir. Bu işlem ön çökeltim tanklarında çökelen veya ikincil arıtım sonucunda oluşan çamurun ileri arıtımında kullanılmaktadır. Aerobik çürütme işlemi temel olarak, üstü açık reaktörlerdeki çamurun havalandırılmasına ve biyolojik olarak parçalanabilir maddelerin yeni hücrel materyalleri oluşturması ve devamında bu materyallerden bazılarının oksidasyonuna dayanır [26, 28]. Bu sayede çamur içerisindeki uçucu katı maddelerin biyolojik olarak giderimi sağlanmaktadır. İşlem sonucunda oluşan çamura “aerobik çürütülmüş çamur” adı verilmektedir. Aerobik çürütmenin amacı, çamuru biyolojik olarak stabil bir ürün haline getirmek ve hacmini azaltmaktır. Aerobik çamur çürütme sistemleri, anaerobik sistemlere nazaran toksik madde ve şok besleme durumlarına karşı daha toleranslıdır. Ancak anaerobik sistemler gibi aerobik sistemlerde arıtılmış çamurların da susuzlaştırılması gerekmektedir. Aerobik çürütme süresinin ve veriminin tespitinde; sıcaklık, çamurun biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve karıştırma işleminin verimi belirleyici olmaktadır. 45°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda işletilen termofilik aerobik sistemlerde bekleme süresi kısılırken termik dezenfeksiyon da sağlanabilmektedir. Şayet, ikincil arıtım çamurları ön çökeltim çamurları ile birlikte çürütülecekse koku sorunu için yeterli tedbir alınmalıdır.

Aerobik çürütme sonrasında nihai ürün olarak sadece çürütülmüş çamur çıkmakta, anaerobik çürütmede olduğu gibi biyogaz oluşmamaktadır. Çürütülmüş çamur sadece birincil çamurdan veya hem birincil hem de ikincil çamurdan oluşuyor ise, kuru madde miktarı %2,5 - %7, sadece ikincil çamurdan oluşuyor ise kuru madde miktarı %0,8 - %2,5 oranları arasında değişmektedir. Aktif çamur veya damlatmalı filtre çamurunun ön çökeltim çamuru ile karıştırılıp havalı olarak çürütüldüğü durumlarda, ön çökeltim çamurundaki organik maddenin direk oksidasyonu ve hücre dokusunun içsel oksidasyonu bir arada gerçekleşmektedir. Havalı çürütücüler kesikli veya sürekli reaktörler olarak işletilebilmektedirler [8]. Anaerobik çamur çürütücüler ile Aerobik çamur çürütücülerin görünümü Şekil 2. 8’de verilmiştir.



Şekil 2. 8 Çamur çürütme üniteleri [8]

a)Anaerobik çamur çürütücüler, b)Aerobik çamur çürütücüler

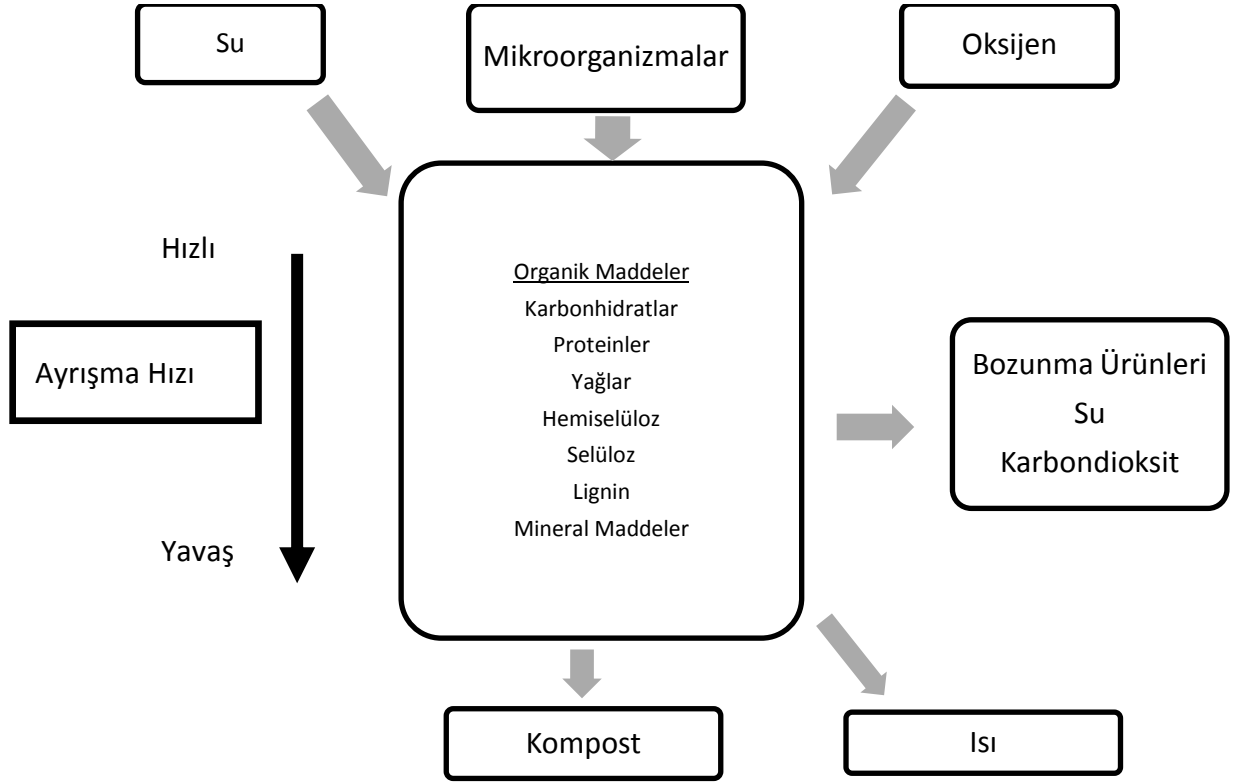
Anaerobik çürütücü ile karşılaştırıldığında aerobik çürütmenin avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Aerobik çürütmenin avantajları işletmesinin daha kolay olması, yatırım maliyeti daha düşük olması, besi maddesi içeriği zengin çamurların arıtımı için uygun olması, süpernatantda daha düşük konsantrasyonlarda organik madde bulunması ve çürütmenin son ürünü, ekonomik değeri olan, kokusuz, humus benzeri, biyolojik olarak kararlı bir malzeme olmasıdır. Aerobik çürütmenin dezavantajları ise enerji kazanımının olmaması, sürekli havalandırma gerektirip enerji masraflarından dolayı daha maliyetli olması, çürümüş çamurun susuzlaştırılma karakterinin daha zayıf olabilme ihtimali ve prosesin sıcaklık, yer, tank geometrisi, giriş çamurundaki katı madde miktarı, karıştırma/havalandırma ekipmanlarının kalitesi ve tank yapı malzemesinin türü gibi çeşitli parametrelerden büyük oranda etkilenmesi olarak özetlenebilir [26, 27].

2.4.4 Kompostlaştırma

Katı atık içerisindeki organik kısımlar (mutfak atıkları, arıtma tesisi çamurları vb.) kompost yapılarak tekrar kullanılır hale getirilebilir. Kompost, katı atık içerisindeki organik kısımların biyokimyasal süreçten geçirilerek humusa benzer bir malzemeye dönüştürülmesidir. Katı ve sıvı atıklar içindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalar vasıtasıyla daha basit bileşiklere, bilhassa CO₂ ve H₂O'ya dönüşür. Mikroorganizmaların metabolizma olayları neticesinde açığa çıkan ısı ile materyal 60-65°C'ye kadar ısınır. Kompostlaştırma aerobik ve anaerobik olmak üzere başlıca iki yolla yapılır. Anaerobik süreçte dönüşüm esnasında yan ürün olarak biyogaz da elde edilmektedir. Atıkların uygun kısımları kompost yapılsa bile yaklaşık %30'luk bir kısmı nihai olarak başka bir usulle uzaklaştırılması gerekmektedir. Kompostlaştırmadaki biyokimyasal ayrışma işlemi üç fazda gerçekleşmektedir:

- 1- Şeker, glikoz, nişasta gibi çabuk ayrışan organik maddelerin kuvvetli ısı çıkışıyla birlikte kısa sürede parçalanması,
- 2- Zor ayrışan bileşiklerin (hemiselüloz, yağ, lignin, reçine vs.) nispeten uzun sürede parçalanması,
- 3- Mineralizasyon

Üretilen kompostun değerlendirilmesi istendiğine göre mineralizasyon işleminden kaçınılmalıdır. Aksi takdirde kompostun humus değeri önemli ölçüde düşer. Yani kompost, ne kadar fazla organik madde ihtiva ederse, tarım bakımından o kadar kıymetlidir. Bundan dolayı da işlem hijyenik şartlar sağlayıncaya kadar devam eder [29]. Şekil 2. 9'da görüldüğü üzere aktif kompostlaştırma esnasında fazla miktarda ısı, karbondioksit (CO₂) ve su buharı üretilir. Kompostlaştırmada, karbondioksit ve su kayıpları, hammadde ağırlığının neredeyse yarısına eşittir. Bu sayede, işlem sonunda elde kalan maddeler, komposttan öncesine göre hem hacim olarak hem de ağırlık olarak daha az olmaktadır.



Şekil 2. 9 Aerobik kompostlaştırma prosesi [30]

Arıtma çamurları evsel katı atıklarla veya boşluk arttıran ve su muhtevasını azaltan düzenleyici maddeler (saman, yaprak, ağaç kabukları ve yongası, mukavva v.b.) ile karıştırılarak kompostlanabilmektedir. Kompostlaştırma Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 18. ve 19. yüzyıldan beri kullanılmaktadır. Günümüzde kompostlaştırmada kullanılacak malzeme ve teçhizat seçiminin nasıl yapılması gerektiği ve farklı kompostlaştırma metotları hakkında bilimsel ilkeler yine ABD tarafından belirlenmektedir.

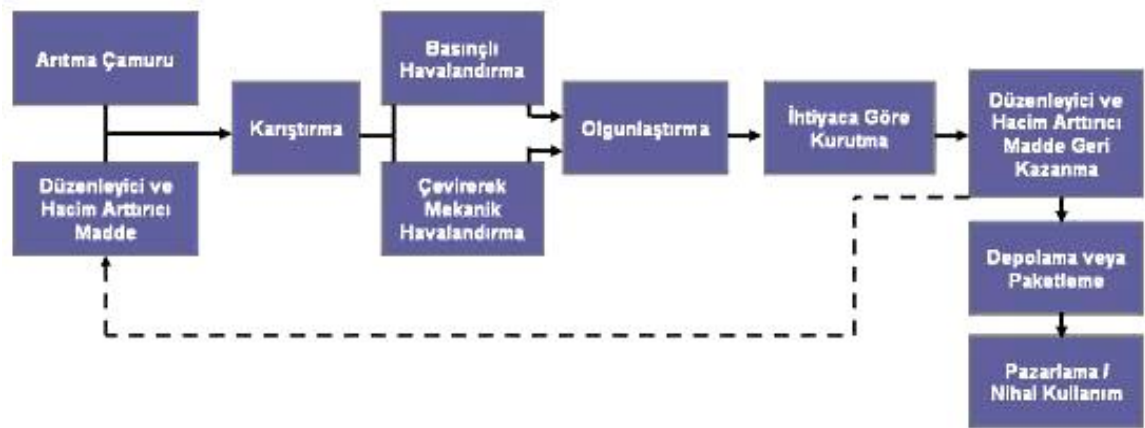
Kompostlaştırma havalı (aerobik) ortamlarda yapılabileceği gibi havasız (anaerobik) ortamlarda da gerçekleştirilebilir. Kompostlaştırma işleminde aerobik şartları tam olarak her zaman sağlamak mümkün olmamaktadır. Bu sorunu gidermek veya hafifletmek maksadıyla evsel atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının kompostlanmasında havalandırmalı yöntemler uygulanmaktadır. Havalandırma sayesinde organiklerin ayrıştırılması hızlandırıldığı gibi, patojenlerin giderimi için ihtiyaç duyulan sıcaklığa ulaşılması kolaylaştırılmakta ve potansiyel koku problemi minimize edilmektedir. Diğer taraftan, düzenleyici ve hacim artırıcı maddelerin tedarik

zorunluluğu ve bunların arıtma çamuruna karıştırılması için ek ekipmanlara ihtiyaç duyulması kompostlaştırmanın dezavantajları arasındadır. Kompost kullanımının ve satışının genellikle mevsimlik olması ve işlem için geniş alan ihtiyacının olması da kompostlaştırmanın kârlılığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Tipik bir kompostlaştırma prosesinde yer alan basamaklar [8]:

- Arıtma çamuru ile düzenleyici ve hacim artırıcı maddelerin karıştırılması,
- Sıralı yığın oluşturma,
- Kompostlaştırma (basınçlı veya mekanik havalandırma, izleme, koku kontrolü v.b.)
- Olgunlaştırma,
- Kurutma ve
- Depolama ve/veya Paketleme olarak özetlenebilir.

Arıtma çamurlarının kompostlaştırma işlem akışı Şekil 2. 10'da belirtilmektedir.



Şekil 2. 10 Arıtma çamurlarının kompostlaştırma işlem akışı diyagramı [8, 18]

Kompost işleminin başlangıcında uygun karbon/azot (C/N) oranı, su muhtevası ve gözenek boşlukları oluşturmak için gereken düzenleyici ve hacim artırıcı maddeler ve arıtma çamuru karıştırılmaktadır. Daha küçük parçalar daha fazla yüzey alanına sahip olduklarından, karışımdan önce düzenleyici ve hacim artırıcı maddeler bir parçalama ve öğütme işleminden geçirilmektedirler. Parçalama ve öğütme için piyasada bulunan çeşitli tip ve kapasitedeki ekipmanlardan istifade edilebilir.

Kompostlaştırma işleminin en önemli basamaklarından bir tanesi de karıştırma. Başta hazırlanan karışımın kalitesi tüm kompostlaştırma işlemi boyunca çok değişime uğramadan nihai ürünün kalitesini de belirlemektedir. Havalandırmalı metotlarda, karıştırma ve yığın oluşturma ayrı basamaklarda gerçekleştirilirken kapalı reaktörler içerisinde bu karıştırma, sistem içerisinde yapılmaktadır. Yığın oluşturma için farklı teknikler ve mekanizmalar kullanılmaktadır.

Eğer kompost alanı karıştırma alanından uzak ise, karışım kompost alanına taşınarak, yığınlar oluşturulabilmektedir. Şekil 2. 11’de kompost yığını görülebilmektedir.



Şekil 2. 11 Kompost yığını [31]

Genellikle, kompost alanının yakın olduğu durumlarda tercih edilen bir diğer yığın oluşturma yönteminde karıştırma mekanizmasına sahip mobil karıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu yöntemde, arıtma çamuru ile düzenleyici ve hacim artırıcı madde kamyon üzerinde karıştırılarak, bir konveyör yardımıyla serilmekte veya yığın oluşturulabilmektedir.

Kompostlaştırma işleminin tamamlanması ve kompostun nihai kullanıma uygun hale gelmesi için en azından bir ya da iki aylık bir olgunlaşma süresi gerekmektedir. Olgunlaşma genellikle ayrı bir işlemdir ve aktif kompostlaştırmanın yapıldığı alanda yapılabileceği gibi ayrı bir yerde de yapılabilmektedir.

Olgunlaşma yığınları yavaş bozunmaya maruz kaldığından aerobik koşulların muhafaza edilmesi gerekmektedir. Anaerobik olgunlaşmanın, yığınlarda bitkiler için zehirli bileşikler oluşmasına neden olması nedeniyle döndürme ve basınçlı havalandırmaya ihtiyaç duyulmamasına rağmen, olgunlaşma yığınlarının doğal hava akımını sağlayacak boyutta olmaları gerekmektedir. Tavsiye edilen maksimum yığın yüksekliği 2,4 m'dir. Ancak, kompostun nihai kullanımı için yüksek kalite gerekiyorsa yığın yüksekliğini en fazla 1,8 m'de ve genişliğini 4,5-6 m arasında tutmak gerekir. Oksijen tüketiminin azalması, karbondioksit solunumunun ve kendi kendine ısınma kabiliyetinin düşmesi gibi parametreler, kompostun olgunlaştığını göstermektedir.

Kompost içerisinde oluşabilecek anaerobik koşulların nedeni fazla nem veya yığının tabanında biriken su olabilmektedir. Olgun kompostta nemi buharlaştırmaya yetecek kadar ısı üretilmediği için olgunlaştırma sahasındaki yüzey akışı yığınlardan uzağa yönlendirilerek drene edilmelidir.

Kompost yığınındaki ıslak veya anaerobik koşulları önlemenin en etkili yolu yığını karıştırmak ve kompostu açık bir araziye sermektir. Bu sayede yığın içerisine oksijen girmesi sağlanmakta ve anaerobik bileşiklerin aerobik olarak bozunmasına veya buharlaşmasına yardım edilmektedir. Bir - iki gün havalandırmadan sonra kompost tekrar yığın haline getirilince tekrar ısınmakta ve kısa sürede kompostlanmaktadır. Ancak, pH'ın normal seviyesine dönmesi birkaç gün ile birkaç haftalık bir süre gerektirmektedir. Uygun bir şekilde kompostlanan ve olgunlaşan bitmiş kompostta mikrobiyal aktivite düşük seviyede devam eder. Yığının yüksekliği ve genişliği kepçeli yükleyiciler, konveyörler veya diğer teçhizata bağlı olarak belirlenmektedir. Bu yüksekliğin 3,6 m'yi geçmemesi tercih edilmektedir. Yığının büyüklüğü arttıkça kompostun bozulma riski ve ani yanma riski de artmaktadır. Yüksekliği 2,4 m'den fazla olan yığınların nemi az olmasına karşın kötü drenaj koşulları yüzünden depo yığınlarının alt kısımları da ıslanabilmektedir.

Genellikle kullanmadan veya satışa sunmadan birkaç hafta önce büyük depo yığınlarını küçük yığınlar şeklinde istiflemek güvenlik açısından önemlidir. Bu sayede depolanmış kompostun doğal havalanmasının yanı sıra mevcut fitotoksik bileşiklerin giderimi de sağlanmaktadır.

Kompost için hedef nem içeriği %35-45 aralığı olarak belirlenmiştir. Nem içeriği %35'den fazla olduğunda toz azalmakta ve %45'den az olduğunda kompostu işlemek ve elemek kolaylaşmaktadır. Kompostlaştırmada kuruma için fazla havalandırma veya uzun süre gerekmektedir. Eğer kuruma gerekiyorsa kompostlaştırmanın son basamağında sıralı yığın en azından günde bir defa çevrilmelidir. Olgun kompost, örneğin yağmur suyunu kurutmaya yetecek kadar ısı üretemez ve kuruma solar buharlaşmaya bağlı kalmaktadır. Sıcak ve kuru havalarda kompost, doğal olarak kuruması için ince bir tabaka şeklinde yere serilebilir. Yağmur durumunda ise içeriye su nüfuzunu azaltmak üzere kompost büyük konikler olarak yığılanmaktadır.

Kompost içerisinde nem oranının artışına sebep olabilecek başlıca sebepler aşağıda listelenmiştir.

- İlk su muhtevasının yüksek olması
- Ham maddelerin enerji üretmemesi
- Seyrek döndürme/karıştırma
- Kompost arazisinde drenaj problemleri olması
- Soğuk veya nemli hava koşulları

Kompostta eleme farklı boyut ve/veya şekildeki maddeleri ayırmak için yapılır. Bu sayede;

- Taş, metal, şişe ve diğer çöpler gibi istenmeyen maddelerin çoğu giderilmektedir
- Kompostlanan maddeler kompostlanmayanlardan ayrılmaktadır
- Kompost tortuları ve tamamı ile kompostlanmamış maddeler ayrılarak satışa veya kullanılmaya uygun kaliteye getirilmektedir
- Hacim arttırıcı maddeler geri kazanılarak ve tekrar kullanılmaktadır.

Elek seçiminde göz önüne alınması gereken en önemli karakteristikler; eleğin ağız açıklığı, kapasitesi, verimi, maliyeti ve tıkanmaya karşı direncidir. Tıkanma elek açıklıklarının partiküller ile kapanması olup eleklerin çoğunda önlem olarak fırça veya kürek gibi teçhizatlar kullanılmaktadır.

Paketlenmiş kompost açıkta satılan kompostla göre daha pahalı olsa da paketlenmiş kompostun pazara sunulması daha kolay olmaktadır. Küçük hacimlerde paketleme için özel ekipman kullanmak gerekmemektedir. Küçük boyutlarda kürek kullanarak kompost paketlenirken yüksek hacimli paketleme operasyonlarında sayaçlı valfler, teraziler, paket kapatıcıları, konveyörler ve ambalaj makineleri kullanılmaktadır. Plastik bir pakette, paketlenen kompostun su muhtevası en fazla %35 olmalıdır. Aksi takdirde hava geçirmez pakette bozulan kompost ekşiyebilmektedir.

Kompost etiketinin üzerinde üretici firma/kişi, kompostun özellikleri, saklama koşulları, üretim kodu, tarihi, kullanım amaçları, kullanma talimatları, halk sağlığı konusundaki ayrıntılar belirtilmelidir [8].

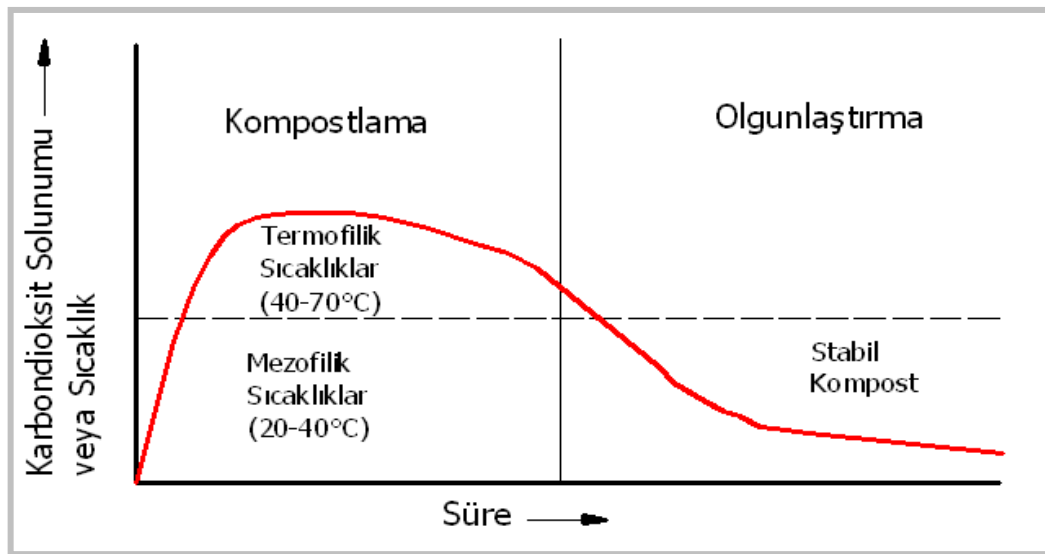
2.4.4.1 Havalı (Aerobik) Kompostlaştırma

Uygun organik maddelerin bir araya getirilmesiyle başlayan kompostlaştırmada, öncelikle ham maddeler karıştırılmakta ve işlemin başlaması için ortama yeterli miktarda hava verilmektedir. Mikroorganizmaların hızlı oksijen tüketimi sonucunda ortamdaki oksijen azaldıkça aerobik bozunma yavaşlamakta ve eğer oksijen sağlanamayacak noktaya gelirse işlem durmaktadır. Ortama oksijen verebilmek için havalandırmanın sürekli yapılması şarttır. Havalandırma, kompostun karıştırılarak ve döndürülerek mekanik havalandırılması şeklinde veya basınçlı hava verilerek yapılabilmektedir. Kompostla mekanik karıştırma ile sağlanan oksijen hemen tüketildiği için basınçlı hava üflenerek de sisteme yeniden oksijen sağlanabilmektedir. İyi bir havalandırma için döndürme gerekli olmaktadır. Bu işlem ile yığındaki gözenek boşlukları onararak hava, yığının içerisinde kolayca hareket ettirilebilmektedir.

Mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan sıcaklık artışı, yığın oluşumundan bir kaç saat sonra belirginleşmektedir. Bu ilişki, sıcaklığı komposttaki faaliyetlerin izlenmesini sağlayan iyi bir indikatör durumuna getirmektedir. Kompostlaştırma esnasında, eğer ortamdaki oksijen azalırsa, biyolojik aktivite azalmakta ve sıcaklık düşmektedir. Sıcaklık, yığını karıştırarak, çevirerek veya basınçlı hava vererek tekrar yükseltilebilmektedir.

Kompostlaştırmmanın ilk günlerinde organik atıkların kolayca parçalanabilen bileşikleri metabolize olmaktadır. Eğer ortamda yeterli oksijen varsa ve biyolojik aktivite fazlaysa, kompostun sıcaklığı 48 ila 60 °C'ye kadar yükselir ve bir kaç hafta bu seviyelerde kalmaktadır. Bu sıcaklık patojenleri ve birçok mikroorganizmayı öldürmekte ancak bu arada bir kısım mikroorganizma da daha dirençli hale gelmektedir. Kompostlaştırma süresince, mekanik havalandırma yapılarak veya basınçlı hava verilerek sıcaklık istenilen seviyelerde tutulmaktadır.

Biyolojik aktivitenin azalmasıyla sıcaklık da düşerek yığın bir kaç gün içerisinde 38°C civarına soğumakta ve sonunda da çevre havası sıcaklığına gelmektedir. Yığın yeteri kadar soğuduğunda içerisinde doğal olarak toprak mikroorganizmaları, protozoalar, solucanlar, mantarlar, böcekler ve daha büyük mikroorganizmalar ile organik maddeler bulunmaktadır. Kompostlaştırma işleminin temel evreleri ve zaman içerisinde kompost sıcaklığını gösteren grafik Şekil 2. 12'de verilmiştir.



Şekil 2. 12 Kompostlaştırmada sıcaklık – süre ilişkisi [18, 30]

Aktif kompostlaştırmadan sonra genellikle olgunlaştırma işlemi başlamaktadır. Olgunlaşma safhasında organik maddeler daha yavaş bir seviyede olsa da kompostlanmaya devam etmektedir. Kompostlaştırma işlemi son kalan besin maddesi, son kalan mikroorganizma tarafından tüketilene ve karbonun tümü kullanılına kadar devam etmektedir. Bu sebeple kompostlaştırmmanın tamamlanıp tamamlanmadığına C/N oranı, oksijen ihtiyacı, sıcaklık ve koku gibi parametrelere bakılarak karar verilmektedir [8].

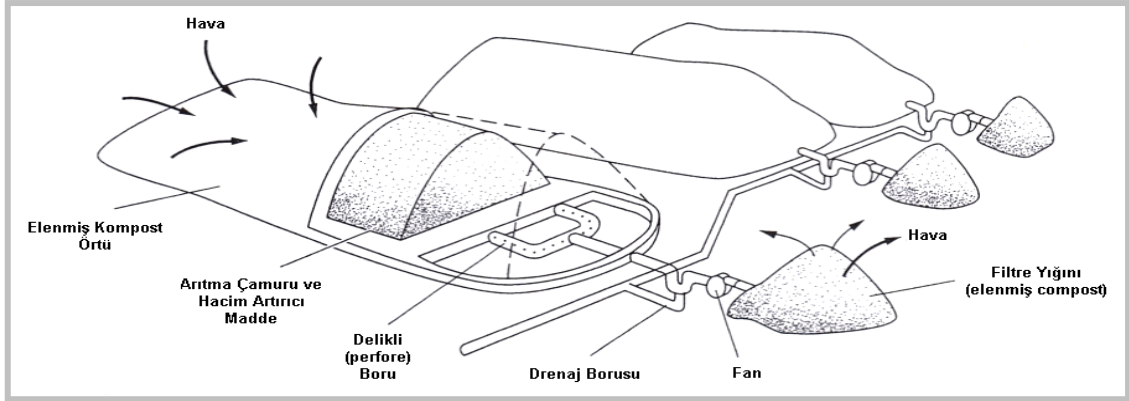
Aerobik kompostlaştırma metotları;

Yaygın olarak kullanılan aerobik kompostlaştırma metotları aşağıda listelenmiştir.

- Havalandırılmalı statik yığınlar
- Sıralı yığınlar
- Kapalı reaktörde kompostlaştırma

Havalandırılmalı Statik Yığın Kompostlaştırma

Havalandırılmalı statik yığın kompostlaştırma, kompost yığınlarına üfleyicilerle basınçlı hava verilerek yapılmaktadır. Bu şekilde işlem doğrudan kontrol edilebilmekte ve daha büyük yığınlar oluşturulabilmektedir. Bu metot da hacim artırıcı madde olarak ağaç yongası kullanılmaktadır. Yığın oluşturulduktan sonra madde döndürülememekte veya karıştırılamamaktadır. Yığın gerektiği gibi oluşturulduysa ve hava yığın içinde homojen dağılıyorsa aktif kompostlaştırma periyodu yaklaşık 21 ila 28 gün arasında sürmektedir. Bu süreyi 30 gün veya daha uzun sürelerle bir olgunlaştırma süresi takip etmektedir. Tipik yığın yükseklikleri yaklaşık 2 ila 2,5 m civarındadır. Yığının üzerinde izolasyon sağlaması amacı ile genellikle elenmiş kompost malzemesi kullanılmaktadır [32]. Havalandırılmalı statik yığın kesit ve şekilleri Şekil 2. 13'te verilmiştir.



Şekil 2. 13 Havalandırılmalı statik yığın [18, 33]

Etkili bir havalandırma kontrolü sağlamak için, her yığında özel fan ve genellikle tek kullanımlık esnek plastik havalandırma boruları kullanılmaktadır. Olgunlaştırma sonunda, hacim artırıcı maddeyi (ağaç yongası) geri kazanmak ve nihai ürünün miktarını düşürmek amacıyla eleme yapılmaktadır. Sistem performansını arttırmak ve kokuyu önlemek için yığınların bir bölümünün veya tamamının üzeri örtülebilmektedir [8].

Sıralı Yiğın Kompostlaştırma

Sıralı yiğın kompostlaştırma metodu dünyada uygulanan en yaygın metotlardan birisidir. Sıralı yiğın kompostlaştırmada, karışım uzun yiğınlar şeklinde veya düzenli aralıklarla döndürülen veya karıştırılan yiğın sıraları şeklinde oluşturulmaktadır. İşlemin ilüstrasyon ve karıştırma sırasında çekilmiş bir fotoğrafı Şekil 2. 14'te verilmiştir.



Şekil 2. 14 Sıralı yiğın kompostlaştırma [18]

Sıralı yiğınların yükseklikleri 1 ile 2 m, taban genişlikleri ise 2 ile 4,5 m arasında değişmektedir. Yiğınlar, kompostlaştırma süresi boyunca periyodik olarak döndürülmekte ve karıştırılmaktadır. Traktörle çalışan yiğın döndürücüler için yiğının sağından ve solundan olmak üzere iki geçiş yeterli olmaktadır.

Sıralı yiğınlarda, kompostlaştırma süresi 21 ile 28 gün arasında değişmektedir. Tipik işletme şartlarında, sıcaklık 55°C ve üzerine çıktığında, yiğınlar en az beş kez döndürülmektedir. Sıralı yiğın kompostlaştırmada, yiğının en kesiti düşünüldüğünde, her yerde aerobik şartları sağlamak zor olmaktadır. Bu sebeple yiğın içerisindeki biyolojik faaliyet aerobik, fakültatif, anaerobik veya bunların kombinasyonlarından oluşabilmektedir. Bu durum, yiğının ne zaman ve ne sıklıkta döndürüldüğü ile doğrudan ilişkili olup yiğın içerisinde anaerobik şartlar oluştuğunda, koku problemi ile de karşılaşılacaktır ve yiğın döndürüldüğünde etrafa kötü kokular yayılabilmektedir.

Döndürme işlemi ile hem maddeler karıştırılırken yiğın sıralarının porozitesi de iyileştirilerek, yiğın içinde tutulan ısı, su buharı, gazlar ve kötü kokular serbest bırakılmaktadır. Döndürmenin en önemli etkisi sıralı yiğının porozitesini oluşturmaktır. Döndürme yiğın sıralarını kabartarak, bozunma ve çökme ile azalan gözenek

boşluklarını arttırmaktadır. Böylece pasif hava değişimi sağlanarak, anaerobik şartların oluşması önlenmektedir [8].

Kapalı Reaktörde Kompostlaştırma

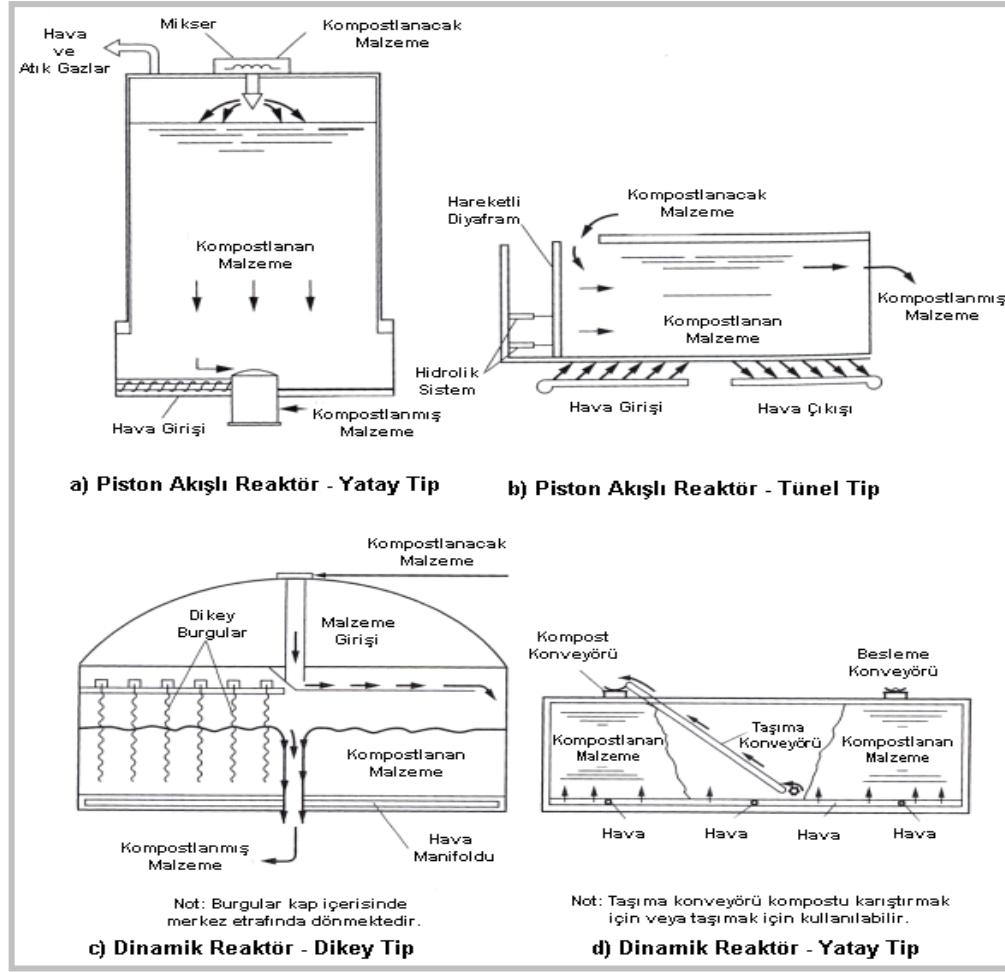
Reaktörde kompostlaştırma, kapalı bir reaktör veya kap içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu sistem için, hava akımı, sıcaklık ve oksijen konsantrasyonu gibi çevre şartlarını kontrol ederek, koku ve proses sürecini minimize eden mekanik sistemler geliştirilmiş bulunmaktadır.

Kapalı reaktörde kompostlaştırmanın önemli avantajları arasında, proses ve koku kontrolünün daha iyi yapılabilmesi, daha hızlı sonuç elde edilebilmesi, düşük laboratuvar maliyetleri ve daha az alana ihtiyaç duyulması bulunmaktadır.

Kapalı reaktör kompostlaştırma iki grup altında incelenebilir. Gruplar aşağıda listelenmiştir.

- Piston akışlı reaktörler ve
- Dinamik reaktörlerdir.

Önce giren, önce çıkar prensibine göre çalışan piston akışlı reaktörlerde, kompostlanan malzeme içerisindeki partiküller arasındaki reaksiyonlar aynı kalırken, dinamik reaktörlerde kompostlanan malzeme proses boyunca mekanik olarak karıştırılmaktadır. Piston akışlı ve dinamik reaktörlere ait şematik gösterimler Şekil 2. 15'te verilmiştir.



Şekil 2. 15 Piston akışlı ve dinamik reaktörler [18]

2.4.4.2 Havasız Ortamda (Anaerobik) Kompostlaştırma

Havasız ortamda (anaerobik) kompostlaştırma, çürümenin %22 veya daha yüksek oranda toplam katı içeren bir ortamda gerçekleştiği biyokimyasal bir süreçtir. Bu prosesin iki önemli üstünlüğü, düşük su muhtevası ve düşük katılı prosese göre daha yüksek gaz üretimidir. En önemli dezavantajı ise kurulu tesis sayısının azlığı ve işletme tecrübesinin yetersizliğidir. Bu sebeple, arıtma çamurlarının kompostlanmasında kullanılan yöntem genellikle havalandırmalı yöntemler olmaktadır [8].

2.4.4.3 Arıtma Çamurlarının Kompostlaştırılması

İyi çürütülmüş olsalar bile atıksu arıtma çamurlarının doğrudan tarımsal amaçlı kullanımı veya arazide bertaraf edilmeleri uygun değildir. Çürütülmüş ve kum yataklarda kurutulmuş çamurlar bile hala bir miktar patojenik organizma ve/veya

kimyasal toksinler içerebilir. Kompostlaştırma, sağlık ve estetik açıdan kullanıma uygun ürün elde edilen hayvan gübresi ve kereste tozu gibi ikincil ürünler ile karıştırılmış çamurların havalandırıldığı aerobik biyolojik çamur stabilizasyonu yöntemidir [24].

Kompostlaştırma üç şekilde uygulanmaktadır [24];

- Çamur keki kompost kütlesi büyük yığınlarda karıştırılır. Kompost yığını hava girişinin sağlanması ve aşırı ısınmanın önlenmesi amacıyla mekanik olarak karıştırılır. Bu yöntem için geniş bir alana ihtiyaç duyulmaktadır.
- Çamur keki ve kompost karıştırılır ve hava verilen kanallar üzerine serilir.
- Kompost kütlesi karıştırıldıktan sonra çamur keki bir karıştırıcı ile eşit dağılım sağlayacak şekilde havuz üzerine verilir. Çok düşük seviyede hava verilir ve son ürün havuzun tabanında toplanır.

Kompost prosesinin gerçekleştirilebilmesi için kompostlaştırılacak malzeme gözenekli ve ayrışma prosesinin kendiliğinden gerçekleşebileceği özellikte olmalı, patojenik mikroorganizmaların giderilmesi ve su muhtevasının azaltılması için sıcaklık 55-65 °C'de arasında olmalıdır. Ayrıca kompost ürününün ilk kompostlaştırma işleminden sonra bir süre daha depolanması ve dinlendirilmesi (en az 30 gün) gerekir. Dinlendirilen kompost çok nemli ise hava ile kurutma uygulanmalıdır. Yardımcı maddelerin tekrar kullanılması söz konusu ise proses sonunda bu maddelerin ürün komposttan ayrılması sağlanmalıdır [24].

Aritma çamurlarının kompostlaştırılmasının katı atıkların kompostlaştırılmasına göre avantajları ve dezavantajları vardır. Aritma çamurlarının kompostlaştırılmasının avantajları katı atıklardaki gibi ayırma veya parçalanma gerektirmemesi, genellikle daha üniform bir yapıda olması, daha az işletme problemlerinin olması ve nihai ürün plastik, cam, metal gibi maddeler içermediğinden pazarlama için daha uygun olmasıdır. Aritma çamurlarının kompostlaştırılmasının dezavantajları ise koku problemi, üründe bazı patojenlerin kalması ve üründe metal konsantrasyonu stabilite ve olgunluk açısından stabilitenin sağlanamaması olarak özetlenebilir [34].

Aritma çamurlarının kompostlaştırılmasına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bunun başlıca sebepleri; çamur depolama için gerekli alan ihtiyacının fazla olması, ekonomik

sebepler, yerel ve ulusal açıdan faydalı kullanımının daha cazip görülmesidir. Ayrıca nihai ürünün depolama, taşıma ve kullanım kolaylığı ile toprağın P, K, N, organik C içeriğini arttırması olarak özetlenebilir [34].

2.4.4.4 Kompostlaştırmayı Etkileyen Faktörler

Kompostlaştırma sistemi tasarımında dikkate alınması gereken birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin her biri dikkatle incelenerek ve kullanılacak kompostlaştırma yöntemine göre ihtiyaç duyulacak gereklilikleri karşılayacak biçimde seçilmeli ve/veya ayarlanmalıdır. Önem arzeden başlıca faktörler düzenleyici ve hacim arttırıcı madde, C/N oranı, uçucu katılar, oksijen ve havalandırma, nem, pH, sıcaklık, patojen kontrolü, döndürme ve karıştırma, ağır metaller ve eser organik bileşiklerle yer seçimidir.

Düzenleyici ve Hacim Artırıcı Madde

Düzenleyici ve hacim artırıcı maddelerin özellikleri (su muhteviyatı, partikül büyüklüğü, kullanılabilir karbon v.b.) kompostlaştırma işlemi ve elde edilecek ürünün kalitesi üzerinde etkili olmaktadır. Hacim artırıcı maddeler ve tipik özellikleri Çizelge 2. 11’de verilmiştir.

Kompost hazırlanırken elde edilecek karışımda aşağıdaki parametreler her bir bileşen için ölçülmeli veya hesaplanmalıdır.

- Toplam hacim
- Toplam ıslak ağırlık
- Toplam katı muhteviyatı (kuru ağırlık olarak)
- Uçucu katı muhteviyatı (kuru ağırlık olarak)
- Su muhteviyatı (ağırlık olarak)
- Yoğunluk (ıslak ağırlık/birim hacim olarak)
- Yüzde su muhteviyatı
- Karışımın yüzde uçucu katı oranı

Statik yığın ve sıralı yığın kompostlaştırma için %40 kuru madde muhtevasına sahip kompost karışımı gerekli olmaktadır. Bu oran, reaktörlü kompostlaştırmada havalandırma sistemlerine bağlı olarak biraz daha düşük olabilmektedir. Bu oranın (%40) üzerindeki kompostlarda toz problemi ile karşılaşmakta ve yeterli biyolojik aktivitenin ve sıcaklığın sağlanması için proses boyunca su takviyesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 2. 11 Hacim artırıcı maddeler ve özellikleri [18]

<i>Hacim Artırıcı Madde</i>	<i>Özellik</i>
Odun Yongası	Satın almak gerekebilir; Olgunlaştırma sonunda elenerek yüksek oranda geri kazanılabilir; Tamamlayıcı karbon kaynağıdır
Çalı / Çırpı	Genellikle atık malzeme olarak temin edilebilir; Olgunlaştırma sonunda elenerek düşük oranlarda; geri kazanılabilir; Tamamlayıcı karbon kaynağıdır; Kompostun olgunlaşma sürecini uzatır
Yaprak ve Bahçe Atıkları	Ufalanarak, küçük partiküller oluşturulmalıdır; Su muhteviyatı değişkendir; Tamamlayıcı karbon kaynağıdır; Diğer maddelere göre porozitesi düşüktür; Elenerek komposttan ayrılamaz ve geri kazanılamaz
Ufalanmış Lastik	Genellikle diğer hacim artırıcılarla karıştırmak gerekir; Karbon kaynağı olarak iş görmez; Hemen hemen %100 oranında geri kazanılabilir; Metal içerebilir
Talaş	Genellikle atık malzeme olarak temin edilebilir; Tamamlayıcı karbon kaynağı olarak zayıf özellik gösterir

Karbon Azot (C/N) Oranı

Başlangıçtaki C/N oranı ağırlık olarak 20:1 ile 35:1 arasında olmalıdır. Eğer C/N oranı 20:1'den küçük olursa karbon, azotun tümünü stabilize etmeden kullanmaktadır. Fazla azot, daha sonra amonyak (NH₃) veya nitröz oksit (N₂O) olarak atmosfere karışmakta ve koku problemine neden olmaktadır. Eğer bu oran, 40:1'den fazla ise bu sefer de mikroorganizmaların fazla karbonu kullanması için geçen süre uzadığı için kompostlaştırma süresi de artmaktadır.

Eğer karbon bozunması zor bir formda ise kompostlaştırma yavaşlar. Bozulma partikül yüzeyinde olduğundan porozite problemi yoksa partikül boyutu azaltılarak, yüzey alanı ve buna bağlı çözülebilirlik arttırılabilmektedir.

Uçucu Katılar

Kompost karışımının uçucu katı oranı, toplam katı oranından %30 daha fazla olmalıdır. Susuzlaştırılmış çamur, genellikle katı muhteviyatının ayarlanması için düzenleyici veya hacim artırıcı maddelere ihtiyaç duymaktadır [8].

Oksijen ve Havalandırma

Aerobik kompostlaştırmada fazla miktarda oksijen tüketilir. Kompostlaştırmanın ilk günlerinde ham maddenin kolay çözülebilir karışımları hızlı metabolize olur. Bu nedenle, oksijen ihtiyacı ve ısı üretimi en fazla ilk basamaklarda olur ve proses ilerledikçe azalır. Eğer oksijen kaynağı sınırlıysa kompostlaştırma işlemi yavaşlar. Kompost yığınının gözenek boşluklarında ki oksijen konsantrasyonunun en az %5 olması gerekir (havada %21 O₂).

Eğer ortamda yeterli oksijen bulunmazsa madde anaerobik olur. Anaerobik bozunma farklı mikroorganizma yapısı ve farklı biyokimyasal reaksiyonları gerektirir. Ayrıca anaerobik proses aerobik prosesten daha yavaş ve verimi daha azdır. Maddelerin yapısındaki suyu buharlaştırmayı sağlayan ısı üretimi de azdır. Anaerobik proseslerde CH₄, organik asitler, H₂S ve diğer maddeleri de içeren ara ürünler oluşur. Bu bileşiklerin 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 için aerobik koşulların korunması gerekir.

Havalandırma işlemi oksijen sağlamanın yanında kompost içinde hapsolan ısı, su buharı ve diğer gazları giderir. Aslında ısı giderimi için gerekli havalandırma miktarı oksijen sağlamak için gerekli havalandırma oranından 10 kat fazla olabilir. Bu yüzden ne kadar ve hangi sıklıkla havalandırmanın gerektiği sıcaklığa göre belirlenebilir. Su muhtevasını azaltmak için gereken havalandırma oksijen sağlamak için gereken havalandırma miktarından fazla ama ısı giderimi için gerekli havalandırma oranından azdır [29].

Nem

Mikroorganizmaların metabolik işlemleri gerçekleştirmesi için neme ihtiyaçları vardır. Su kimyasal reaksiyonlar için uygun ortamı ve mikroorganizma hareketini sağlar ve besin maddelerini taşır. Teoride, maddeler doygun olduğunda biyolojik aktivite optimumdur. Su muhtevası %15'in altına düştüğünde biyolojik aktivite tamamen durur. Uygulamada kompost maddesinin su muhtevasının %40-65 gibi daha dar bir aralıkta tutulması gerekir.

Su muhtevası %40'ın altına düştüğünde mikrobiyal aktivite yavaşlar. Eğer su muhtevası %65'den büyük olursa su kompost maddesinin gözeneklerindeki hava ile yer değiştirir. Bu durum hava akımını önler ve anaerobik koşulların oluşmasına neden olur.

Kompostlaştırma esnasında su yığından buharlaştıkça nem seviyesi değişir ve yağmur ve karla yerine gelir. Genellikle ilave edilenden fazla su buharlaşır bu yüzden kompost prosesi ilerledikçe su muhtevası düşme eğilimi gösterir [29].

pH

pH değeri katı atıkların kompost yapılması durumunda, hem kompostlaştırmanın verimli bir şekilde gerçekleşmesi ve hem de kompostun arazide kullanılması halinde bitki hayatı için önemlidir[29].

Kompostun pH seviyesi 6 ile 9 aralığında olmalıdır. Optimum aerobik ayrıştırmanın sağlanabilmesi için ise pH seviyesi 7 ile 7,5 arasında tutulmalıdır. pH değeri, yüksek azot muhtevalı maddelerde önem taşımaktadır. Ortamın pH'ı 8,5'dan büyük olduğu zaman azot bileşikleri amonyağa dönüşerek ve koku problemine neden olmaktadır. Daha düşük pH seviyelerinde amonyak oluşumu azalmaktadır.

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. Daha fazla patojeni, yabancı ot kaynaklarını ve uçan larvaları yok ettiğinden dolayı termofilik sıcaklıklar daha makuldür. Yönetmeliklerde insanlara zararlı patojenler için kritik sıcaklık 55°C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta patojenlerin çoğu ölür. Yabancı ot kaynakları için kritik sıcaklık ise 63°C'dir.

Kompostlaştırma esnasında mikrobiyal bozunma ile fazla miktarda enerji ısı şeklinde açığa çıkar. Kompostlaştırma maddesinin kendi kendini çürütme özelliği sıcaklığın yükselmesine neden olan ısı birikimine yol açar. Isı birikimi sıcaklığın 60°C'nin üzerine çıkmasına neden olur. Devam eden mikrobiyal aktivitenin ürettiği ısı, ve kompost maddesinin kendini çürütme özelliği yüzünden sıcaklık 71°C'nin üzerine yükselir. Bu sıcaklıkta bir çok mikroorganizma tahrip olur veya canlılığını yitirir. Proses durur ve mikroorganizmaların popülasyonu eski durumuna gelene kadar başlamaz. Bu gibi durumların önüne geçmek için sıcaklık sürekli izlenmelidir. Sıcaklık 60°C'ye yaklaştığında basınçlı havalandırma veya döndürme ile ısı kaybı hızlandırılmalıdır. Termal ölüm gerçekleşirse yığın daha aktif maddelerle karıştırılarak iyileşmesi çabuklaştırılabilir [29].

Patojen Kontrolü

Eğer kompost iyi kontrol edilebilirse, patojenler, yabancı ot kaynakları ve larvalar kompostlaştırma süreci içerisinde yok edilebilmektedirler. Bunun sağlanabilmesi için sıcaklık 24 saat boyunca 60°C ve 70°C civarında tutulmalıdır.

03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Evel ve Kentel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik" Ek I-D'de toprakta kullanılabilecek arıtma çamuruna uygulanan stabilizasyon yöntemi sonucunda E. Coli'nin en az 2 Log10 (% 99) indirgenmesi sağlanmalıdır [22]. EPA patojen kontrolü ile ilgili olarak A Sınıfı ve B Sınıfı biyokütle elde edebilmek için gerekli şartları detaylarıyla tanımlamaktadır. EPA standartlarına göre, A Sınıfı biyokütle elde edebilmek için, reaktör tipi ve havalandırma statik yığın kompostlaştırmada biyokütlenin sıcaklığını üç (3) gün boyunca 55°C ve üzerinde tutmak gerekirken, sıralı yığın metodunda biyokütlenin sıcaklığını 15 gün ve daha uzun sürelerde 55°C ve daha üzerinde tutmak gerekmektedir. Kompost 55°C ve üzerindeki sıcaklıklara ulaştığında ise sıralı yığın en az beş kez döndürülmelidir. Diğer taraftan, B Sınıfı biyokütle elde etmek için tarif edilen kriter; tüm kompostlaştırma metotları için biyokütlenin sıcaklığını beş gün boyunca 40°C ve üzerinde tutmak ve bu beş günlük periyot içerisinde de kompost sıcaklığının dört saat boyunca 55°C'lere çıkarmak olarak tanımlanmaktadır. Arıtma çamurunda yoğun olarak rastlanan patojen ve parazitlerin hangi sıcaklıklarda bertaraf edilebileceği Çizelge 2. 12'de verilmiştir.

Çizelge 2. 12 Komposttaki patojen ve parazitlerin bertarafı için gerekli sıcaklık ve süreleri [18]

Organizma	İnceleme Sonucu
Salmonella typhosa	46°C'nin üzerinde gelişemez. 55-60°C'de 30 dakikada ve 60°C'de 20 dakikada ölmektedir. Kompostlaştırmada kısa zamanda yok edilebilmektedir.
Salmonella sp.	55°C'de 1 saatte ve 60°C'de 15-20 dakikada ölmektedir.
Shigella sp.	55°C'de 1 saatte ölmektedir.
Escherichia coli	55°C'de 1 saatte ve 60°C'de 15-20 dakikada çoğu ölmektedir.
Entamoeba histolytica cysts	45°C'de bir kaç dakika içerisinde ve 55°C'de bir kaç saniyede ölmektedir.
Taenia saginata	55°C'de bir kaç dakika içerisinde ölmektedir.
Trichinella spiralis larvası	55°C' çabucak, 60°C'de aniden ölmektedir.
Organizma	İnceleme Sonucu
Brucella abortus veya Br.suis	62-63°C'de 3 dakika içerisinde ve 55°C'de 1 saat içerisinde ölmektedir.
Micrococcus pyogenes var.aureus	50°C'de 10 dakikada ölmektedir.
Streptococcus pyogenes	54°C'de 10 dakika ölmektedir.
Mycobacterium tuberculosis var.hominis	66°C'de 15-20 dakikada veya 67°C'ye anlık ısıtma ile ölmektedir.
Corynebacterium diphtheria	55°C'de 45 dakikada ölmektedir.
Necator americanus	45°C'de 50 dakikada ölmektedir.
Ascaris lumbricoides yumurtaları	50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda 1 saatten kısa sürede ölmektedir.

Karıştırma

Kompostlanan malzeme belirli bir takvime göre veya gerektiğinde döndürülmekte veya karıştırılmaktadır. Bu işlem, kompostun kurumasını ve topaklaşmasını engellediği gibi, sıcaklık dengelemesi ve kompostta yeterli oksijenin sağlanması amacı ile de yapılmaktadır. Döndürme ve karıştırma işleminin uygulanma sıklığı kompostlaştırmanın tipine bağlı olmaktadır.

Ağır Metaller ve Eser Organik Maddeler

Aritma çamurundaki ve komposttaki ağır metal ve eser organik madde konsantrasyonları dikkatli bir şekilde izlenmeli ve bu konudaki mevzuata ve son ürün kullanımına uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Saha Seçimi

Saha seçiminde, büyüklük (kompostlaştırma için yeterince alan olmalı), ulaşım kolaylığı, arıtma tesisine yakınlığı, iklim şartları v.b. hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir [8].

2.4.4.5 Kompostun Faydaları ve Kullanım Alanları

Kompostun faydaları elde edilen ürünün tarımda, bahçecilikte ve diğer alanlarda (toprak iyileştirme, organik gübre ve peyzaj çalışmaları gibi) kullanılabilmesi, organik katı atıkların biyolojik olarak stabil son ürünlere dönüşümünün olması, atıktaki patojen bakterilerin etkin biçimde giderilebilmesi, toprak erozyonu kontrolü sağlanabilmesi, zeminin boşluk hacmini arttırabilmesi, havalandırılmasını kolaylaştırabilmesi ve su tutma kabiliyeti arttırabilmesi, zor işlenen toprakların kolay işlenmesini sağlaması, yüksek mineralli gübrelemeye karşı tamponlama görevi yapabilmesi ve böylece bitkilerin zarar görmesinin önlenmiş olması, besin maddelerinin daha iyi kullanılabilmesi, gübre tüketiminin azaltılması, bu yolla çevre kirliliğini azaltılmasının ve ekonomik giderlerde tasarrufun sağlanabilmesi olarak özetlenebilir [32].

Kompostun başlıca kullanım alanları tarla ve bahçe uygulamalarında, seracılık, meyvecilik, fidanlık, çiçekçilik ve şifalı bitki dikimlerinde, golf sahaları, peyzaj çalışmaları, çim sahaları, parklar ve oyun alanlarında, yol kenarları, mezarlıklar ve askeri tesislerde, maden çıkarılmış alanlar, eski kum ve çakıl ocaklarının rehabilitasyonunda, erozyon kontrolünde, koku gideriminde filtre malzemesi olarak, düzenli depolamada son örtü malzemesi olarak ve yanmış orman alanlarının rehabilitasyonu olarak özetlenebilir [32].

2.4.5 Çeşitli Ülkelerde Uygulanan Çamur Bertaraf Yöntemleri

Türkiye’de olduğu gibi, diğer ülkelerde de atıksu arıtma tesislerinin sayısı arttıkça artan arıtma çamuru büyük bir sorun olmaya başlamıştır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek amacıyla ülkeler çeşitli bertaraf ve arıtım yöntemlerine başvurumaktadırlar.

Avusturya

Avusturya’da toplam arıtma çamurunun %20’si tarımda kullanılmakta, %32’si ise yakılarak bertaraf edilmektedir. Ülkede, özellikle Avusturya Tarım Birliği’nin girişimleri ile çamurun tarımda kullanılmasının yasaklanması 1996’dan bugüne ulaşan bir tartışma konusu olmuştur. 1999 yılında su ve atıksu arıtımı ile ilgili bir çalışma grubu oluşturulmuş olup bu grup çalışmalarına bugün de devam etmektedir.

Yasak olmamasına rağmen arıtma çamurundan kaynaklanabilecek problemler hakkında çiftçilerin tedirginliklerinin giderilememesi, tarımsal kullanımın sınırlı kalmasına yol açmıştır. Yakma ve yeşil alanlarda organik gübre olarak kullanımı daha çok tercih edilmektedir.

Belçika

Belçika’nın Flanders bölgesinde 1 Aralık 1999 tarihinde yayımlanan kanunla arıtma çamurunun tarımsal alanlarda kullanımı kesinlikle yasaklanmıştır. Yakılarak bertaraf edilme seçeneği ise emisyon yönetmelikleriyle getirilen sınırların gerektirdiği yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle tercih edilmemektedir.

Özellikle Walloon bölgesinde yüksek kapasiteli atıksu arıtma tesisleri nedeniyle çok miktarda çamur üretilmektedir. Walloon Hükümeti 12 Ocak 1995 yılında yayımladığı kararnamede arıtma çamurunun toprakta kullanımını düzenlemiştir. Walloon bölgesinde, Flander bölgesinde olduğu gibi emisyonlar nedeniyle yakma ile bertaraf sınırlandırılmış olup çamur genel olarak toprak iyileştirme ve yeşil alanlarda kullanılmaktadır.

Danimarka

Danimarka’da arıtma çamurunun toprakta kullanımı 20 Ocak 2000 tarihinde yayımlanan kararname ile revize edilmiştir. Özellikle ağır metal limit değerlerini AB genelindeki tüm ülke değerlerinin altına çekerek arıtma çamurunun toprakta kullanımı

sınırlandırılmıştır. Buna rağmen ülkede oluşan toplam arıtma çamurunun %62'si toprakta kullanılırken, %21'de yakılarak bertaraf edilmektedir. %62'lik oranın önümüzdeki dönemde düşmesi beklenmektedir.

Endüstriyel sanayi atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur, daha stabil ve kontrol edilmesi daha kolay olması nedeniyle üreticiler tarafından tarımsal uygulamada daha çok tercih edilmektedir. Ancak bu çamurda tarımsal kullanım için temel sorun olarak, bitkinin büyümesi için gerekli besin maddelerini yeterli oranlarda barındırmaması görülmektedir.

Finlandiya

Finlandiya arıtma tesislerden çıkan yıllık 150.000 ton çamurun %31'ini tarımsal alanda kullanmaktadır. 5 Aralık 1994 yapılan düzenlemelerle ağır metal limit değerleri aşağı çekilmiştir. Arıtma çamuru yeterince uygun alan olmadığından toprak zenginleştirme için kullanılamamaktadır. Tarımsal kullanım dışında çamur büyük oranda düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir.

Fransa

Fransa'da arıtma çamurunun toprakta kullanımı 1998 yılında kanuni düzenlemeye kavuşmuştur. 2000 yılında ülkede üretilen çamurun %25'lik kısmı depolama sahalarında bertaraf edilirken 2005 yılında üretilen çamur miktarının %50 oranında artış göstermesiyle depolama sahaları çamur bertarafı için ekonomik seçenek olmaktan çıkmıştır. Fransa'da arıtma çamurunun toprakta kullanımı oldukça yaygın olup bugün tesislerden çıkan çamurun %75'i gübre veya toprak zenginleştirici olarak kullanılmaktadır.

Almanya

6 Mart 1997'de kanunda yapılan değişikliklerle arıtma çamurunun tarımsal alanda kullanımı üretilen çamurun %60'ından %40'ına kadar düşmüştür. Genel olarak hükümet arıtma çamurlarının toprak zenginleştirmede kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Ancak birçok eyalette çamurun toprakta kullanılması konusunda karşı görüş hakim durumdadır.

Yunanistan

Yunanistan'da tesislerden çıkan arıtma çamurunun %10'u tarımsal alanlarda organik gübre olarak kullanılırken geriye kalan %90'ı gerekli arıtıma tabi tutulduktan sonra düzenli depolama sahalarında depolanmaktadır. Yakarak bertaraf hava kirliliği oranının yüksek olduğu Yunanistan'da tercih edilmemektedir.

İrlanda

İrlanda'da bugün yıllık üretilen 43.000 ton kuru maddelik toplam arıtma çamurunun %54'ü toprak zenginleştirmede kullanılmaktadır. Depolama sahaları ve yakma tesisleri kurulacakları bölgede halk tarafından istenmediği için yerel yönetimler bu konuda risk almak istememektedirler.

İtalya

İtalya, ürettiği yıllık 800.000 ton kuru madde içeren arıtma çamurunun % 34'ünü ülkenin orta ve kuzey kısımlarında organik gübre olarak kullanmaktadır. Diğer taraftan toplam çamurun yarısı katı atık depolama sahalarına gönderilmektedir. Gelecek zamanda yer sıkıntısı çekileceği düşünülmesi nedeniyle ülkede yakarak bertaraf önem kazanmaktadır. Özellikle endüstriyel tarım firmalarının tarımsal uygulamayı tercih etmemesi sebebiyle son yıllarda yakma tesisi sayısı artan çamur miktarı ile hızlı bir artış göstermiştir.

Lüksemburg

Lüksemburg'da 1990 yılında yürürlüğe giren kanunlarla arıtma çamurunun organik gübre olarak kullanımı yasaklanmıştır. İlerleyen yıllarda arıtma çamurunun kalitesinin artırılması ve gerekli kanuni düzenlemenin gerçekleştirilmesi sonucunda ülkede tarımda kullanım yaygınlaşmıştır. Çamurun depolama alanında bertarafı toplamın %18'i oranındadır.

Hollanda

20 Kasım 1990 yılında yayımlanan kararname sonucunda toprakta kullanım kısıtlanmış ve %4 oranına kadar gerilemiştir. Daha sonra diğer ülkelerde olduğu gibi çamur kalitesinin iyileşmesi ve takip eden düzenlemelerle bu oran %44'e yükselmiştir. Çamurun %53'lük kısmı ise depolama sahalarına gönderilmektedir.

Portekiz

Portekiz’de birçok çamurun gübre değerin ve organik içeriğinin genel olarak yüksek olması nedeniyle toprakta kullanım desteklenmektedir. Ülkede, Çevre Bakanlığı çamurun iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yürütmektedir. Yıllık arıtma çamuru üretim miktarı 200.000 ton kuru madde olan bu ülkede çamurun %80’i toprakta kullanılmaktadır.

İspanya

İspanya hükümeti de Portekiz’e benzer sebeplerle çamurun hem toprak iyileştirmede hemde organik gübre olarak kullanımı desteklemiş ve bunun için gerekli düzenlemeleri yapmıştır. Yıllık üretimi 700.000 ton kuru madde olan bu çamurun %33’ü organik gübre olarak %30’u ise toprak zenginleştirme ve diğer alanlarda kullanılmaktadır.

İsveç

İsveç’te, 90’lı yıllarda çiftçiler hükümetin çamuru organik gübre olarak kullanma politikasına karşı çıkmıştır. 1994 yılında Çiftçiler Birliği ve Çevre Koruma Ajansının yaptığı anlaşmada ürünün kalitesi güvence altına alınmış ve toprakta kullanım arttırılmıştır. Ancak 1999 yılında ürünlerde çıkan ağır metal nedeniyle çiftçiler birliği çamurun tarımda kullanımı tamamen yasaklamıştır.

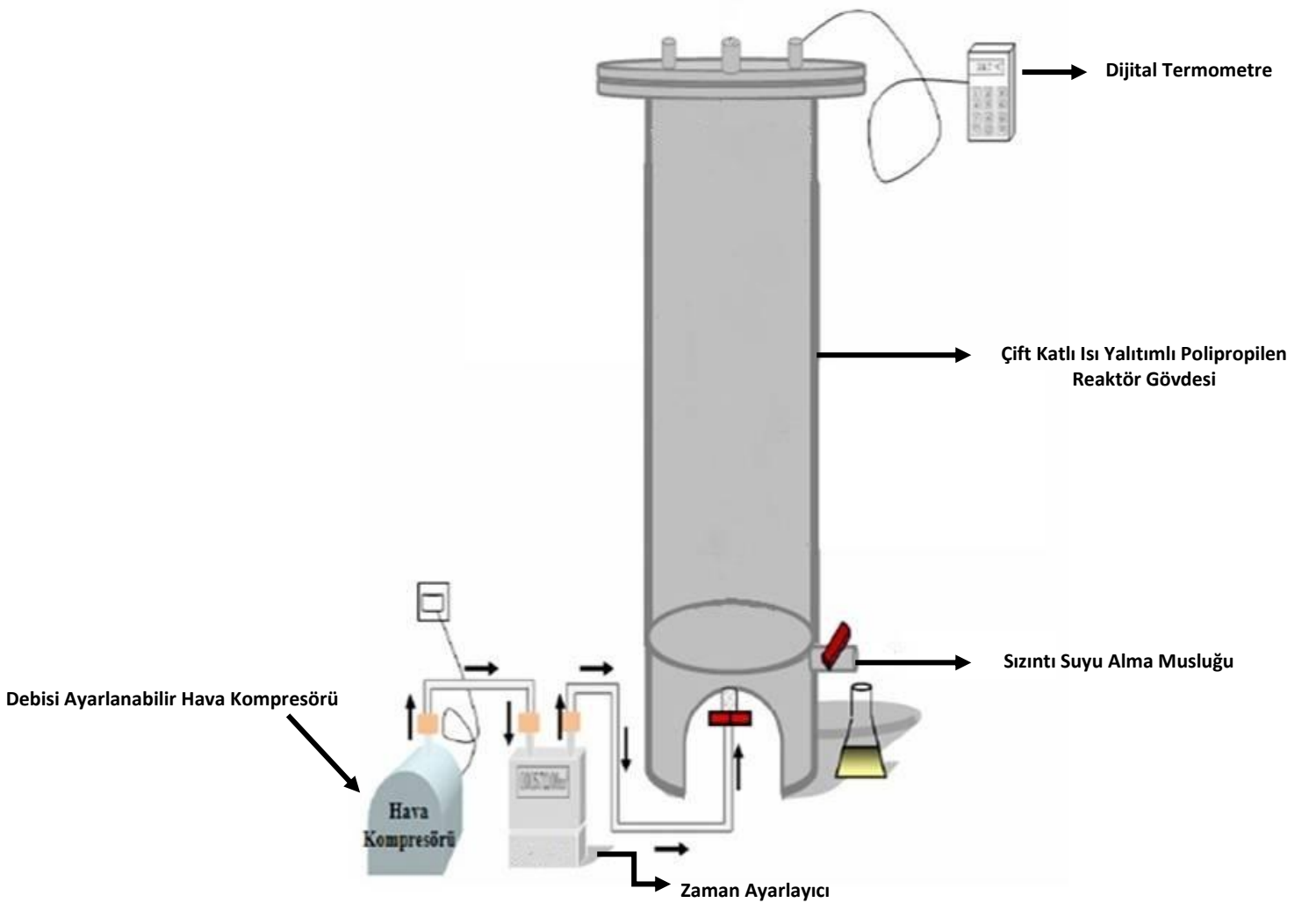
İngiltere

İngiltere Perakende Satış Birliği, gıda endüstrisinde çamurda bulunan patojen ve ağır metal miktarları nedeniyle organik gübre olarak kullanılmamasını talep etmiştir. Sonrasında, Perakende Satış Birliği, Çevre Ajansı, Çevre Bakanlığı ve Tarım Bakanlığının yaptığı antlaşma sonucunda güvenli çamur matrisi oluşturulmuş ve toprakta kullanımı yaygınlaştırılmıştır. Bu matrise göre ham çamurun sebze ve meyvelerde, çiçekçilikte ve yeşillendirme çalışmalarında kullanımı yasaklanmıştır. Ancak çamur işlendikten sonra çiçekçilik ve yeşil alanlarda, gelişmiş ya da ileri bir teknoloji ile işlem gördüğünde meyve ve sebzeler de kullanılması serbest bırakılmıştır. İngiltere yıllık toplam 1.075.000 ton kuru maddelik çamur üretmekte ve bunun %38’ini toprakta kullanmaktadır. Çamurun %43’ü depolama sahalarına gönderilmekte ve %10’u da yakılarak bertaraf edilmektedir [8].

MATERYAL METOD

3.1 Kompostlaştırma Reaktörleri

Evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının kentsel katı atıklarla birlikte kompostlaştırılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışma kapsamında 40 cm çapında ve 100 cm yüksekliğinde 6 adet reaktör kullanılmıştır. Reaktörlere evsel atıksu arıtma tesisi çamurları ve evsel katı atıklar farklı oranlarda karıştırılarak aerobik olarak kompostlaştırılmak üzere depolanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan evsel atıksu arıtma tesisi çamuru-kentsel katı atık karışım oranları Çizelge 3. 1’de, reaktörlere ait detaylar ise Şekil 3. 1 ve Şekil 3. 2’de verilmiştir.



Şekil 3. 1 Kompostlaştırma reaktörünün şematik gösterimi



Şekil 3. 2 Kompostlaştırma reaktörleri

Çizelge 3. 1 Çalışmada kullanılan reaktörler ve içerikleri

<i>Reaktör</i>	<i>İçeriği</i>
R1	% 0 Arıtma Çamuru + % 100 Katı Atık
R2	% 20 Arıtma Çamuru + % 80 Katı Atık
R3	% 40 Arıtma Çamuru + % 60 Katı Atık
R4	% 60 Arıtma Çamuru + % 40 Katı Atık
R5	% 80 Arıtma Çamuru + % 20 Katı Atık
R6	% 100 Arıtma Çamuru + % 0 Katı Atık

Reaktörlerin yapımında yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olması sebebiyle 0,5 cm kalınlığında polipropilen malzeme tercih edilmiştir. Ayrıca dışarıdan ısı alışverişini engellemek amacıyla reaktörlerin dışına yine 0,5 cm kalınlığında ikinci bir polipropilen tabaka yapılmış ve iki tabaka arası ısı yalıtım malzemesi ile doldurulmuştur. Reaktörlerin tabanına, oluşabilecek sızıntı sularının drenajını ve havanın eşit şekilde dağılımını sağlamak amacıyla 1 cm çaplı delikli polipropilen tabaka yerleştirilmiştir. Reaktör tabanına yerleştirilen polipropilen tabaka Şekil 3. 3'te gösterilmiştir. Bu tabakanın üzerine atıklar doldurulmadan önce 15-20 cm çakıl tabakası yerleştirilmiştir. Çakıl tabakası Şekil 3. 4'te gösterilmiştir. Ayrıca reaktörlere verilen havanın yeterli şekilde dağılımını sağlamak ve aktif kompostlaştırma prosesini hızlandırmak amacıyla reaktörler haftada 1 kez karıştırılmıştır. Havalandırma işlemi debisi ayarlanabilir pompa ile sağlanmıştır. Reaktörlerde atık sıcaklığının kontrol edilmesi amacıyla her reaktörün ortasına (atık yüzeyinden 40 cm derinlikte) sıcaklık probu yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 3 Reaktör tabanında bulunan 1 cm çaplı delikli polipropilen tabaka



Şekil 3. 4 Çakıl taşı tabakası

3.2 Kompost Materyalinin Temini

Kompost üretiminde kullanılan arıtma çamurları Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nden, kentsel katı atıklar ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nden temin edilmiştir. Kompost tesisinden temin edilen atıklar tesiste 80 mm'lik elekten geçen ve fermentasyon ünitesine gönderilen atıklardan ibaret olduğundan dolayı ayrıca bir ayırma ve boyut azaltma işlemi uygulanmamıştır. Evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının ve evsel katı atıkların karıştırılması ve kompost reaktörlerine doldurulması Şekil 3. 5 ve Şekil 3. 6'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 5 Atıkların karıştırılması



Şekil 3. 6 Atıkların kompost reaktörlerine doldurulması

3.3 Kompost Prosesinin İzlenmesi

Reaktörlere doldurulmak üzere hazırlanan katı atıkların ve evsel arıtma çamurlarının, çalışma başlangıcında fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca her bir reaktöre doldurulacak karışımlardan da numuneler alınarak aynı analizler tekrarlanmıştır. Çalışma başlangıcında ve sonunda yapılan analizlerin tekrarlanması ile atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişiklikler tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler ile uygulanan yöntemler ve ölçüm sıklığı Çizelge 3. 2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Analiz yöntemleri [35]

Katı Atık ve Çamur Analizleri		
pH	Methods of Soil Analysis	15 günlük
Su muhtevası	Methods of Soil Analysis	15 günlük
Uçucu Katı Madde (UKM)	Methods of Soil Analysis	15 günlük
TKN	Methods of Soil Analysis	15 günlük
Toplam Organik Karbon	Methods of Soil Analysis	15 günlük
Reaktörlerde sıcaklığın belirlenmesi		
Sıcaklık ölçümleri	Sıcaklık Probu	Günlük

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm bu analizler dışında oluşan kompost kalitesinin belirlenebilmesi için her bir reaktörden elde edilen nihai üründe Fermantasyon Derecesi (Rottegrad), Fitotoksisite (Bitkiye Uygunluk) ve Hijyen analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde uygulanan metotlar ve bunlara ait genel özellikler aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1 pH Tayini

Öğütülmüş numunelerden 1 gram alınarak 10 ml distile su ile erlen içerisinde 30 dakika süre ile karıştırılır. Homojenliği sağlanan karışımın pH'ı pH metre ile ölçülür.

3.3.2 Su Muhtevası Tayini

Bir miktar numune daha önce darası ölçülmüş kap içerisine konulur. Numune ilave edildikten sonra tekrar tartım alınır ve tepsi 105 °C'lik etüv içerisinde 24 saat süre ile bırakılır. 24 saat sonunda etüvden çıkarılan kap soğuması için yarım saat desikatörde bekletilir. Soğuduktan sonra tekrar tartım alınır. İki tartım arasındaki fark su muhtevasını verir.

$$\% Nem = \frac{(\text{İlk Tartım}) - (\text{Son Tartım})}{(\text{İlk Tartım} - \text{Kroze Ağırlığı})} \times 100$$

3.3.3 Uçucu Katı Madde Tayini

Nem analizi için kurutulmuş olan numune öğütücüde öğütülerek toz haline getirilir. Toz haline getirilen numunedan darası alınmış kroze içerisine bir miktar konur. Numune ilave edildikten sonra kroze tekrar tartılır ve 550 °C'de kül fırını içerisine konur. 2 saat yakma işleminden sonra kroze soğuması için 30 dakika desikatörde bekletilir. Kroze soğuduktan sonra tekrar tartım alınır. Aradaki fark uçucu katı miktarını verir.

$$\% UKM = \frac{(\text{İlk Tartım}) - (\text{Son Tartım})}{(\text{İlk Tartım} - \text{Kroze Ağırlığı})} \times 100$$

3.3.4 TKN Analizi

Elenmiş, 105 °C'de kurutulmuş ve öğütülmüş numunedan 0,1 gram alınarak kjeldahl balonuna konulur. Üzerine 10 ml derişik H₂SO₄ ilave edilir. Daha sonra katalizör görevi görmesi amacıyla 1 adet kjeldahl tableti atılır. Kjeldahl balonunun, içerisine kaynatma taşı atılarak parçalama cihazına yerleştirilir. Parçalama işlemi önce 385 °C'de renk yeşil olana kadar, sonra da 420 °C'de 30 dk tutularak gerçekleştirilir. İşlem bitiminde kjeldahl balonu soğumaya bırakılır. Kjeldahl balonu soğuduktan sonra azot distilasyon cihazına alınıp distile edilir. Oluşan NH₃ içinde 50 ml borik asit bulunan 300 ml'lik erlende toplanarak elde edilen distilatın titrasyonu 0,02 N H₂SO₄ ile yapılır. 1 gram numune başına sarf edilen H₂SO₄ miktarından kompostun mevcut TKN değeri belirlenir.

$$TKN \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{280 \times \text{sarfiyat (ml)}}{\text{gram Numune}}$$

3.3.5 TOK Analizi

Aritma çamuru ve katı atık karışımlarının toplam organik karbon muhtevaları Hach-Lange marka, IL 550 TOC-TN model cihaz kullanılarak yüksek ısıda termal oksidasyon yöntemi ile tesbit edilmiştir.

3.3.6 Ağır Metal Analizi

Aerobik reaktörlerde oluşan nihai ürünlerin ağır metal muhtevalarının belirlenmesi için öncelikle bu metallerin tamamen çözeltiye geçirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için ETHOS 1600 marka mikro dalga fırın kullanılmıştır. Kompost numunelerinden 0,4 gram alınarak teflondan yapılmış basınca dayanıklı özel kaplara konulmuş ve

üzerine 6 ml %65 'lik HNO_3 , 3 ml %35'lik HCL ve 0,25 ml %30'luk H_2O_2 ilave edilerek mikro dalga fırında parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Parçalama işlemi tamamlandıktan sonra numune hacmi 100 ml'ye tamamlanmış ve çözeltide bulunan askıda katı maddeler süzme ile uzaklaştırılmıştır. Ağır metal analizleri Perkin-Elmer marka Simaa-6000 model atomik absorpsiyon spektrofotometresiyle belirlenmiştir.

3.4 Kompost Kalitesinin Belirlenmesi

Kompost reaktörlerinden 150 günün sonunda alınan nihai ürünlerin kompost kalitesinin belirlenmesi amacıyla aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

- Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi)
- Fitotoksisite Analizi (Bitkiye Uygunluk Analizi)
- Salmonella Testi (Hijyen Testi)

3.4.1 Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi)

Deney standartlarına uygun olarak alınan kompost numuneleri bir müddet bekletilerek sıcaklıklarının oda sıcaklığına kadar düşmesi sağlanmıştır. Alınan numunelerin fermantasyon derecesini belirlemek üzere numuneler, 10 cm iç çapa sahip 3 litre hacmindeki ISOTHERM Marka Dewar kaplarına doldurulmuştur ve deney oda sıcaklığında sürdürülmüştür. Kompost numunelerinin sıcaklık derecesindeki değişimini izleyip kaydetmek için; Dewar kabına tabandan 15 cm yukarıya maksimum–minimum sıcaklığı ölçebilen dijital termometre yerleştirilmiştir. Ulaşılan maksimum sıcaklığa bağlı olarak fermantasyon derecesi tayin edilmiştir.

3.4.2 Fitotoksisite Analizi (Bitkiye Uygunluk Analizi)

Kompost numunelerinde yapılacak fiziksel ve kimyasal testler kompostun sadece kalite değerleri hakkında bir ön bilgiye sahip olmamıza imkân vermektedir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar kompostun bitki yetiştirme özelliği hakkında yeterli bilgi vermez. Bu sebeple, üretilen kompostlarda bu konunun aydınlanması için, ayrıca bitkiye uygunluk testleri yapılmıştır. Bitkiye uygunluk testinde kompost numunesi sıfır birim toprakla (OBT); %25 ve %50 oranlarında (hacimsel olarak) karıştırılarak 500 ml'lik saksılara,

yerleştirilmiştir. Tere tohumu (*Lepidium sativum*) sıfır birim toprakla beraber, iki ayrı oranda hazırlanan kompost örneklerine ekilmiştir. 7 ile 10 günün sonunda büyümüş olan tere bitkisi hasat edilerek tartılmıştır. İki ayrı kompost karışım oranına göre bitkiye uygunluk yüzdeleri aşağıda verilen bağıntı kullanılarak belirlenmiştir [36].

$$TK (\%25, \%50) = [TK_{\%25, \%50} / TK_{0BT}] * 100$$

Burada:

TK_{%25}: %25’lik Kompost Karışımında Yetişen Taze Tere Otunun Ağırlığı (gr)

TK_{%50}: %50’lik Kompost Karışımında Yetişen Taze Tere Otunun Ağırlığı (gr)

TK_{0BT}: Sıfır Birim Toprakta Yetişen Taze Tere Otunun Ağırlığı (gr)

3.4.3 Salmonella Testi (Hijyen Testi)

Üründe hijyeni belirlemek maksadı ile *Salmonella* testi yapılmıştır. Kompost numunesinden aseptik şartlarda alınan 10 gr numune selenit cystine’li besi yerine alınarak 35 °C’de 18 saat süre ile inhibe edilmiştir. Bu aşamadan sonra çalışma “Salmonella Rapid Test” referans yöntemine göre yürütülmüştür. Çalışmalarda şahit olarak steril su ve *Salmonella sp.* kullanılmıştır.

3.4.4 Sıcaklık Ölçümleri

Atık sıcaklığının değişiminin incelenmesi maksadıyla her bir reaktöre dijital termometreler yerleştirilmiş ve kompost yığınındaki sıcaklık değişimleri izlenmiştir.

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

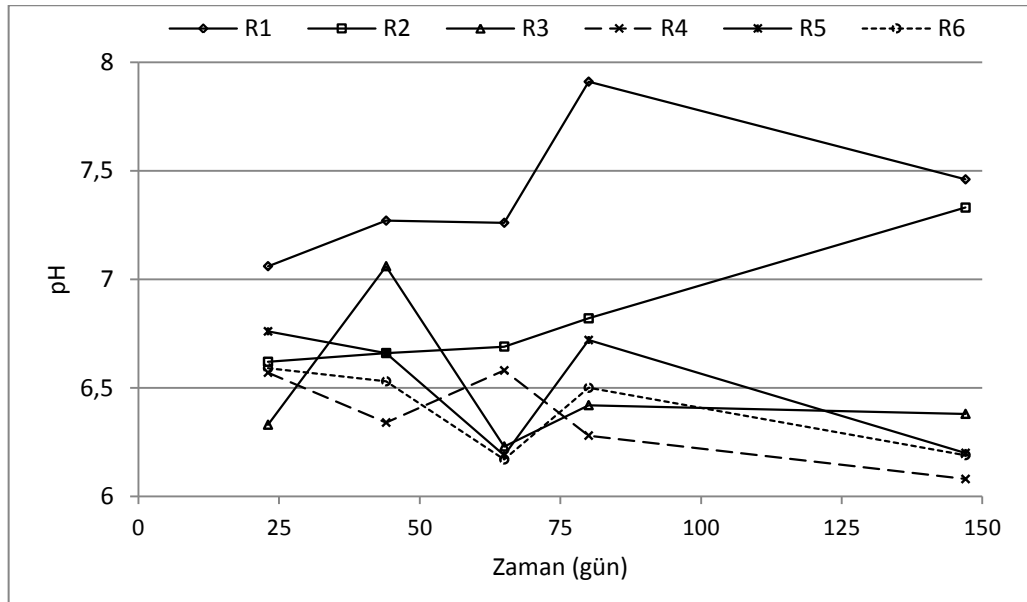
Aritma çamurlarının kentsel katı atıklarla birlikte kompostlaştırılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada reaktörlerde kompostlaştırılan atıkların özelliklerinde meydana gelen değişimlerin izlenmesi maksadıyla; pH, Su Muhtevası, Organik Madde Muhtevası, Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) ve Toplam Organik Karbon (TOK) analizleri gerçekleştirilmiştir. Ek olarak kompostlaştırma prosesi sonunda her bir reaktörden elde edilen nihai ürün üzerinde kompost kalitesinin belirlenmesi amacıyla; Fermantasyon derecesi, Bitkiye uygunluk (Fitotoksosite) analizi, Salmonella (Hijyen) testi ve Ağır Metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

4.1 pH

Birçok mikroorganizma türünün yaşamı için pH aralığı 6-9 iken optimum pH değeri 6.4-7.2 değerleri arasındadır [29]. LAGA standartlarında istenilen minimum pH değeri 7,0 ortalama pH değeri 7,6 ve maksimum pH değeri ise 8,3'tür [37, 38]. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte "Toprağa uygulanacak stabilize arıtma çamurunun pH değeri 6.0-8.5 arasında olmalıdır." ibaresi yer almaktadır [21].

Nakasaki, tarafından, protein ve glikoz kullanılarak kompost prosesindeki aktif organizmaların pH'a duyarlılığını tesbit etmek maksadıyla yapılan çalışmada optimum pH aralığının 7-8 olduğu ve glikozun 6-9 arasındaki pH değerlerinde daha hızlı ayrıştığı belirlenmiştir [39]. Demir, tarafından yapılan anason atıklarının kompostlaştırılması çalışmasında, pH'nın başlangıç aşamasında arttığı ve stabilizasyon sonrasında 8.5

değerlerine ulaştığı belirlenmiştir [40]. Başlangıç değeri ne olursa olsun kompostlaşma süresi sonunda pH 7.8 ile 8 arasında stabil hale gelir [38, 41]. Ayrışma esnasında pH salınım gösterir. Örneğin, organik asitlerin ortaya çıkması kompostlaştırma prosesinin ilk basamaklarında pH'ın düşmesine neden olurken, azotlu bileşiklerden gelen amonyak pH'ı artmasına yol açar. Yapılan ölçümlerde ham katı atık ve arıtma çamurunun başlangıçtaki pH değerleri sırasıyla 6,4 ve 6,0 olarak belirlenmiştir. Kompostlaştırma prosesi boyunca reaktörlerden alınan numunelerde pH'nın zamanla değişimi Şekil 4. 1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi sadece katı atık içeren R1 ile %20 oranında arıtma çamurunun karıştırıldığı R2 reaktörlerinde pH değerlerinin değişimi literatürdeki verilerle uyumlu olup, reaktörlerdeki çamur oranı arttıkça pH değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. LAGA standartlarına göre karşılaştırma yapıldığında sadece katı atık içeren R1 ile %20 oranında arıtma çamuru içeren R2 reaktörlerinden elde edilen nihai ürünlerinin pH değerleri sınır değerler arasında kalırken, R3, R4, R5 ve R6 reaktörlerinden elde edilen nihai ürünlerinin pH değerleri minimum değerlerin altında kalmıştır. Ancak tüm reaktörlerde yapılan ölçümlerde pH değerlerinin mikroorganizma faaliyetleri için gerekli olan 6-9 aralığında değiştiği görülmektedir ve “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te” belirtilen değerler arasında kalmaktadır.



Şekil 4. 1 Reaktörlerde pH nın zamanla değişimi

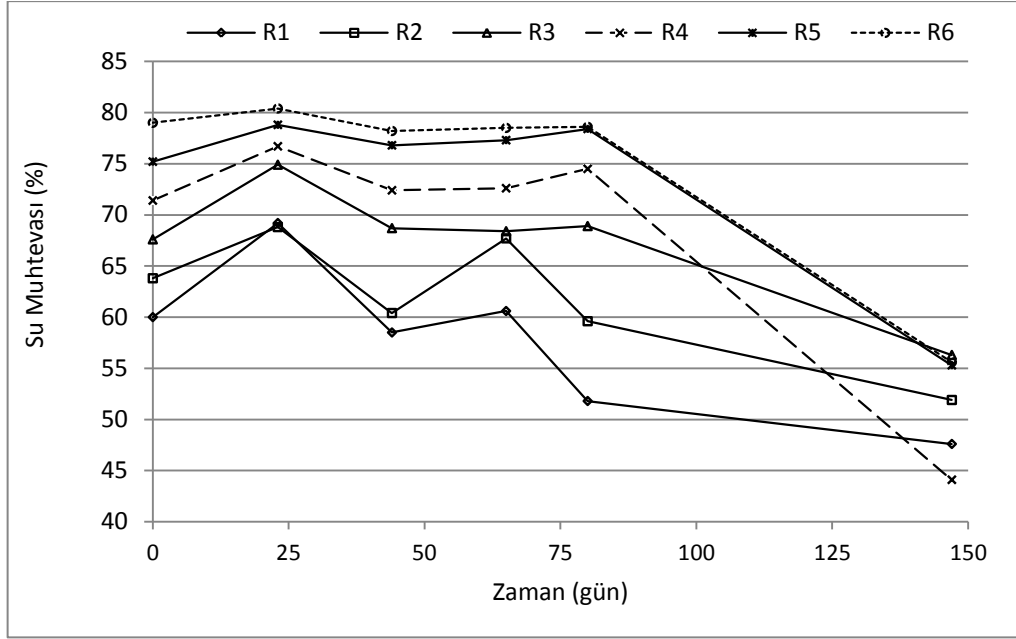
4.2 Su Muhtevası

Mikroorganizmalar çoğalmaları için gerekli besini suda çözülmüş halde bünyelerine almaktadırlar. Yapılarının ortalama %80'i sudur. Bu sebeplerle kompostlaştırma için yeterli su oranı önemli bir faktördür. Ancak suyun fazlası havalandırmayı engellemekte ve özellikle ortamı anaerobik hale dönüştürerek kokulara ve patojen mikroorganizmaların canlı kalmasına neden olmaktadır [42]. Bitmiş kompostta istenilen nem içeriği %30-50 arasında değişmektedir. Kompostun nem oranı %60'dan fazla olduğu zaman araziye uygulanması zordur. Ayrıca nem içeriği fazla olan kompostun satılması, elle işlem yapılması mümkün değildir. LAGA standartlarına göre nihai kompost ürünlerinde istenilen minimum su muhtevası değeri %35 ve maksimum su muhtevası değeri %50'dir [37, 38].

Arıtma çamuru ve katı atık karışımlarının su muhtevasının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen analizlere ait bir görüntü Şekil 4. 2'de verilmiştir. Reaktörlere depolanan ham katı atığın başlangıçtaki su muhtevası %60, arıtma çamurunun su muhtevası ise %79 olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen su muhtevası değerleri Şekil 4. 3'te verilmiştir. Şekil 4. 3'ten de görüldüğü üzere reaktörlerde yaklaşık 150 günlük işletme süresi sonunda elde edilen su muhtevası değerleri %44 ile %56 arasında değişmektedir.



Şekil 4. 2 Su muhtevası analizlerinin gerçekleştirilmesi



Şekil 4. 3 Reaktörlerde su muhtevasının zamanla değişimi

Kompost materyali içerisindeki çamur miktarı arttıkça su muhtevası da beklendiği gibi artmaktadır (Şekil 4. 3). Ancak nihai ürünlerde, uzun süreli depolamadan dolayı su muhtevası hemen hemen birbirine yakın değerlerde çıktığı görülmüştür.

LAGA standartlarına göre karşılaştırma yapıldığında R1 ve R4 reaktörlerinden elde edilen nihai ürünlerinin su muhtevası analiz sonuçları sınır değerler arasında kalırken R2, R3, R5 ve R6 reaktörlerinden elde edilen nihai ürünlerin su muhtevası değerleri maksimum sınır değerinden daha yüksek çıkmıştır. Ancak elde edilen ürünün olgunlaşması için yapılacak bekletme süresi sonunda tüm reaktörlerde istenen su muhtevasının optimum değerleri sağlayabileceği görülmektedir.

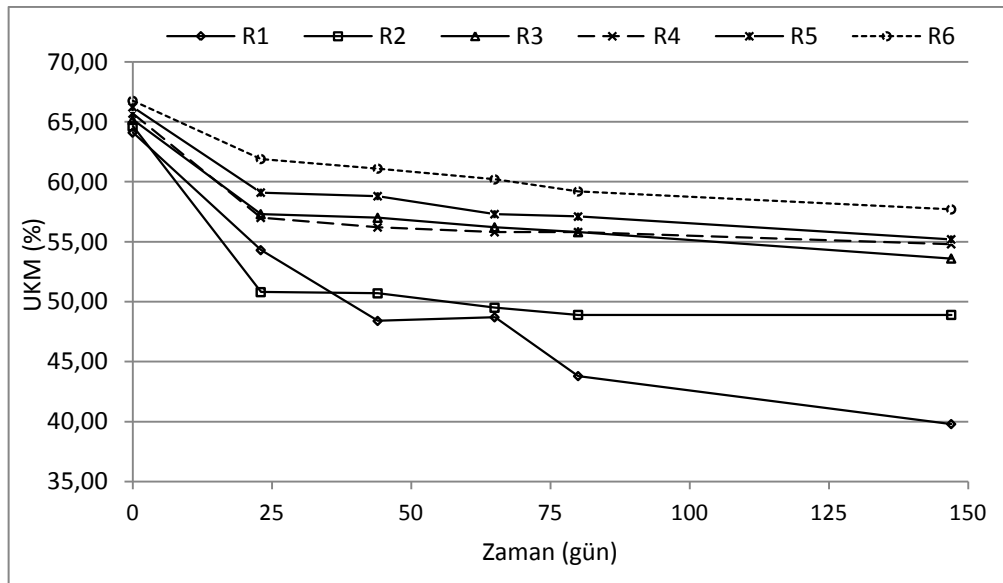
4.3 Organik Madde Muhtevası

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte “Organik madde içeriği %40’dan az olan stabilize arıtma çamurları toprağa uygulanmaz” ibaresi yer almaktadır [21]. LAGA standartlarına göre nihai kompost ürünlerinde istenilen minimum organik madde muhtevası değeri %25, ortalama organik madde muhtevası değeri %35 ve maksimum organik madde muhtevası değeri %45’dir [37, 38].

Arıtma çamuru ve katı atık karışımlarının uçucu katı madde muhtevalarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen analizlerine ait görüntüler Şekil 4. 4'te verilmiştir. Yapılan analizler ile ham katı atık ve arıtma çamurunun başlangıçtaki UKM değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Reaktörlere depolanan ham katı atığın başlangıçtaki UKM değeri %64,1, arıtma çamurunun UKM değeri ise %66,75 olarak belirlenmiştir. Bundan sonra, kompostlaştırmanın devam ettiği yaklaşık 150 günlük işletme süresi sonunda reaktörlerden alınan numunelerde ölçülen UKM değerleri Şekil 4. 5'te verilmiştir.



Şekil 4. 4 UKM analizleri



Şekil 4. 5 Reaktörlerde UKM muhtevanın zamanla değişimi

Reaktörlerden alınan numunelerde ölçülen UKM değerleri incelendiğinde, tüm reaktörlerde organik maddenin ayrışmasına bağlı olarak UKM'nin zamanla azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak, reaktörlerdeki çamur oranı arttıkça havalandırmanın etkin bir şekilde gerçekleşememesi sebebiyle UKM gideriminin istenen düzeyde gerçekleşmediği söylenebilir. Reaktörlerde nihai olarak ölçülen UKM değerleri R1, R2, R3, R4, R5 ve R6 reaktörleri için sırasıyla % 39,8; 48,9; 53,6; 54,8; 55,2 ve 57,7 olarak belirlenmiştir.

İyi bir kompost ve stabil bir ürün elde edilebilmesi için proses süresince, UKM değerinde %50'lik bir azalma meydana gelmesi gerekmektedir. Buna göre R1, R2, R3, R4, R5 ve R6 reaktörlerinde başlangıçta ve nihai üründe ölçülen UKM değerleri göz önünde bulundurularak hesaplanan UKM giderimleri sırasıyla %39, %25, %18, %16, %15 ve %11 olarak belirlenmiştir. Bu durumda reaktörlerde istenen düzeyde ayrışmanın gerçekleşmediği ve stabil bir ürün elde edilemediği belirlenmiştir. LAGA standartlarına göre karşılaştırma yapıldığında R1 reaktöründen elde edilen nihai ürünlerin organik madde muhtevaları analiz sonuçları sınır değerler arasında kalmakta ve standartlara uymaktadır. Ancak tüm reaktörlerden elde edilen organik madde muhtevaları "Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik"te belirtilen % 40 oranından yüksek çıkmış olup toprakta kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

4.4 Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)

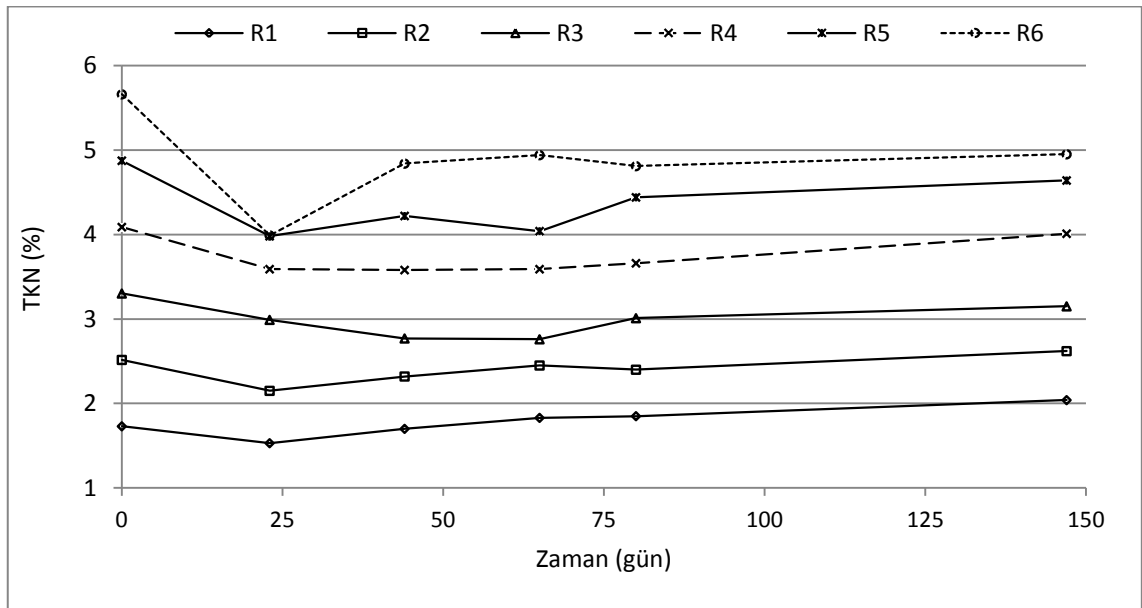
Kompostlaştırma prosesinde yer alan mikroorganizmalar için C, N, P ve K gibi besin maddeleri gereklidir. N, P ve K bitkiler için primer besin maddeleridir. Bu yüzden bunların konsantrasyonu kompostun kalitesini belirler [29]. C veya N miktarının fazla olması kompostlaştırma prosesini önemli derecede etkiler. Mikroorganizmalar karbonu enerji ve büyüme için, azotu ise protein kaynağı ve üreme için kullanırlar. Bu nedenle karbon ve azotun uygun oranlarda olması önemlidir.

LAGA standartlarına göre nihai kompost ürünlerinde istenilen minimum TKN değeri %0,8 mg/kg KM, ortalama TKN değeri %1,1 mg/kg KM ve maksimum TKN değeri %1,5 mg/kg KM'dir [37, 38].

Kompostlaştırma sũresince, reaktũrlerden alınan numunelerde gerçekteştirilen TKN analizlerine ait gũrũntũler şekil 4. 6'da, TKN değerlerinin zamanla değişimi ise şekil 4. 7'de verilmiştir.



şekil 4. 6 TKN analizleri



şekil 4. 7 TKN değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4. 7’de de görüldüğü gibi tüm reaktörlerde alınan numunelerde azot miktarlarında kütle kaybından ileri gelen bir artış görülmektedir. Arıtma çamuru ve ham katı atık numunelerinin TKN konsantrasyonları sırasıyla %5,66 ve %1,73 olarak belirlenmiştir. Stabilizasyon süresi sonunda reaktörlerde ölçülen TKN değerleri sırasıyla % 2,04; 2,62; 3,15; 4,01; 4,64 ve 4,95 olarak belirlenmiştir. Tejada, tarafından yapılan bir çalışmada, aerobik ayrışma süresince karbondhidratlar ayrıştığı için CO₂ kaybı yüzünden azot değerlerinin, %1.34’den %2.96’ya çıktığı belirtilmiştir [43]. LAGA standartlarına göre karşılaştırma yapıldığında tüm reaktörlerinden elde edilen nihai ürünlerin TKN değerlerinin maksimum sınır değerinden daha yüksek çıktığı tesbit edilmiştir.

4.5 C/N Oranı

C/N oranı uzun yıllardır stabilite ve olgunluğun belirtisi olarak kullanılmıştır. Keller [44] tarafından yapılan çalışmada C/N oranı 20’nin altında değerlere sahip ürünler stabil kompost olarak ifade edilmiştir. De Baere ise bu sınırı 18 olarak ortaya koymuştur [12, 45]. Genel olarak kompost prosesi başlangıcında kompost eğer gübre olarak kullanılacaksa C/N oranının 20-40 değerleri arasında olması gerekmektedir [46]. Reaktörlerde elde edilen nihai ürünlerin C/N analiz sonuçları Çizelge 4. 1’de verilmiştir.

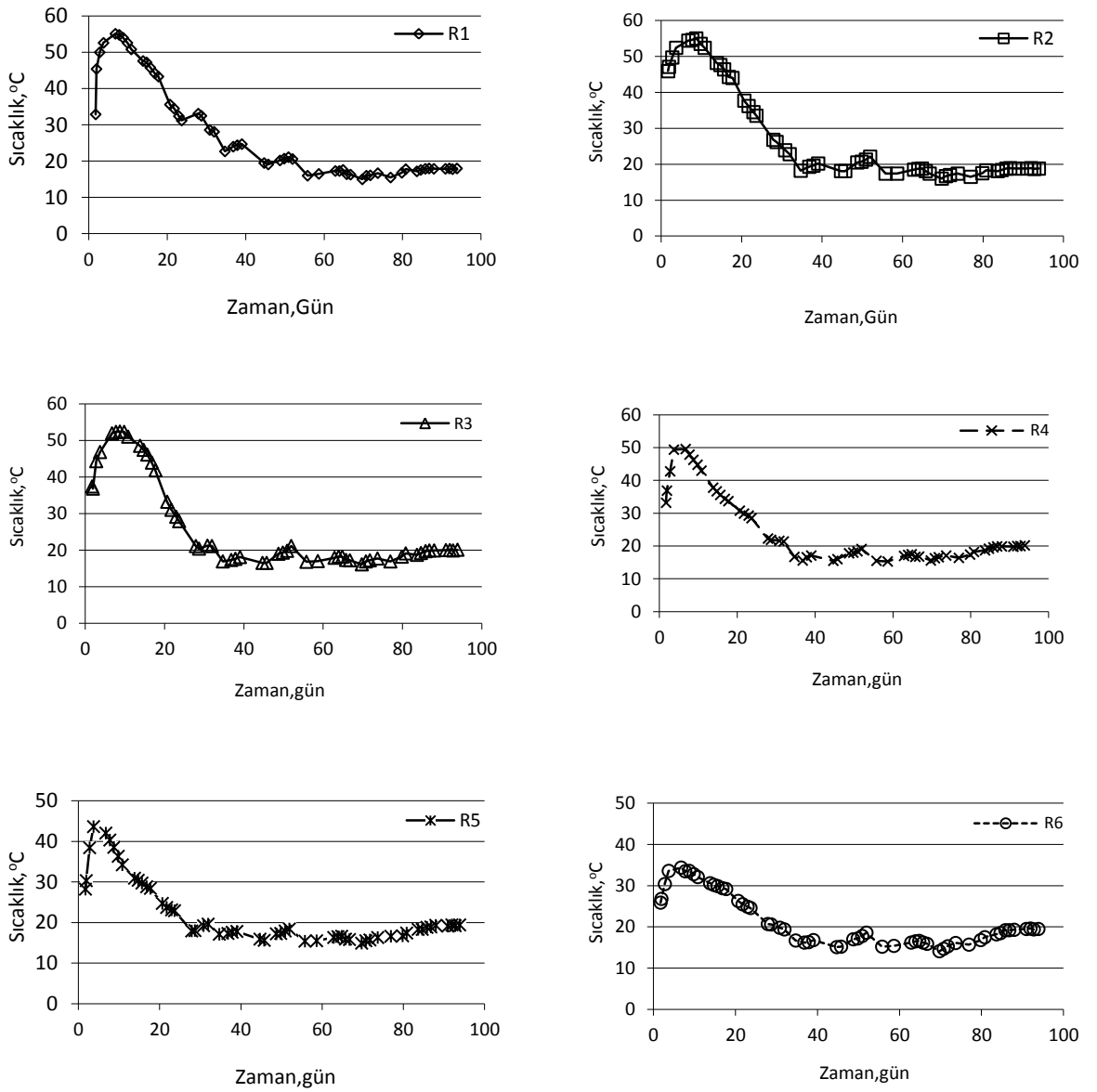
Buna göre reaktörlerden elde edilen kompostun stabil olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, C/N oranı parametresinin kullanımı bazen yanıltıcı olabilmektedir. Örnek olarak ligninin C içeriği yüksek olmakla birlikte, mikroorganizmalar için iyi bir besi kaynağı değildir [47]. Ayrıca özellikle arıtma çamuru kompostlaştırılmasında başlangıç C/N oranı 18 in altında olabilmektedir. Bu nedenle, bu parametrenin yanında başka parametrelerin de kullanılması önerilmiştir. Morel ve diğerleri [48], Jimenez ve Garcia [49], Aydın ve Kocasoy [47], Tosun [50] gibi araştırmacılar stabilizasyon göstergesi olarak (C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç} parametresini kullanmışlardır. Jimenez ve Garcia, (C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç} değerinin farklı kompostlaştırma süreleri için, 0.49 ila 0.85 arasında değiştiğini göstermiştir. Aydın ve Kocasoy tarafından yapılan çalışmada (C/N)_{son}/ (C/N)_{başlangıç} oranı 0.55-0.7, Tosun tarafından ise 0.45-0.6 aralığında bulunmuştur [12]. Bu çalışmada, R1, R2, R3, R4, R5, R6 nolu reaktörlerden elde edilen kompost ürünlerindeki (C/N)_{son}/(C/N)_{başlangıç} değerleri 0.83 - 1 arasında olup, Aydın ve Kocasoy ile Tosun’un ortaya koyduğu değerlerden bir miktar yüksek olmakla birlikte, Jimenez ve Garcia tarafından elde edilen değerlerin üst sınır değerine kısmen uyum göstermektedir.

Çizelge 4. 1 Aerobik kompost numuneleri C/N analiz sonuçları

Kompost Numunesi	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<i>Başlangıç C/N</i>	13	10	9	7	7	6
<i>Bitiş C/N</i>	12	10	9	7	6	5

4.6 Sıcaklık Ölçümleri

Kompostlaştırma süresince reaktörlere yerleştirilen dijital termometreler vasıtasıyla, kompost yığınındaki sıcaklık değişimleri izlenmiştir. Yapılan ölçümlerde elde edilen sıcaklık değerleri Şekil 4. 8’de verilmiştir.



Şekil 4. 8 Reaktörlerde sıcaklık değişimleri

Şekil 4. 8’de görüldüğü gibi R1, R2 ve R3 reaktörlerinde sıcaklık değerleri kompost prosesinde beklendiği gibi ilk birkaç gün içerisinde yükselerek 50 °C’nin üzerine çıkmış ve daha sonra azalmaya başlamıştır. Reaktörlerde çamur oranı arttıkça ölçülen maksimum sıcaklık değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Bunun başlıca sebepleri, çamurun su muhtevasının yüksek oluşu ve buna bağlı olarak reaktörlere verilen havanın atık kütlesi içerisinde yeterli miktarda yayılamamasıdır. Sıcaklık değerleri göz önüne alındığında arıtma çamurunun %40 oranına kadar katı atıklarla birlikte karıştırıldığında kompostlaştırma prosesi üzerinde olumsuz bir etki görülmediği ortaya çıkmaktadır.

4.7 Kompost Kalitesinin Belirlenmesi Amacıyla Gerçekleştirilen Analizler

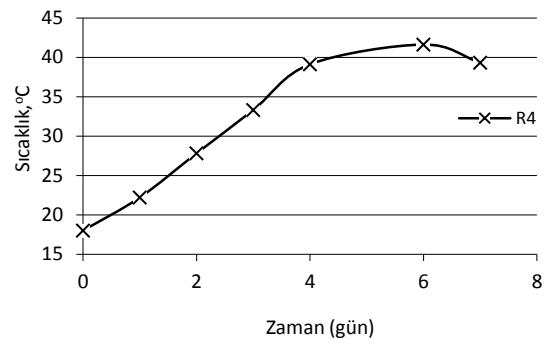
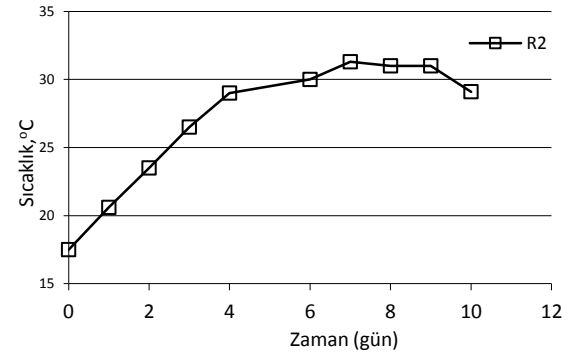
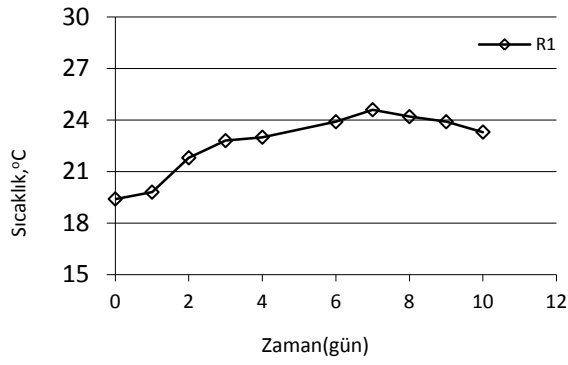
Arıtma çamuru ile kentsel katı atıkların birlikte kompostlaştırılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, kompostlaştırma prosesine ilave olarak elde edilen kompostun kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi), Fitotoksisite Analizi (Bitkiye Uygunluk Analizi), Salmonella Testi (Hijyen Testi) ve Ağır Metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde kompost kalitesinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu analizlerden elde edilen sonuçlara yer verilmiş ve bu sonuçların standartlarla ve birbirleriyle karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

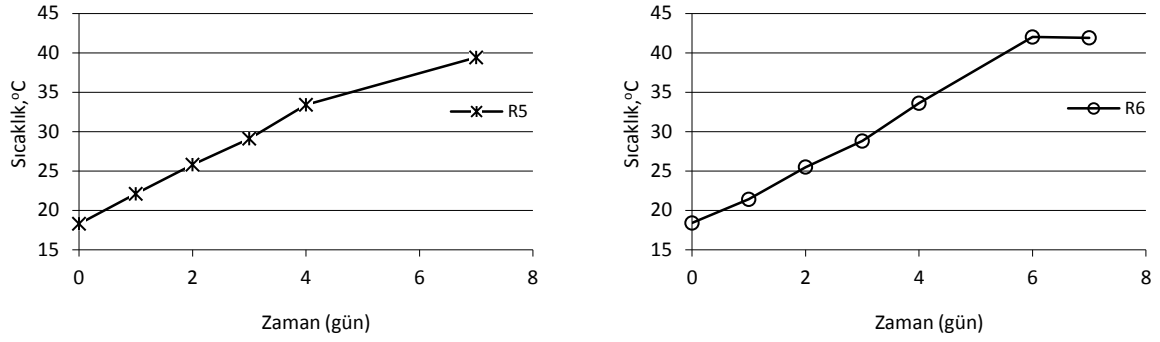
4.7.1 Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi)

Nihai ürünün kalite derecesini belirlemek amacıyla Dewar kabında gerçekleştirilen çalışmalara ait görüntüler Şekil 4. 9’da verilmiştir. 7-10 günlük deney süresi boyunca yapılan ölçümler sonucunda her bir reaktörden elde edilen ürüne ait sıcaklık değişimleri Şekil 4. 10’da verilmiştir.



Şekil 4. 9 Fermantasyon derecesinin belirlenmesi (Rottegrad deneyi)





Şekil 4. 10 Dewar kabı sıcaklık değişimleri

Dewar testi sonuçlarına göre kompost için belirlenmiş olan stabilite değerleri Çizelge 4. 2’de verilmiştir. R1 reaktöründe deney başlangıcından itibaren yapılan ölçümlerde sıcaklık artışı 6 °C ile sınırlı kalmışken, R2 ve R3 reaktörlerinde bu değer 15 °C’ye kadar çıkmıştır. R4, R5 ve R6 reaktörlerinde ise sıcaklık değişimleri 20 °C nin üzerinde belirlenmiştir.

Çizelge 4. 2 Dewar testi sonuçlarına göre kompostun stabilite sınıfları [51]

Sıcaklık Artışı, °C	Stabilite Sınıfı	Açıklama	Ana Grup
0—10	V	Çok stabil, olgun kompost	Bitmiş Kompost
10—20	IV	Stabil, olgun kompost	
20—30	III	Ayrışma devam ediyor, aktif kompost	Aktif Kompost
30—40	II	Olgunlaşmamış, taze veya çok aktif kompost	
40—50	I	Taze atık, ham kompost	Taze Kompost

Dewar testi sonuçları ve Çizelge 4. 2 incelendiğinde sadece R1 reaktöründen elde edilen kompostun bitmiş kompost sınıfına girdiği (V. Sınıf), R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen kompostun 15 °C sıcaklık artışı ile stabil, olgun kompost grubuna dahil olduğu, diğer reaktörlerden elde edilen kompost ürününün ise aktif kompost grubuna dahil olduğu ve bu ürünlerde tam stabilizasyonun sağlanmadığı belirlenmiştir.

4.7.2 Fitotoksisite Analizi (Bitkiye Uygunluk Analizi)

Kompost stabilitesinin en iyi göstergesi bitkilere olan etkisidir. Fitotoksisite (bitkilerin zehirlenmesi) yüksek oranda ağır metal seviyesi, toksik bileşikler, organik asitler ve aynı zamanda kompostun oksijen talebinden kaynaklanmaktadır. Bitkiye uygunluk testinin sonuçlarına göre kompostun olgunluk derecesi belirlenebilir.

Kompost numunelerinde gerçekleştirilen fitotoksisite testlerine ait görüntüler Şekil 4. 11’de verilmiştir. Reaktörlerden elde edilen kompost ürünlerine ait fitotoksisite testi sonuçları ise Çizelge 4. 3’te verilmiştir. Çizelge 4. 3’te görüldüğü gibi R1, R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen kompostun toprağa uygulanmasıyla elde edilen ürün miktarı ham topraktakine göre %100’ün üzerinde artış göstermiştir. Bu durum elde edilen kompostun bitkiye uygunluğunun bir göstergesidir. R4, R5 ve R6 reaktörlerinde ise elde edilen bitkiye uygunluk yüzdeleri, kompostun stabil olmaması sebebiyle düşük değerlerde belirlenmiştir.

Bitki Büyüme Performans Standartlarına göre %90’ın üzerinde bitkiye uygunluk yüzdesi çok olgun kompostu, %80-%90 arasında bitkiye uygunluk yüzdesi olgun kompostu ve %80’in altındaki yüzde değerleri olgun olmayan kompostu işaret etmektedir [52]. Bu sınıflandırmaya göre R1, R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen kompost numuneleri çok olgun kompost, R4, R5 ve R6 reaktörlerinden elde edilen kompost ise olgun olmayan kompost sınıfına girmektedir.



Şekil 4. 11 Fitotoksisite analizleri

Çizelge 4. 3 Fitotoksisite testi sonuçları

<i>Kompost Numunesi</i>	<i>%0</i>	<i>%25</i>	<i>%50</i>
R1	100	132	122
R2	100	130	210
R3	100	168	122
R4	100	96	67
R5	100	67	50
R6	100	75	70

Fitotoksisite, toksik bileşenlerden kaynaklanabilir. Bu nedenle kompost stabilitesi ile fitotoksitite arasında sınıflandırma yapılarak kompost numunesinin hangi oranda toksik olduğu ile ilgili bir değerlendirme yapılması mümkündür [53]. Bu sınıflandırma Çizelge 4. 4'te verilmiştir. Buna göre R1, R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen ürünler az veya toksik değil sınıfına girerken R4, R5 ve R6 reaktörlerinden elde edilen ürünler orta derecede toksik sınıfına girmektedir.

Çizelge 4. 4 Kompost stabilitesi ile fitotoksisite arasında sınıflandırma [53]

<i>Bitkilerin inhibisyon yüzdesi</i>	<i>Toksik sınıflandırma</i>
81-100	Az, toksik değil
61-80	Orta derecede toksik
41-60	Toksik
21-40	Yüksek toksitite
0-20	Çok yüksek derecede toksik

4.7.3 Salmonella Testi (Hijyen Testi)

Arıtma çamuru ve katı atık karışımlarından elde edilen kompost ürünlerinin hijyenik kalitesinin belirlenmesi için Salmonella testlerinden elde edilen sonuçları Çizelge 4. 5' te verilmiştir.

Çizelge 4. 5 Salmonella testi sonuçları

Salmonella Testi (Hijyen Testi) Yapılan Kompost Numuneleri	A Tüpü (H₂S Oluşumu)	B Tüpü (Laktoz Fermantasyonu)
R1	-	-
R2	-	-
R3	-	-
R4	-	-
R5	-	-
R6	-	-
Şahit (<i>Salmonella sp.</i>)	+	+
Steril su	-	-

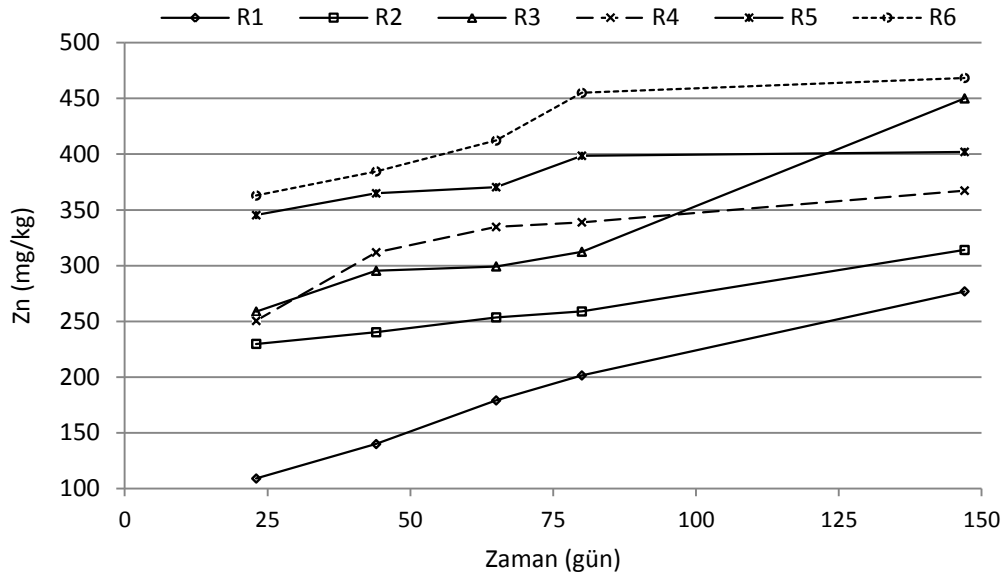
+ Pozitif - Negatif

Çalışma kapsamında elde edilen kompost ürününden alınan numunelerde hijyeni belirlemek üzere yapılan Salmonella testleri sonuçları, üretilen kompost ürününde, bulaşıcı ve salgın bir hastalık olan tifo hastalığının etkeni Salmonella bakterisinin olmadığını göstermektedir. Bu sonuçlara göre kompost numunelerinin Salmonella açısından hijyenik olduğu söylenebilir.

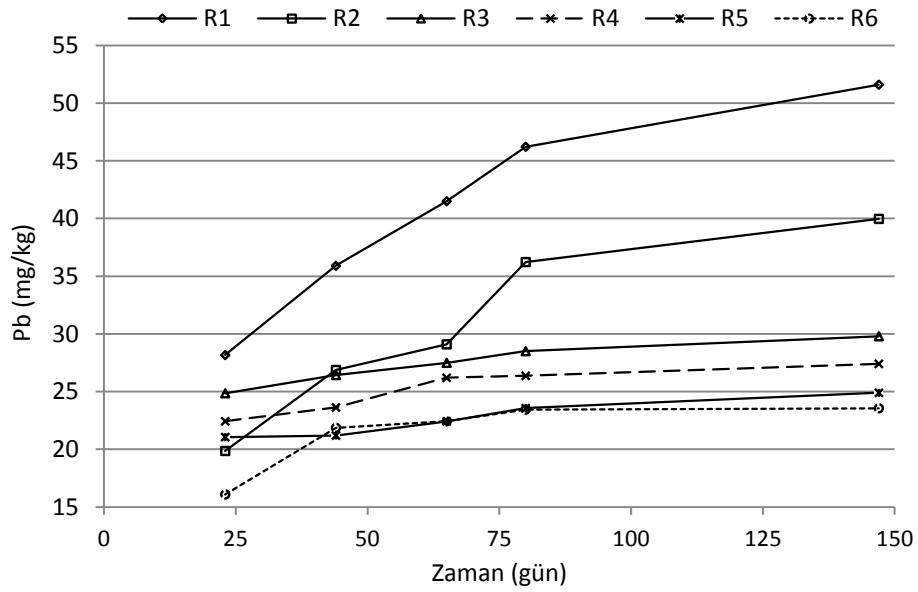
4.7.4 Ağır Metal Muhtevası

Reaktörlere depolanan atıkların ağır metal (Zn, Pb, Fe, Ni, Cr ve Cu) içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 4. 12 - Şekil 4. 17’de verilmiştir. Şekil 4. 12 - Şekil 4. 17’den de görüldüğü üzere reaktörlere depolanan arıtma çamuru ve katı atıkların başlangıç Pb ve Fe konsantrasyonları birbirine yakındır. Arıtma çamuru Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonları katı atık Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonlarının yaklaşık 2-3 katı olarak tesbit edilmiştir. Bu nedenle tamamen katı atık depolanan R1 reaktörü Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonları en düşük, R6 reaktörü Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonları en yüksek değerlere sahiptir. Tüm reaktörlerin Pb ve Fe konsantrasyonları birbirine yakın değerlerde seyretmekte, Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonları ise R1’den R6’ya doğru artış göstermektedir. Tüm reaktörlerde analiz edilen tüm ağır metallerin (Zn, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu) zamana bağlı artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu artışın nedeni

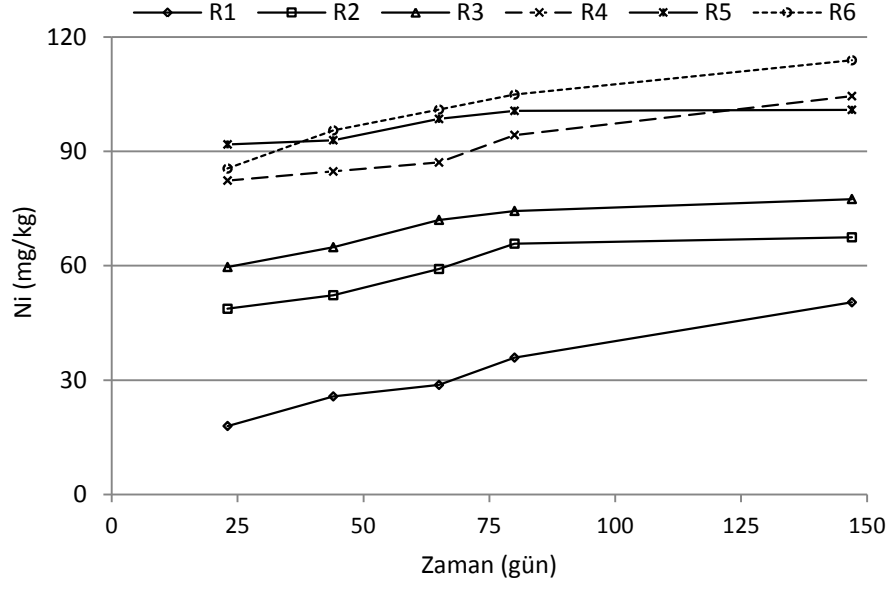
rektörlerde ayrışmaya bağlı olarak gerçekleşen kütle kaybı olarak açıklanabilir. Fang and Wong [54] ve Bilgili [55] yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar bulmuşlardır.



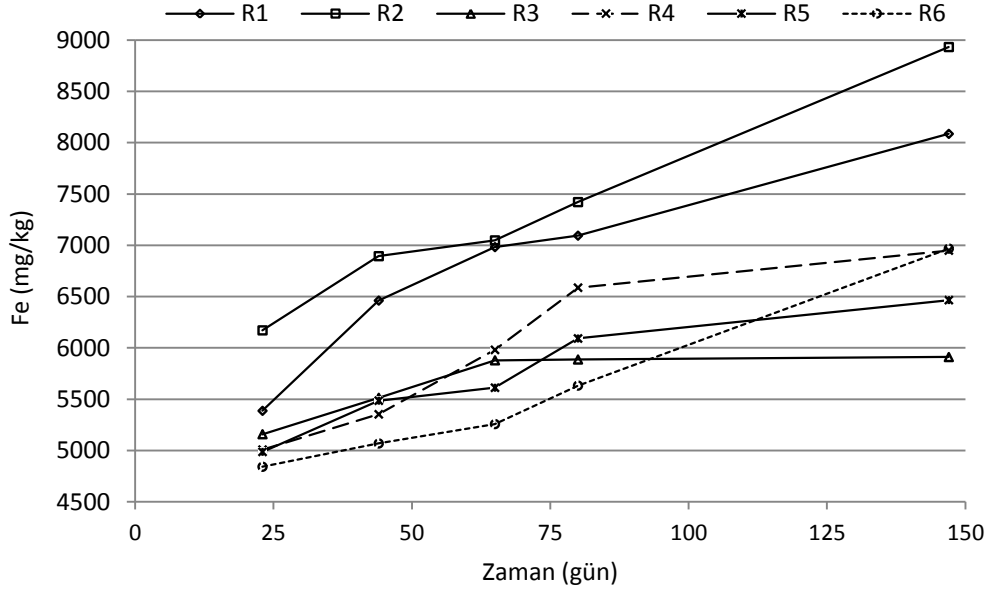
Şekil 4. 12 Zn içeriğinin zamanla değişimi



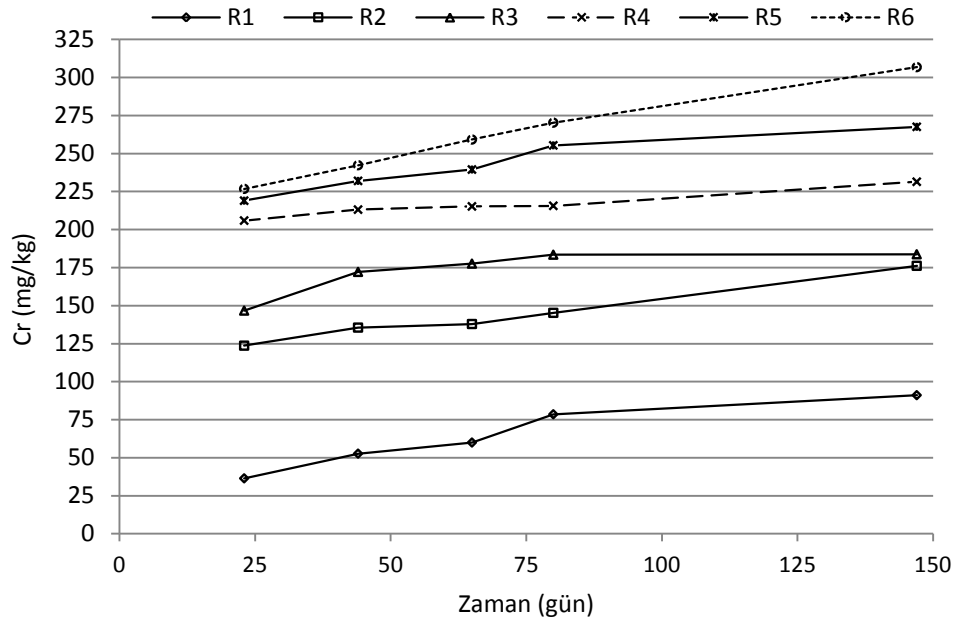
Şekil 4. 13 Pb içeriğinin zamanla değişimi



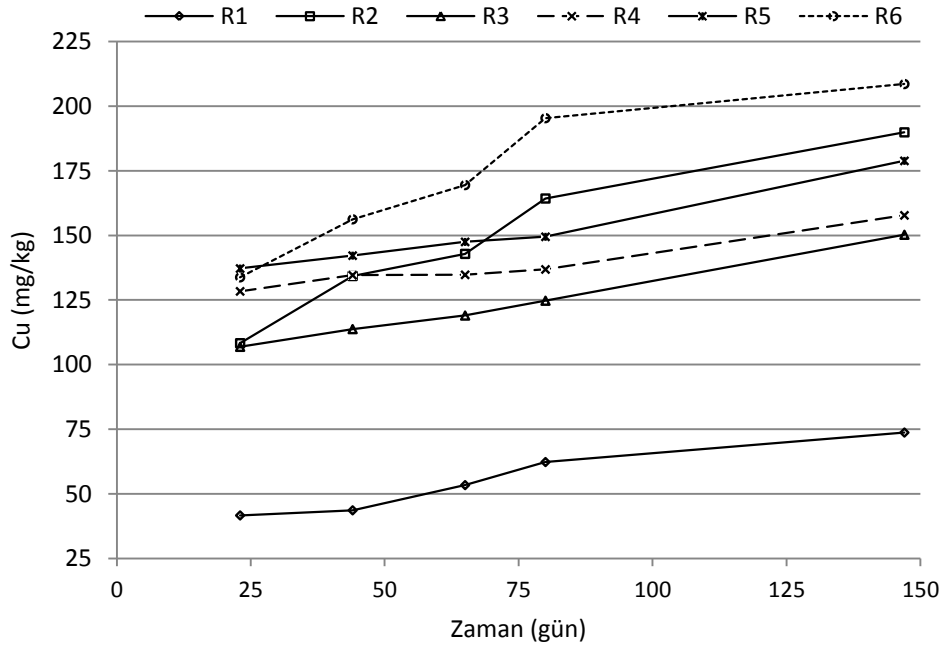
Şekil 4. 14 Ni içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 4. 15 Fe içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 4. 16 Cr içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 4. 17 Cu içeriğinin zamanla değişimi

4.8 Nihai Ürün Kalitesi

Kanada’da kompost kullanımı ile ilgili bir sınıflandırma BNQ (Bureau de normalisation du Québec) [56] standardizasyon komitesi üyeleri tarafından yapılmıştır. Bu sınıflandırma kapsamında kompost AA grubu, A grubu ve B grubu olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. Kompostun kalitesi ve güvenliğinin temel alındığı bu sınıflandırmaya göre AA ve A grubu kompostlar yüksek kaliteli kompost olup, B grubu kompost iyi bir kompost tanımlanmasında minimum şartları sağlamaktadır. AA grubu ve A grubu kompostlar iz element bakımından aynı limit değerlere sahiptir. Bu sınıflandırma; kompost organik madde içeriği, yabancı madde içeriği ve iz element konsantrasyonlarını baz alırken nem içeriği, olgunluk ve patojenik organizma limit değerleri her üç grup için de aynıdır. Reaktörlere depolanan atıklardan elde edilen kompostların ağır metal içerikleri Çizelge 4. 6 ’da, BNQ standardizasyon sistemine göre kompostta kabul edilen maksimum iz element konsantrasyonları Çizelge 4. 7’de ve Avrupa ülkeleri kompost ağır metal limitleri Çizelge 4. 8’de verilmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında reaktörlerden elde edilen kompostlar BNQ standardizasyon sistemine göre B grubu kompost sınıfına girmektedir. Avrupa ülkeleri ağır metal limit değerleri ile karşılaştırma yapıldığı zaman elde edilen kompost ürünlerinin Cr dışında diğer ağır metal içerikleri sınır değerlerin altında kaldığı tesbit edilmiştir. Nihai üründe de en yüksek ağır metal içeriklerine arıtma çamurunun fazla olduğu reaktörlerin sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. 6 Nihai ürünlerin ağır metal konsantrasyonları (mg/kg)

	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R5</i>	<i>R6</i>
Zn	276,2	314,1	450	367,3	402,1	468,4
Pb	51,6	39,9	29,8	27,41	24,9	23,6
Ni	50,4	67,5	77,5	104,5	100,9	113,9
Fe	8086	8932	5911	6949	6466	6968
Cr	91,1	176,2	183,8	231,4	267,5	306,8
Cu	73,7	189,9	150,3	157,8	178,9	208,6

Çizelge 4. 7 BNQ standardizasyon sistemine göre kompostta kabul edilen maksimum iz element konsantrasyonları [56]

	<i>AA grubu ve A grubu</i>	<i>B grubu</i>
<i>İz elementler</i>	<i>Maksimum konsantrasyon (mg/kg)</i>	<i>Maksimum konsantrasyon (mg/kg)</i>
As	13	75
Cd	3	20
Co	34	150
Cr	210	1060
Cu	100	757
Hg	0,8	5
Mo	5	20
Ni	62	180
Pb	150	500
Se	2	14
Zn	500	1850

Çizelge 4. 8 Avrupa ülkeleri kompost ağır metal limitleri (mg/kg) [8]

	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>
Avusturya	-	4	150	-	400	500	4	100	1000
Belçika	-	5	200	20	500	1000	5	100	1500
İsviçre	-	3	150	25	150	150	3	50	500
Danimarka	25	1,2	-	-	-	120	1,2	45	-
Fransa	-	8	-	-	-	800	8	200	-
Almanya	-	1,5	100	-	100	150	1	50	400
İtalya	10	1,5	100	-	300	140	1,5	50	500
Hollanda	25	2	100	-	300	200	2	50	900
İspanya	-	40	750	-	1750	1200	25	400	4000
Kanada	13	3	210	34	100	150	0,8	62	500

03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” Ek I-B’de toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları verilmektedir. Bu yönetmelikte maksimum Zn içeriği 2500 mg/ kg, Pb içeriği 750 mg/ kg, Ni içeriği 300 mg/ kg, Cr içeriği 1000 mg/ kg ve Cu içeriği 1000 mg/ kg’dır. Bu çalışmanın sonucunda bir değerlendirme yapıldığında nihai ürünlerin ağır metal muhtevaları Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik’te belirtilen değerlerin altında olduğu görülmektedir.

Kanada BNQ standartlarına göre AA grubu, A grubu ve B grubu kompost minimum organik madde içerikleri sırasıyla %50, %40 ve %30 olmalıdır. Nem içeriğinin ise her üç grup için de maksimum %60 olması istenmektedir. Nihai ürünlerde, uzun süreli depolamadan dolayı su muhtevası tüm reaktörlerde hemen hemen birbirine eşit ve

%50-60 arasında değişen değerlerde belirlenmiştir. Bu değerler ürün kompost için literatürde verilen %35'lik su muhtevasının üzerinde olmasına rağmen, elde edilen ürünün olgunlaşması için yapılacak bekletme süresi sonunda istenen su muhtevası değerlerinin sağlanabileceği görölmektedir. BNQ standartlarına göre bir değerlendirme yapıldığında da tüm reaktörlerden elde edilen nihai ürünlerin su muhtevaları %60'ın altında kalmaktadır. R1, R2, R3, R4, R5 ve R6 reaktörleri nihai ürün organik madde içerikleri sırasıyla %39.8, %48.9, %53.6, %54.8, %55.2 ve %57.7 olarak belirlenmiştir. Kanada BNQ standartlarına göre; organik madde içeriği bakımından R1 reaktörü nihai ürünü dışında tüm reaktörlerin nihai ürünü AA grubu kompost sınıfına girmektedir. Ancak BNQ standardizasyon sistemine göre genel bir değerlendirme yapıldığında kompostta ağır metal muhteviyatının öneminden dolayı reaktörlerden elde edilen kompostlar B grubu kompost sınıfına girmektedir. Ayrıca tüm nihai ürünler fitotoksik etki içermemektedir ve hijyeniktir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının kentsel katı atıklarla birlikte kompostlaştırılabilirliğinin araştırılması amacıyla 40 cm çapında ve 100 cm yüksekliğinde 6 adet reaktör kullanılmıştır. Reaktörlere evsel atıksu arıtma tesisi çamurları ve evsel katı atıklar farklı oranlarda karıştırılarak aerobik kompostlaştırılması sağlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan evsel atıksu arıtma tesisi çamuru karıştırma oranları % 0; 20; 40; 60; 80 ve 100 olarak uygulanmıştır. Reaktörlere doldurulmak üzere hazırlanan katı atıkların ve evsel arıtma çamurlarının özelliklerinde meydana gelen değişimlerin izlenmesi maksadıyla, atıklar reaktörlere doldurulmadan önce alınan ham numunelerde ve proses süresince alınan numuneler üzerinde; pH, Su Muhtevası, Organik Madde Muhtevası, Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) ve Toplam Organik Karbon (TOK) analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun dışında kompostlaştırma prosesi sonunda her bir reaktörden elde edilen nihai ürün üzerinde kompostun kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla Fermantasyon Derecesi (Rottegrad Deneyi), Fitotoksisite Analizi (Bitkiye Uygunluk Analizi), Salmonella Testi (Hijyen Testi) ve Ağır Metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ham katı atık ve arıtma çamurunun başlangıçtaki pH değerleri sırasıyla 6,4 ve 6,0 olarak belirlenmiştir. R1, R2, R3, R4, R5 ve R6 aerobik kompost reaktörlerine kompost oluşturmak için farklı yüzdelerde karıştırılan evsel atıksu arıtma çamuru ve kentsel atıkların karışımının başlangıç pH değerleri 5,99 ile 6,76 arasında değiştiği görülmüştür. Sadece katı atık bulunan R1 ile %20 oranında arıtma

çamurunun karıştırıldığı R2 aerobik kompost reaktörlerinden elde edilen nihai kompost ürünlerinin pH analiz sonuçları sınır değerler arasında kalırken, R3, R4, R5 ve R6 aerobik kompost reaktörlerinden elde edilen nihai kompost ürünlerinin pH değerleri minimum sınır değerinden daha düşük çıkmıştır. Ancak “Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”te belirtilen değerler arasında kalmaktadır.

- Reaktörlere depolanan ham katı atığın başlangıçtaki su muhtevası %60, arıtma çamurunun su muhtevası ise %79 olarak belirlenmiştir. Reaktörlerden yaklaşık 150 günlük işletme süresi sonunda elde edilen su muhtevası değerleri %44 ile %56 arasında değiştiği görülmüştür. Kompost materyali içerisindeki çamur miktarı arttıkça su muhtevası da beklendiği gibi artmaktadır. R1 ve R4 aerobik kompost reaktörlerinden elde edilen nihai kompost ürünlerinin su muhtevası analiz sonuçları sınır değerler arasında kalırken R2, R3, R5 ve R6 aerobik kompost reaktörlerinden elde edilen nihai kompost ürünlerinin su muhtevası değerleri maksimum sınır değerinden daha yüksek çıkmıştır.
- Yapılan analizler ile ham katı atık ve arıtma çamurunun başlangıçtaki UKM değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Reaktörlere depolanan ham katı atığın başlangıçtaki UKM değeri %64,1, arıtma çamurunun UKM değeri ise %66,75 olarak belirlenmiştir. Reaktörlerde nihai olarak ölçülen UKM değerleri R1, R2, R3, R4, R5 ve R6 reaktörleri için sırasıyla % 39,8; 48,9; 53,6; 54,8; 55,2 ve 57,7 olarak belirlenmiştir. Reaktörlerdeki çamur oranı arttıkça havalandırmanın etkin bir şekilde gerçekleşmemesi sebebiyle UKM gideriminin istenen düzeyde gerçekleşmediği söylenebilir. Ancak tüm reaktörlerden elde edilen organik madde muhtevaları “Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”te belirtilen % 40 oranından yüksek çıkmış olup toprakta kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.
- Arıtma çamuru ve ham katı atık numunelerinin TKN konsantrasyonları sırasıyla %5,66 ve %1,73 olarak belirlenmiştir. Stabilizasyon süresi sonunda reaktörlerde ölçülen TKN değerleri sırasıyla % 2,04; 2,62; 3,15; 4,01; 4,64 ve 4,95 olarak belirlenmiştir. LAGA standartlarına göre karşılaştırma yapıldığında R1, R2, R3, R4,

R5 ve R6 aerobik kompost reaktörlerinden elde edilen nihai kompost ürünlerinin TKN değerleri maksimum sınır değerinden daha yüksek çıkmıştır.

- Kompost reaktörlerinden elde edilen nihai kompost ürünlerinin C/N analiz sonuçlarına göre elde edilen kompostun stabil olduğu söylenebilir.
- R1, R2 ve R3 reaktörlerinde sıcaklık değerleri kompost prosesinde beklendiği gibi ilk birkaç gün içerisinde yükselerek 50°C'nin üzerine çıkmış ve daha sonra azalmaya başlamıştır. Reaktörlerde çamur oranı arttıkça ölçülen maksimum sıcaklık değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Sıcaklık değerleri göz önüne alındığında arıtma çamurunun %40 oranına kadar katı atıklarla birlikte karıştırıldığında kompostlaştırma prosesi üzerinde olumsuz bir etki görülmediği ortaya çıkmaktadır.
- Dewar testi sonuçları incelendiğinde sadece R1 reaktöründen elde edilen kompostun bitmiş kompost sınıfına girdiği (V. Sınıf), R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen kompostun 15°C sıcaklık artışı ile IV. Sınıf kompost grubuna dahil olduğu, diğer reaktörlerden elde edilen kompost ürününün ise aktif kompost grubuna dahil olduğu ve bu üründe tam stabilizasyonun sağlanmadığı belirlenmiştir.
- Kompost reaktörlerinden elde edilen nihai ürünler üzerinde gerçekleştirilen fitotoksisite (bitkiye uygunluk) testi sonuçlarına göre R1, R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen kompostun toprağa uygulanmasıyla elde edilen ürün miktarı ham topraktakine göre %100'ün üzerinde artış göstermiştir. R4, R5 ve R6 reaktörlerinde ise elde edilen bitkiye uygunluk yüzdeleri, kompostun stabil olmaması sebebiyle düşük değerlerde belirlenmiştir. Bitki Büyüme Performans Standartlarına göre R1, R2 ve R3 reaktörlerinden elde edilen kompost numuneleri çok olgun kompost, R4, R5 ve R6 reaktörlerinden elde edilen kompost ise olgun olmayan kompost sınıfına girmektedir.
- Çalışma kapsamında elde edilen kompost ürününden alınan numunelerde hijyeni belirlemek üzere yapılan Salmonella testleri sonuçları, üretilen kompost ürününde, bulaşıcı ve salgın bir hastalık olan tifo hastalığının etkeni Salmonella bakterisinin olmadığını göstermektedir. Bu sonuçlara göre kompost numunelerinin Salmonella açısından hijyenik olduğu söylenebilir.

- Reaktörlere depolanan arıtma çamuru ve katı atıkların başlangıç Pb ve Fe konsantrasyonları birbirine yakındır. Arıtma çamuru Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonları katı atık Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonlarının yaklaşık 4-5 katı olarak tesbit edilmiştir. Bu nedenle tamamen katı atık depolanan R1 reaktörü Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonları en düşük, R6 reaktörü Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonları en yüksek değerlere sahiptir. Tüm reaktörlerin Pb ve Fe konsantrasyonları birbirine yakın değerlerde seyretmekte, Zn, Ni, Cr ve Cu konsantrasyonları ise R1'den R6'ya doğru artış göstermektedir. Tüm reaktörlerde analiz edilen tüm ağır metallerin (Zn, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu) zamana bağlı artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu artışın nedeni reaktörlerde ayrışmaya bağlı olarak gerçekleşen kütle kaybı olarak açıklanabilir. Bu çalışmanın sonucunda bir değerlendirme yapıldığında nihai ürünlerin ağır metal muhtevaları Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte belirtilen değerlerin altında olduğu görülmektedir.
- BNQ standardizasyon sistemine göre genel bir değerlendirme yapıldığında kompostta ağır metal muhteviyatının öneminden dolayı reaktörlerden elde edilen kompostlar B grubu kompost sınıfına girmektedir. Avrupa ülkeleri ağır metal limit değerleri ile karşılaştırma yapıldığı zaman elde edilen kompost ürünlerinin Cr dışında diğer ağır metal içerikleri sınır değerlerin altında kaldığı tesbit edilmiştir. Nihai üründe de en yüksek ağır metal içeriklerine arıtma çamurunun fazla olduğu reaktörlerin sahip olduğu belirlenmiştir. BNQ standartlarına göre bir değerlendirme yapıldığında da tüm reaktörlerden elde edilen nihai ürünlerin su muhtevaları %60'ın altında kalmaktadır ve organik madde içeriği bakımından R1 reaktörü nihai ürünü dışında tüm reaktörlerin nihai ürünü AA grubu kompost sınıfına girmektedir.
- Sonuç olarak; arıtma tesisi çamuru ile organik evsel katı atık karışımının havalı olarak kompostlaşabilirliğinin uygulanabilirliği görülmüştür. Evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının kentsel katı atıklarla birlikte kompostlaştırılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar çerçevesinde katı atıklara hacimsel olarak maksimum % 40 oranında evsel atıksu arıtma çamurunun karıştırılmasının uygun olduğu ve güvenle kullanılabilir nitelikte kompost elde edilebildiği

belirlenmiştir. Özellikle Fermantasyon Derecesi, Fitotoksisite Analizi, Salmonella Testi ve Ağır Metal analizleri gibi kompost kalitesini belirleyen analiz sonuçlarına bakılarak katı atıklara hacimsel olarak maksimum % 40 oranında evsel atıksu arıtma çamurunun karıştırılmasının ürün kalitesi bakımından da uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca elde edilen nihai ürünlerin fitotoksik etki içermemediği ve hijyenik olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Avrupa Çevre Ajansı (EEA), (1998). Kentsel Atıksu Arıtımı Konsey Direktifi, Avrupa Konseyi Yönergesi (91/271/EEC).
- [2] Eurostat, "Generation of waste by waste category", "Common Sludges", <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00108&language=en>, 03 Mart 2013.
- [3] USEPA, (1999). "Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States", U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, EPA530-R-99-009.
- [4] T.C. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı, Belediye Atıksu Temel Göstergeleri, 2010.
- [5] Salihoğlu, N.K., Pınarlı, V.,(2007). "Atıksu arıtma çamurlarının kapalı yataklarda güneş enerjisiyle kurutulması", İtü Dergisi, 17(1): 3-14.
- [6] Yasui H., Shibata M., (1994). "An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process", Water Science and Technology, 30, 9, 11-20.
- [7] Filibeli, A., Erden Kaynak, G., (2006). "Arıtma çamuru miktarının azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ön işlemler", İtü Dergisi, 16(1-3): 3-12.
- [8] Varank, G., Bilgili, M.S., Sekman, E., Top, S., (2012). "Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaştırılması", Bitirme Raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, İstanbul.
- [9] T.C. Resmi Gazete, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, (20814), 14.03.1991.
- [10] Arıkan, O., Demir, İ., Demir, A., Öztürk, İ., İnanc, B., Öztürk ve M., Tuyluoğlu, B.S., (1997). "Changes in MSW quality and influence on waste management in Istanbul Metropolitan City, Proceedings, Sixth International Landfill Symposium, Sardinia, Italy.
- [11] Sarıkaya, H. Z., (2002). "Master Plana Göre İstanbul'da Arıtma Çamurlarının Yönetimi ve Kontrolü", Türk-Alman Atıksu Arıtma Çamurlarının Yönetimi ve Kontrolü Semineri, 30 Ekim-1 Kasım 2002, İstanbul, Türkiye.
- [12] Arıkan, O.A., Öztürk, İ., (2005). "Arıtma çamuru kompostlaştırılmasında organik evsel katı atık ilavesinin etkisi", İtü Dergisi, 4(1): 15-24.

- [13] Yıldız, Ş., Yılmaz, E., Ölmez, E., (2009). "Eysel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri: İstanbul Örneği", TÜRKAY 2009 (Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu 2009), 15-17 Haziran 2009, İstanbul, Türkiye.
- [14] Filibeli, A., "Arıtma Çamurlarının Genel Özellikleri, İşleme ve Bertaraf Yöntemleri", DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir
- [15] Duran, M., Demirer, G.N.,(1997). Su Arıtımında Temel İşlemler, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- [16] Filibeli, A., (1996). Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi Yayınları No:255, İzmir.
- [17] İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, 2012, İstanbul.
- [18] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th Edition, (2004), McGraw Hill.
- [19] APHA, AWWA, WEF, (2005). "Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21 st edition, American Public Health Association, Washington, D. C.
- [20] İmhoff hunisi, <http://sciencekit.com/imhoff-settling-cone/p/IG0023021/>, 3 Mart 2013.
- [21] Külling, D., Stadelmann, F., Herter, U.,(2001). "Sewage Sludge - Fertilizer or Waste?", UKWIR Conference, 30-31.10.01, Brussels.
- [22] T.C. Resmi Gazete, Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, (27661), 03.08.2010.
- [23] T.C. Resmi Gazete, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, (27533), 26.03.2010, Ek-2.
- [24] Aydın S., (2004). Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Carrington, E.G., (2001). "Evaluation of Sludge Treatments for Pathogen Reduction",http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_eval.pdf, 3 Mart 2013.
- [26] Öztürk, D. C., (2008). Biyolojik Arıtma Çamurlarının Aerobik ve Anaerobik Stabilizasyonunun Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D., (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Mc Graw Hill Press, New York U.S.
- [28] Spinoza, L. ve Vesilind P.A., (2001). Sludge into Biosolids: Processing, Disposal and Utilization, IWA Publishing, United Kingdom.
- [29] Demir, A., "Katı Atıklar ve Bertaraf Metodları, Düzenli Depolama, Sızıntı Suyu ve Depo Gazı Oluşumu Sahaların Yer Seçimi, Kompostlaştırma, Yakma", Katı Atıklar, Ders Notları.

- [30] Epstein, E., (1997). The Science of Composting, Crc Press.
- [31] Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş, A., (2009). "Kompost Teknolojileri ve İstanbul'daki Uygulamaları", Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, 18-19 Haziran 2009, İstanbul, Türkiye.
- [32] Arıkan, A. O., (2003). Farklı Tipte Organik Katı Atıkların Havalı ve Havasız Ortamda Komposta Dönüştürülmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., (1993). "Integrated Solid Waste Management", Engineering Principles and Management Issues, McGraw Hill.
- [34] Bilgili, M.S., Arıtma Çamuru Kontrolü, Ders Notları, 2011.
- [35] Sparks, D.L., (Editor), Bartel, J.M., (Managing Editor), (1996). Methods of Soil Analysis: Chemical Methods Part 3, SSSA.
- [36] Methodenbuch zur Analyse von Kompost, (1994). Bundesgütegemeinschaft Kompost, e.v., (Murat KUBATOĞLU tarafından tercüme, İSTAÇ A.Ş.).
- [37] LAGA, (Landerarbeitsgemeinschaft Abfall) Merkblatt M10, (1997). "Alman Kompost Kalite Standardı".
- [38] Varank, G., (2006). Aerobik Olarak Stabilize Edilmiş Katı Atıklar İle Kompost Ürününün Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [39] Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., and Kubota, H. (1993). "Effects of pH control on composting garbage", Waste Management and Research, 11: 117-125.
- [40] Demir, İ., Altınba, M., Arıkan, O.A., Öztürk, İ., "Aerobic Composting of Anise Wastes from Beverage (Rakı) Industry", İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [41] Graves, R.E., Hattemer, G.M.,(2000). "Composting Chapter 2", Environmental Engineering National Engineering Handbook, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- [42] Borat, M., (2003). "Katı Atık Yönetimi", İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Ders Notları
- [43] Tejada, M., Dobao, M. M., Benitez, C., and Gonzalez, J.L., (2001). "Study of composting of cotton residues", Bioresource Technology, 79(2): 199-202.
- [44] Keller, P., (1961). "Methods to evaluate maturity of compost", Compost Sci., 2(7): 20-26.
- [45] De Baere, L., Verdonc, O., Verstrate, W., (1985). "High rate dry anaerobic composting process for the organic fraction of solid waste", Proceedings, Biotechnology and Bioengineering Symposium, 321-330.
- [46] Wilkinson, K., Tymms, S., Hood, V., Tee, E., (1998). "Guide the Best Practice, Composting Green Organics", EcoRecycle Victoria.

- [47] Aydın, G.G., Kocasoy, G., (2002). "Investigation of appropriate initial composting and aeration method for co-composting of yard waste and market wastes", Proceedings, Appropriate environmental and solid waste management and technologies for developing countries, ISWA'2002 Dünya Çevre Kongre ve Fuarı, 1277-1284, İstanbul.
- [48] Morel, J.L., Colin, F., Germon, J.C., Godin, P., Juste, C., (1985). "Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost", Ed. Glasser, J. K. R., In Composting of Agricultural and Other Wastes, 56-72, Elsevier Applied Sci. Pub., New York.
- [49] Jimenez, E.I., Garcia, V.P., (1989). "Evaluation of city refuse compost maturity", Biol. Wastes, 27: 115-142.
- [50] Tosun, İ., (2003). Gül işleme posasının evsel katı atıklarla birlikte kompostlaşabilirliği, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [51] Woods, E., (1994). "Compost Self-Heating: Proposed CEN Compost Stability Test, prepared for British Standards Institute panel AFC/20/-/4, as a Compost Stability Test proposal for CEN/TC 223 Working Group (WG) 4"; Woods End Research Lab., Stroud, United Kingdom.
- [52] Brinton, W. F., Evans E., Droffner M., Brinton R. B., (2000). "A Standardized Dewar Test for Evaluation of Compost Self-Heating", Biocycle Report, Woods End Research Laboratory.
- [53] Environmental Engineering National Engineering Handbook, (2000). "Chapter 2 Composting, United States Department of Agriculture", Natural Resources Conservation Service.
- [54] Fang, M., Wong, J.W.C., (1999). "Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting", Environmental Pollution, 106(1): 83-89.
- [55] Bilgili, M.S., Demir, A., Ince, M., Ozkaya, B., (2007). "Metal concentrations of simulated aerobic and anaerobic pilot scale landfill reactors", Journal of Hazardous Materials, 145: 186-194.
- [56] Bureau de normalisation du Quebec, (1995). "Amendments organiques - Compost". P 0413-200. 15 mai 1995. P.7.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammed Sabri BİLGİLİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.08.1985 Siirt
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ms_bilgili@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Çevre Mühendisliği	Akdeniz Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Siirt Atatürk Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010-2012	Kuzu Grup	Proses Mühendisi
2010	Akdeniz Grup	Yönetici Adayı