

**ANASON POSASININ AEROBİK
KOMPOSTLAŞABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

7070 96
101094

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Müh. Mahmut ALTINBAŞ
501980233011

TEZİN ENSTİTÜYE VERİLDİĞİ TARİH : 5 HAZİRAN 2000
TEZİN SAVUNULDUĞU TARİH : 23 HAZİRAN 2000

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. İbrahim DEMİR (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. İlhan TALINLI (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Turgut Tüzün ONAY (B.Ü.)

HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Artan nüfusa bağlı olarak, katı atıklar da miktar ve çeşit olarak hızla artmakta ve çevrede su, hava ve toprak kirliliği gibi önemli problemlere yol açmaktadır. Bununla beraber, katı atıkların uzaklaştırma metotları da gelişmektedir. Bu çalışmada, son yıllarda organik katı atıkların nihai bertaraf yöntemlerinden, çok önemli bir teknoloji olarak gelişme gösteren Havalı Kompostlaştırma prosesi ele alınmıştır. Bu tezin, ileride bu alanda çalışacak araştırmacılara yol göstereceği inancı taşınmaktadır.

Bu çalışmada yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, çalışmalarını beni teşvik eden tez danışmanım İbrahim DEMİR'e, çalışmanın çeşitli aşamalarında beni yönlendiren ve deneyimleriyle yol gösteren hocalarım İlhan TALINLI, İzzet ÖZTÜRK ve Kadir ALP'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca elde ettiğim verileri ve çalışmada yaşadığım sorunları paylaştığım, tezin yazımı sırasında da yardım eden Osman A. ARIKAN'a, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını büyük içtenlikle sunan Zeynep TANTEKİN, Hüseyin KARIŞAN ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmanın yürütülmesi için gerekli olan atıkların temini ve endüstrinin tanıtımı konusunda yardım eden Paşabahçe TEKEL İçki Fabrikasından Esen ATAY ve Zeynep SOYSAL'a teşekkür ederim.

Tezin yazımı sırasında bana gösterdiği sabır ve yardımlarından dolayı arkadaşım Ebru DÜLEKGÜRGEN'e, kritik anlarda ki desteğinden dolayı da Hakan DULKADİROĞLU'na teşekkür ederim.

Son olarak, çalışmam boyunca bana destek veren herkese en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Haziran, 2000

Mahmut ALTINBAŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. TEKEL İSTANBUL İÇKİ ENDÜSTRİSİ	3
2.1. Endüstrinin Tanımı	3
2.2. Rakının Üretimi	3
2.2.1. Anason	3
2.2.2. Suma	4
2.2.3. Hazırlık Aşaması	4
2.2.4. Damıtma	4
3. HAVALI KOMPOSTLAŞTIRMANIN ESASLARI	7
3.1. Kompostlaştırmanın Tanımı Ve Katı Atık Yönetimindeki Yeri	7
3.1.1. Kompostlaştırmanın Avantaj ve Dezavantajları	8
3.2. Kompostun Tarihi	8
3.3. Havalı Kompostlaştırmanın Esasları	10
3.3.1. Mikrobiyoloji	13
3.3.2. Biyokimya	16
3.3.3. Havalı Kompostlaştırmaya Etki Eden Faktörler	17
3.3.3.1. Dane Boyutu	17
3.3.3.2. Karbon/Azot(C/N) Oranı	17
3.3.3.3. Su Muhtevası	18
3.3.3.4. Sıcaklık	21
3.3.3.5. pH	26
3.3.3.6. Havalandırma	27
3.3.3.7. Karıştırma	30
3.3.4. Substratın Ayrışabilirliği	30
3.3.4.1. Ayrışılabilirliğin Ölçülmesi	30
3.3.4.2. Kül İçeriğinin Korunumu	30

3.3.5. Azot Bazlı Bileşikler	32
3.3.6. Kompost Ürünün Değerlendirilmesi	35
3.4. Havalı Kompostlaştırma Teknolojileri	35
3.4.1. Havalı Kompostlaştırma Metodları	35
3.4.1.1. Windrow Kompostlaştırma	36
3.4.1.2. Havalandırılmalı Statik Yığın Kompostlaştırma	37
3.4.1.3. Kapalı Reaktör Kompostlaştırma Sistemleri	37
3.4.2. Havalı Kompostlaştırma Proseslerinin Karşılaştırılması	39
3.4.3. Ticari Kompostlaştırma Sistemleri	39
4. DENEY DÜZENİĞİ VE ÇALIŞMA PLANI	42
4.1. Kompostlaştırılan Katı Atıkların Bileşimi Ve Özellikleri	42
4.2. Deney Düzeniği	44
4.3. İzlenen Parametreler ve Analiz Yöntemleri	45
5. DENEYSEL ÇALIŞMANIN SONUÇLARI	48
5.1. Reaktöre Yerleştirilen Maddelerin Özellikleri	48
5.2. Reaktöre Yerleştirilen Karışımların Özellikleri	48
5.3. Kompostlaştırma Prosesi Süresince İzlenen Parametrelerin Değerlendirilmesi	51
5.3.1. Sıcaklık	51
5.3.2. pH	54
5.3.3. Organik Madde	59
5.3.4. C/N Oranı	62
5.3.5. TKN ve Amonyak	62
5.4. Olgunlaştırma Sonunda Karışımların Özellikleri	63
5.4.1. Ağır Metal Konsantrasyonları	66
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	74

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Tekel İstanbul Alkol Fabrikası'ndaki Rakı Damıtma Prosesi Ürünleri.....	6
Tablo 3.1. Kompostlaştırma Prosesinde Görev Alan Mikroorganizmalar (Biddlestone vd., 1987).....	14
Tablo 3.2. Organik Atıkların Bileşimi (Biddlestone, vd.,1987).....	16
Tablo 3.3. Çeşitli Kompostlaşabilir Maddelerin Azot İçerikleri ile C/N Oranları (Tchobanoglous, 1993).....	19
Tablo 3.4. Havalı Kompostlaştırma Proseslerinin Karşılaştırılması (Tchobanoglous, 1993).....	40
Tablo 3.5. Fonksiyonlarına ve Reaktör Konfigürasyonlarına Göre Evsel Kompostlaştırma Sistemleri (Tchobanoglous, 1993).....	41
Tablo 4.1. Reaktörlere Yerleştirilen Katı Atıkların Bileşimi ve Miktarları.....	42
Tablo 4.2. Reaktörlere Yerleştirilen Katı Atıkların Özellikleri.....	44
Tablo 4.3. Deneysel Çalışma/İzleme Programı	47
Tablo 5.1. Reaktörlere Yerleştirilen Maddelerin Özellikleri	49
Tablo 5.2. Reaktörlere Yerleştirilen Karışımların Bileşimi	50
Tablo 5.3. Reaktörlerdeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi	52
Tablo 5.4. Reaktörlerdeki pH' nın Zamana Göre Değişimi	54
Tablo 5.5. Reaktörlerdeki Organik Maddenin Zamana ve Başlangıçtaki Kuru Maddeye Göre Yüzde Değişimi	59
Tablo 5.6. Reaktörlerdeki Atıkların Organik Madde Ayrışabilirlik Yüzdeleri	62
Tablo 5.7. Reaktörlerdeki C/N Oranının Zamana Göre Değişimi	62
Tablo 5.8. Reaktörlerdeki Ölçülen TKN' nin Zamana Göre Değişimi	63
Tablo 5.9. TKN' nin Başlangıçtaki Kuru Maddeye Göre Konsantrasyonları ve Proses Boyunca Meydana Gelen Kayıplar	64
Tablo 5.10. NH_4^+ -N'un Başlangıçtaki Kuru Maddeye Göre Konsantrasyonları ve Proses Boyunca Meydana Gelen Değişimler	64
Tablo 5.11. Olgunlaştırma Sonrasında Karışımların Özellikleri	66
Tablo 5.12. Bazı Ülkelerdeki Kompost İçin verilen Ağır Metal Konsantrasyon Limitlerinin (Epstein, 1995) Bu Çalışmadaki (IV. Reaktör) Değerlerle Karşılaştırılması	67

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Rakı Üretim Akım Şeması.....	4
Şekil 3.1 : Kompostlaştırma Prosesi.....	11
Şekil 3.2 : Kompostlaştırmakı Proses Aşamalarının CO ₂ Solunumu ve Sıcaklık ile İlişkisi.....	13
Şekil 3.3 : Arıtma Çamuru ve Küçük Tahta Yonga Karışımının Kompostlaştırılması Sırasında Havalandırma Hızının Açığa Çıkan Su Üzerine Etkisi.....	20
Şekil 3.4 : Kompostlaştırma Sırasında Elde Edilen Yüksek Sıcaklıklar ile Su Muhtevası Arasındaki İlişki.....	21
Şekil 3.5 : Bir Kompost Yığınınındaki Tipik Sıcaklık ve pH Değişimleri (Biddlestone, vd, 1987).....	22
Şekil 3.6 : Kompost Prosesinin Termodinamik Sistem Sınırı.....	23
Şekil 3.7 : Arıtma Çamurları ve Tahta Yongalarının Statik Kompostlaştırılmasında Sıcaklık-Zaman İlişkisi.....	25
Şekil 3.8 : Arıtma Çamurları ve Tahta Yongalarının Windrow Kompostlaştırılmasında Sıcaklık-Zaman İlişkisi.....	25
Şekil 3.9 : Kompostlaştırılma Sırasında Serbest Hava Boşluğu, Partikül ve Su Arasındaki İlişki.....	29
Şekil 3.10 : Besleme Karışımı ve Kompostlaştırma Ürününün VS ve ASH Bileşenlerini Gösteren Bar Diyagramı.....	31
Şekil 3.11 : (a) Sıcaklık, (b) CO ₂ -C, (c) NH ₃ -N'un Sabit ve Sıcaklık Kontrollü Havalandırmada Zamana Göre Değişimi.....	34
Şekil 3.12 : Havalı Kompostlaştırma Metodları.....	36
Şekil 3.13 : Kapalı Reaktör Kompostlaştırma Sistemleri.....	38
Şekil 4.1 : Kullanılan Havalı Kompostlaştırma Reaktörünün Şematik Gösterimi.....	43
Şekil 4.2 : Kullanılan Havalı Kompostlaştırma Reaktörlerinden Bir Görünüş.....	46
Şekil 5.1 : I. Reaktördeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi.....	55
Şekil 5.2 : II. Reaktördeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi.....	56
Şekil 5.3 : III. Reaktördeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi.....	57
Şekil 5.4 : IV. Reaktördeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi.....	58
Şekil 5.5 : Reaktörlerdeki pH' nın Zamana Göre Değişimi.....	60
Şekil 5.6 : Reaktörlerdeki Organik Madde Miktarının Zamana Göre Değişimi.....	61
Şekil 5.7 : Reaktörlerdeki TKN Miktarının Zamana Göre Değişimi.....	65

ANASON POSASININ AEROBİK KOMPOSTLAŞABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kompostlaştırmanın 'Tekel İstanbul İçki Fabrikası'ndan çıkan katı atıklar için uygun bir bertaraf metodu olup olmadığının araştırılması ve kurulması muhtemel bir kompostlaştırma tesis için uygun dizayn parametrelerinin ve özelliklerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, söz konusu endüstriden çıkan anason posası, arıtma çamuru ve evsel katı atıklar üretim esnasında oluştukları oranlarda, ancak farklı kombinasyonlar ile karıştırılmış ve bu karışımların kompostlaştırılabilirliği araştırılmıştır. Atıkların yapısına da bağlı olarak, kompostlaştırma sırasında ürün kalitesi açısından nütrientin korunması üzerinde özenle durulmuştur.

Deneyisel çalışmada, farklı oranlarda bileşenler içeren karışımların beslendiği dört reaktörde atıkların esas yapısını anason posası oluşturmaktadır. Anason posasını diğer atıklardan ayıran en önemli özellik, posanın yüksek oranda organik madde içermesine ek olarak azot konsantrasyonunun da yüksek olmasıdır. Bunun sonucunda, söz konusu anason posasının karbon/azot (C:N) oranı (15:1), kompostlaştırma için kabul edilen optimum C:N oranından (30:1) düşüktür. 15 gibi düşük bir C:N oranında başlayan kompostlaştırma sırasında, organik azotun parçalanması ile açığa çıkan iyon formundaki amonyakın pH'ın yüksek olmasıyla da gaz formuna geçerek atığı terk ettiği gözlenmiştir. Ham anason posasının (I. reaktör) kompostlaştırılması esnasında, başlangıçtaki organik azotun yaklaşık %65'i uçarak kaybolmuştur. Azotun en iyi korunduğu karışım, anason posası ve anason kompostunun 10:1 oranında karıştırıldığı karışım olup bu karışımla beslenen reaktörde (III: reaktör) organik maddenin ayrışma oranı %59'dur. Anason posası, anason kompostu, arıtma çamuru, ve evsel katı atık karışımı (80:5:10:5) ile beslenen reaktörde (IV: reaktör) ise hem daha yüksek bir azot kaybı (%50), hem de en yüksek organik madde ayrışma oranı (%70) gözlenmiştir.

Çalışmaların yürütüldüğü reaktörlerde ürün kalitesi, ham anason posası dışında oldukça yüksektir. Elde edilen kompost ürünleri humuslu maddelerin taşınması gereken özellikleri taşımaktadır. Bu çalışmada elde edilen ürünler, azotun büyük oranda kaybolmasına karşın nütrient açısından zengindir. Ürünlerin ağır metal konsantrasyonları, yabancı ülkelerdeki kompost ürünü ağır metal konsantrasyon limitleriyle karşılaştırıldığında standartların altında kalmaktadır. Ayrıca, yapılan mikrobiyolojik analizler sonucunda, ürünlerdeki patojen mikroorganizma miktarının standart değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak kompost ürünü üzerine yapılan bu çalışmalar, ürünün zengin gübre niteliğinde olduğunu ve tarımda başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

INVESTIGATION OF AEROBIC COMPOSTING OF ANISE WASTE

SUMMARY

The main scopes of this study were to explore the applicability of composting as a suitable alternative for the treatment of solid wastes generated by the 'Tekel Istanbul Beverage Industry', and to determine the specifications and the appropriate design parameters for a composting plant to be constructed in future. Within this context, composting of four different mixtures with varying fractions (resembling the fractions generated from the beverage facility) of anise waste, biosolids from the activated sludge treatment plant, and the domestic solid wastes of the production site; in addition to certain amounts of the anise compost, was investigated in four reactors. Due to the composition of each type of waste, availability of sufficient amount of nutrients during the composting process was especially taken into account in order to provide good quality composting product.

In the experimental studies, anise waste was the main component of the mixtures consisting of varying portions of waste components. The most crucial property of anise waste differentiating it from the other solid wastes was that in addition to its high organic matter content, it also contained high nitrogen concentrations. Consequently, the C:N ratio of the anise waste used in this study (15:1) was lower than the C:N ratio (30:1) given in the literature as the optimum ratio for successful composting. During the composting process, which started with such a low C:N ratio (15:1), the ionized ammonia generated via the biodegradation of organic nitrogen was observed to be converted to gaseous form and left the waste mixture; also due to the effect of high pH levels. In the course of the composting of the raw anise waste (1. Reactor), 65% of the starting organic nitrogen was wasted to the atmosphere. The mixture at which the nitrogen content was mostly conserved, was the one with the anise waste and anise compost (10:1, respectively). Furthermore, the degradation percentage of the organic matter was 59% in the reactor fed with this mixture. In the IV. Reactor started with the mixture of anise waste, anise compost, biosolids, and domestic solid wastes (80:5:10:5, respectively), both a higher nitrogen loss (50%) and the maximum organic matter biodegradation percentage (70%) were observed.

The quality of the composting products of the reactors was significantly high, except for the reactor fed with raw anise waste (1. Reactor). The properties of these composting products were matching those determined for humus-like materials. Despite of the vast losses in nitrogen contents, the products obtained in this study were satisfactorily rich in nutrients. Furthermore, the heavy metal concentrations of the generated products were lower than the limits, when compared to international heavy metal concentration standards. Besides, it was determined via microbiological analyses that the pathogenic microorganism contents of the products obtained in the study were under standards.

In conclusion, based on the experimental studies carried out in this study and summarized above, the composting products attained in this work were concluded to posses significantly high fertilizing capacity, and thus, to be a satisfactory alternative for agricultural consumption.



1. GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Ülkemizde son yıllarda atıksu arıtma tesisi yapımı hızlanmıştır. Yapılan arıtma tesislerinde oluşan çamurlar genelde mekanik olarak suları alındıktan sonra katı atık düzenli depolama sahalarına boşaltılmaktadır. Ülkemizdeki endüstrilerin büyük bir kısmı büyük şehirlerde yer almaktadır. Bu şehirlerde katı atık düzenli depolama sahalarının bulunmasında çeşitli sorunlar mevcuttur. Hem saha yeri bulunmasındaki sorunlar, hem de mevcut sahaların ömürlerinin uzatılması için atıksu arıtma tesisi çamurlarının diğer yöntemlerle bertaraf olanaklarının araştırılması gerekmektedir.

Diğer taraftan, mevcut endüstrilerin bir kısmı ise tarıma dayalı, gıda, içecek, ve benzeri endüstrilerdir. Bu endüstrilerden üretim sırasında önemli miktarda organik katı oluşmaktadır. Bu atıklarda genellikle diğer katı atıklarla ve atıksu arıtma tesisi çamurları ile birlikte düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir. Bu durum yukarıda da belirtilen nedenlerden dolayı olumsuzluk yaratmaktadır.

Diğer organik katı atıklar gibi endüstri kaynaklı bu çeşit organik katı atıkların daha verimli şekilde bertarafı mümkündür. Ayrıca, Türkiye bir tarım ülkesi olmasına rağmen, topraklarının büyük bir kısmı tarımsal etkinlikler için çok zengin değildir. Açıkça görüldüğü gibi, organik atıkların uygun şekilde toprağa verilmesi ülkemiz tarımına büyük fayda sağlayacaktır. Organik atıklardan en verimli yararlanma yöntemi bu atıkların kompostlaştırılmasıdır. Oysa, gelişmiş ülkelerde organik atıkların bertarafında yaygın olarak kullanılan kompostlaştırma yöntemi, ülkemizde henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Kompostlaştırma her türlü katı fazdaki organik atıklar ile katı atıkların organik kısımlarının bertarafında kullanılan ve uygulaması çok eski zamanlara dayanan bir bertaraf metodudur. Diğer yandan ülkemize münhasır bazı tarımsal ürünler ve bunlara dayalı endüstriler ve buralarda oluşan orijinal atıklar da mevcuttur.

Bunlar göz önüne alındığında, Avrupa Birliği'ne girmeye hazırlandığımız bu günlerde, 2019 yılında depolama alanlarına hiç organik atık göndermemeyi hedefleyen birliğe ülkemizin de uyum sağlayabilmesi için bu konudaki çalışmaların hızlandırması gerekmektedir.

Bu çalışma ile seçilecek olan bir endüstriyel tesisten oluşan atıkların kompost yapılması bu konuda bir başlangıç gerçekleştirilecek, sonuçlar benzer endüstriler için öncülük edecek ve kullanıma hazır veriler elde edilecektir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Çalışmanın amacı, kompostun ülkemizdeki tarıma dayalı endüstrilerden bir tanesi olan Tekel İstanbul İçki Fabrikasından çıkan anason posası, arıtma çamuru, evsel katı atık gibi atıklar için uygun bir bertaraf metodu olup olmadığının araştırılması ve bu doğrultuda uygun dizayn parametrelerinin ve özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaç kapsamında, endüstriden çıkan organik katı atıklar, üretildikleri oranlarda farklı bileşimleri oluşturularak bu karışımların kompostlaşabilirliği araştırılmıştır.

2. TEKEL İSTANBUL İÇKİ ENDÜSTRİSİ

2.1. Endüstrinin Tanımı

Tekel İstanbul İçki Fabrikası, 1932 yılından itibaren Paşabahçe'de 40.000 m²'lik alanda faaliyet göstermektedir. Fabrikada, rakı ve votka üretimi yapılmaktadır. Tesisteki toplam çalışan sayısı 550 kişi olup 24 saat 365 gün üretim yapılmaktadır.

Tesisteki yıllık rakı üretimi 18.400.000 litre olup votka üretimi ise 12.000.000 litredir. Bu miktarlar Türkiye'de üretilen toplam rakının %30'una, votkanın ise %100'üne karşılık gelmektedir.

2.2. Rakının Üretimi

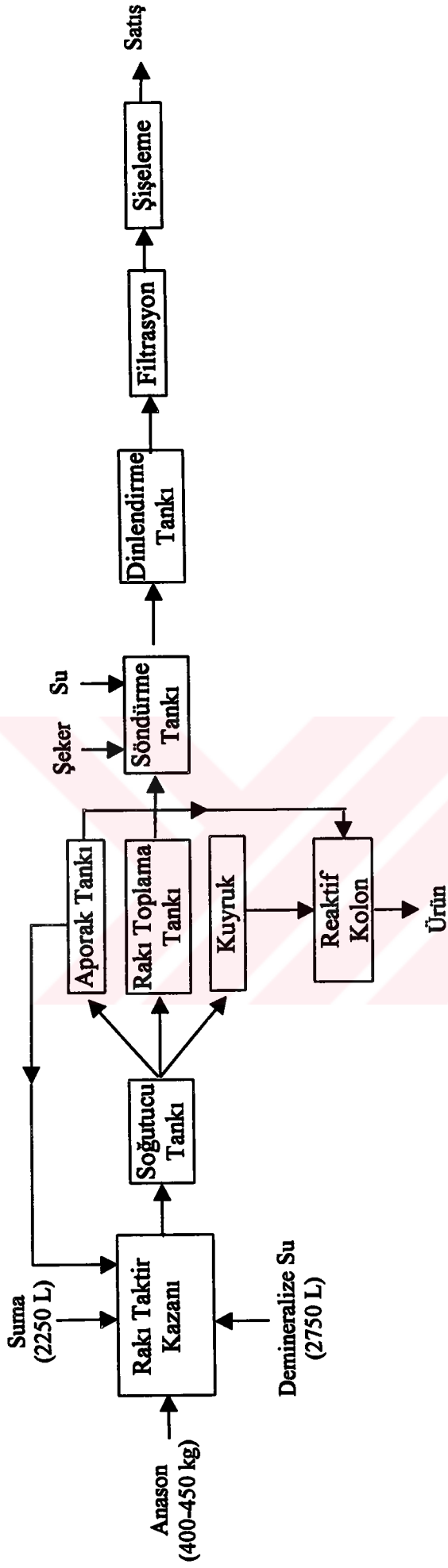
Rakı üretiminde kullanılan hammaddeler, anason, suma, demineralize su ve şekerdir. Rakı üretim şeması Şekil 2.1'de verilmiştir.

2.2.1. Anason

Anason, kokulu ve aromatik tohumları olan şekerleme, parfümeri, hamur işleri, içki ve ilaç sanayinde çok kullanılan tek yıllık bir bitki olup familyası *Umbelliferae-Apiceae* (Şemsiye çiçekli), cinsi *Pimpinella*, türü *Pimpinella anisum L.* dir. Anason Türkiye'de daha çok içki sanayinde kullanılmakta olup, TEKEL tarafından alınmaktadır.

Anason tohumları % 12-13 nem, m%18 protein, % 9-10 yağ, % 4-5 şeker, %20 azotsuz öz maddeler, % 18-20 ham selüloz, % 1.5-2 eterik yağ ve %5-7 ham kül içermektedir. Tohumda bulunan eterik yağın % 90'ını anethol oluşturur. Bunun dışında eterik yağda anisaldehit, anisasit ve bazı eterler de bulunmaktadır.

Kullanılan anason nispeti anasonun kalitesine (bilhassa esans bakımından) göre % 6-10 nispetinde değişmektedir. Keza bu nispet kullanılan aporak nispetine göre fark eder. Anasonun aromatik tesiri tohum dahilinde bulunan anason yağından (esans) ileri gelir. Uçucu olan bu esans tohumun su ile şişip patlamasını müteakip rakıya geçtiği cihetle (damıtmanın 8 inci saatinden itibaren) son mahsülde fazladır.



Şekil 2.1. Rakı Üretim Akım Şeması

Anason esansı uçucu olduğundan bilhassa sıcak ve rutubetli yerlerde kalırsa esans nisbeti azalacağından bayat veya taze olduğuna göre de kullanma nisbeti değişir. Keza menşei itibariyle kalitesi fark eder.

2.2.2 Suma

Rakı üretiminde üzüm sumağı kullanılmaktadır. Suma eldesinde önce, kıyma makinalarından geçirilerek ezilen ve parçalanan üzüm, daha sonra karıştırıcılarda suyla karıştırılarak içerisindeki glikozun suya geçmesi sağlanır. Böylece üzüm posası ve şekerli su karışımından oluşan "mayşe" elde edilmiş olur. Buharla sterilize edilen mayşenin 25-30°C sıcaklıkta en az 48 saat tutularak alkol mayaları ile fermentasyonu sonucunda %8-11 oranında alkol içeriğine sahip olması sağlanır. Daha sonra mayşedeki alkolün su ve diğer maddelerden arındırılması için damıtma işlemi uygulanır. Bu işlem sonucunda elde edilen ürün %93-94 oranında etil alkol içerir ve suma adını alır.

2.2.3 Hazırlık Aşaması

Damıtma işlemi buharla çalışan rakı taktir kazanında yapılmaktadır. Bu kazanın alt kısmına buhar serpantinini örtecek kadar su doldurulur ve beşer tonluk adi bakır imbiklere bir önceki damıtmadan ayrılan ve aporak adı verilen ilk ve son ürünün karışımı ve 1750-2500 l hacminde suma konur. Rakı taktir kazanına 2500-3250 l demineralize su eklenmesiyle alkol derecesi 35-50'ye indirilir. En son olarak, 6 saat önceden bir vagonda 14-24°C'deki suyla ısıtılan anason rakı taktir kazanına eklenir. İlave edilen anasonun miktarı rakı türüne, anasonun kalitesine ve aporak oranına bağlı olarak değişmekle beraber genel olarak 400-450 kg arasındadır. Daha sonra damıtma işlemi başlar ve kaynatma ile oluşan buharın soğutucuda yoğunlaştırılması ile rakı elde edilir.

2.2.4 Damıtma

Her ne kadar alkol damıtma işlemi alkol ve suyun farklı kaynama noktalarına sahip olması gibi basit görünen bir prensibe dayanmakta ise de, fermentasyon sırasında oluşan su, etil alkol, asit aldehit, propil alkol, bütil alkol, amil alkol, ve fűrfürolün birbirinden çok farklı kaynama noktaları (normal atmosfer basıncında, sırasıyla 100, 78.3, 21, 97, 117, 130, ve 160°C) olması ve bir arada bulunan bu maddelerin birbirlerinin kaynama noktalarını etkilemeleri nedeniyle damıtma işlemi oldukça karmaşıktır.

Bir ay boyunca takriben 15 damıtma işleminin yapılabildiği rakı taktir kazanlarında her bir damıtma vardiyası 42-46 saat, doldurma-boşaltma-temizlik ise 2-3 saat sürer. Bu süreler içerisinde rakı taktir kazanından çıkan dört ürün aşağıdaki gibidir:

- **İmalat dışı:** İmbikten ilk akan ve imalat dışında bırakılan bu üründe anason eser miktardadır.
- **Baş ürün:** Baş ürün, imalat harici sıvıyı içermekle birlikte (%0.55) esas olarak eter ve aldehit gibi alkole oranla daha düşük kaynama noktası olan maddelerden oluşmakta ve damıtmanın iki ila sekizinci saatleri arasında toplanması, ısının 80°C'yi geçmemesi ve bu koşullar altında anasonun henüz patlamamış olması nedeniyle anason içermemektedir. Keskin bir kokuya, süt beyazı bir renge, ortalama 215.7 l hacme, ve % 82.4'lük bir alkol derecesine sahip olan baş ürün, kazandaki rakının %10.16'sını oluşturmakla birlikte kokusu nedeniyle aporağa alınmaz.
- **Orta ürün:** Isı ve alkol derecesinin yanı sıra tat ve koku özelliklerine de önem verilen, temiz bir ispirto olan ve esasen rakı olarak kullanılan %80 alkol dereceli orta ürünün toplanması 85-91°C'de, ortalama 31 saat sürmektedir. Bu ürün damıtılan sulandırılmış sumanın %64.10'unu oluşturmaktadır (1482 l).
- **Son ürün:** Orta ürünün alımını takiben alkol derecesi %75-78'e düşüp ispirtonun kokusu ağırlaştığında damıtma sıcaklığı 92-101°C'ye çıkarılarak 6-7 saat boyunca ve alkol derecesi %0-10'a düşene dek toplanan son ürünün yaklaşık hacmi 1335 l'dir.

Toplanan aporaklar karıştırılır ve %45-50'lik bir alkol derecesine sahip bu karışım, bir sonraki taze sumaya katılır. Tablo 2.1 söz konusu endüstride elde edilen rakı damıtma ürünlerinin özelliklerini özetlemektedir.

Tablo 2.1. Tekel İstanbul Alkol Fabrikası'ndaki Rakı Damıtma Prosesi Ürünleri

Ürün	Damıtma sıcaklığı (°C)	Ürün hacmi (l)	Toplam ürüne oranı(%)	Alkol içeriği (%)
Baş	30-80	216	11	83
Orta	85-91	1482	64	80
Son	92-101	1335	25	34

3. KOMPOSTLAŞTIRMANIN ESASLARI

3.1. Kompostlaştırmanın Tanımı Ve Katı Atık Yönetimindeki Yeri

Kompostlaştırma, organik maddenin biyolojik olarak ayrışmasını sağlayan bir prosestir. Bu tanım, kolayca evlerde uygulanan kompostlaştırmadan büyük tesislerdeki kompostlaştırmaya kadar tümü için geçerlidir. Diğer bir ifade ile kompostlaştırma, organik maddenin kontrollü şartlar altında humus veya humus benzeri stabil ürüne kadar biyolojik olarak ayrışmasıdır. Kontrollü şartlar ile prosesin belirli hedefler doğrultusunda optimize edilmesi veya yönetilmesi kastedilmektedir. Kompostlaştırma, konu olarak iki ana alt gruba ayrılır. Bunlar, kompostlaştırma prosesi ve kompost ürünüdür. Kompostlaştırma ile ulaşılması hedeflenen amaçlardan bazıları şunlardır:

- Biyolojik olarak ayrışabilir organik maddeleri, biyolojik olarak kararlı bir maddeye dönüştürmek ve atığın hacmini azaltmak,
- Katı atık içinde bulunabilecek patojen, sinek yumurtası v.b. istenmeyen organizmaları yok etmek,
- Mevcut veya oluşabilecek koku problemini yok etmek,
- Maksimum nütrient içeriğini muhafaza etmek,
- Gübre ve toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilecek bir ürün elde etmektir.

Entegre katı atık yönetim sisteminin en başında gelen ve en arzu edilen, kaynaktan ayırma ile üretilen atık miktarının azaltılmasıdır. Kaynaktan azaltma, geliştirilmiş yöntemlerle (örn. geri kazanmayı sağlayacak ambalajlama sistemi) materyallerin yeniden kullanılması sağlanarak atık üretiminde oluşan azalmadır. İkinci sırada ise kompostlaştırmayı da kapsayan geri kazanım gelmektedir. Katı atıklar için uygulanabilecek yakma ve düzenli depolama gibi bertaraf yöntemleri kabul edilebilir teknolojiler içerisinde ve entegre atık yönetiminde en alt sırada yer almaktadır. Kompostlaştırma, geri dönüşüm ve kaynakların yeniden kullanımının en yüksek

formudur. Üretilen organik maddenin, insanoğlunun yararlı kullanımına yeniden sunmak için yapılan geri dönüşümüdür.

3.1.1. Kompostlaştırmanın Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları:

- Farklı kaynaklarda üretilen organik maddelerin çoğu kompostlaştırılabilir. Bu yüzden bir kompostlaştırma tesisinde evsel ve endüstriyel arıtma çamurları, bahçe atıkları, yemek atıkları vb. arıtılabilmesi,
- Kompostlaştırma tesislerinin, organik atıkların çevreye olabilecek etkilerini minimize etmek üzere dizayn edilmesi,
- Kompostlaştırma ile düzenli depolamaya gidecek atıkların azaltılması ve geri dönüşüm hedeflerinin karşılanması,
- Kompostlaştırma ile bir çok organik maddenin parçalanıp ayrıştırılabilmesi,
- Kompostlaştırma ile yararlı kullanımı olan bir ürün elde edilmesi,
- Kompostun toprak şartlarını ve bitkilerin büyümesini geliştirdiği gibi erozyonu, kaynakasal olmayan kirlenmeleri azaltmasıdır.

Dezavantajları:

- Proses sırasında koku ve bioaerosol emisyonlarının oluşması,
- Kompostlaştırma faaliyetinde, asıl yer gereksiniminin ürünün depolanması ve pazarlanması, aşamalarında olmasından dolayı diğer katı atık bertaraf yöntemlerine göre daha çok yer kaplaması,
- Ürünlerin pazarlanmasında problemlerle karşılaşılmasıdır.

3.2. Kompostun Tarihi

Kompostlaştırma genel bir inanışa göre çok eski zamanlarda uygulanmaya başlanmıştır. Yunan ve Romalılar organik atıkları direkt veya kompostlaştırdıktan sonra kullanmışlardır. Kompostlaştırma ise büyük miktardaki organik atıkları yığın hale getirmişler ve uzun zaman diliminde kompost oluşumu için çürümeye bırakarak yapmışlardır. Medeniyetin ilk dönemlerinde Güney Amerika, Çin, Japonya ve Hindistan'da tarımın yoğun olarak uygulandığı zamanlarda insan ve hayvan atıkları gübre olarak kullanılmıştır. Kompostlaştırma üzerine araştırmalar ilk olarak Amerika'da 1880'lerde başlamıştır. Kompostlaştırma üzerine ilk yığın Amerika'da

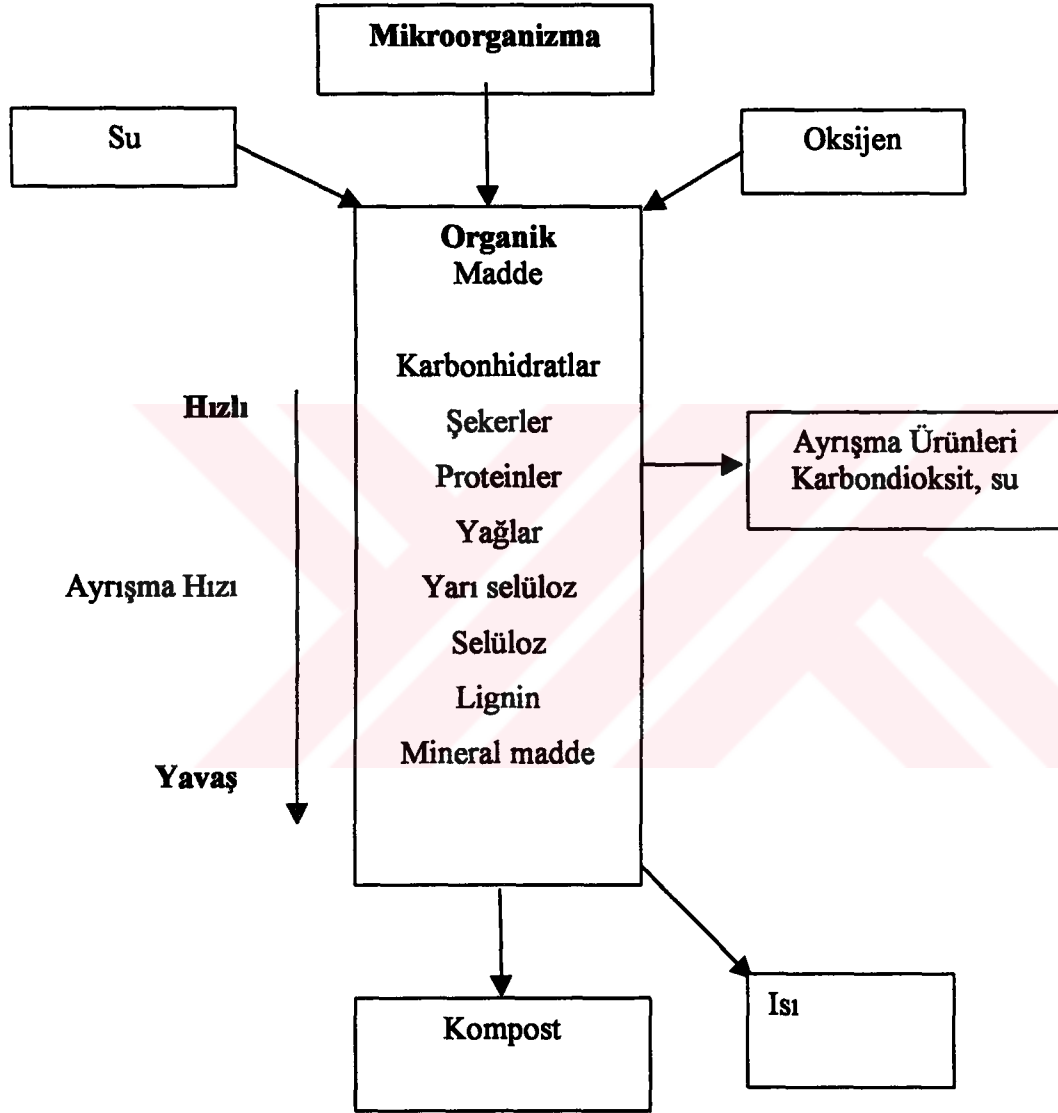
North Carolina Agricultural Experimental Station tarafından 1888'de 61 nolu bültende Compost-Formulas, Analyses and Value adı altında başlatılmıştır. Conecticut Agricultural Experiment Station'da atıkların kompostlaştırılması ve kullanımı üzerine yapılmış 70 yıllık araştırmalardan bahsedilmiştir. 1971-1993 döneminde Amerika ve diğerk ülkelerdeki kompostla ilgili yayın sayısı 11.353'tür. Bunlar, kompostlaştırma üzerine olan ilginin eski zamanlara dayandığını ve ne kadar çok araştırma yapıldığını göstermektedir. Metotolojik yöntemle (yöntem bilimi) büyük ölçekli kompostlaştırma kavramı genellikle 1924-1931 yıllarında, İndone, Hindistan da Sir Alberts Howard ve onun İndone prosesine atfedilmiştir. Başlangıçta proses anaerobik olarak çalıştırılmış fakat sonraları aerobik proses şeklinde modifiye edilerek Bangalore prosesi ile yeniden isimlendirilmiştir. Bu kavramın temeli sebze, hayvan atıkları ve insan dışkısı karışımının, alkali bir madde karıştırılarak asiditeyi nötralize ettikten sonra, bu karışımın havalanmayı sağlamak amacıyla karıştırılması ve karışıma su ilave edilerek değerlendirilmesidir. Sonra bu atıklar, sığ çukurlar veya yemin üzerine yığın şeklinde 1000 tonluk atık prosese sokulmuştur. Bazı kompost çukurlarının boyutu 9x4x0,9m'dir. Sir Howard sadece 45-61m derinliğe ve 92 m ykseklide kadar havanın girebildiğini, diğerk bölümlerinin anaerobik fermentasyona uğradığını, bu yüzden ekstra havanın sağlanması gerektiğini gözlemlemiştir. Küme halinde yığınların tabanında oksijen düşük olduğu ve anaerobik bölgenin oluştuğu 90'lı yıllarda belirlenmiştir. Van Vuren, Sir Howard'ın prensiplerini esas alarak 1939'da Güney Afrika'da Vanvuran şehir atıklarının kompostlaştırılmasında dezenfeksiyon metodunu kullanarak elde ettiği ürünün toprağı humus bakımından zenginleştirdiğini gözlemlemiştir. Avrupa da ilk kompost tesisi 1932'de Hollanda da kurulmuştur. İndone prosesin modifikasyonu olan sistem Van Maanen olarak anılmaktadır. Tesis N.V Vuilafvoer Maatschapii (VAM) tarafından işletilmiş olup atıklar kümeler halinde yığılmış ve kreynler ile çevrilmiştir. II. Dünya Savaşının ardından Avrupa'da kompostlaştırma artmıştır ve bu sıralarda pratik olarak Amerika'da kompost tesisi işletilmemiştir. Hollanda'da VAM metodu Mierlo ve Wilster şehirlerinde kurulmuştur ve tüm ülkedeki toplam atıkların üçte birinin kompostlaştırıldığı tahmin edilmektedir. Tren vagonları ,ile getirilen atıklar yüksek bir rampadan dökülerek büyük yığınlar oluşturulmuştur. Hareketli kreynlerle ile birkaç ay boyunca karıştırılarak yerleri değiştirilmiştir. Buradan elde edilen ürün, tarımda ve bahçede kullanmak üzere birçok farklı numaralı elekten geçirilmiştir. Bu

metot gelişmekte olan ülkeler için, düşük teknoloji ve kolaylıkla ekipman temini açısından oldukça uygundur. Breidenbach, 1969'da 30'dan fazla kompostlaştırma tesisinin olduğunu belirtmiştir. Kompostlaştırma zerine ilk önemli proje 1950 ve 1960'larda California niversitesi'nin Richmand İstasyonu'nda Drs. Gottas ve Gaulla tarafından yönetilmiştir. 1960'larda Birleşmiş Milletler Halk Sağlık Servisi (U.S Public Health Service) evsel atıkların arıtma çamurları ile birlikte arıtımı üzerine uygulamalı iki önemli proje başlatılmıştır. Bunarın birisi Goinesvilla (Florida) ve diğeri Johnson City (Tennessee)'dedir. Proses ve ekonomik analizin yanında bitkilerin büyümesi ve toprak üzerine etkileri ile ilgili önemli araştırmalar yapılmıştır (Epstein, 1997). Bu dönemden sonra kompostlaştırma ile ilgili çalışmalar hızla artmıştır.

3.3. Havalı Kompostlaştırmanın Esasları

Havalı kompostlaştırma, kontrollü aerobik şartlar altında organik maddenin ayrışmasıdır. Kompostlaştırma prosesini birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörlerden bazıları proseste çok önemli rol oynarken diğerleri bu faktörlerin değişimi ve gelişiminde etkilidir. Temel kompostlaştırma prosesinin akım şeması şekil 3.1'de gösterilmiştir.

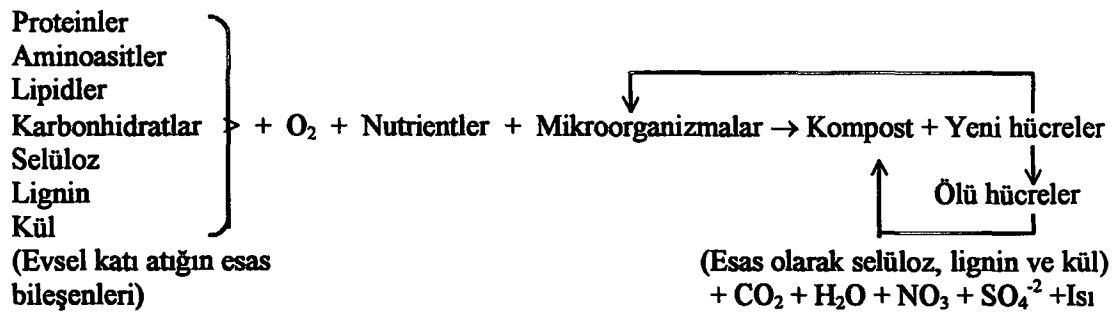
Organik maddenin mikroorganizmalar tarafından ayrışmasını etkileyen en önemli faktörler oksijen (O_2) ve su muhtevasıdır. Sıcaklık, kompostlaştırma prosesinde önemli bir faktör olmasına karşın, mikrobiyal aktivitenin bir sonucudur. Kompostlaştırma prosesini kısıtlayan diğer önemli faktörler nütrient ve pH' dır. Özellikle karbon ve azot, mikrobiyal büyüme ve akivite için gerekli olup proseste önemli rol oynamaktadır. Karbon ana enerji kaynağı, azot hücre sentezi için gereklidir. Fosfor ve sülfür de atıklarda daha az olmasına karşın önemli rol aldığı bilinmektedir. Mikroorganizmaların bitkiler gibi mikrontrientlere ihtiyaçları vardır. Cu, Ni, Mo, Fe, Mg, Zn, Na gibi mikrontrientler enzimsel reaksiyonlar için gereklidir, fakat bunun hakkında literatürde az miktarda bilgi vardır (Hoitink ve Keener, 1993).



Şekil 3.1. Kompostlaştırma Prosesi (Epstein, 1997)

Termodinamiğin birinci kuralına göre enerji ne yaratılabilir ne de parçalanabilir. Bu yüzden sisteme giren enerji hem sistemde depolanan enerji hem de sistemden çıkan enerji göz önünde bulundurularak tam olarak hesaplanır. Kompost prosesinde en önemli enerji girişi substrattaki organik moleküllerdir. Bu moleküller biyolojik aktivasyonla parçalanırken enerji hem mikroorganizmalar içindeki yeni organik moleküllerine dönüşür hem de çevreye ısı şeklinde açığa çıkar. Kompost prosesini yürüten organik parçalanma ile açığa çıkan enerji sıcaklığın yükselmesine ve substratta bulunması istenen nemin kurumasına neden olur. Bu enerji ilk olarak mikroorganizmalar tarafından organik maddelerin parçalanmasına neden olur (Hogan, 1989).

Organik maddenin kendini ısıtması, mikrobiyal solunumun bir sonucudur (Finsten ve Morris, 1975). Atık, çevresinden izole edildiği zaman üretilen ısı kütlenin sıcaklığını artırır. Sıcaklıktaki artış mikrobiyal popülasyonu mezofilik ve termofilik şekilde etkilemektedir. Bu nedenle mikrobiyal solunum kompost ürününün stabilizesi ve organik maddenin ayrışmasının bir göstergesidir. Proses esnasında O_2 tüketilir ve CO_2 ve su açığa çıkar. Kompostlaştırmanın ilk dönemlerinde aktivasyon yüksek olduğu için büyük ölçekli sistemlerde CO_2 ve O_2 'yi izlemek oldukça güçtür. Bu yüzden literatürde bulunan veriler küçük ölçekli ve laboratuvar prosesinden alınmıştır. CO_2 'nin yanında amonyak ve diğer uçucu organik bileşikler atmosfere verilmektedir. Bunlar, CO_2 ve H_2O 'ya göre oldukça düşük miktardadır. Aerobik kompostlaştırma prosesinin denklem formundaki ifadesi aşağıdaki gibidir.



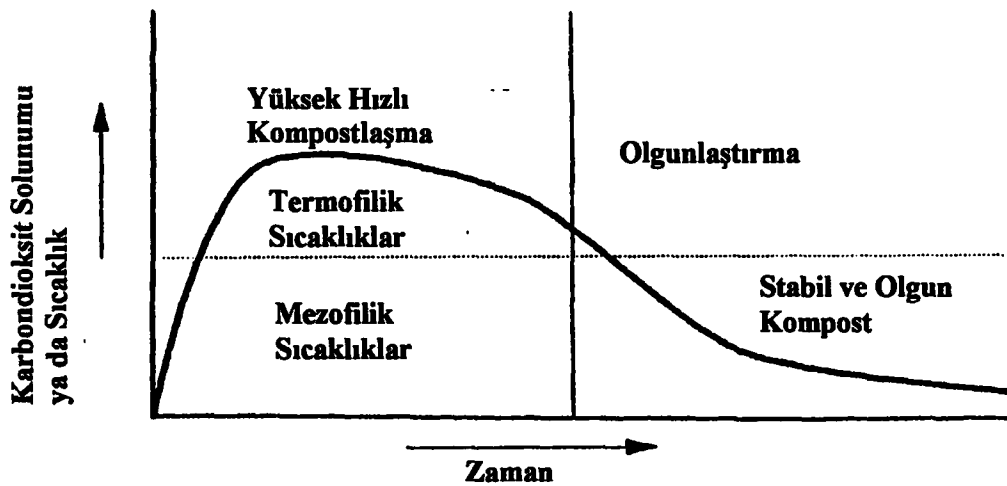
Yukarıdaki denklemde görüldüğü üzere üretilen yeni hücreler, organik maddenin dönüşümünde aktif biyokütle olarak yer alır, öldükten sonrada kompostun bir parçası haline gelir.

Kompostlaştırma prosesi bir çok yolla tanımlanabilir. Şekil 3.2’de kompostlaştırma süresine bağlı olarak solunum ve sıcaklık ilişkisi gösterilmiştir. Eğrinin şekli kompostlaştırılacak atığın yapısına ve kompostlaştırma metoduna göre değişiklik göstermektedir. Bu şekil aktif kompostlaştırma ve olgunlaştırma olmak üzere iki önemli bölüme ayrılır. Aynı eğri mezofilik ($<45^{\circ}\text{C}$) ve termofilik ($>45^{\circ}\text{C}$) olarak ayrılabilir. Aktif kompostlaştırma fazında kolay ayrışabilenler parçalanır ve patojenler elimine edilebilirler. Olgunlaştırma fazında bileşikler daha az hassas karbon minerilizasyonunda (C’nun CO_2 ’de transferi) yağ asitleri ile birlikte parçalanırlar. Yağ asitleri, bitkiler için toksik etki göstermekte olup tamamlanmamış procesten alınan kompost ürünü ile bitkiler zarar görebilirler. Kompostlaştırma sırasında organik maddenin parçalanmasında kompleks maddelerin basit bileşiklere indirilmesi belli bir dereceye kadar olmaktadır.

Elde edilen kompostu diğer organik maddelerden ayıran özellikleri; 1)Kahverengi-koyukahverengi rengi, 2)Düşük C/N oranı, 3)Mikroorganizmaların aktiviteleri nedeniyle sürekli değişen karakteri, 4)Yüksek katyon değiştirme ve su absorplama kapasitesi şeklinde sıralanabilir.

3.3.1. Mikrobiyoloji

Havalı kompostlaştırma, herbir mikrobiyal grup için ortamın sınırlı sürelerde uygun olduğu, zincirleme gerçekleşen dinamik bir biyolojik procestir. Havalı kompostlaştırma prosesinde görev alan başlıca organizma sınıfları Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kompostlaştırmadaki Proses Aşamalarının CO_2 Solunumu ve Sıcaklık ile İlişkisi (Epstein, 1997)

Tablo 3.1. Kompostlaştırma Prosesinde Görev Alan Mikroorganizmalar(Biddlestone ve diğ., 1987)

Mikroflora(çok küçük bitkiler)	Bakteriler Aktinomisetler Mantarlar, maya mantarları Algler Virüsler	Çok küçük ve fazla sayıdadırlar. Bazıları spor yapar. Büyüklükleri 1-8 µm arasındadır. İnce dallı filamentlere sahiptirler. Kuru ve sıcak koşullarda gelişirler. Filamentleri 0.5-2 µm çapındadır. Büyük organizmalardır. Genellikle filament ve spor oluşturlar. Birçok türü vardır. Termofilik olanları çok önemlidir. Büyüklükleri 3-50 µm arasındadır. Nemli koşulları severler. Büyüklükleri 10-100 µm arasındadır. Çok küçüktürler. Bakteri veya aktinomiset gibi konak organizmaya ihtiyaç duyarlar. Büyüklükleri; baş kısmı 0-1 µm çapında, kuyruğu 0.2 µm uzunluğundadır.
Mikrofauna(çok küçük hayvanlar)	Protozoa	Tüy ve kamçıları ile hareket ederler. Bazıları bakteri ile beslenirler. Büyüklükleri 5-80 µm aralığındadır.
Makroflora(büyük bitkiler)	Makro-mantarlar	Yüksek mantarlar da denir. Kompost yığının üst kısmında büyürler. Baş kısımları yaklaşık 20 mm çapındadır.
Makrofauna(küçük toprak hayvanları)	Çok ayaklılar Kurtlar Solucanlar, karıncalar, termitler, örümcekler	Otobur olanları 20-40 mm uzunluğunda, etobur olanları 30 mm uzunluğundadır. Bir kısmı etobur, bir kısmı otoburdur. Büyüklükleri 0.1-2 mm arasında değişir. İnek gübresi yığınlarında <i>Eisenia foetida</i> , ya da inek gübresi kurdu

Havalı kompostlaştırma prosesinde aktif olan başlıca mikroorganizmalar, çok çeşitli türde bakteriler, mantarlar, aktinomisetlerdir. Ayrıca maya mantarları ve protozoalar da görülebilir. Bu mikroorganizmaların hepsi farklı zamanlarda aktiftir ve oksijen ve sıcaklığa bağlı olarak fizyolojik koşulların değişimini gösterirler. Oksijen gereksinimleri ile ilgili olarak mikroorganizmalar, mutlak havalı ve fakültatif mikroorganizmalar olarak karakterize edilebilirler. 10-40°C sıcaklık aralığında çalışan mikroorganizmalar mezofilik, 40-70°C sıcaklık aralığında çalışanlar ise termofilik mikroorganizmalar olarak adlandırılır.

Bakteriler, hem havalı hem havasız ortamlarda hızlı büyüme yeteneğine sahip, tek hücreli mikroskobik organizmalardır. Bakteriler, %80 su ve %20 kuru madde (%90'ı organik %10'u inorganik) içerirler. Organik kısım, hücrenin farklı kısımlarında bulunan protein, karbonhidrat ve yağları içerir. İnorganik kısım ise fosfor, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum, demir ve eser elementlerden oluşur.

Mantarlar, düşük nem ve geniş bir pH aralığında çeşitli organik maddeleri ayrıştırabilen, filamentli, spor oluşturan, fotosentetik olmayan, heterotrofik mikroorganizmalardır.

Aktinomisetler, hem bakterilere hem de mantarlara benzer özellikler gösteren mikroorganizma grubudur. Şekil olarak mantarlara benzerler fakat daha az filamentlidirler. Aktinomisetler, orta kuru maddelerin kompostlaştırılmasında belirgin bir role sahiptir.

Maya mantarları, tek hücreli bitkisel gelişmeye uyum sağlamış mantar gelişiminin bir safhasıdır. Maya mantarları, genellikle substrat olarak çözülmüş karbonhidrat ve şekerleri tercih ederler. Diğer mikroorganizmaların üzerinden beslenen kontrolsüz, tek hücreli mikroorganizma grubu olan protozoalar, kompostlaştırma prosesinde bulunabilirler.

Mantarlar, maya mantarları ve aktinomisetler, selüloz ve hemiselülozun bakteriler ise suda çözünen şekerlerin ayrıştırılmasında etkilidir. Metabolik gereksinimlerinin yanında kompostlaştırma prosesi esnasında mikroorganizmaların üstünlükleri de değişir. Kompostlaştırma prosesinin başlangıç safhasında mezofilik bakteriler hakimdir. Kompostun sıcaklığının yükselmesi ile termofilik bakteriler, daha sonra 7-10 gün sonunda görülen mantarlar baskın hale gelir. Son safhada, aktinomisetler ve solucanlar ortaya çıkar. Bakterilere kompost yığının her yerinde rastlanırken, mantar

ve aktinomisetler, kompost kümesi yüzeyinin hemen altında, dış tabakanın 5-12 cm'lik kısmında yer alırlar. Bazı biyolojik olarak ayrışabilir maddelerde bu mikroorganizmalar yeterli miktarlarda bulunmadığından, bu maddelere aşı olarak kompost ilave etmek gerekebilir.

Tüm havalı kompostlaştırma proseslerinin mikrobiyolojisi benzerdir. Havalı kompostlaştırma proseslerinin kontrolünde kritik olan parametreler, su muhtevası, C/N oranı ve sıcaklıktır. Çoğu biyolojik olarak ayrışabilir organik atık için, su muhtevası uygun bir seviyeye (%50-60) getirildiğinde ve yığın havalandırıldığında mikrobiyal metabolizma hızlanır (Palmisano, ve Barlaz, 1996).

3.3.2. Biyokimya

Evsel, zirai veya endüstriyel kaynaklı organik atıklar, çok çeşitli konsantrasyonlardaki şeker,protein, lipid, hemiselüloz, selüloz, lignin ve minerallerin karışımıdır. Organik atıkların bileşimi Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Organik Atıkların Bileşimi (Biddlestone, ve diğ., 1987)

Bileşen	%(kuru ağırlık)
Sıcak/soğuk suda çözünebilen maddeler (şeker, nişasta, aminoasit, üre, amonyum tuzları)	2-30
Eter/alkolde çözünebilen maddeler (lipidler, yağlar, mumlar)	1-15
Protein	5-40
Hemiselüloz	10-30
Selüloz	15-60
Lignin	5-30
Kül	5-25

Kompostlaştırma hem çoğaltma hem de ayrıştırma prosesidir. Mikroorganizmanın hücre duvarı önemli bir faktördür. Çözünmüş şekerler ve aminoasitler gibi basit, düşük molekül ağırlıklı karbon bileşikleri hücre duvarından kolayca geçebilir ve enerji ve çoğalmayı sağlamak için daha büyük polimerlere metabolize edilir. Uzun zincirli organik atık bileşenleri, basit bileşiklere ayrıştırılmadan hücre duvarından geçemez ve kullanılamaz. Bu, ancak uzun zincirli polimerleri basit bileşiklere hidrolize eden hücre dışı enzimleri sızdıran bazı mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Kompost yığınındaki mikroorganizmaların hemen hemen hepsi hidroliz ürünlerini özümleyebildiği halde, sadece belirli mikroorganizmalar hidrolizi gerçekleştirebilir.

3.3.3. Havalı Kompostlaştırmaya Etki Eden Faktörler

3.3.3.1. Dane Boyutu

Evsel katı atıkların organik kısmını oluşturan maddelerin çoğu, düzensiz şekillere sahiptir. Bu düzensizlik, organik maddenin kompostlaştırılmadan önce parçalanması ile azaltılabilir. Dane boyutu, hacim ağırlığı, içsel sürtünme ve akım karakteristiklerini etkiler. Dane boyutu azaldıkça, mikroorganizmaların saldırılarına maruz kalacak yüzey alanı artar ve bu da teorik olarak biyokimyasal reaksiyonların hızını artırır. Küçük daneler, yığınların içindeki gözeneklerin ve kanalların boyutunu azaltarak hacim ağırlığını artırırlar. Bu da havanın yığının içine, karbondioksitin de yığının dışına difüzyonunu sınırlar ve reaksiyon hızının azalmasına sebep olur. Atık yüksek su muhtevasına sahipse, yüksek birim hacim ağırlığı mekanik aktarma ekipmanlarının aşırı yüklenmesine sebep olur. Bu sebeplerle dane boyutları arasında bir uyum sağlanmalıdır. Mekanik karıştırma ve suni havalandırma yapılan tesislerde dane boyutu, parçalandıktan sonra 1.25 cm kadar küçük olmalıdır. Doğal havalandırmalı statik küme ve yığınlarda ise 5 cm'den daha az olmalıdır.

3.3.3.2. Karbon/Azot(C/N) Oranı

C/N oranı, kompostlaştırma prosesi için en önemli çevresel faktördür. Mikroorganizmaların çoğalmaları için gerekli olan azot dışındaki fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, kükürt, demir, kobalt ve çinko gibi diğer nütrientler, organik atıkların içerisinde yeterli miktar ve oranlarda bulunurlar, sadece C/N oranının ayarlanması gerekebilir.

C/N oranı ile ilgili gereksinimler, bu iki elementin mikroorganizmaların metabolizmalarında enerji eldesi ve yeni hücre maddesi sentezinde kullanılan miktarlarının farklılığının bir fonksiyonudur. Karbonun büyük bir kısmı mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri içinde karbondioksit oksitlenir, kalan karbon ise yeni hücre sentezinde kullanılır. Başlıca azot tüketimi, yeni hücre sentezi için yapılır. Sonuç olarak, azottan daha fazla karbon gerekmektedir. Topraktaki organik maddelerin C/N oranı ortalama 10 olarak tesbit edilmiştir. Katı atıkta $C/N > 35$ ise azotu tamamen tutulacağı, $C/N < 20$ ise azotun serbest kalacağı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar, katı atıkta optimum C/N oranının 20-25, maksimum C/N oranının ise 50 olabileceğini ortaya koymuştur. C/N oranı büyük

olan bir kompost toprağa verilirse, mikroorganizmalar çoğalmaları için gerekli azotu topraktan almakta ve onu azot yönünden fakirleştirmektedir, C/N oranı küçük ise fazla azot, amonyak olarak kaybolduğundan toprakta yine azot yönünden bir fakirleşme görülmektedir. C/N oranı çok yüksek olan atıklara, azotlu atıkların ilavesi ile bu oran azaltılabilmektedir. C/N oranı çok düşük olan atıklara ise karbonlu atıkların ilavesi ile C/N oranı artırılabilir. Çeşitli kompostlaşabilir maddelerin azot içerikleri ile kuru ağırlık olarak C/N oranları Tablo 3.3'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere arıtma çamurlarının C/N oranı düşük, bahçe atıklarının ve kağıtların C/N oranları ise yüksektir.

3.3.3.3. Su Muhtevası

Su muhtevası, kompostlaştırma prosesinde mikrobiyal aktiviteyi etkiler ve buna bağlı olarak sıcaklığı ve organik maddenin ayrışma hızını da etkilemektedir. Su, mikrobiyal aktivite ve organik maddenin biyolojik oksidasyonu sonucu üretilir. Üretilen su, buharlaştırma ile kaybolur. Fakat laboratuvar ölçekli kompostlaştırma çalışmalarında mikrobiyal aktivite sonucu açığa çıkan su buharlaşmadan daha fazladır.

Mikroorganizmalar, çoğalmaları için gerekli besinleri suda çözünmüş olarak özümleyebilirler. Ayrıca mikroorganizmaların yapılarının %80'i sudur. Bu nedenlerle, kompostlaştırma prosesi için belirli miktarda su bulunması şarttır, fakat suyun fazlası daneler arasındaki boşlukları doldurarak, havalandırmayı engellemekte ve özellikle ortamı anaerobik hale dönüştürerek, kokulara ve patojen mikroorganizmaların canlı kalmasına sebep olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, kompostlaştırma prosesi için teorik su ihtiyacı %100 olduğuna göre hava girişinin engellenmemesi için bu oran yarı değerde tutulmaktadır. Havalı kompostlaştırmada, optimum su muhtevası %50-60 aralığında değişmekte ve minimum su muhtevası ise %30'dur.

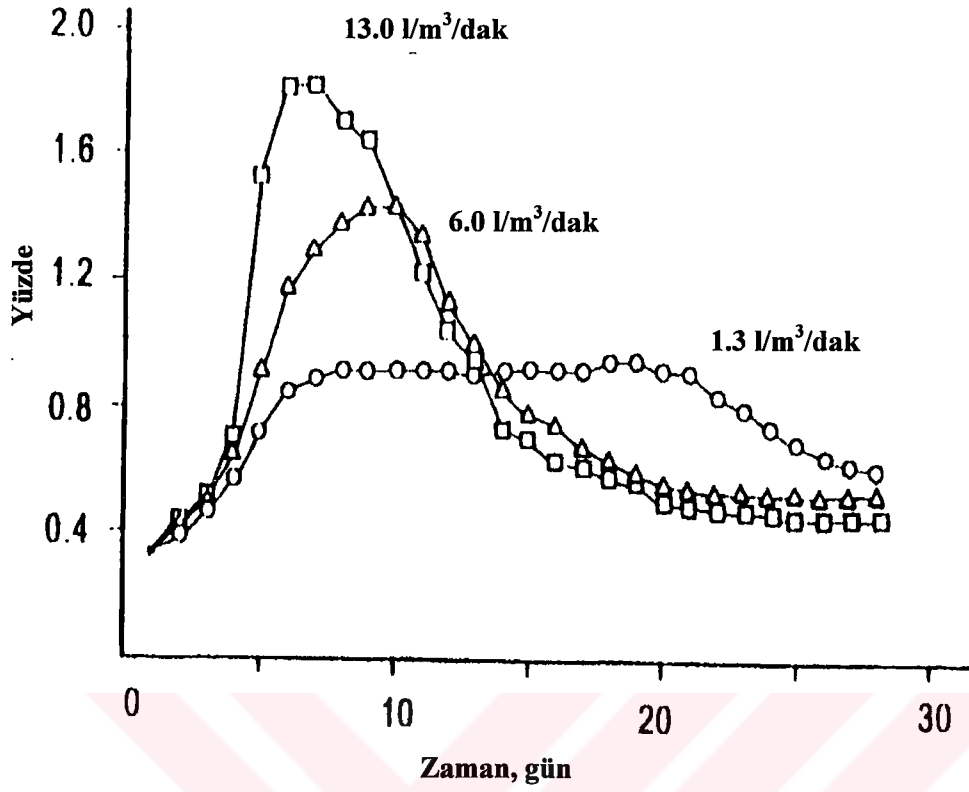
Arıtma çamurları ve tahta parçaları üzerine yapılan büyük ölçekli pilot çalışmada, Cappola ve diğ. (1983) açığa çıkan suyun havalandırmanın bir fonksiyonu olduğunu bulmuştur (Şekil 3.3). En büyük su kaybı 13 l/m³.dak'lık havalandırma hızında elde edilmiştir. Su muhtevası 7. ve 15. günler arasında düşmüş ve sonrasında yaklaşık

Tablo 3.3. Çeşitli Kompostlaşabilir Maddelerin Azot İçerikleri ile C/N Oranları
(Tchobanoglous, 1993)

Madde	N Yüzdesi	C/N Oranı (kuru bazda)
Gıda işleme atıkları		
Meyve atıkları	1.52	34.8
Karışık mezbaha atıkları	7.0-10.0	2.0
Patates kabukları	1.5	25.0
Gübreler		
İnek gübresi	1.7	18.0
At gübresi	2.3	25.0
Domuz gübresi	3.75	20.0
Kümes hayvanları gübresi	6.3	15.0
Koyun gübresi	3.75	22.0
Çamurlar		
Çürütülmüş aktif çamur	1.88	15.7
Ham aktif çamur	5.6	6.3
Odun ve saman		
Kereste hızarhanesi atıkları	0.13	170.0
Yulaf samanı	1.05	48.0
Talaş	0.10	200.0-500.0
Buğday samanı	0.3	128.0
Çam odunu	0.07	723.0
Kağıt		
Karışık kağıt	0.25	173
Gazete	0.05	983
Kahverengi kağıt	0.01	4490
Bahçe atıkları		
Çimen kırıntıları	2.15	20.1
Yapraklar	0.5-1.0	40.0-80.0

% 40'da sabit kalmıştır. Bu verilerle mikroflora arasında ilişki kurulduğu zaman, 10 l/m³.dak'lık havalandırmada en iyi mikroflora elde edilmiştir. Eğer açığa çıkan su yüzdesi mikrobiyal aktivitenin bir göstergesi ise, 13 l/m³.dak'lık havalandırma hızının 10 l/m³.dak'dan daha iyi olduğu sonucu çıkar.

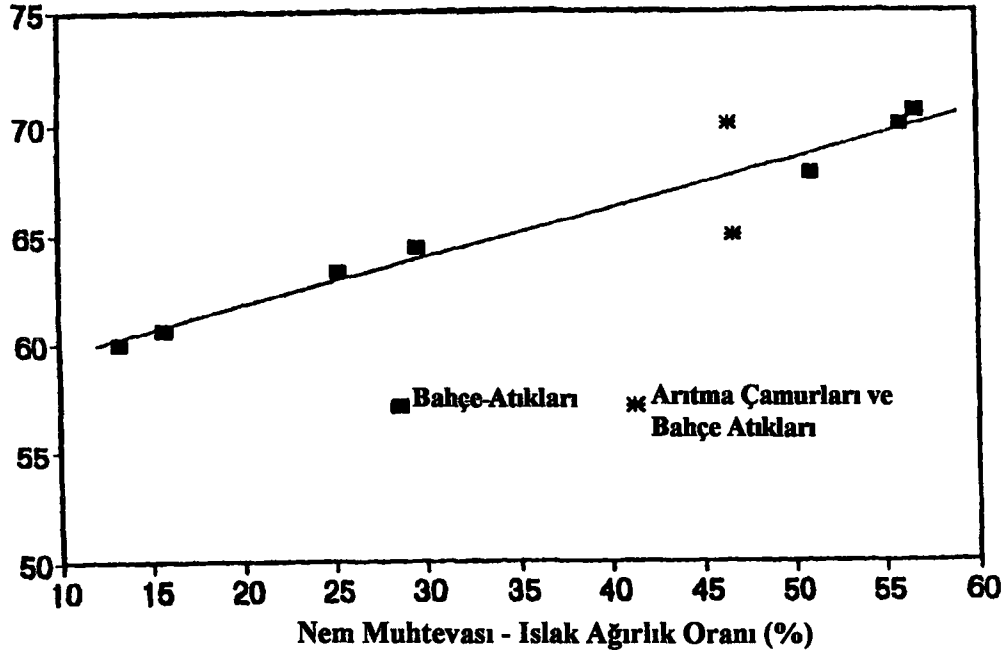
Büyük ölçekli yığın kullanarak yapılan bahçe atıkları ve evsel arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında, Reinhart ve diğ. (1993) su muhtevasının prosesteki önemini belirlemiştir. Prosesteki en yüksek sıcaklıklar ve süre, en son elde edilen ürünün su muhtevasının %30'un altında olduğu zaman oldukça düşüktür. Pik sıcaklıklar su muhtevası ile yüksek bir korelasyon oluşturmaktadır (Şekil3.4).



Şekil 3.3. Arıtma Çamuru ve Küçük Tahta Yonga Karışımının Kompostlaştırılması Sırasında Havalandırma Hızının Açığa Çıkan Su Üzerine Etkisi (Capolla ve diğ., 1983)

Su muhtevastaki değişim kompostlaştırma metoduna, atık yapısına göre de değişmektedir. De Bertoldi ve diğ. (1982) büyük ölçekli üç kompostlaştırma sisteminde su muhtevası değişimini belirlemiştir. Evsel katı atık ve evsel arıtma çamuru karışımında başlangıçtaki su muhtevası 67.3'tür. Karışımın çevrilmesiyle 15.günde %43 30.günde ise %43 su muhtevası elde edilmiştir. Bunun yanında statik yığında basınçlı havalandırma yapılması halinde 15. günde %48 30. günde ise %29 su muhtevası elde edilmiştir. Negatif (emme) havalandırma yapılan sistemde 15. ve 30. günlerde ise sırasıyla sırasıyla %57, %45 su muhtevası elde edilmiştir. Aktif kompostlaştırma periyodunda su muhtevasının %45-55 arasında kalması halinde, su muhtevası proses için kısıtlayıcı faktör değildir.

Pik Sıcaklık - °C



Şekil 3.4. Kompostlaştırma Sırasında Elde Edilen Yüksek Sıcaklıklar ile Su Muhtevası Arasındaki İlişki (Reinhart ve diğ., 1993)

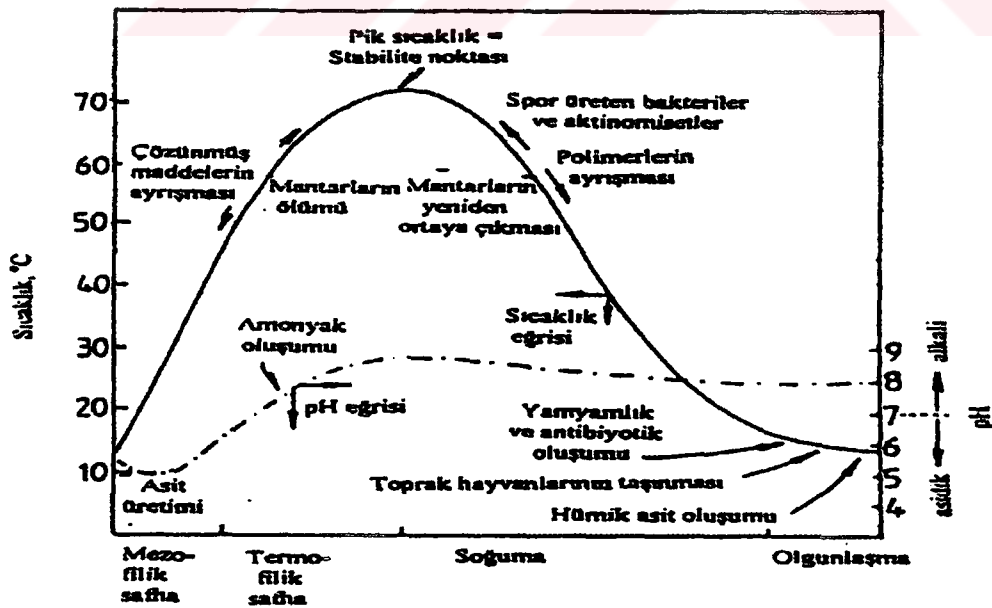
Su muhtevasını giderilmesi iyi kaliteli ürün eldesi için oldukça önemlidir. Örneğin arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında aktif kompostlaştırma periyodundan hemen sonra kompost parçalanır. Su muhtevasının %45'i geçmesi halinde kompostun parçalanması oldukça zordur. Yüksek su muhtevasında, poroziteyi artırmak için ilave edilen maddelerin geri kazanım oranı düşmektedir. Bu yüzden su muhtevası, havalandırma statik yığının dizaynında stabil ürün açısından oldukça önemlidir. Bu mikrobiyal sistemdeki sıcaklığın etkisi organizma türü ve miktarında önemli değişimler ile sonuçlanır.

3.3.3.4. Sıcaklık

Sıcaklık, kompostlaştırma prosesinde önemli rol oynamaktadır. Aynı zamanda prosesin bir fonksiyonudur. Sıcaklığın en önemli yanı mikrobiyal populasyon üzerine olan etkisidir. Bu yüzden kompostlaştırma prosesinde oluşan reaksiyon ve elementler sıcaklıkla değişmektedir. Sıcaklık aynı zamanda mikrobiyal aktiviteyi etkileyen su muhtevası ile doğrudan ilişkilidir. Çeşitli parametre ve sıcaklık arasındaki etkileşim neden-sonuç ilişkisini ayırt etmekte oldukça zorluklar çıkarmaktadır. Kompostlaştırma prosesi genellikle süre-sıcaklık ilişkisi çerçevesinde

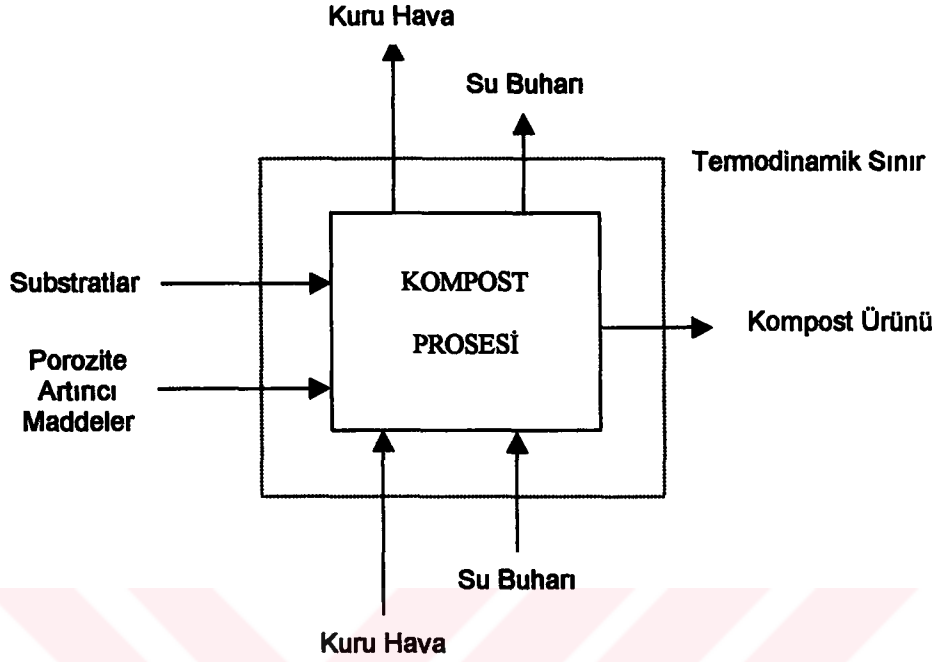
gösterilmektedir. Sıcaklığın iyi yönetildiği proseslerde istenilen amaçlara ulaşılması mümkündür. Örneğin atıklar insan patojenleri içeriyorsa ilk amacımız dezenfeksiyon olmalıdır. Hayvan atıkları, yemek atıkları ve yeşil materyaller gibi insan patojenleri içermeyen atıklar için bitki patojenlerinin yok edilmesi için sıcaklık kontrolü gereklidir.

Havali kompostlaştırma işlemi, mezofilik ve termofilik ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Kompostlaştırmaya katkısı bulunan tüm mikroorganizmalara uygun sıcaklıklar mevcuttur. Kompostlaştırılan atıklarda görülen sıcaklık artışına, solunum metabolizmasındaki ekzotermik reaksiyonlar neden olmaktadır. Sıcaklık 65°C'nin üstüne çıktığında spor yapıcı mikroorganizmalar, spor yapma safhasına geçerler. Bu safha, durgun bir safha olduğundan ve bu nedenle fermentasyon yavaşladığından bu safhaya geçiş istenmez. Bununla birlikte spor yapan mikroorganizmalar, bu sıcaklıklarda ölür ya da inhibe olurlar. 55-60°C civarındaki sıcaklıklarda patojen mikroorganizmalar, solucan yumurtaları ve bitki tohumları da tahrip edilir. Windrow kompostlaştırmada görülen tipik sıcaklık profili Şekil 3.5'de verilmiştir. Genel olarak, aktarmadan sonra yığın sıcaklığı ortam sıcaklığına düşmekte fakat birkaç saat içinde eski seviyesine dönmektedir. Yığın sıcaklığı, 10-15 gün sonra yani biyolojik olarak kolay ayrışabilir maddeler oksitlendikten sonra azalmaktadır.



Şekil 3.5. Bir Kompost Yığınınındaki Tipik Sıcaklık ve pH Değişimleri (Biddlestone, ve diğ., 1987)

Kompost prosesinin termodinamik sistem sınırı ve önemli proses girişleri ve çıkışları Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kompost Prosesinin Termodinamik Sistem Sınırı

Oksijen kullanım hızı, mikrobiyal aktivitenin bir fonksiyonu olduğu için en yüksek oksijen kullanım hızı optimum ayrışma sıcaklığını göstermektedir. Bach ve diğ. (1984) arıtma çamurları için sıcaklığın 60°C olduğunu söylemiştir.

Eğer atık patojen içeriyorsa, proses bir kaç gün boyunca 55°C'nin üzerinde tutulmalıdır. Maksimum mikrobiyal aktivite için kolay ayrışabilen yeterli karbon miktarı mevcutsa dezenfeksiyon için gerekli sıcaklık prosesin başlangıcında elde edilebilir. Statik yığın ve karıştırılmalı yatak sistemlerinde, kütlenin dış yüzeyindeki sıcaklığın merkezinden daha düşük olduğu ve kütlede yeterli sıcaklığın sağlanması için merkezdeki sıcaklık 55°C'den yüksek tutulmalıdır. Eğer atığın dezenfeksiyonuna ihtiyaç duyulmuyorsa düşük sıcaklıklar da daha hızlı stabilizasyon gerçekleşebilir. Bahçe atıkları veya bitki patojenleri kompost ürününün pazarlanabilmesi için yüksek sıcaklıklarda kompostlaştırılması gerekmektedir.

En iyi derecede sıcaklık kontrolleri kapalı statik veya dinamik sistemlerde elde edilir. Statik sistemlerde kontrol daha iyi yapılırken yığın sistemlerde kontrol daha zordur. Kompost kütlesi boyunca sıcaklık tam olarak üniform değildir. Kütlenin ortasında sıcaklık düşer. Yapılan yığınların yüzey alanı büyüdükçe ısı kaybı da büyür. Kütleyi veya hacmi büyüttükçe üretilen ısı artar ve merkezdeki sıcaklığı da yükselir.

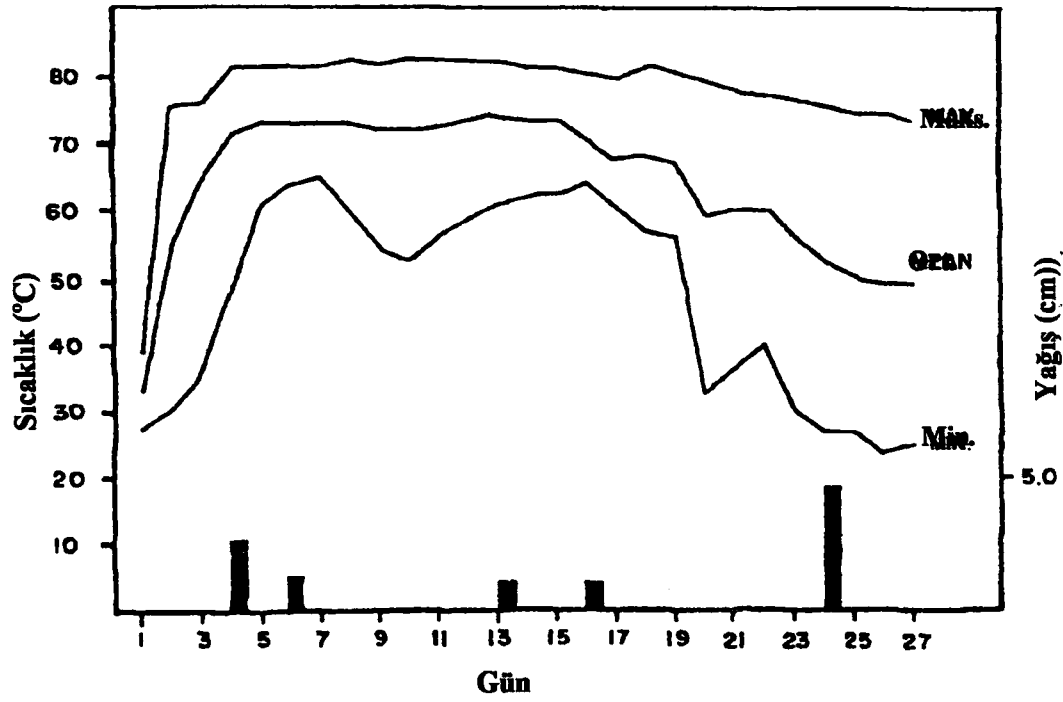
Sıcaklık genellikle prosesin başlangıcında yükselir ve daha sonra azalır. Şekil 3.7 ve 3.8’de statik yığın ve windrow sistemi için zaman-sıcaklık eğrileri gösterilmiştir (Sikora ve Sowers, 1985). Her iki durumda da sıcaklıklar USEPA (1995)’nın arıtma çamuru için istediği 55°C’yi geçmiştir.

Organik maddenin ayrışması için gerekli optimum sıcaklıkla ilgili bazı karşıt düşünceler vardır. Bu karşıt düşüncelerin bir nedeni farklı sıcaklıklarda farklı atıkların veya daha hızlı ayrışabilen materyallerin olmasından dolayıdır. Literatürdeki bir çok veri farklı sürelerde farklı havalandırma hızlarında uygulanmıştır. Başlangıç fazında, biyolojik aktiviteyi desteklemek için yeterli hava sağlanmaktadır. Aynı zamanda havalandırma kuruma ve soğumayı önlemek için düşük tutulmalıdır. Biyolojik aktivite için gerekli hava miktarı suyun giderimi için gerekli havanın 1/6- 1/10’udur. Prosesin sonlarına doğru etkili parçalama ve ürünün kullanılması için gerekli su giderimi havalandırma hızı artırılarak sağlanır.

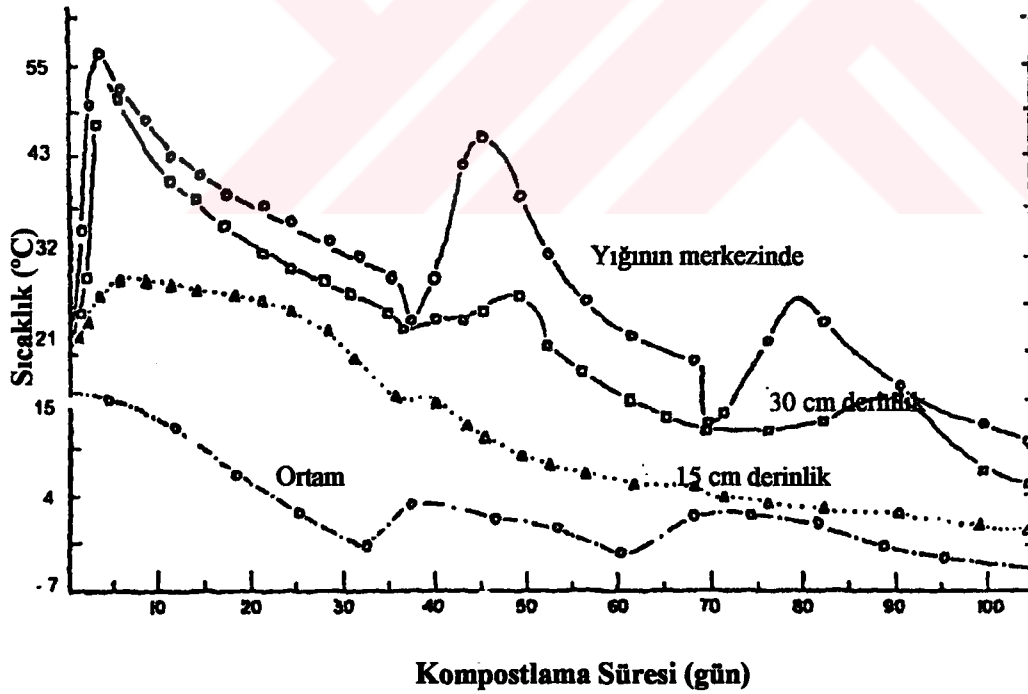
Mikrobiyal Faaliyet Sonucu Oluşan Isı Çıkışı İle Sıcaklık Arasındaki İlişkiyi Temel Alan Kompost Prosesinin Kontrolü

Kompostlaştırmada temel proses kontrolünün amacı katı atıktaki mikrobiyal aktiviteyi maksimum yapmaktır. Bu aktivitenin artması metabolik ısı çıkışının yükselmesi demektir. Metabolik olarak üretilen ısının birikmesi sıcaklığın bir fonksiyonudur. Mikrobiyal faaliyet sonucu oluşan ısı çıkışı ile sıcaklık arasındaki ilişki kompost proses kontrolünün temelini oluşturmaktadır.

Organik maddelerin kendini izole eden bir kütle haline gelmesinden sonra metabolik ısı birikiminden dolayı sıcaklık artmaya başlar. İlk olarak, mezofilik çoğalma artan sıcaklık ile sağlanır. Sıcaklıktaki inhibitör seviyesindeki önemli artış, kendisini kısıtlayıcı seviyeye doğru yönlendirir. Artan sıcaklık ile termofilik çoğalma teşvik edilmiş olur. En yüksek termofilik sıcaklığında , metabolik aktivite oldukça yavaştır. Kısaca, fazla biriken ısı ile sistem kendini kısıtlamaya meyillidir.



Şekil 3.7. Arıtma Çamurları ve Tahta Yongalarının Statik Kompostlaştırılmasında Sıcaklık-Zaman İlişkisi (Sikora ve Sowers, 1985)



Şekil 3.8. Arıtma Çamurları ve Tahta Yongalarının Windrow Kompostlaştırılmasında Sıcaklık-Zaman İlişkisi (Sikora ve Sowers, 1985)

Organik maddenin parçalanmasına yardım eden sıcaklık, aktivitenin (CO₂ çıkışı, ısı çıkışı vb.) ölçülmesiyle belirlenebilir. Proses stabilitesinin, farklı kompost sıcaklıklarındaki bakteri türlerinin çeşitliliğinden yüksek termofilik sıcaklıklardan daha yüksek olmayan termofilik sıcaklıklarda iyi olduğu yargısına varılabilir. Bakteri türlerinin çeşitliliği, 65-69 °C ve 60-65 °C arasındaki sıcaklıklarda, 55-61 °C, 50-57 °C ve 49-55 °C arasındaki sıcaklıklardan daha azdır (Macgregor ve diğ., 1981).

Sıcaklık Kontrolünün Kompostlaştırma Prosesine Olan Etkisi

Organik maddelerin ayrışması, ısı oluşumuna ve buna bağlı olarak kompost matrisinde sıcaklık artışına neden olmaktadır. Kompostlaştırmada sıcaklığın etkisi üzerine birçok çalışma optimum ayrışmanın 55-60 °C arasında olduğunu göstermektedir. Macgregor v.d. (1981) maksimum CO₂ kaybı ve ısı üretiminin ~55°C sıcaklığında olduğunu bulmuştur. Yapılan diğer çalışmalarda ise en iyi ayrışmanın <50°C sıcaklığında olduğunu belirtmişlerdir (McKinley ve Vestal, 1984).

Kompostlaştırma prosesinde faaliyet gösteren mikroorganizmalardan fungi yüksek sıcaklıklarda tamamen inhibe olur. Bakteri ve aktinomiset popülasyonları ise termotolerans türleri dışında yok olmaktadır. Fungi popülasyonunun düşmesi, diğer mikroorganizmaların ayrıştırmasının oldukça zor olduğu selüloz gibi çeşitli substratların ayrışmasını azaltmaktadır.

3.3.3.5. pH

pH kontrolü, mikrobiyal ortamın ve atık stabilizasyonunun değerlendirilmesinde önemli diğer bir parametredir. Kompostlaştırma prosesinde pH, sıcaklığa benzer şekilde zamanla değişmektedir. Evsel katı atıkların organik kısmının başlangıçtaki pH'ı 5 ile 7 arasındadır. Kompostlaştırılan maddenin pH'ı Şekil 3.5'de verilen pH-zaman profiline göre değişir. Kompostlaştırmının ilk birkaç gününde pH 5 veya daha aşağıya düşer. Bu safhada, organik kütle çevre sıcaklığındadır, içsel mezofilik organizmalar çoğalmaya başlar ve sıcaklık hızla artar. Bu ilk kademenin ürünleri arasında pH'ın düşmesine sebep olacak basit organik asitler de vardır. Yaklaşık üç gün sonra, sıcaklık termofilik kademeye ulaşır ve pH, havalı prosesin geri kalan kısmı için, yaklaşık 8-8.5'e yükselmeye başlar. pH değeri, soğuma kademesinde yavaş yavaş düşer, olgunlaşmış kompostta bu değer 7-8'e ulaşır. Eğer havalandırma yeterli değilse, pH yaklaşık 4.5'e düşer ve kompostlaştırma prosesi yavaşlar.

Evsel katı atıklarda genellikle pH düzeltmesine gerek olmamakla birlikte gerekli hallerde kireç, sodyumbikarbonat, kostik soda veya uygun seyreltik asit ilavesi ile pH ayarlaması yapılabilir. Ancak kireç ilavesi amonyak oluşumunu hızlandırmakta ve azotun azalmasına sebep olmaktadır.

3.3.3.6. Havalandırma

Oksijen, kompostlaştırmayı gerçekleştiren havalı mikroorganizmaların metabolizmaları için gereklidir. Kompostlaştırma esnasında 3 temel havalandırma metodu ile O₂ sağlanır: kütlenin fiziksel olarak çevrilmesi, hava akımı ve mekanik havalandırma. Windrow (küme halinde yığın) metodunda havalandırma eskiden kullanılan iki yolla yapılmaktadır. Statik sistemlerde O₂ blowerlar veya konvektif hava akımı ile sağlanır. Daha pasif havalandırma ise atığın yığın halindeki porozitesine bağlıdır.

Havalandırma, kompostlaştırılan maddenin içine doğal, havanın difüzyonuyla, maddenin düzenli olarak elle veya bir makine ile çevrilmesiyle ya da bir fan kullanılarak basınçlı havalandırma ile sağlanabilir. Doğal difüzyonda, genellikle prosesin ilk kademelerinde yeterli oksijeni sağlayamadığından yığının alt kısımlarında anaerobik ortamlar oluşmaktadır.

Havalandırma, kompostlaştırma prosesinde başka fonksiyonlara da sahiptir. Hava akımı, mikrobiyal reaksiyonlarda üretilen karbondioksit ve suyu, ayrıca ısı transferi ile de ısıyı giderir. Isı giderimi, yüksek hızlı, mekanik kompostlaştırma sistemlerinde kısmen önemlidir. Oksijen gereksinimi, proses sırasında değişiklikler göstermekte olup mezofilik kademede düşer, termofilik kademede maksimuma yükselir. Bununla beraber soğuma ve olgunlaşma safhalarında oksijen gereksinimi sıfıra doğru azalır. Bazı kapalı, dinamik tipte kompost hücrelerinde yaklaşık 4 m³/saat.ton hava gerektiği kompost tesisi işletmecileri tarafından bildirilmektedir. Kompostlaştırma prosesindeki oksijen ihtiyacı, su muhtevası ile ilişkilidir. Ayrıca kullanılan havalandırma ekipmanları ve fiziksel durum da işletmede oksijen ihtiyacına etki etmektedir.

Yığın şeklinde yapılan kompostlaştırmada, çevrilmeden sonraki oksijen ihtiyacı çevrilmeden önceki oksijen ihtiyacının iki katından daha fazladır. Bunun nedeni katı partiküllerin parçalanması ve mikrobiyal faaliyet için büyük yüzey alanlarının ortaya çıkması olabilir. Aynı zamanda nem miktarındaki azalma ile hava boşluklarının

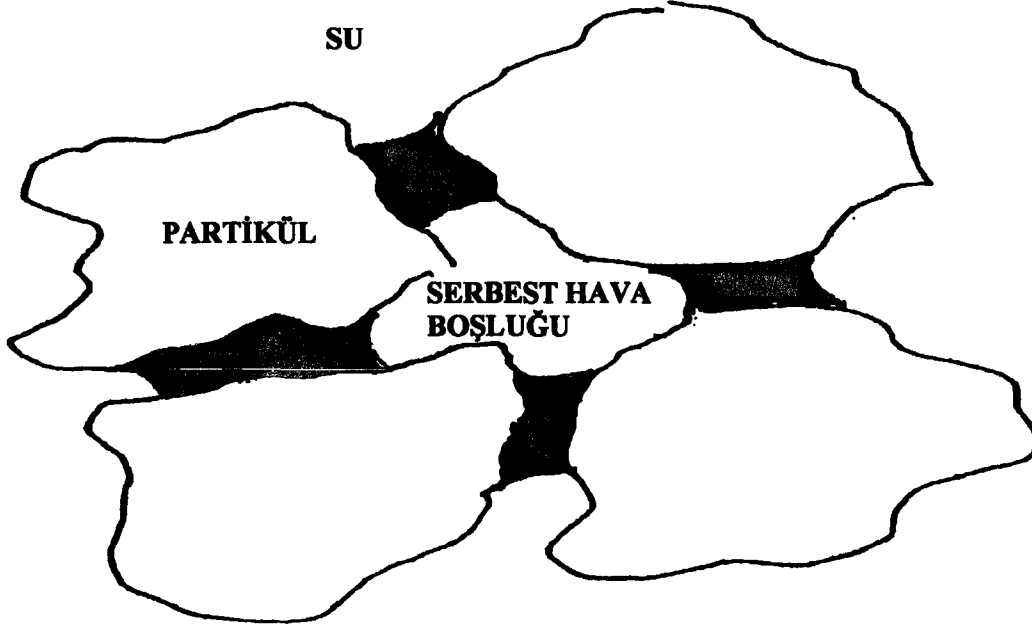
artması mikrobiyal aktiviteyi arttırabilir. Benzer oksijen tüketimi statik yığınlarda da görülmüştür ve blowerların kapatılmasından 20 dk sonra oksijen çok düşük seviyelere ulaşmıştır. (Thompson,1984). Bu nedenle statik yığınla yapılan kompostlaştırmada blowerların çalışma aralığı sıcaklık ve zamana göre düzenlenmektedir. Blowerı açıp kapama arasındaki süre yaklaşık 15 dk tutulmaktadır.

Kaibuchi (1961), pilot ölçekli reaktörde basınçlı havalandırma ile evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında en yüksek sıcaklığı 4-3 mgO₂/hr/g UKM havalandırma hızında elde etmiştir. Viel ve diğ. (1987), üç farklı atık üzerinde yaptığı kompostlaştırmada O₂ tüketim hızı birinci günde artmış, diğer ardışık dokuz günde düşmüştür. Burada anlatılan çalışmalar, oksijen tüketimi ve havalandırma hızının atığın yapısına ve bunun hazırlanış metoduna bağlı olduğunu göstermiştir.

Mikrobiyal solunum(MS) ile üretilen CO₂ ve tüketilen O₂ oranı tanımlanmıştır. Tüketilen her molekül O₂ başına 1 molekül CO₂ üretiliyorsa MS 1'e eşittir. Gray ve Sherman (1973), farklı organik bileşiklerin farklı MS değerine sahip olduğunu göstermiştir. Örneğin, CO₂ ve H₂O'ya oksidasyonunda nişastanın MS değeri 1, proteinin MS değeri 0.81 ve yağların MS değeri 0.71'dir. Bu değerlere göre genelde kompostlaştırılan atıkların MS'i 0,87-0,91 arasında değişmektedir.

Oksijen tüketimi, mikrobiyal aktivasyonu da etkileyen su muhtevasına göre değişmektedir. Regan ve Jeris (1970), %56 su muhtevasındaki oksijen tüketim hızının, %85 su muhtevasındaki oksijen tüketim hızından daha yüksek olduğunu bulmuştur. Bu durumda, düşük su muhtevasında daha çok serbest hava boşluğunun olması, kompostlaştırmayı daha başarılı olmasını sağlar. Serbest hava boşluğu (FAS), su tarafından işgal edilmeyen toplam gözenek boşluğudur (Şekil 3.9).

Gözenek boşlukları, havanın partiküllere doğru geçişini sağlayarak mikroorganizmalar için oksijen sağlar. Optimum su muhtevası % 53-65 arasında değişirken buna karşılık gelen FAS ise % 32-36 arasında değişmektedir. Toplam porozite ve gözenek boyutu olduğu gibi FAS'ta oldukça önemlidir. Daha çok sıkıştırma ve daha az gözenek boşluğu hava akım direncini artırmaktadır. Topraklarda da aynı benzerlik gözlenebilir. Killi toprak kumlu toprağa göre daha çok toplam gözenek boşluğuna sahiptir fakat gözenekler oldukça küçük ve suyun geçirgenliği kısıtlanmıştır. Kumlu toprakta gözenek sayısının az olmasına karşın



Şekil 3.9. Kompostlaştırılma Sırasında Serbest Hava Boşluğu, Partikül ve Su Arasındaki İlişki

büyük gözenekler suyun geçişine izin vermektedir. Kompostun killi toprağa ilave edilmesi ile gözenek boyutu, toprağın filtrasyon ve geçirgenliğini artırmasına neden olur.

Statik sistemlerde havalandırma hızı, su muhtevasının giderilmesi açısından oldukça önemlidir. Özellikle evsel arıtma çamurları ve yemek gibi su muhtevası yüksek atıkların kompostlaştırılması istendiği zaman havalandırma hızı daha da önem kazanır. Dinamik sistemler, çevrilme sırasında yeterli miktarda su muhtevasını açığa çıkarırlar. Her iki sistemde kuruma olma ihtimaline karşın dinamik sistemler daha iyi performans gösterir. Kuruma olması halinde kompostlaştırma prosesi yavaşlar ve mikrobiyal aktivite biter.

Sikora ve Sowers (1985), kendini ısıtan laboratuvar ölçekli kompost reaktörlerinde, arıtma çamurlarının kompostlaştırılması için gerekli optimum şartları belirlemiştir. Bu çerçevede Sikora, sabit hızlı havalandırma ile sıcaklığı 55 °C civarında tutacak sıcaklık kontrollü havalandırmanın, organik maddenin ayrışmasına ve nem giderimi üzerine olan etkisini araştırmıştır. Gözlenen parametreler ise organik madde ayrışmasının göstergesi CO₂-C, kompost ürünündeki nütrient açısından önemli olan NH₃-N ve nemdir. Burada sıcaklık kontrollü havalandırmadan çıkan CO₂ miktarı

sabit hızlı havalandırmaya göre 2.5 kat ve nemdeki giderim ise 2 kat daha fazladır. Aktivite ve sıcaklık artışından dolayı artan hava debisiyle nem miktarında daha çok giderim elde edilmiştir. Böylece daha stabil ve kuru kompost elde edilmiştir.

3.3.3.7. Karıştırma

Doğal havalandırmalı kompostlaştırma sistemlerinde, yığının alt bölgelerine oksijen difüzyonu, metabolik gereksinimlerden çok daha az olduğundan bu bölgeler anaerobik hale gelir. Bu durumda yığını elle veya bir makine ile karıştırmak havanın bu bölgelere ulaşmasını sağlar. Karıştırma, ayrıca büyük parçaları küçülterek, mikrobiyal reaksiyonlar için yeni yüzeyler oluşturur. Bununla birlikte fazla havalandırma, kompost yığınının aşırı soğuyup, kurumasına ve aktinomiset ve mantarların kesilmesine yol açar. Ekonomi ve prosesin gereksinimleri göz önüne alınarak yığınların aktarma sıklıkları belirlenmelidir. Maksimum % 55-60 su muhtevasına ve 15 günlük kompostlaştırma süresine sahip organik bir atık, ilk olarak üçüncü günde aktarılması tavsiye edilmektedir, daha sonra toplam 4 veya 5 aktarma olacak şekilde belirli günlerde aktarılmalıdır.

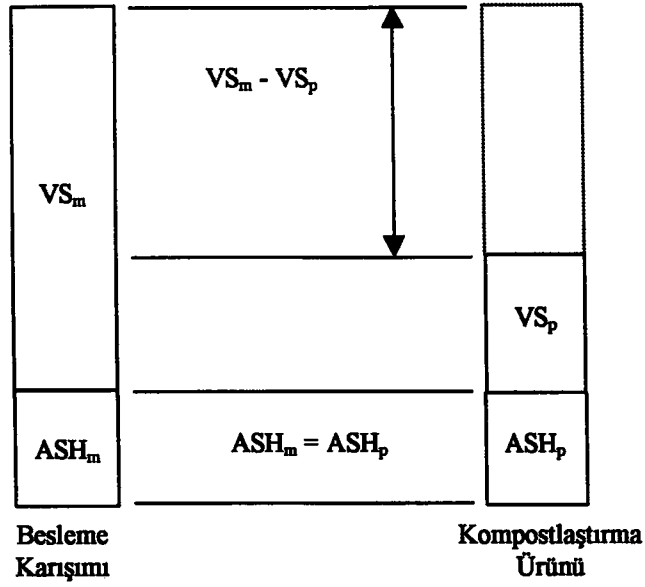
3.3.4. Substratın Ayrışabilirliği

3.3.4.1. Ayrışılabilirliğin Ölçülmesi

Substratın ayrışabilirliğinin ölçülmesi veya tahmini için birçok teknik bulunabilir. Şimdiye kadar bu teknikler kompolaştırma yapan endüstrilerde geniş kullanım alanı bulunamamıştır. Substratın ayrışabilirliği, proses dizaynı ve işletilmesinde önemli olmasından dolayı bu tekniklerin kullanılması gerekmektedir.

3.3.4.2. Kül İçeriğinin Korunumu

Kompostlaştırma birimine giren ve birimden çıkan madde miktarlarının kesin ve sağlıklı ölçümünün mümkün olmadığı durumlarda, ayrışabilirlik katsayısının ve yüzdesinin hesaplanabilmesi için kül ya da inert fraksiyonun konservatif olduğu varsayımı yapılmalıdır. Başka bir deyişle, Şekil 3.10'daki genel bar diyagramında da görüldüğü gibi, sistemden çıkan inert madde miktarı, sisteme giren inert madde miktarına eşittir. Bu durumda, ayrıştırılan uçucu katı bileşeninin girişteki uçucu katı bileşenine oranı olarak tanımlanan k_m ayrışabilirlik katsayısı ve yüzdesi aşağıdaki denklemler yardımı ile şöyle hesaplanır (Haug, 1993).



Şekil 3.10. Besleme Karışımı ve Kompostlaştırma Ürününün VS ve ASH Bileşenlerini Gösteren Bar Diyagramı

Besleme karışımındaki kül yüzdesi (ASH_m) aşağıdaki gibi saptanabilir;

$$\%ASH_m = \frac{ASH_m (100)}{ASH_m + VS_m} \quad (3.1)$$

Bu denklem tekrar düzenlenirse;

$$VS_m = \frac{ASH_m (100)}{\%ASH_m} - ASH_m \quad (3.2)$$

Benzer şekilde %ASH_p ve VS_p şu şekilde bulunabilir;

$$\%ASH_p = \frac{ASH_p (100)}{ASH_p + VS_p} \quad (3.3)$$

$$VS_p = \frac{ASH_p (100)}{\%ASH_p} - ASH_p \quad (3.4)$$

Şekil X:X'e göre ayrışabilirlik katsayısı, k_m ;

$$k_m = \frac{VS_m - VS_p}{VS_m} \quad (3.5)$$

Denklem 3.2 ve 3.4 yukardaki denklemde (3.5) yerine konulup tekrar düzenlenirse, ayrışabilirlik yüzdesi;

$$k_m = \frac{(\%ASH_p - \%ASH_m)100}{\%ASH_p(100 - \%ASH_m)} \quad (3.6)$$

3.3.5. Azot Bazlı Bileşikler

Kompostlaştırma sonucu elde edilen ürünün üç önemli uygulama yeri vardır. Bunlar; mantar yetiştirmek, bahçecilik ve tarımda kullanılmak içindir. Bütün kompostlaştırma proseslerinde koku problemiyle karşılaşmıştır. Bu üç uygulama için istenen ürün kalitesi, birbirinden farklılıklar göstermektedir. Kompostlaştırma prosesindeki kültürlerin farklı olmasının yanında, kompostlaştırılan substratların türüne, proses yönetim stratejisine, proses biçimine ve ekipmanına, maliyete, son ürün gereksinimi ve işletim esnasındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Proseste oluşacak koku ve bioaerosoller iyi bir dizayn ve işletme ile kontrol altına alınabilir.

Kompostlaştırmadan dolayı kaynaklanan kokunun, bileşiminde bulunan amonyakın daha çok önem kazanmasının nedeni diğer kokulardan kolayca ayırt edilebilmesi ve büyük miktarda açığa çıkmasıdır (Frederick ve diğ., 1993).

Amonyak, kompostlaştırma sırasında atmosfere yayılan azotun en genel formudur. Amonyak, protein, üre ve diğer azot içeren organik maddelerin ayrışmasından dolayı açığa çıkmaktadır.

Amonyak uçmasını en kabul edilebilir, belirleyici olan parametre C/N oranıdır. Aslında kullanılabilir C'nun kullanılabilir N'a oranı belirleyici faktör olmasına karşın kullanılabilir kavramının değerlendirilmesi oldukça zordur. Bu nedenle proses dizayn aşamasında elemental oran yeterlidir. Substratlar, gerçekçi olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, tahta parçalarında C fiziksel olarak kullanılabilir durumda değildir. Partikül boyutu (elde edilebilir yüzey alanı) ve bileşim türü dikkate alınmalıdır. Substrattaki kullanılabilir azot ve karbon kompostlaştırmanın

yönünü ve buna bağlı olarak oluşacak kokuyu önemli derecede etkilemektedir (Miller, 1989).

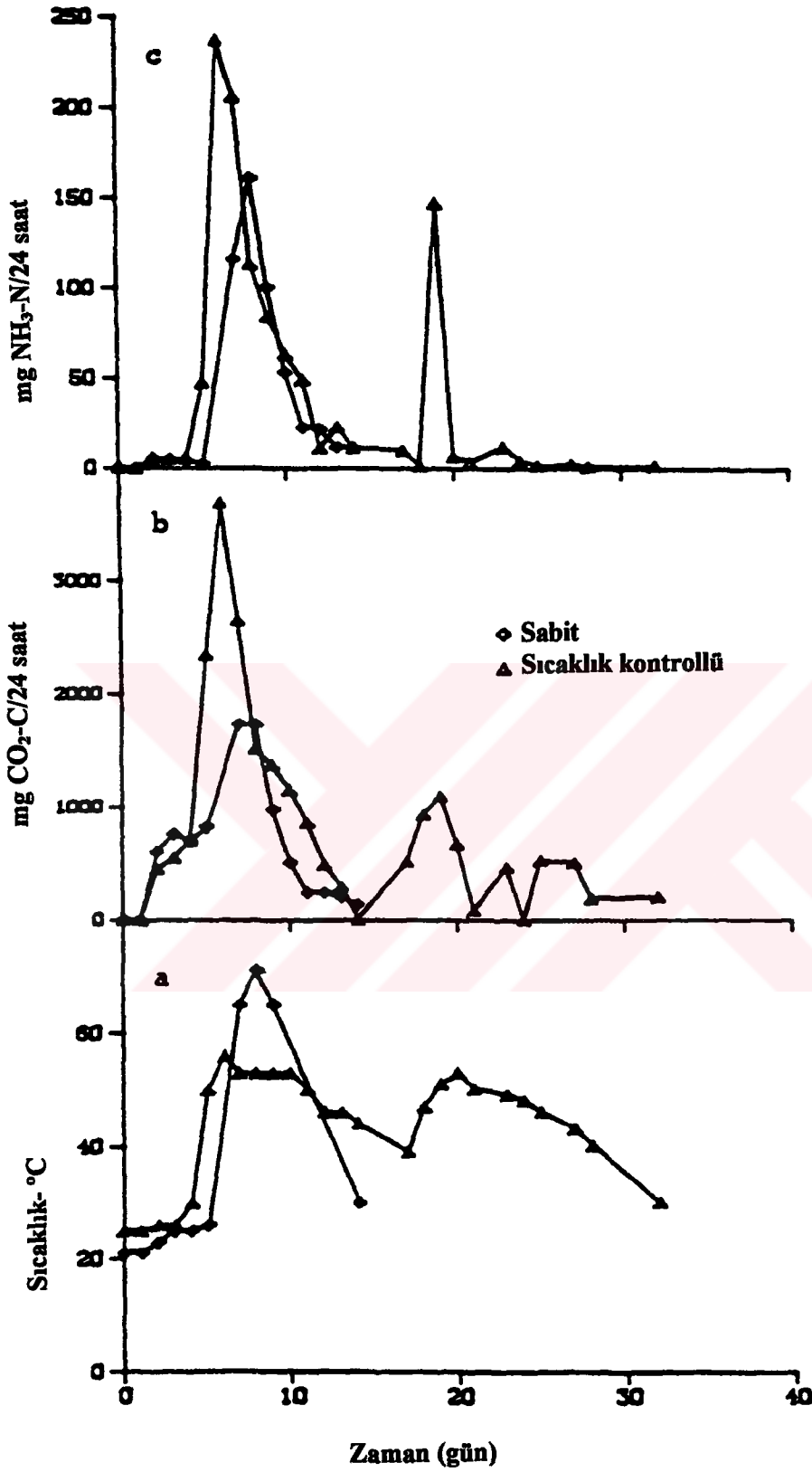
Mantar kompostlaştırmasında, havalandırma periyodunda %70 nem içeren atıkta ton başına 2.1 kg amonyak çıkmıştır. Olgunlaştırma periyodunda ise 0.4 kg amonyak açığa çıkmıştır (Vestjens, 1991). Tavuk çiftliği atıklarının kompostlaştırılması sırasında % 42.6 nem içeren atıktan 4.47 kg amonyak açığa çıkmıştır (Kroodsma ve diğ., 1987). Kümes hayvanları dışkısının kompostlaştırılması ise prosesin ilk 9 gününde amonyak emisyonu C/N:15/1'de Kroodsma'nın bulduğu değerle aynı iken C/N:20/1 olması halinde emisyon % 32 azalmıştır.

Atık içerisindeki NH_3 oluşumunu maksimize eden şartlar, NH_3 kaybını artırma olasılığını artıracaktır. Bhoyar ve diğ. (1979), NH_3 oluşumunun en çok olduğu sıcaklığı 60-70 °C olarak bulmuşlardır. Bishop ve Godfrey (1983) ise kompostlaştırmanın havasız yürütülmesi halinde NH_3 oluşumunun daha fazla olduğunu bulmuştur. Bununla beraber N kaybının minimize edildiği işletme koşulları, organik maddenin yeterli derecede stabilizasyonu veya patojenlerin yok edilmesi için gerekli işletme koşullarına ters düşebilir.

Sikora ve Sowers (1985) yaptığı laboratuvar ölçekli kompost reaktörlerinde arıtma çamurlarının kompostlaştırılması sırasında NH_3 çıkışının sabit havalandırma sisteminde CO_2 çıkışının arkasından 1-2 günlük faz farkıyla çıktığını bulmuştur. Sıcaklık kontrollü havalandırmada ise NH_3 ve CO_2 çıkışının eş zamanlı ve sabit havandırmaya göre daha yüksek oranda olduğunu belirlemiştir (Şekil 3.11). Bu yüzden, NH_3 kaybı direkt olarak mikrobiyal ayrıştırma aktivitesine ve sistemden giderilen nem oranına bağlı olduğu daha kabul edilebilir bir açıklamadır.

Kompostlaştırma sırasında N kaybının gaz formunda olmasına neden olan diğer N dönüşümleri nitrifikasyon ve bunu takiben denitrifikasyondur. Nitrifikasyonu kısıtlayıcı faktörler sıcaklık ve nemdir. Bu nedenle nitrifikasyon kompostlaştırmanın son dönemlerinde gözlenen sıcaklığın düştüğü dönemde (<50) ve yeterli O_2 'nin olduğu yerlerde gerçekleşir.

Witter ve Kirrhmann (1989), amonyak kaybını azaltmak için adsorban olarak turban, zeolit ve bazalt kullanmıştır. Çalışmalarının sonucunda turbanın amonyağı en iyi adsorbe eden madde olarak bulmuştur. Witter'in yaptığı diğer çalışmada kalsiyum ve magnezyumun komposta eklenmesi halinde amonyağın uçmasına



Şekil 3.11. (a) Sıcaklık, (b) CO₂-C, (c) NH₃-N'un Sabit ve Sıcaklık Kontrollü Havalandırmada Zamana Göre Değişimi (Sikora ve Sowers, 1985)

olan etkisini incelemiştir. Çalışmasının sonucunda iki değerlikli bu maddelerin karbonat ile çökerek alkaliniteyi düşürdüğü, buna bağlı olarak pH'ın düştüğü ve amonyak kaybının önleendiği bulunmuştur.

Boucher ve diğ. (1999), arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında $FeCl_3$ tuzu ilavesinin amonyak kaybı üzerine olan etkisini incelemiştir. $FeCl_3$ tuzunun ilave edilmesi halinde NH_3 kaybının ilave edilmemiş atıktakine göre 2.6 kat daha az olduğunu bulunmuştur. Bunun yanında organik azotun 1.6 kat daha fazla mineralize olduğu tespit edilmiştir.

3.3.6. Kompost Ürünün Değerlendirilmesi

Stabil bir kompost elde edilmesinin amaçlarından bazıları; stabil kompostun nem veya toprakla karışması halinde koku oluşumunu veya nütrientlerin taşınmasını engellemesidir. Humusun organik fraksiyonu C:N:S, yaklaşık olarak 100:7:1'dir (Iannotti ve diğ., 1993).

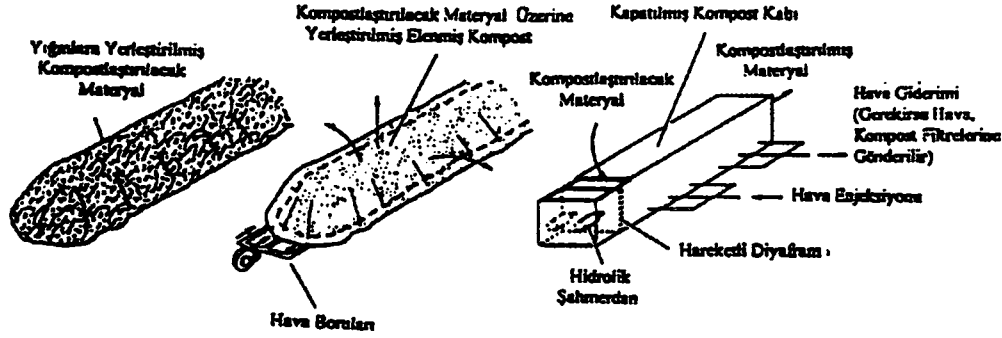
Kompostun olgunluğu, son ürünün kalitesi ve alternatif kullanımlarının değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir (Frederick ve Reddy, 1998). Bazı kullanımlarda iyi olgunlaşmış kompost gerekirken (bahçecilikte, fidanlıklarda vb.) bazılarında ise taze kompost gerekmektedir (seralardaki sıcak yataklarda, mantar üretiminde vb.). Taze kompost ısının geri alınmasına izin vererek verimli ürün eldesini sağlamak ve olgunlaşmış kompost ise fitotoksik bileşiklerin ve yüksek C/N oranında olan ayrışmadan kaynaklanan ısının bitkiler üzerine olan kötü etkisinden kurtarmak için gereklidir.

3.4. HAVALI KOMPOSTLAŞTIRMA TEKNOLOJİLERİ

3.4.1. Havalı Kompostlaştırma Metodları

Havalı kompostlaştırma metodları, statik(açık) ve dinamik(kapalı) olmak üzere iki sınıfta toplanabilir. Dinamik metodda, kompostlaştırılacak madde, içeri oksijen girmesini sağlamak, sıcaklığı kontrol etmek, üniform bir ürün elde etmek için karıştırılır. Statik metodda, kompostlaştırılacak madde statik olarak kalır ve kompostlaştırılan madde arasına hava verilir. En yaygın dinamik ve statik kompostlaştırma metodları, windrow ve statik yığın metodlarıdır. Kompostlaştırma işleminin bir reaktör içinde gerçekleştiği özel kompostlaştırma sistemleri, kapalı-

reaktör kompostlaştırma sistemleri olarak bilinirler. Windrow, havalandırmalı statik yığın ve kapalı-reaktör kompostlaştırma sistemleri Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Havalı Kompostlaştırma Metodları (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

3.4.1.1. Windrow Kompostlaştırma

Windrow kompostlaştırma, en eski kompostlaştırma metodlarından biridir. Windrow kompostlaştırma sistemleri, bahçe atıkları ile karışık evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında yaygın olarak kullanılır.

Windrow kompostlaştırma sistemleri, genelde 3.5-5.0 m eninde, 2.0 metre yüksekliğinde, uzun bir sıra halinde dizilmiş kompostlaştırılacak madde yığınlarından oluşur. Yığının boyutları, yığının aktarılmasında kullanılacak ekipmanlara göre belirlenir. Yığınlar, düzenli olarak alt üst edilerek gerekli karıştırma ve havalandırma sağlanır. Atmosferden sürekli pasif bir havalandırma olmasına rağmen asıl havalandırmayı yığının aktarılması sağlar. Windrow boyutları, üretilen ısıнын korunmasını ve yığının alt kısımlarına havanın girmesini sağlayacak şekilde olmalıdır.

Windrowlar yapılmadan önce, organik madde, dane boyutu 2.5-7.5 cm olacak şekilde öğütülmeli ve elenmelidir, ayrıca su muhtevası %50-60'a ayarlanmalıdır. Yüksek hızlı sistemlerde 55°C sıcaklık sağlanmalı ve yığınlar, haftada iki defa aktarılmalıdır. Yığınların aktarılması ile kötü kokular açığa çıkar. Tam kompostlaştırma, 3-4 haftada gerçekleştirilebilir. Aktarma periyodundan sonra kompost, olgunlaşması için ilave 3-4 hafta döndürülmemelidir. Olgunlaşma periyodunda, kalan kompostlaşmayan maddeler, mantarlar ve aktinomisetler tarafından azaltılır.

3.4.1.2. Havalandırılmalı Statik Yığın Kompostlaştırma

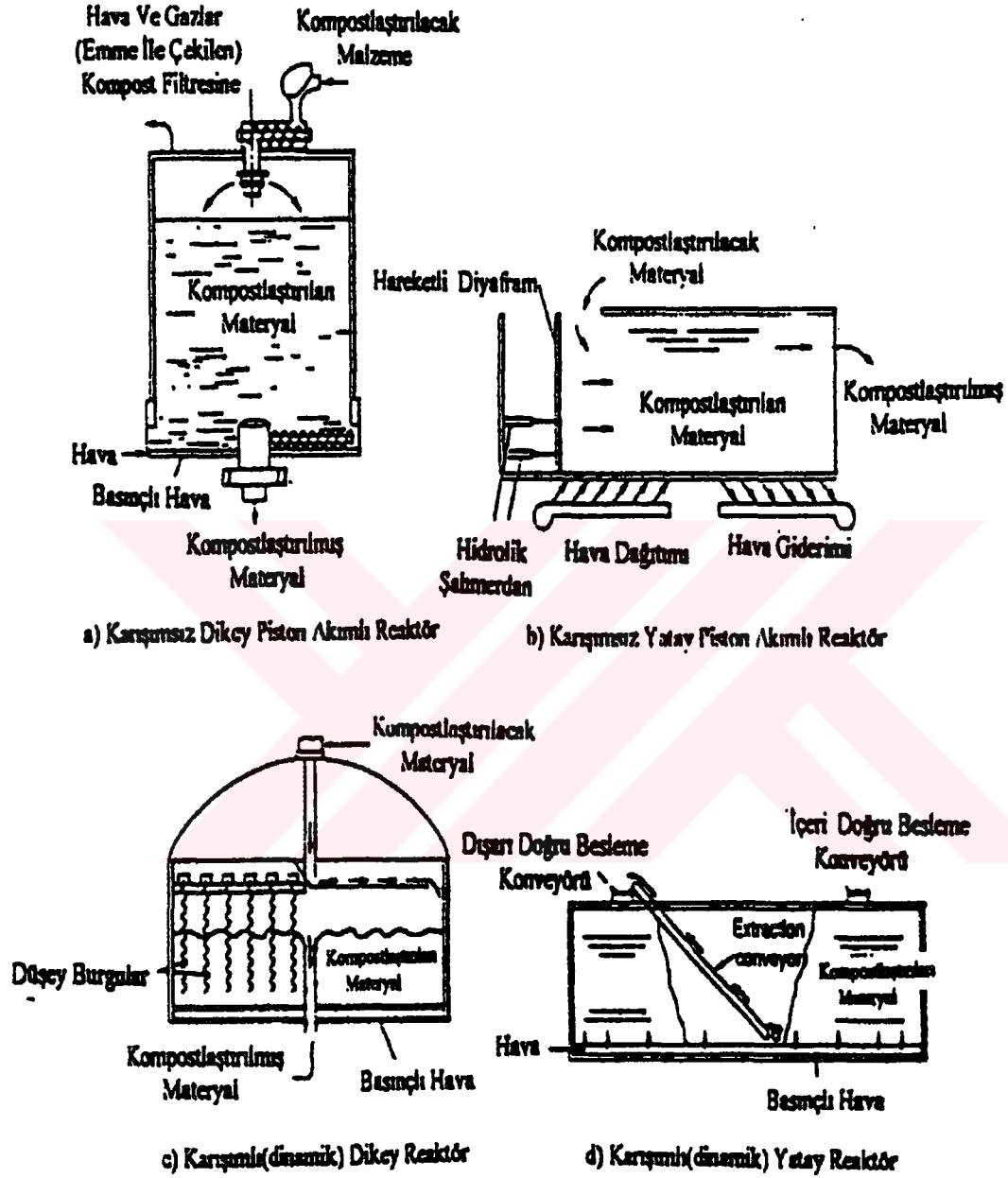
Havalandırılmalı statik yığın kompostlaştırma prosesi, atıksu çamurlarının havalı kompostlaştırılması için geliştirilmiş olmasına rağmen bahçe atıkları veya ayrılmış evsel katı atıkları da içeren çeşitli organik atıklara da uygulanabilir. Yığınların altına havalandırma şebekesi veya egzoz borusu yerleştirilir. Tipik yığın yüksekliği 2-2.5 m'dir. İzolasyon ve koku kontrolü için, yeni oluşturulan yığının üzerine elenmiş kompost tabaka halinde serilir.

Etkili havalandırma kontrolü için her yığına ayrı blower temin edilmiştir. Hava temini için ayarlanabilir, oluklu, plastik, drenaj boruları kullanılır. Hava, biyolojik dönüşümler için gerekli oksijenin sağlanması ve yığın sıcaklığının kontrolü için verilir. Blowerların çalışması, belirli bir sıcaklık profiline uyması için genellikle bir zaman ayarlayıcı veya bazı sistemlerde bir mikrobilgisayar tarafından kontrol edilir. Malzeme, 3-4 hafta kompostlaştırılır, daha sonra 4 hafta veya daha fazla bir süre olgunlaştırılır. Son ürünün kalitesini geliştirmek amacıyla, olgunlaştırılan kompost, öğütülür ve elenir. Geliştirilmiş proses ve koku kontrolü için, yeni çalışmalarda, sistemin tamamı veya büyük bir kısmı örtülmekte veya kapatılmaktadır.

Susuzlaştırılmış atıksu arıtma tesisi çamuru kompostlaştırılırken, kompostlaştırılan maddeye porozite sağlamak amacıyla ağaç kabukları gibi nemden genleşen maddelere ihtiyaç vardır. Bu maddeler, ayrıca aşırı nemi emmek için de kullanılırlar. Çamur ve ağaç kabuğu karışımı, havalandırma boruları üzerine yığın halinde yerleştirilir ve daha önceden kompostlaştırılmış malzeme ile örtülür. Yüksek hızlı windrow prosesinde olduğu gibi kompostlaştırma süresi yaklaşık 3-4 haftadır. Kompostlaştırmadan sonra, nemden genleşen madde elenmek suretiyle geri kazanılır.

3.4.1.3. Kapalı Reaktör Kompostlaştırma Sistemleri

Kapalı Reaktör kompostlaştırma, kapalı bir konteyner veya kap içinde gerçekleştirilir. Bu sistemde reaktör olarak, düşey kuleleri, yatay dikdörtgen veya dairesel tankları ve dairesel dönen tankları içeren , hayal edilebilecek her tür kap kullanılabilir (Şekil 3.13). In-vessel kompostlaştırma sistemleri, piston akımlı ve dinamik(karıştırmalı yatak) olmak üzere başlıca iki kategoriye ayrılır. Piston akımlı sistemlerde, kompostlaştırılan kütle içindeki birbirleri ile ilişkileri proses sırasında



Şekil 3.13. Kapalı Reaktör Kompostlaştırma Sistemleri (Tchobanoglous v.d., 1993)

hep aynı kalır ve sistem bir içeri bir dışarı esasına göre çalışır. Dinamik bir sistemde, kompostlaştırılan malzeme, proses esnasında mekanik olarak karıştırılır. Şekil 3.13a,b'de piston akımlı reaktörlere, Şekil 3.13c,d'de ise dinamik sistemlere örnek verilmiştir.

Mekanik sistemler, hava akımı, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu gibi ortam koşullarını kontrol ederek proses süresi ve kokuları minimize etmek için dizayn edilmektedir. Son yıllarda, proses ve koku kontrolü, düşük işçi masrafı, küçük arazi ihtiyacı nedeniyle in-vessel kompostlaştırma sistemlerinin popüleritesi artmıştır. Kapalı reaktörler sistemlerinde bekleme süresi, 1-2 hafta arasında değişir, bununla birlikte hemen hemen tüm sistemler, aktif kompostlaştırma periyodundan sonra 4-12 hafta olgunlaşma için çalışır.

3.4.2. Havalı Kompostlaştırma Proseslerinin Karşılaştırılması

İyi çalışan windrow, havalandırmalı statik yığın ve kapalı reaktör kompostlaştırma proseslerinin performansları aynı olduğundan alternatif prosesler arasında seçim, yatırım ve işletme masraflarına, arazi uygunluğuna, işletme kolaylığına ve problem potansiyeline bağlı olarak yapılır. Bu faktörler Tablo 3.4'de karşılaştırılmıştır.

3.4.3. Ticari Kompostlaştırma Sistemleri

Son 50 yıldan beri, dünya çapında 50'nin üstünde değişik, özel ticari kompostlaştırma sistemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Reaktör tiplerine ve fonksiyonlarına göre düzenlenen çeşitli kompostlaştırma sistemleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Havalı Kompostlaştırma Proseslerinin Karşılaştırılması (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Karşılaştırma Kriteri	Windrow	Havalandırma Statik Yığın	Kapalı Reaktör, Basınçlı Havalandırma	
			Karıştırmalı (Dinamik)	Karıştırmaz (Piston Akımlı)
Yatırım Maliyeti	Genellikle düşük	Küçük sistemlerde genellikle düşük, büyük sistemlerde yüksek olabilir.	Genellikle Yüksek	Genellikle Yüksek
İşletme Maliyeti	Genellikle düşük	Yüksek (Nemden gelen maddelerin kullanıldığı çamurlu sistemlerde)	Genellikle Düşük	Genellikle Düşük
Arazi İhtiyacı	Yüksek	Yüksek	Düşük fakat windrowda kurutma veya olgunlaştırma gerekirse yüksek olabilir	Düşük fakat windrowda kurutma veya olgunlaştırma gerekirse yüksek olabilir
Havanın Kontrolü	Basınçlı havalandırma kullanılmadığında sınırlı	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
İşletme Kontrolü	Aktarma frekansı, aşı olarak kompost ilavesi	Hava akımı hızı	Hava akımı hızı, aşı olarak kompost ilavesi	Hava akımı hızı, aşı olarak kompost ilavesi
Sıcak ve Soğuk İklim Duyarlılık	Kapalı olmadığında duyarlı	Sıcak ve soğuk iklimlerde uygulanabilir	Sıcak ve soğuk iklimlerde uygulanabilir	Sıcak ve soğuk iklimlerde uygulanabilir
Koku Kontrolü	Beslenen atığa bağlı, koku kontrolü zor	Koku kontrolü zor ama kontrol edilebilir	Potansiyel olarak iyi	Potansiyel olarak iyi
Potansiyel İşletme Problemleri	Kötü iklimden etkileniyor	Hava akımı hızının kontrolü kritik, hava temininde kısa devre potansiyeli var	Yüksek işletme esnekliği, mekanik olarak sistem kompleks olabilir	Hava temininde kısa devre potansiyeli var, mekanik olarak sistem kompleks olabilir

Tablo 3.5. Fonksiyonlarına ve Reaktör Konfigürasyonlarına Göre Evsel Kompostlaştırma Sistemleri (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Fonksiyon veya Konfigürasyon	Ticari Proses
Küme ve yığınlar, doğal havalandırma, kesikli proses	Indore/Bangalore Artsiely Baden-Baden(hazemag) Buhler Disposals Associates Dorr-Oliver Spohn Tollemache V.A.M
Doğal veya basınçlı havalandırılmalı hücreler, kesikli proses	Beccari Biotank(Degremont) Boggiano-Pico Kirkconnel(Dumfriesshire) Metrowaste Prat(Sofranie) Spohn Verdier Westinghouse/Naturizer
Yatay dönen ve eğimli tamburlar, sürekli proses	Dano Biostabilizatör Dun Fix Fermascreen(kesikli) Head Wrightson Vickers Seerdum
Düşey akımlı reaktörler, sürekli proses, karıştırmalı yatak, doğal veya basınçlı havalandırma	Earp-Thomas Fairfield Hardy Frazer-Eweson Jersey(John Thompson) Multibacto Nusoil Snell Triga
Karıştırmalı düşey yatak	Fairfield-Hardy

4. DENEY DÜZENİĞİ VE ÇALIŞMA PLANI

4.1. Kompostlaştırılan Katı Atıkların Bileşimi ve Özellikleri

Çalışmada kullanılan materyal, anason posası ile endüstriyel atıksu arıtma tesisi çamurudur. Bu katı atıklar, Şekil 4.1' de şematik olarak gösterilen dört adet havalı kompost reaktörüne doldurulmuştur. Reaktörlere yerleştirilen katı atıkların bileşimi ve miktarları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Reaktörlere Yerleştirilen Katı Atıkların Bileşimi ve Miktarları

Reaktör No	Katı Atık Bileşimi	Katı Atık Miktarı, kg
1	% 100 Anason posası	98
2	% 89 Anason posası	89
	% 11 Arıtma çamuru	11
3	% 91 Anason posası	90
	% 9 Anason kompostu	9
4	% 80 Anason posası	80
	% 10 Arıtma çamuru	10
	% 5 Evsel Atık	5
	% 5 Anason kompostu	5

Reaktörlere yerleştirilen anason posası Tekel Paşabahçe İçki Fabrikası' ndan alınmıştır. Anason posası, Bölüm 2' de belirtildiği üzere proste damıtma aşamasında rakı taktir kazanında oluşmaktadır. Arıtma çamuru ise yine aynı fabrikanın endüstriyel arıtma tesisinden alınmış olup, susuzlaştırılmış kimyasal ve biyolojik çamurun karışımından oluşmaktadır. Anason kompostu ise, deneme amacıyla daha önce anason posasının kompostlaştırılması sonucu elde edilen üründür.

Reaktörlere konulan katı atıkların özellikleri Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2. Reaktörlere Yerleştirilen Katı Atıkların Özellikleri

Reaktör No	Su muhtevası (%)	Organik Madde (%)	C/N (mg/g)
1	63.6	93.8	15
2	57.9	91.0	14
3	63.3	91.7	14
4	61.7	88.6	14

4.2 Deney Düzeneği

Havalı kompostlaştırma, kesikli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Reaktörlerin farklı yüksekliklerine yerleştirilen termometreler yardımıyla sıcaklık günlük olarak izlenmiştir. Korozyonu önlemek amacıyla paslanmaz çelik boru içerisine yerleştirilmiş olan sıcaklık sensörleri reaktörlerin tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Sıcaklık okumaları ise, sensörlerin ucuna bağlanan bir sıcaklık ölçer ile yapılmıştır.

Reaktörlere hava bir kompresör vasıtasıyla debisi 140 l/dak olacak şekilde bir rotometreden geçirilerek verilmiştir. Havalandırma, zaman ayarlayıcıya bağlı selenoid vana kullanılmak suretiyle 15 dakikada 1 dakika da hava vericek şekilde yapılmıştır.

Atık kütesinin sıcaklığını korumak, çevreyle ısı alış-verişini önlemek amacıyla reaktörlerin yan tarafları 3 cm lik, üst kısmı 5 cm lik, alt kısmı ise 10 cm lik yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır.

Havanın atığın içine homojen olarak dağılmasını sağlamak için, reaktör tabanından 7 cm yükseklikte ızgara koyulmuştur. Izgara iki kademeli olarak yapılmış olup, alttaki ve üstteki ızgaranın çapları sırasıyla 20 mm ve 3 mm'dir. Kompostlaştırma prosesi süresince reaktörlerin içinde oluşan sızıntı suyu, ızgara altında toplanmakta ve karıştırma işlemi yapılırken katı atığın içine geri verilmektedir.

Havasız Kompostlaştırma Reaktörleri, polietilen malzemeden imal edilmiştir (Şekil 4.2). Herbir reaktörün iç çapı 570 mm, et kalınlığı 10 mm ve yüksekliği 880 mm dir.

Faydalı hacmi ise 180 litredir. Hava, reaktörlerin yan tarafında tabana yakın bir kısımda açılan bir giriş ile reaktöre girmekte ızgaranın altından ϕ 12 lik paslanmaz çelik bir boruyla tam ortadan eşit olarak dağılacak şekilde katı atık içerisine verilmektedir. Hava çıkışı ise, reaktörün üstüne açılan bir çıkış ucuna takılan plastik boruyla olmaktadır.

Reaktörlere yerleştirilen atıkların homojenliği sağlamak ve numune almak için atıklar haftalık periyotlarla reaktör dışına alınarak karıştırılmış ve tekrar reaktörlere yerleştirilmiştir.

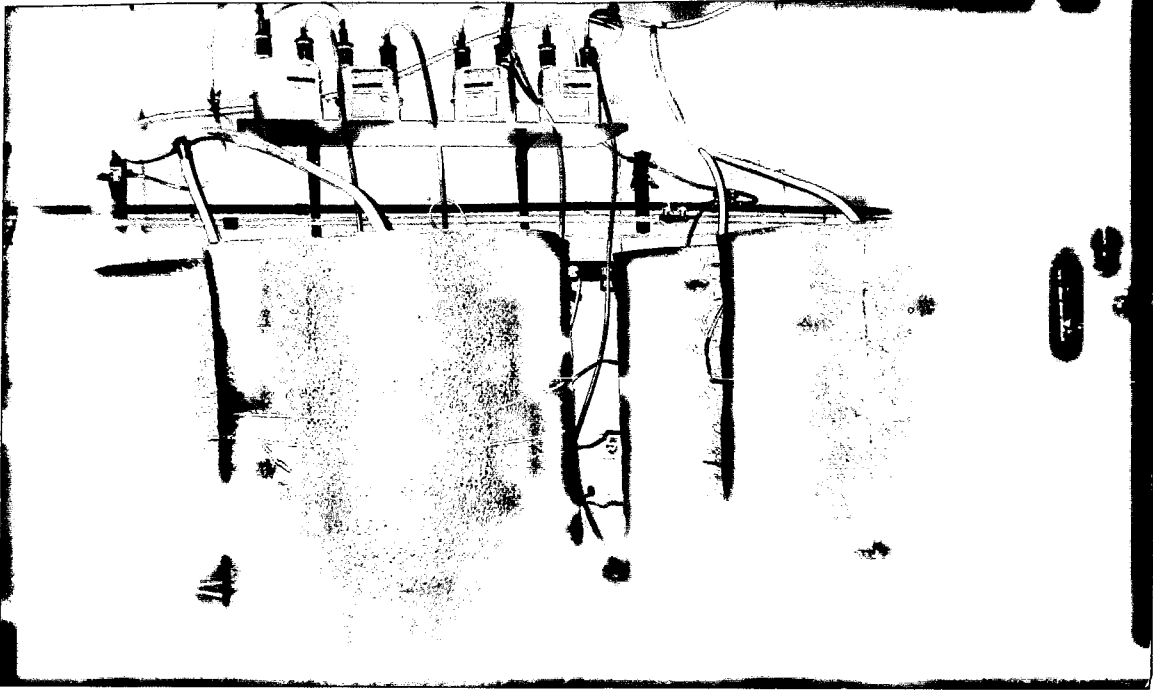
4.3 İzlenen Parametreler Ve Analiz Yöntemleri

Organik katı atıklar havalı reaktörlere yerleştirildikten sonra ısı yalıtımını sağlamak üzere reaktörlerin kapakları kapatılmıştır.

112 günlük deneysel çalışma periyodu süresince, kompostun kalitesinin belirlenmesine çalışılmıştır. Ölçülen parametrelerin ölçme sıklığı ve ölçme yöntemi/aleti Tablo 4.3' de verilmiştir.

Reaktörlere verilen havanın debisi bir rotometre ile günlük olarak ölçülmüş ve 140 l/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Sıcaklık ise reaktörlerin farklı yüksekliklerine yerleştirilen termometreler yardımıyla günlük olarak izlenmiştir.

pH, su muhtevası ve organik madde içeriği anason atığında, endüstriyel arıtma çamurunda, havalı kompostlaştırma başlangıcında ve sonunda, olgunlaştırma sonunda ölçülmüş, havalı kompostlaştırma süresince ise haftada bir izlenmiştir. TKN, Fosfor, amonyak ve ağır metaller anason atığında, endüstriyel arıtma çamurunda, havalı kompostlaştırma başlangıcında ve sonunda, olgunlaştırma sonunda ölçülmüştür. Bakteriyolojik özellikler ise anason atığında ve olgunlaştırma sonunda belirlenmiştir. Elementel analiz Carlo Erba - 1106 cihazıyla anason atığında, havalı kompostlaştırma başlangıcında ve sonunda, olgunlaştırma sonunda ölçülmüştür. Hacim ve katyon değiştirme kapasitesi parametreleri ise havalı kompostlaştırma başlangıcında ve sonunda ve olgunlaştırma sonunda belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Kullanılan Havalı Kompostlaştırma Reaktörlerinden Bir Görünüş

Tablo 4.3. Deneysel Çalışma/İzleme Programı

Parametre	Anason atığı	Aritma çamuru	Havalı Kompostlaştırma Süresince	Havalı Kompostlaştırma Başlangıcında	Havalı Kompostlaştırma Sonunda	Olgunlaştırma Sonunda	Ölçüm Yöntemi
Sıcaklık	-	-	Günlük	-	-	-	Termometre
Hava debisi	-	-	Günlük	-	-	-	Rotometre
pH	X	X	Haftada bir	X	X	X	Carnes and Lossin, 1970
Su muhtevası	X	X	Haftada bir	X	X	X	ASTM, 1995
Organik madde	X	X	Haftada bir	X	X	X	ASTM, 1995
TKN	X	X	-	X	X	X	Bremner, 1996
Fosfor							Kuo, 1996
Amonyak	X	X	-	X	X	X	Bremner, 1996
Ağır metaller	X	X	-	X	X	X	SSSA, 1996
Elemental Analiz	X		-	X	X	X	Carlo Erba - 1106

5. DENEYSEL ÇALIŞMANIN SONUÇLARI

Bu bölümde, olgunlaştırma süresi dahil 112 günlük deneysel çalışma periyodu süresince izlenen parametreler ve elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

5.1. Reaktöre Yerleştirilen Maddelerin Özellikleri

Reaktöre yerleştirilen her bir maddenin ayrı ayrı özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Anason posasının % 94’ünü organik madde oluşturmaktadır. Organik maddenin büyük bir kısmını yavaş ayrışan ve ayrışması zor olan protein ve ham selüloz oluşturmaktadır. Kolay ayrışabilen karbonhidrat ve şekerler yapısında bulunmamaktadır.

Anason posasının karakteristik yapısından dolayı anason posasında N oranı diğer atıklara oldukça yüksektir. Bu nedenle C/N oranı düşüktür.

Reaktörlere yerleştirilen maddelerin ağır metal içerikleri oldukça düşük seviyededir.

5.2. Reaktöre Yerleştirilen Karışımların Özellikleri

Reaktörlere yerleştirilen karışımların özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir. Reaktörlerdeki karışımlarda yüksek oranda anason posası olduğu için karışımların genel yapısı da posa özelliklerini taşımaktadır.

Organik madde içeriği I. Reaktörde en yüksektir. Bunun nedeni bu reaktöre yerleştirilen anason posasının organik madde muhtevasının diğer reaktörlere yerleştirilen karışımlardan daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Reaktörlerdeki su muhtevası ise % 58 ile % 64 arasında değişmektedir. Bu değerler, kompostlaştırma işleminin başlaması için gerekli optimum % 40-65 aralığında kalmaktadır.

Biyolojik ayrışmaya dayanan kompostlaştırma prosesinde mikrobiyolojik faaliyetin devam etmesi için gerekli C/N oranı 25-30 civarındadır. Endüstrinin çıkan atıkları kendi bünyesinde arıtmak istemesinden dolayı reaktörlerin bileşimi tasarlanırken C/N oranı düşük olmasına rağmen anason posasının bileşimdeki oranı yüksek

tutulmuştur. Bu nedenle reaktör karışımlarının başlangıçtaki C/N oranları genel uygulamadan farklı olarak düşüktür.

Tablo 5.1. Reaktörlere Yerleştirilen Maddelerin Özellikleri

Parametre	Anason Posası	Aritma Çamuru	Evsel Atık	Anason Kompostu
Organik Madde, %	93.8	86.1	67.0	81.7
Su Muhtevası, %	63.6	53.6	46.9	12.1
C, %	57.8	37.3	46.6	51.6
N, %	4.0	3.7	2.4	3.6
C/N	14.6	10.1	19.4	14.3
TKN, g/kg	34.85	30.54	29.27	35.11
NH ₄ ⁺ -N, g/kg	0.29	1.29	0.21	0.72
Toplam Fosfor, g/kg	1.8	0.03	2.01	1.89
pH	6.98	4.61	7.12	7.07
Protein, %	16.1	-	-	-
Ham Selüloz, %	11.2	-	-	-
Yağ, %	2.5	-	-	-
Nişasta, %	0	-	-	-
Toplam Şeker, %	0	-	-	-
Na, mg/kg	123	456	4580	520
Ca, mg/kg	8200	-	-	-
Mg, mg/kg	1250	-	-	-
Zn, mg/kg	45	72	93	88
Fe, mg/kg	699	1433	1147	861
Mn, mg/kg	63	130	161	94
Cu, mg/kg	74	923	64	183
Ni, mg/kg	13	156	84	18
Cr, mg/kg	13	94	29	17
Cd, mg/kg	<2	<2	<2	<2
Pb, mg/kg	<25	<25	<25	<25
Hg, mg/kg	-	<5	-	-

* Sonuçlar kuru ağırlık üzerinden verilmiştir.

Tablo 5.2. Reaktörlere Yerleştirilen Karışımların Bileşimi

Parametre	I. Reaktör	II. Reaktör	III. Reaktör	IV. Reaktör
Organik Madde, %	93.8	91.7	91.0	88.6
Su Muhtevası, %	63.58	63.3	57.9	61.7
C, %	57.8	50.5	53.9	54.7
N, %	4.0	3.6	3.7	3.8
C/N	14.6	14.1	14.5	14.4
TKN, g/kg	34.85	32.98	34.96	34.12
NH ₄ ⁺ -N, g/kg	0.293	0.498	0.894	0.431
Toplam Fosfor, g/kg	1.8	1.608	1.83	1.77
pH	6.98	6.06	7.01	6.77
Na, mg/kg	123	456	4580	520
Ca, mg/kg	8200	-	-	-
Mg, mg/kg	1250	-	-	-
Zn, mg/kg	45	72	93	88
Fe, mg/kg	699	1065	747	1183
Mn, mg/kg	63	84	80	104
Cu, mg/kg	74	163	104	308
Ni, mg/kg	<25	<25	<25	31
Cr, mg/kg	<10	<10	<10	<10
Cd, mg/kg	<2	<2	<2	<2
Pb, mg/kg	<25	<25	<25	<25
Hg, mg/kg	-	<5	-	-

* Sonuçlar kuru ağırlık üzerinden verilmiştir.

II. ve IV. reaktörlerde pH değeri diğer iki reaktöre nazaran daha düşüktür. Bu durum, bu reaktördeki arıtma çamurunun pH' ının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bütün reaktörlerin metal içerikleri ise kompostlaştırmada faaliyet gösteren mikroorganizmaların faaliyetini olumsuz şekilde etkilemeyecek derecede düşüktür.

5.3. Kompostlaştırma Prosesi Süresince İzlenen Parametrelerin Değerlendirilmesi

5.3.1. Sıcaklık

Kompostlaştırma süresince reaktörlerin üst seviyesinden itibaren 25, 43, 61 cm derinliklerinde sıcaklığın zamana göre değişimi Tablo 5.3' de verilmiştir. Herbir reaktördeki, I, II, III, IV, sıcaklık değişimi ise sırasıyla Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4' de gösterilmiştir.

Anason posasının endüstriden çıkış sıcaklığına da bağlı olarak proses başlangıç sıcaklıkları yüksektir. Prosesin 1. günü sonunda tüm karışımların sıcaklıkları 60°C'nin üzerine çıkmıştır. Reaktörlerin genelinde biyolojik aktivite sonucu ısı açığa çıkması nedeniyle reaktörlerdeki atıkların bileşimine de bağlı olarak sıcaklıkta hızlı bir artış görülmektedir. III. ve IV. reaktörlerde sıcaklık 1-3 arasındaki günlerde 77 °C' ye kadar yükselmiş ve sıcaklığın arttığı bu periyotta ayrışma daha yüksek olmuştur.

Reaktördeki atıkların karıştırma sıklığı, sıcaklık değişimine göre belirlenmiştir. Buna bağlı olarak, sıcaklık düşüşünün gözlemlendiği zamanlarda reaktörler karıştırılmıştır. Atıkların karıştırılmasından sonra sıcaklıkta bir düşüş ve arkasından kısa bir süre içerisinde yükselme gözlenmiştir. Sıcaklıktaki düşüşün nedeni, atığın reaktörden dışarı alınmasıyla birlikte atık kütlelerinin ortamın sıcaklığı ile aynı olmasından dolayıdır. Sıcaklıktaki yükselişin nedeni ise katı partiküllerin parçalanması ve mikrobiyal faaliyet için büyük yüzey alanlarının ortaya çıkmasıdır. Aynı zamanda nem miktarındaki azalma ile hava boşluklarının artması mikrobiyal aktiviteyi artırabilir.

Dört reaktörde de işletme koşullarını eşit yapabilmek için 9., 16., 23., 30., 36., 45. günlerde karıştırma yapılmıştır. IV. Reaktörde 6. günden I, II, III Reaktörde ise 9. günden sonra 25 cm derinlikte sıcaklık okuması yapılamamıştır. Bunun nedeni, atık hacmindeki azalmalardan dolayıdır. Aynı şekilde 43 cm derinlikte I. ve II. reaktörde 17. günde, III. ve IV. reaktörde 25. günden sonra sıcaklık okuması yapılamamıştır.

Prosesin sonuna doğru ise hızlı ayrışabilir organik madde azaldığından sıcaklıklar düşmeye başlamıştır. Bütün reaktörlerde 6. karıştırma olan 45 günden sonra sıcaklık

Tablo 5.3 Reaktörlerdeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi

Gün	Sıcaklık, °C											
	I. Reaktör			II. Reaktör			III. Reaktör			IV. Reaktör		
	h=25 cm	H=43 cm	h=61 cm	h=25 cm	h=43 cm	h=61 cm	h=25 cm	h=43 cm	h=61 cm	h=25 cm	h=43 cm	h=61 cm
0,0	35	40,2	39,2	25,4	28,9	30,9	26,2	30,1	29,8	26	25,7	26,5
0,3	49,4	50,2	42,3	42,3	45,5	43,4	43,8	46,3	45,6	30,8	30,5	31
0,9	57,4	52,6	40,3	60,7	58,7	49,4	70,4	68,6	58,5	69	66,3	50,7
1,0	62,3	59,8	50,2	58,5	54,9	40,5	72,4	70,1	60,2	70,1	67,4	51,6
1,2	59,8	57,1	40,6	63,1	60	50,5	73,6	71,2	61,4	71,2	68,5	52,3
1,7	63,4	56,7	39,4	63	61	50	74	72	65	73	71	59
1,9	63	56	38,9	63,9	60,9	50,8	74,9	72,5	67,6	73,6	71,7	62,9
2,3	62,5	55,1	37,8	65,3	62,9	50,1	75,5	73,2	69,6	75,9	72,2	64,6
2,9	62,3	57	37,9	67,8	63,2	54,2	76,3	73,3	68,1	77,3	75,5	67,3
3,1	63,4	57,1	38,8	68	65,7	54,8	76,2	71,9	63,8	77,1	77,1	60,4
4,0	59,7	52,6	38,2	63	64,6	55,9	60,5	54,6	38,6	62,5	60,4	54,6
5,0	52,6	48,8	40,3	56,2	62,1	57,1	33,5	20,7	15,2	49,7	49,3	35,4
5,9	56,5	51,2	40,2	58,3	53,2	43	33,8	22,3	17,3	55,7	59,9	44,3
6,0	55,3	51,8	41,2	59,3	53,6	44,4	35,8	23,7	18,4	53,6	54,9	38,2
6,8	53,1	44,4	31,6	59,4	53,9	42,3	60,1	35,6	23,2		41	24,2
7,0	53,5	44,1	31,4	59,1	53,4	42,1	59,5	37,9	23,5		40,4	24,5
7,7	53	43,3	30,3	49,6	52,4	40,5	58,5	40,2	23		38,9	23,2
8,0	51,5	39,2	25,3	47,1	47,8	32,2	56,4	44,7	21,3		36,9	20,4
8,2	50,4	37,3	22,3	45,8	44,9	29,8	55,9	55,3	29,3		37,7	21,5
8,9	48,9	35,4	19,9	45,8	40,5	26,1		62,1	50,1		43,6	23,5
9,2		29,6	31,6		32,1	32,2		37,9	38,2		26,3	28,2
10,0		55,7	52,3		56,8	54,3		63,2	60,9		62,7	60,3
10,2		55,9	51,3		57,3	54,4		63,5	61,2		62,9	60,1
11,0		54,5	49,5		54,3	50,3		58,9	38,8		60,6	59,3
11,2		53,1	47,6		53,1	48,7		58,1	37,3		59	45,7
11,9		52,9	44,3		50,9	44,5		55,5	34,5		56,7	36,6
12,0		53,8	44		59,4	52,2		68,3	43,2		67,3	41,5
13,0		53,2	43,2		53,5	46,3		58,6	47,8		54,9	32,2
13,3		56,7	42,6		52,8	41,8		58,8	43		54,2	35,9
13,9		55,3	42,7		47	39,3		54,4	42,7		47,2	31,2
14,2		54	42,5		49,4	48,8		53,7	34,7		50,8	33,3
15,0		49,1	40		44,4	37,8		49,2	37,3		50,9	33,9
15,2		47,7	40		45,8	40		49,4	36,6		50,1	33,7
16,0		40,8	37,7		41,9	40,8		42,7	30,8		42,4	28,5
16,3		18,5	26,6		18,2	26		25,4	27,5		22,7	24,1
17,0		44,1	46,8		33,1	38,4		62,2	57,3		62,3	58,5
17,3			47,6			40,1		59,3	54,5		61,8	58,5
18,0			47,3			42,3		58,8	47,4		55,7	46,2
18,3			46,4			41,5		57,2	45,4		54,6	44,3

Tablo 5.3 Reaktörlerdeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi (devamı)

Gün	Sıcaklık, °C											
	I. Reaktör			II. Reaktör			III. Reaktör			IV. Reaktör		
	h=25 cm	h=43 cm	h=61 cm	h=25 cm	h=43 cm	h=61 cm	h=25 cm	h=43 cm	h=61 cm	h=25 cm	h=43 cm	h=61 cm
19,0			44,3			38,2		51,5	34		46,1	34,8
19,4			43,8			37		48,3	29,5		43,6	29,6
20,0			43,7			35,6		42	22,9		36,9	21,8
20,2			44			35,3		40,5	22		35,8	21,3
21,0			43,4			34,5		31	17,3		26,9	16,5
21,3			43,3			34,2		28	17		24,8	16,3
21,9			42,7			32		22,8	15,4		17,5	14,8
22,5			43,1			32,4		23,7	15,9			14,4
23,0			18,1			21,8			16,7			16,5
24,0			21,7			21,1		35,5	17,8			60,4
25,0			39,3			25,3		59,4	38,7			45,9
26,0			39,2			12,3		59,9	44,5			45,3
27,0			33,9			27,4			55,9			47,1
28,0			32,1			32,8			54,9			45,6
29,0			34,26			31,8			49,3			33,6
30,0			35,23			31,4			30,3			24,3
30,5			51,6			48,7			19,4			17,1
31,0			51,3			48,4			21,2			19,6
32,0			46,7			48,4			21,2			19,6
33,0			45,8			48,2			40,5			43,8
34,0			44,1			39,5			33,5			32,3
35,0			43			38			26,9			27,2
36,0			24			25,3			22,8			21,2
37,0			54,8			34,1			53,4			50
38,0			52,1			36,2			45,7			41,9
39,0			49,2			32,6			37,5			39,1
40,0			47,6			31,4			36,5			40,2
41,0			46,8			29,6			37,2			40,1
42,0			44,5			27			34,6			39,6
43,0			38,8			25,7			32,4			38,8
44,0			36,3			25			33,1			38,6
45,0			28,6			25			28,6			28,6
46,0			29,6			23,6			27			27,4
47,0			26,3			24			27,3			26,5
48,0			27,1			23,4			26,5			26,4
49,0			26,5			23,2			26,3			26,8
50,0			25,4			24,6			20,1			26,9
51,0			26,4			22,4			19			27
52,0			27,2			23,1			17,1			27,2

20-30°C arasında değişmektedir. Bu nedenle 52. Günden sonra havalandırma kesilmiş ve kompostun olgunlaştırılması için atıklar farklı kaplara aktarılmıştır. Bu kademedен sonra, olgunlaştırma döneminde ise organik atıklar düşük sıcaklıklarda faaliyet gösteren bakteri, mantar ve aktinomisetler tarafından ayrıştırılırlar.

Havalı kompostlaştırma prosesinde patojen giderimini sağlamak için, sıcaklığın 2-3 gün süresince 60 °C' yi geçmesi istenmektedir (USEPA, 1995). Sıcaklığın birçok parametreyle olan ilişkisi nedeniyle, sebep-sonuç ilişkisini kurmakta zorluklara sebep olmaktadır. Süre-sıcaklık ilişkisi ise organik maddenin ayrışma hızını etkilemektedir.

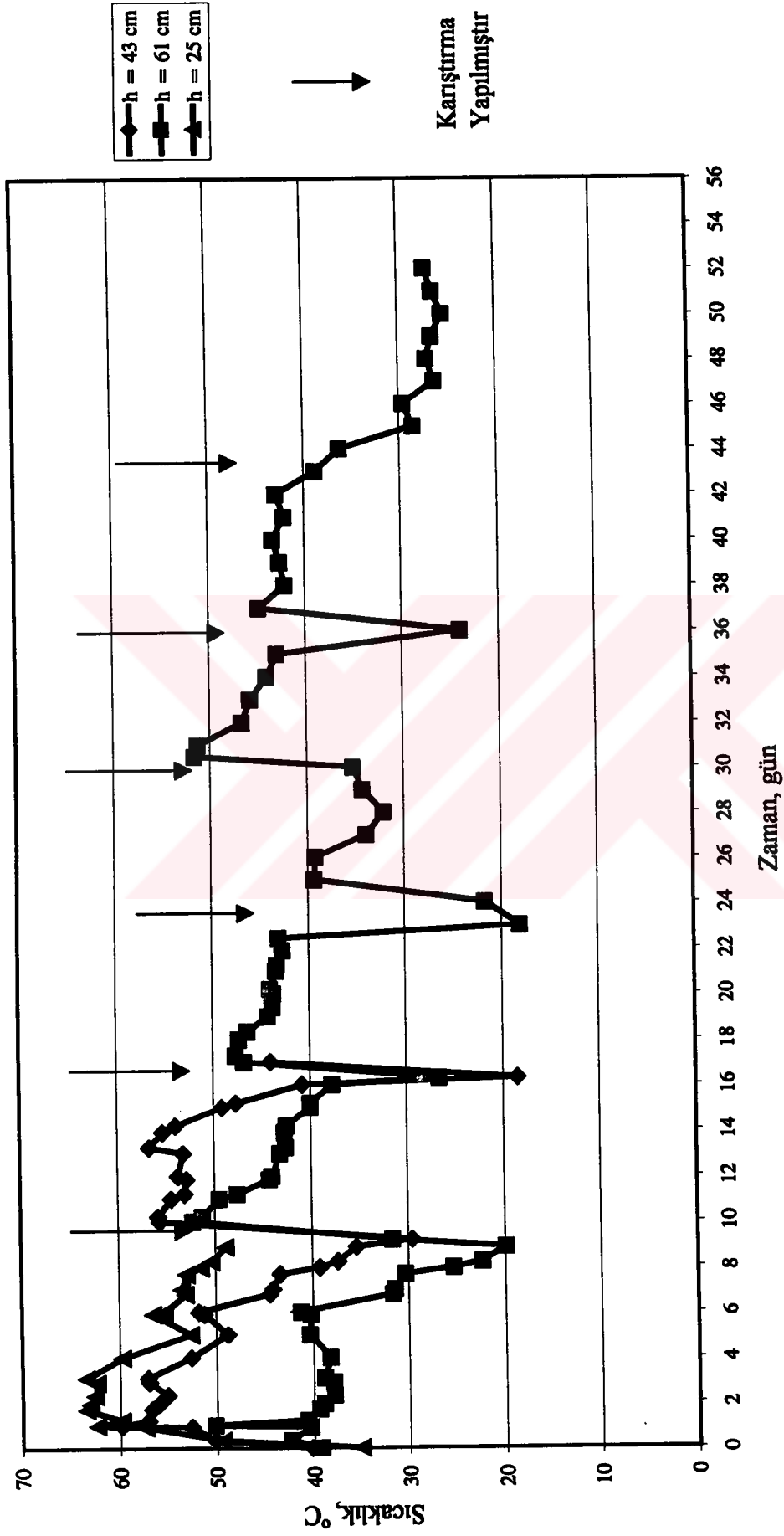
5.3.2. pH

Kompostlaştırma süresince reaktörlerdeki pH'ın zamana göre değişimi Tablo 5.4' de ve Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

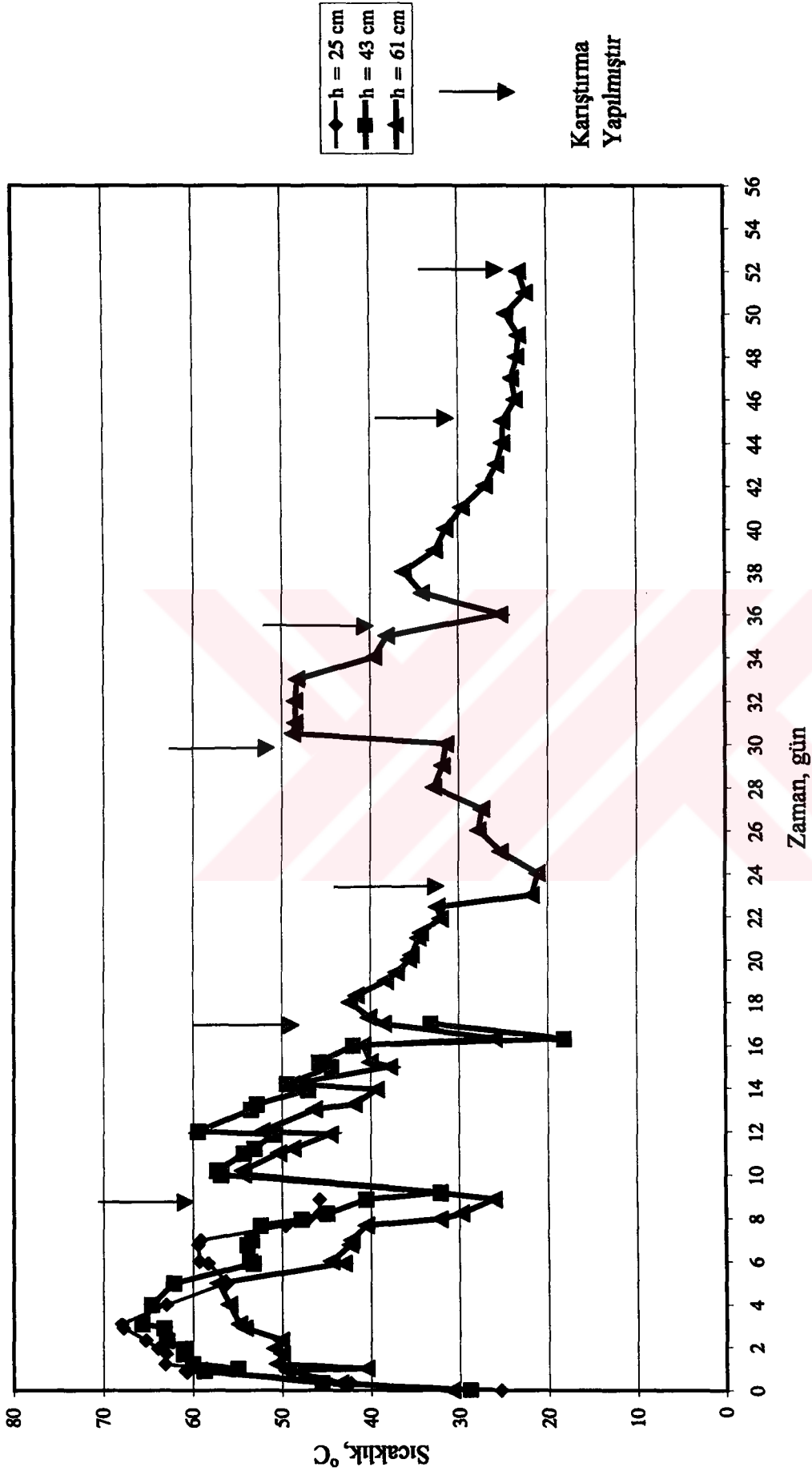
II. Reaktördeki karışım haricinde diğer karışımların pH'ı başlangıçta nötr değerdedir. Başlangıçta II. Reaktördeki karışımın pH'ın 7'den küçük olmasının nedeni karışımında bulunan arıtma çamuru pH'ının düşük olmasındandır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte, tüm reaktörlerde proses süresince sistem, alkali pH'a doğru artma eğilimi göstermiştir. Bu artış sistemin yeterli derecede havalandığının, diğer bir ifadeyle anaerobik ortam koşullarının oluşmadığının bir göstergesidir. Havalandırma periyodu sonunda pH değerleri tüm reaktörlerde 8 civarındadır. Olgunlaştırma devresi sonunda ise en yüksek pH IV. reaktörde 8.6 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.4. Reaktörlerdeki pH' nın Zamana Göre Değişimi

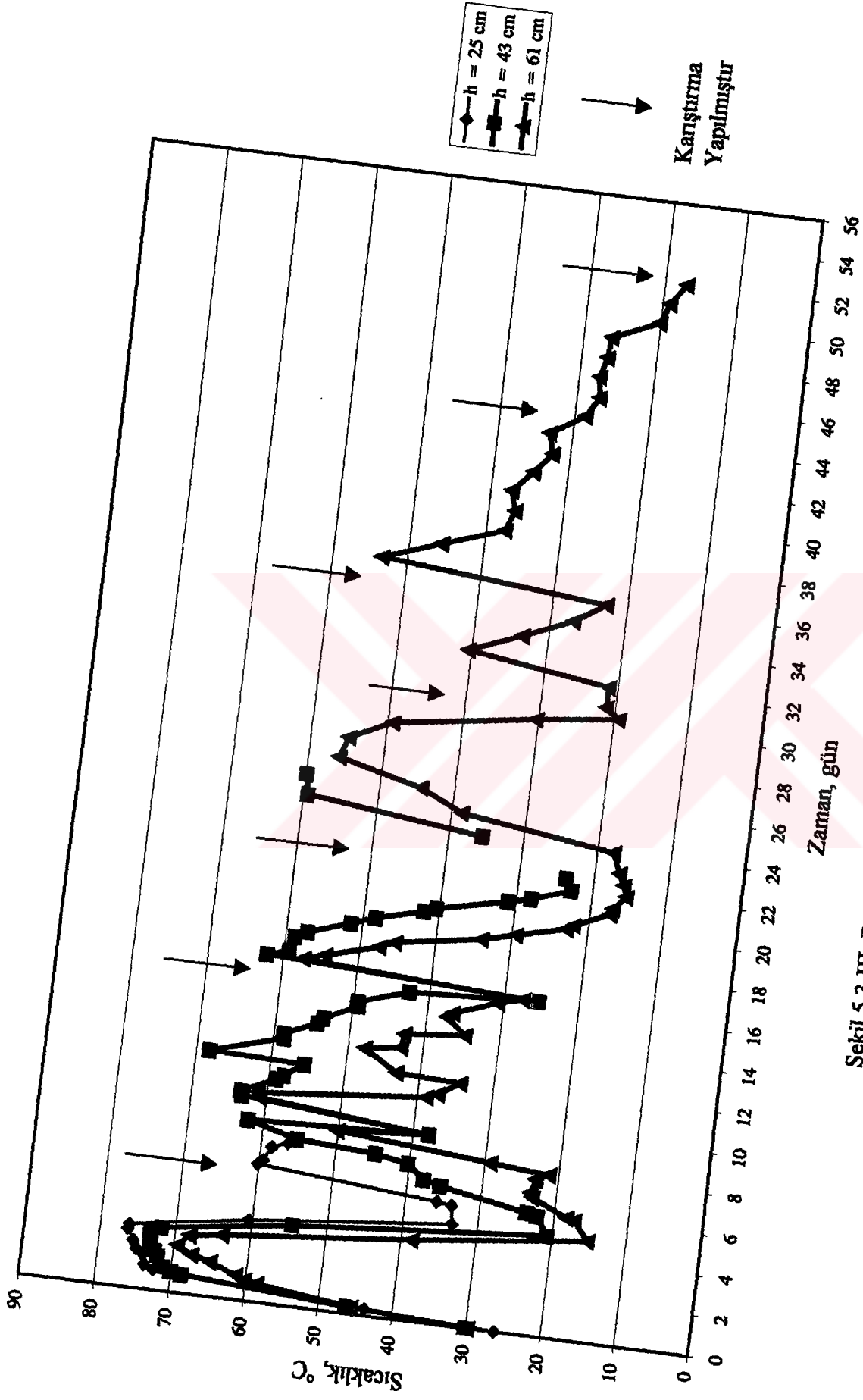
Gün	pH			
	I. Reaktör	II. Reaktör	III. Reaktör	IV. Reaktör
0	6,98	6,06	7,06	6,90
9	8,42	8,48	8,80	8,52
16	8,31	8,44	8,59	8,46
24	8,23	8,15	8,37	8,51
31	8,36	8,21	8,29	8,23
38	8,31	8,28	8,07	8,46
45	8,42	8,32	8,11	8,30
52	8,25	8,30	7,73	8,17
112	8,07	8,23	7,29	8,67



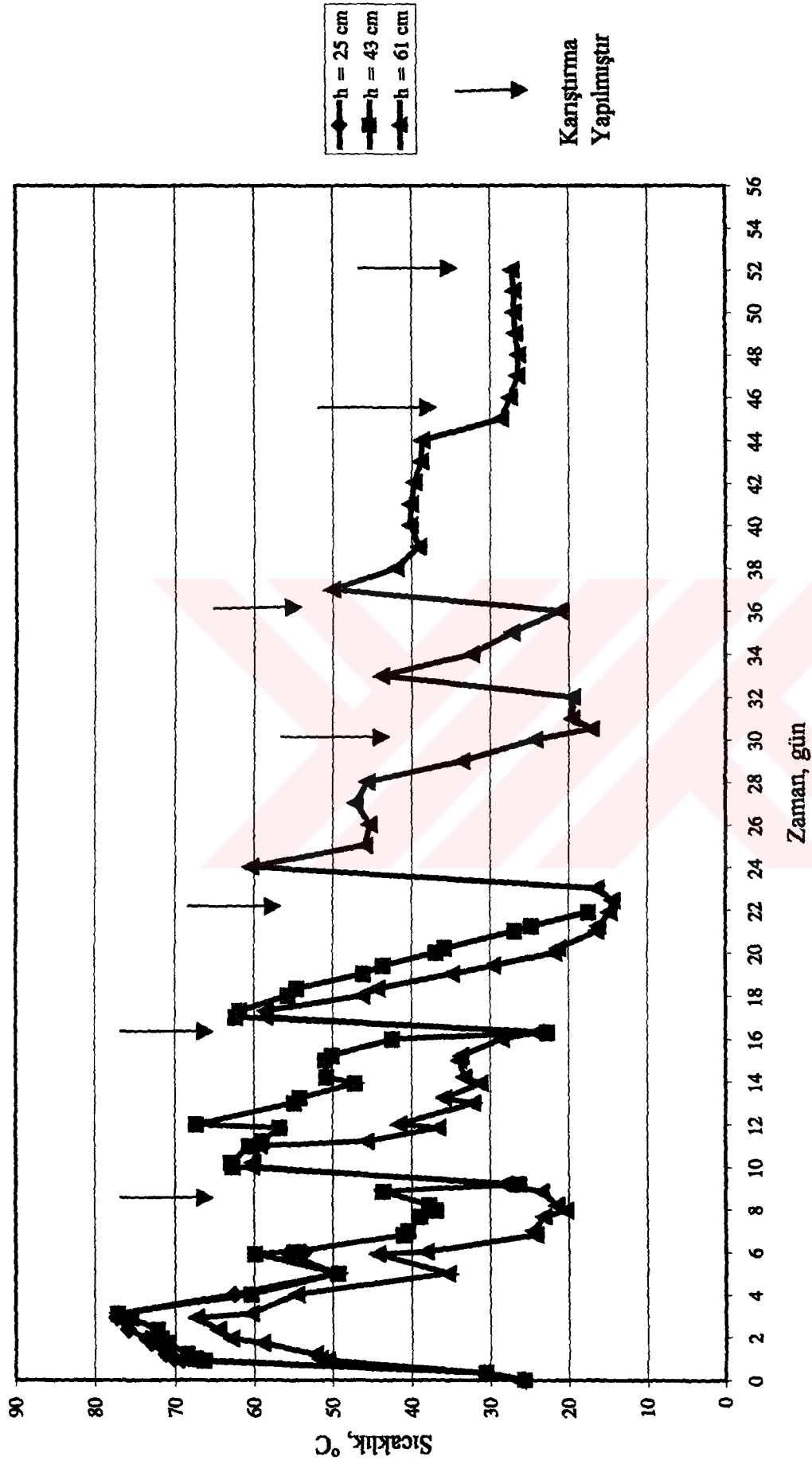
Şekil 5.1 I. Reaktördeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi



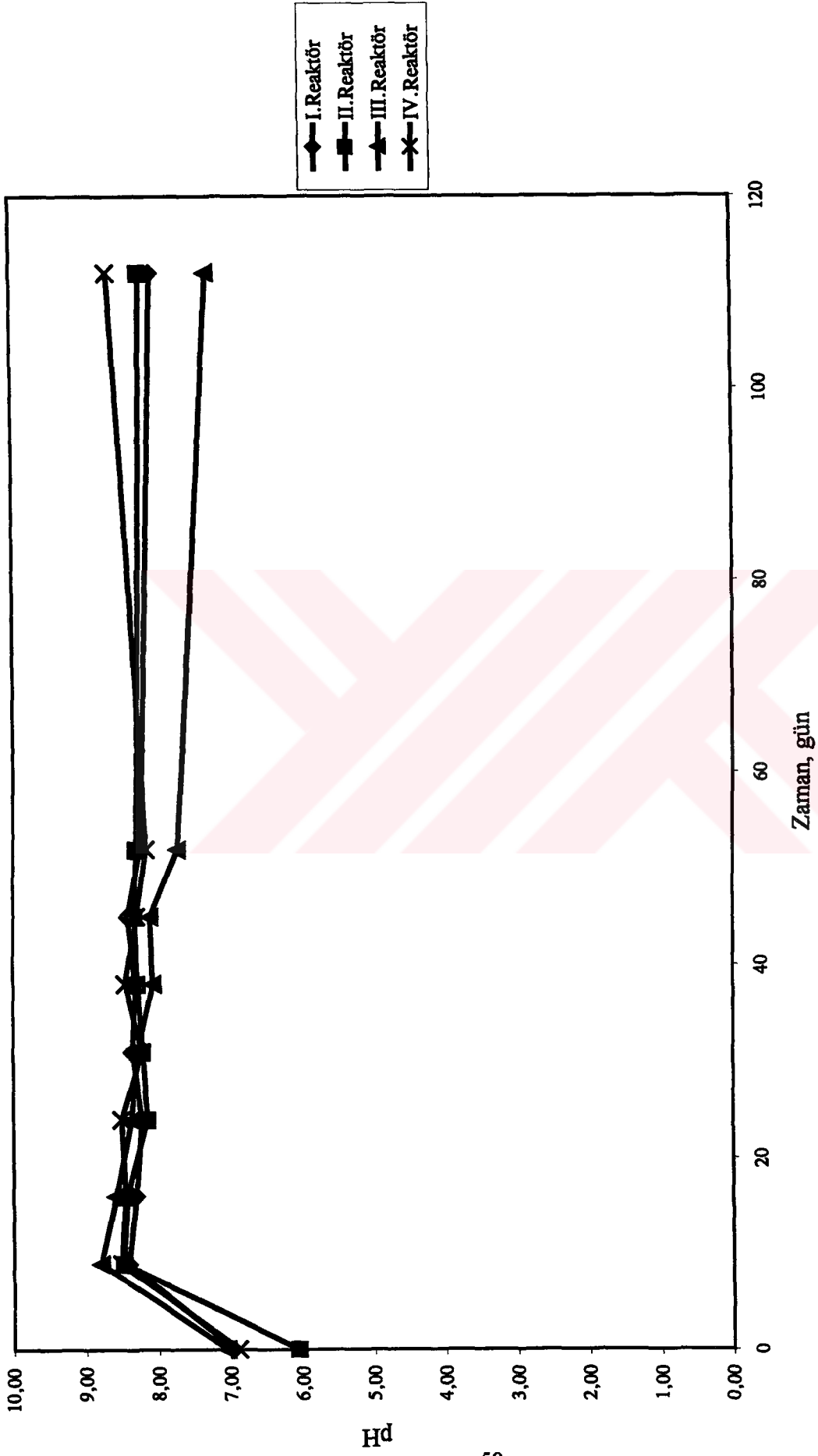
Şekil 5.2 II. Reaktördeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi



Şekil 5.3 III. Reaktördeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi



Şekil 5.4 IV. Reaktördeki Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi



Şekil 5.5 Reaktörlerdeki pH'nın Zamana Göre Değişimi

5.3.3. Organik Madde

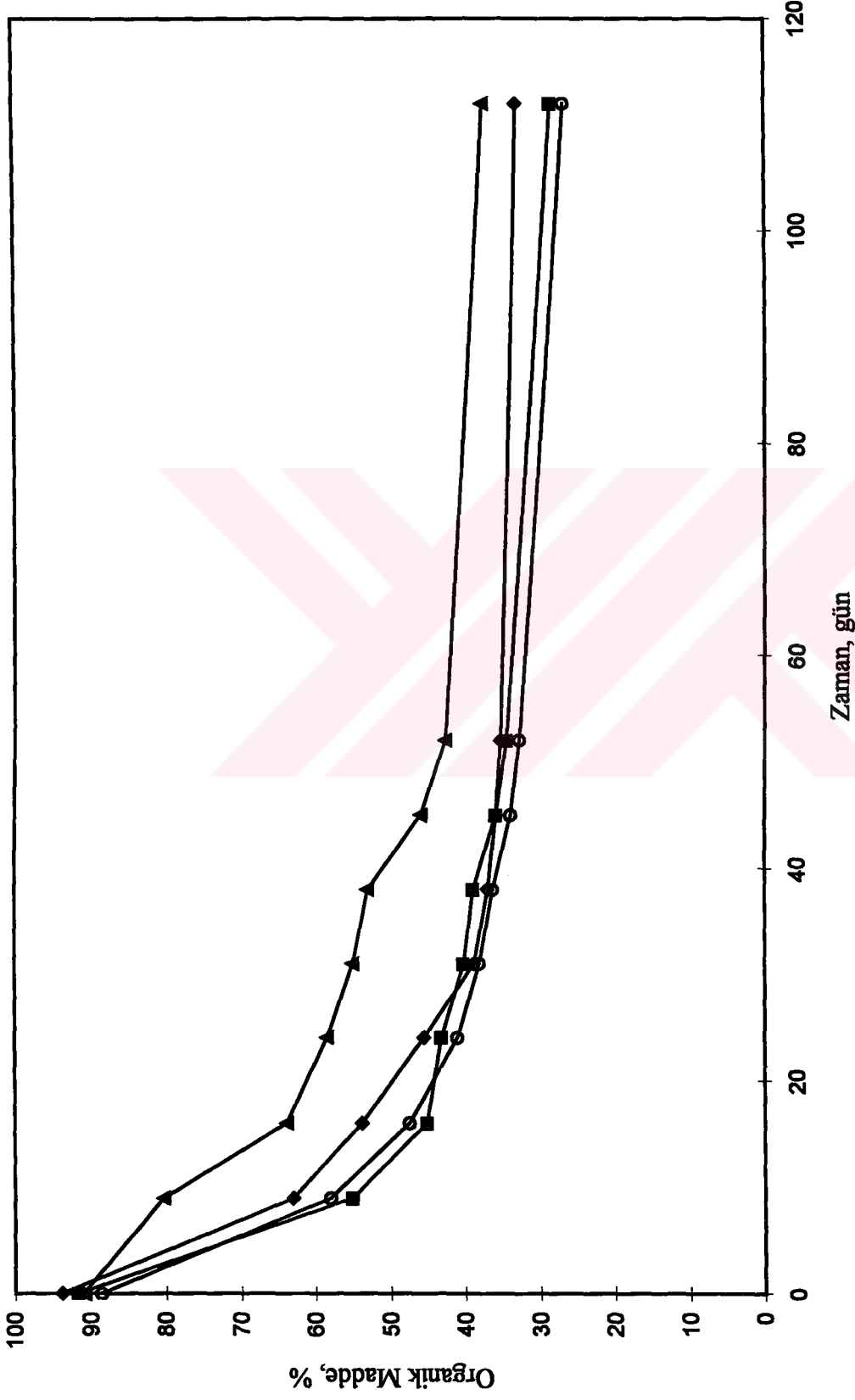
Kompostlaştırma süresince reaktörlerdeki organik maddenin zamana ve başlangıçtaki kuru maddeye göre değişimi Tablo 5.5’de ve Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

Organik madde muhtevası başlangıçta tüm reaktörlerde % 90 civarında iken, zamanla azalmış ve havalandırma sonunda (52. gün), I. ve II. reaktörlerde %35 civarında organik madde kalırken III.’de %43, IV.’de %33 organik madde içermektedir. Bu oranlar yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Olgunlaştırma periyodunda ise reaktörlerde ayrışmanın devam ettiği ve en çok organik maddenin olgunlaştırma periyodu sonunda (112. gün) IV. reaktörde giderildiği gözlenmiştir.

Tablo 5.6’da havalandırma ve olgunlaştırma periyotları sonunda atıklardaki organik maddenin ayrışabilirlik yüzdesi verilmiştir. Buna göre, organik maddenin en çok giderildiği IV. reaktörde organik maddenin %70’i giderilmiştir. Bununla beraber III. Reaktörde ise organik maddenin % 59’u giderilmiştir.

Tablo 5.5. Reaktörlerdeki Organik Maddenin Zamana ve Başlangıçtaki Kuru Maddeye Göre Yüzde Değişimi

Gün	Organik Madde, %			
	I. Reaktör	II. Reaktör	III. Reaktör	IV. Reaktör
0	93,78	91,71	90,97	88,60
9	63,05	55,14	80,38	58,07
16	53,88	45,19	63,91	47,48
24	45,53	43,26	58,46	41,06
31	38,89	40,27	55,10	38,21
38	37,06	39,00	53,07	36,38
45	35,92	35,95	45,96	34,02
52	35,41	34,62	42,78	32,84
112	33,15	28,55	37,52	26,78



Şekil 5.6 Reaktörlerdeki Organik Madde Miktarının Zamana Göre Değişimi

Tablo 5.6. Reaktörlerdeki Atıkların Organik Madde Ayrışabilirlik Yüzdeleri

Gün	Organik Maddenin Ayrışabilirlik Yüzdesi, %			
	I. Reaktör	II. Reaktör	III. Reaktör	IV. Reaktör
52	58.85	62.25	52.98	62.94
112	64.65	68.86	58.76	69.78

5.3.4. C/N Oranı

Reaktörlerdeki C/N oranının zamana göre değişimi Tablo 5.7’de verilmiştir. Anason posasının azot içeriği diğer hayvan dışkıları ve arıtma çamurları gibi yüksek orandadır. Bu nedenle C/N oranı, mikrobiyal faaliyet için optimum değer olan 30 oranından düşüktür. Bunun nedeni daha önce açıklandığı üzere, endüstrinin atıklarını kendi içerisinde arıtmayı istemesinden dolayıdır. C/N oranının düşük olmasının en büyük mahzuru amonyak kaybıdır.

C/N oranı başlangıçta 15 civarında iken olgunlaştırma sonunda daha düşük oranlara düşmüştür. Ayrıca bu oran ürün kalitesinin bir göstergesidir. IV. Reaktördeki 8 oranı ayrışmasını tamamlamış stabil bir ürünün özelliklerini belirtmektedir. I. Reaktördeki 15 oranı ise bize bu atığın ayrışmasını tamamlamadığını göstermektedir.

Tablo 5.7. Reaktörlerdeki C/N Oranının Zamana Göre Değişimi

Gün	C/N			
	I. Reaktör	II. Reaktör	III. Reaktör	IV. Reaktör
0	14.6	14.1	14.5	14.8
52	19.5	15.8	12.6	11.5
112	14.6	8.6	12.7	7.8

5.3.5. TKN ve Amonyak

Reaktörlerdeki başlangıç TKN değerleri % 3.5 (kuru ağırlık) civarında olup toplam azotun yaklaşık % 90’ına karşılık gelmektedir. Başlangıçtaki amonyak konsantrasyonları ise oldukça düşüktür. Bu nedenle proses başlangıcındaki azotun yaklaşık % 90’ı organik formdadır. Kompostlaştırma süresince reaktörlerdeki TKN’ nin zamana göre değişimi Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8. Reaktörlerdeki Ölçülen TKN' nin Zamana Göre Değişimi

Gün	TKN, mg/kg			
	I. Reaktör	II. Reaktör	III. Reaktör	IV. Reaktör
0	34.85	32.98	34.96	34.12
52	30.21	28.75	35.25	34.63
112	32.15	33.04	37.25	39.14

Atık bileşimlerindeki azot kaybını hesaplayabilmek için 52. ve 112. gündeki azot konsantrasyonları, külün korunduğu kabul edilerek başlangıçtaki kuru maddeye göre hesaplanmıştır (Tablo 5.9). Buna göre bütün reaktörlerde azot kaybı oldukça yüksektir. Ham anason posası olan I. Reaktörde azot kaybı % 65 olup diğer karışımlara oranla daha yüksektir. III. Reaktörde ise azot kaybı %50'dir.

Olgunlaştırma devresinde ise havalandırmanın kesilmesi ile azot kaybı oldukça düşük seviyelere inmiştir.

Kompostlaştırma süresince reaktörlerdeki amonyak değişimi Tablo 5.10'da verilmiştir. Başlangıçta azotun büyük bir kısmı organik azot formunda olduğu için NH_4^+ -N miktarları oldukça düşüktür. Havalandırma periyodu sonunda amonyak miktarı I. ve II. Reaktörlerde artmıştır. III. ve IV. reaktörlerde ise amonyak korunmamıştır. Olgunlaştırma döneminde ise amonyak miktarı I. ve II. reaktörde artmıştır. Bunun nedeni, bu dönemde reaktörlerde ayrışmanın devam etmesi ve havalandırmanın olmaması nedeni ile amonyak korunmuştur.

5.4. Olgunlaştırma Sonunda Karışımların Özellikleri

Olgunlaştırma sonrasında elde edilen ürünlerin organik madde içerikleri kompostta olması istenen minimum % 35 oranından yüksektir. En düşük organik madde içeriği, proses başında da organik madde içeriği düşük olan IV. Reaktörde elde edilmiştir.

Su muhtevası, bütün reaktörlerde olgunlaştırma döneminin asıl amacı olan kuruma sağlanmış ve % 30'un altına düşmüştür.

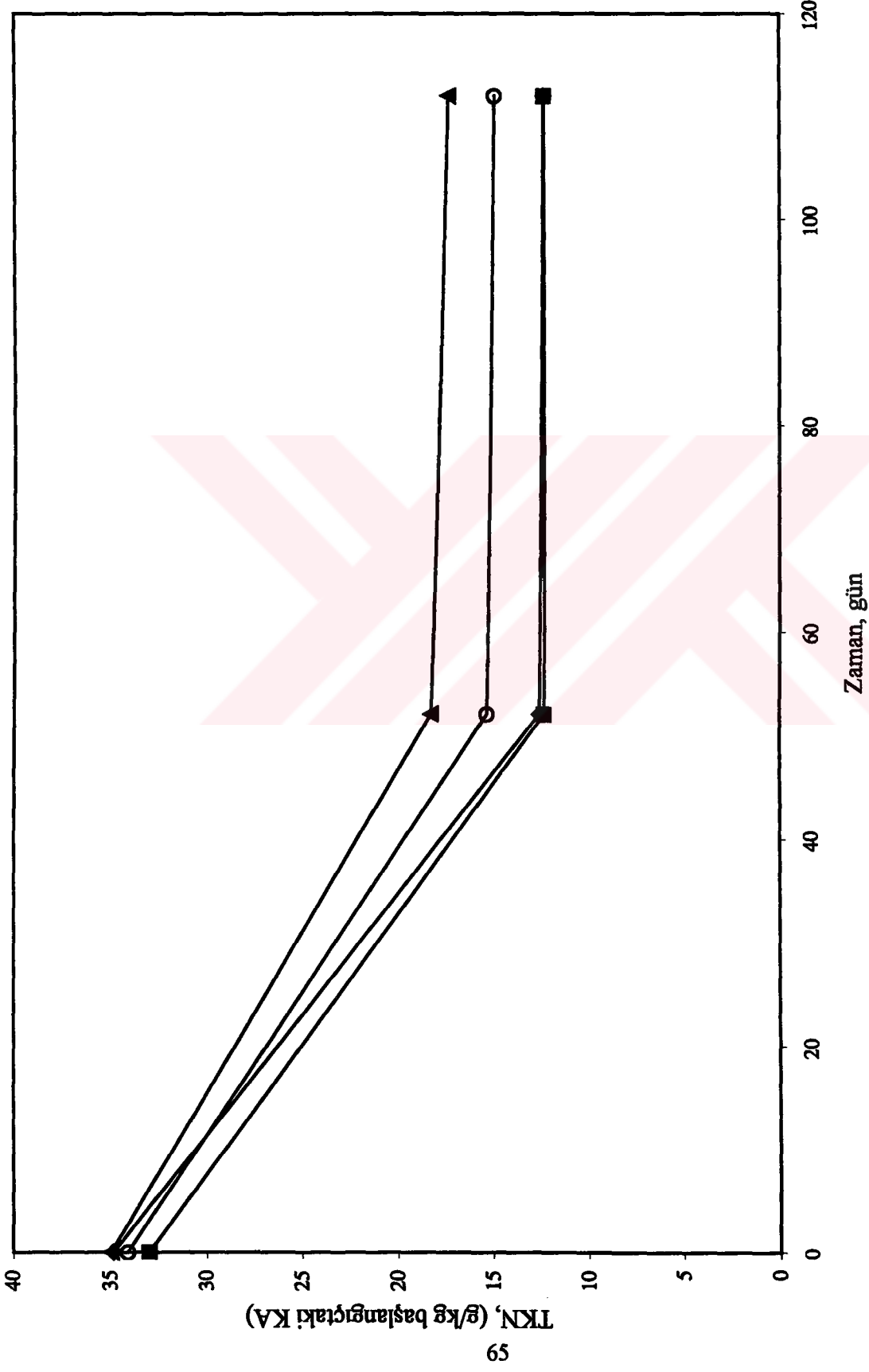
C/N oranı ise en düşük IV. reaktörde elde edilmiştir. C/N oranının düşük olması kompostun daha stabil olduğunun bir göstergesidir. I. reaktörde C/N oranı diğer karışımlara göre daha yüksektir.

Tablo 5.9. TKN' nin baslangıçtaki kuru maddeye göre konsantrasyonları ve proses boyunca meydana gelen kayıplar

Gün	I. Reaktör			II. Reaktör			III. Reaktör			IV. Reaktör		
	TKN	Azalma		TKN	Azalma		TKN	Azalma		TKN	Azalma	
	G/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg	%
0	34.850	-	-	32.980	-	-	34.960	-	-	34.120	-	-
52	12.577	22.273	64	12.336	20.644	63	18.262	16.698	48	15.319	18.801	55
112	12.381	22.469	65	12.177	20.807	63	17.339	17.621	50	14.943	19.177	56

Tablo 5.10. $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ' un baslangıçtaki kuru maddeye göre konsantrasyonları ve proses boyunca meydana gelen değişimler

Gün	I. Reaktör			II. Reaktör			III. Reaktör			IV. Reaktör		
	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	Değişim		$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	Değişim		$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	Değişim		$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	Değişim	
	g/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg	%
0	0.293	-	-	0.498	-	-	0.894	-	-	0.431	-	-
52	0.661	+0.368	+126	0.543	+0.045	+9	0.479	-0.415	-46	0.353	-0.078	-18
112	1.546	+1.253	+427	0.821	+0.323	+65	0.464	-0.430	-48	0.160	-0.271	-63



Şekil 5.7 Reaktörlerdeki TKN Miktarının Zamana Göre Değişimi

Tablo 5.11. Olgunlaştırma Sonrasında Karışımların Özellikleri

Parametre	I. Reaktör	II. Reaktör	III. Reaktör	IV. Reaktör
Organik Madde, %	84.2	77.5	80.6	70.14
Su Muhtevası, %	13.0	28.2	18.6	24.5
C, %	55.6	47.2	50.9	32.3
N, %	3.8	5.5	4.0	4.1
C/N	14.6	8.6	12.7	7.8
TKN, g/kg	32.15	33.04	37.25	39.14
NH ₄ ⁺ -N, g/kg	3.928	2.229	0.997	0.420
Toplam Fosfor, g/kg	2.59	2.43	2.72	2.96
pH	8.07	8.23	7.29	8.67
Mg, mg/kg	4850	6985	7415	7495
Zn, mg/kg	104	106	120	131
Fe, mg/kg	1183	4812	2286	6120
Mn, mg/kg	138	155	150	187
Cu, mg/kg	140	391	216	408
Ni, mg/kg	<25	37	<25	48
Cr, mg/kg	<5	15	<5	17
Cd, mg/kg	<2	<2	<2	<2
Pb, mg/kg	<25	<25	<25	<25
Hg, mg/kg	-	<5	-	-

* Sonuçlar kuru ağırlık üzerinden verilmiştir.

Azotun I. ve II. reaktörler dışında büyük bir kısmı organik formdadır. I. ve II. reaktörlerde ise azotun sırasıyla % 12'si ve % 6'sı amonyak formundadır. Ürünlerdeki toplam fosfor konsantrasyonu ise 2 g/kg civarındadır.

5.4.1. Ağır Metal Konsantrasyonları

Olgunlaştırma sonrasında, komposttaki ağır metal konsantrasyonları, Tablo 5'de verilmiştir. En yüksek ağır metal konsantrasyonları IV. Reaktörde elde edilmiştir. Bu nedenle IV. Reaktördeki değerler ile bazı yabancı ülkelerde kompostta olmasına izin verilen ağır metal limitleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ağır metal

konsantrasyonlarının en yüksek olduğu IV. reaktörde bile değerlerin limitlerin altında kaldığı Tablo 5.12’de gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Bazı Ülkelerdeki Kompost İçin verilen Ağır Metal Konsantrasyon Limitlerinin (Epstein, 1995) Bu Çalışmadaki (IV. Reaktör) Değerlerle Karşılaştırılması

Ağır Metaller	USA	Kanada	Avusturya	Danimarka	Bu Çalışma (IV. Reaktör)
Zn, mg/kg	2800	1850	-	-	131
Ni, mg/kg	420	180	-	-	48
Cr, mg/kg	-	-	150	100	17
Cd, mg/kg	39	20	4	1.2	<2
Pb, mg/kg	300	500	600	80	<25
Hg, mg/kg	17	5	5	1.2	<5
Cu, mg/kg	1500	-	400	1000	408

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, Tekel İstanbul Rakı Fabrikası'ndan çıkan anason posası, arıtma çamuru ve evsel katı atıklar üretim esnasında oluştukları oranlarda, ancak farklı kombinasyonlar ile karıştırılmış ve bu karışımların kompostlaştırılabilirliği araştırılmıştır. Atıkların yapısına da bağlı olarak, kompostlaştırma sırasında ürün kalitesi açısından nitrjenin korunması üzerinde özenle durulmuştur.

Deneysel çalışmada, farklı oranlarda bileşenler içeren karışımların beslendiği dört reaktörde atıkların esas yapısını oluşturan anason posasını diğer atıklardan ayıran en önemli özellik, posanın hem organik madde içeriğinin hem de azot konsantrasyonunun yüksek olmasıdır. Bu nedenle, söz konusu anason posasının karbon/azot (C:N) oranı (15:1), kompostlaştırma için kabul edilen optimum C:N oranından (30:1) düşüktür. Amonyak kaybının en kabul edilebilir, belirleyici parametresi C:N oranı olmasına karşın bu çalışma, kayıpların başka faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir. 15 gibi düşük bir C:N oranında başlayan kompostlaştırma sırasında, organik azotun parçalanması ile açığa çıkan iyon formundaki amonyakın pH'nın yüksek olmasıyla da gaz formuna geçerek atığı terk ettiği gözlenmiştir. Ham anason posasının (I. reaktör) kompostlaştırılması esnasında, başlangıçtaki organik azotun yaklaşık %65'i uçarak kaybolmuştur. Azotun en iyi korunduğu karışım, anason posası ve anason kompostunun 10:1 oranında karıştırıldığı karışım olup bu karışımla beslenen reaktörde (III. reaktör) organik maddenin ayrışma oranı %59'dur. IV. Reaktör anason posası, anason kompostu, arıtma çamuru, ve evsel katı atık karışımı (80:5:10:5) ile beslenmiştir. Bu reaktördeki organik madde ayrışma oranı (%70) gözlenen maksimum değere karşılık gelmekle birlikte reaktördeki azot kaybı da oldukça yüksektir (%50). Bu sonuçlardan yola çıkarak, amonyak kaybının en belirleyici göstergesi kabul edilen C:N oranı dışında, kayıpların başka faktörlere bağlı olabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, amonyak uçuşmasını etkileyecek olan diğer proses şartlarından karıştırma sıklığı, havalandırma debisi, pH ve su muhtevası bütün reaktörlerde yaklaşık olarak aynıdır. Karışımların kendi içerisinde olan farklı azot kayıpları ise atık bileşimlerinin fiziksel yapısından ve bu karışımlarda faaliyet

gösteren mikroorganizma gruplarından kaynaklanabilir. Olgunlaştırma devresinde ise havalandırmanın kesilmesi ile azot kaybı yok denecek kadar azdır. Bu da havalandırmanın azot kaybı üzerine olan etkisini göstermektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kompostlaştırma için tek başına uygun olmadığı belirlenen ham anason posasının beslendiği reaktör dışındaki diğer reaktörlerde ürün kalitesi oldukça yüksektir. Anason posasının C:N oranının kompostlaştırma için kabul edilen optimum orandan düşük olması nedeniyle kompostlaştırma işlemi öncesinde bu oranın yükseltilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, sistemdeki azotun korunumu için kompostlaştırma öncesinde anason posası içeren karışıma C:N oranı yüksek başka maddeler eklenebilir. Bunun dışında, elde edilen kompost ürünleri genel olarak humuslu maddelerin taşınması gereken özellikleri (yüksek nütrient muhtevası, düşük ağır metal konsantrasyonu, ve düşük patojen mikroorganizma içeriği) taşımaktadır. İyi kalitede bir kompostlaşma ürünü elde etmek için en uygun bileşimin anason posası, arıtma çamuru, ve evsel katı atıktan oluşan karışım olduğu sonucuna varılmıştır. Bu karışımın kullanılması tercih edilmez ise, diğer en uygun karışım anason posası ile arıtma çamuru karışımıdır, ancak bu harmana aşı olarak kompost eklenmesinde fayda vardır.

Bu çalışma sonucunda İstanbul ve Tekirdağ'da bulunan Tekel Rakı Fabrikaları'nda oluşan çeşitli katı atıkların bertarafı için kompostlaştırma en uygun yöntem olarak önerilmektedir. Buna ek olarak, kompostlaştırma sonucunda elde edilecek kompost ürününün zengin gübre niteliğinde olduğu ve tarımda başarıyla kullanılabileceği göz önüne alındığında, kompostlaştırmanın hem endüstriyel katı atıkların düzenli depolama sahalarına gönderilmesinden daha uygun bir şekilde bertarafı sağlanmış, hem de ürünün pazarlanması yoluyla tarımsal üretime kimyasal olmayan bir katkıda bulunulmuş ve ekonomik kazanç elde edilmiş olur.

KAYNAKLAR

- ASTM, D 2974-87**, 1995. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils, *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA
- Bach, P.D., Shoda, M. and Kubota, H.**, 1984. Rate of Composting of Dewatered Sewage Sludge in Continuously Mixed Isothermal Reactor, *Journal of Fermentation Technology*, **62(3)**, 285-292.
- Bhoyar, R.V., Olaneya, M.S. and Bhide, A.D.**, 1979. Effect of temperature on Mineralization of Nitrogen During aerobic Composting, *Journal of Environmental Health*, **1**, 23-24.
- Bishop, P.L. and Godfrey, C.**, 1983. Nitrogen Transformations During Sludge Composting, *Biocycle*, **24**, 34-39.
- Boucher, V.D., Revel, J.C., Guiresse, M., Kaemmerer, M. and Bailly, J.R.**, 1999. Reducing, Ammonia Losses by Adding FeCl_3 During Composting of Sewage Sludge, *Water, Air, Soil Pollution*, **112**, 229-239.
- Bremner, J.M.**, 1996. Nitrogen, Chapter 37 in *Methods of Soil Analysis*, Part 3., pp.1085-1121, Eds. Sparks, D.L., American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.
- Carnes, R.A. and Lossin, R.D.**, 1970. An Investigation of the pH Characteristics of Compost, *Compost Science*, **11(5)**, 18-21.
- Coppola, S., Dumontet, S. and Marino, P.**, 1983. Composting Raw Sewage Sludge in Mixture with Organic or Inert Bulking Agents, *Proceedings of the International Conference on Composting of Solid Wastes and Slurries*, pp. 125-147, Ed. Stentiford, I., The University of Leeds, England.
- Debertoldi, M., Vallini, G. Pera, A.**, 1982. Comporasion of Three Windrow Compost Systems, *Biocycle*, **23(2)**, 45-50.
- Epstein, E.**, 1997. The Science of Composting, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.

- Finstein, M.S. and Morris, M.L., 1975.** In *Advances in Applied Microbiology*, pp.113-151, Eds. Perlman, D., Vol. 19, Academic Press, New York.
- Frederick, C.M.Jr., Adinarayana, R. and Larry, J.F., 1993.** Yard Waste Composting: Using Different Mixes of Leaves and Grass in a Laboratory Scale System, *Compost Science & Utilization*, 1(3), 85-96.
- Frederick, C.M.Jr. and Reddy, C.A., 1998.** Effect of Oxygenation Level on Yard Trimmings Composting Rate, Odor Production, and Compost Quality in Bench-Scale Reactors, *Compost Science & Utilization*, 6(4), 6-14.
- Gray, K.R. and Sherman, K., 1969.** Accelerated of Composting of Organic Wastes, *Chemical Engineering*, 20(3), 64-74.
- Haug, R.T., 1993.** The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, London.
- Hogan, J.A., 1989.** Physical Modeling of the Composting Microbial Ecosystem, *MSc Thesis*, University of Rutgers, New Brunswick, NJ.
- Hoitink, H.A. and Keener, H.M., 1993.** Science and Engineering of Composting, Ohio Agricultural Research and Development Center, The Ohio State University, Wooster, Ohio.
- Iannotti, D.A., Pang, T., Toth, B.L., Elwell, D.L., Keener, H.M. and Hoitink, H.A.J., 1993.** Quantitative Respirometric Method for Monitoring Compost Stability, *Compost Science & Utilization*, 1(3), 52-65.
- Kaibuchi, Y., 1971.** Research on Composting of City Refuse and Night Soil, *Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE*, 87, 101-139.
- Kroodsma, W., Scholtens, R., Huisin, T. and Veld, J., 1987.** Ammonia Emissions from Poultry Housing Systems, *Institute of Agricultural Engineering*, Wageningen, The Netherlands.
- Kuo, S., 1996.** Phosphorus, Chapter 32 in *Methods of Soil Analysis*, Part 3., pp.869-919, Eds. Sparks, D.L., American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.

- Macgregor, S.T., Miller, F.C., Psarianos, K.M. and Finstein, M.S., 1981.** Composting Process Control Based on Interaction Between Microbial Heat Output and Temperature, *Applied and Environmental Microbiology*, **41(6)**, 1321-1330.
- Mckinley, V.L. and Vestal, J.R., 1984.** Biokinetic Analysis of Adaptation and Succession: Microbial Activity in Composting Municipal Sewage Sludge, *Applied and Environmental Microbiology*, **47(4)**, 933-941.
- Miller, F.C., 1989.** Substrate Usage and Odors in Mushroom Composting, *Microbial Ecology*, **18**, 59-71.
- Palmisano, A.C. and Barlaz, M.A., 1996.** Microbiology of Solid Waste, CRC Press, New York.
- Regan, R.W. and Jeris, J.S., 1970.** A Review of the Decomposition of Cellulose and Refuse, *Compost Science*, **11(1)**, 17-20.
- Reinhart, D.R., Deforest, A.R., Keely, S.J. and Vogt, D.R., 1993.** Composting of Yard Waste and Wastewater Treatment Plant Sludge Mixtures, *Compost Science & Utilization*, **1(2)**, 58-64.
- Sikora, L.J., and Sowers, M.A., 1985.** Effect of Temperature Control on the Composting Process, *Journal of Environmental Quality*, **14(3)**, 434-439.
- Thompson, J., 1984.** Experiences at Static Pile Composting Operations, Technology Transfer, U.S. EPA, Municipal Environment Research, Cincinnati, OH.
- Vestjens, T. 1991.** Nitrogen Conversions During the Composting of Mushroom, *Water Environment Research*, **64(1)**, 19-27.
- Viel, M., Sayag, D. And Andre, L., 1987.** Optimization of Agricultural Industrial Wastes Management Through in Vessel Composting, *Compost: Production Quality and Use*, pp. 231-237, Eds. Bertoldi, D., et al., Elsevier Applied Science, London.
- Witter, E. and Kirrhmman, H., 1989.** Peat, Zeolite and Basalt as Adsorbents of Ammoniacal Nitrogen During Manure Composting, *Plant and Soil*, **115**, 43-58

SSSA, 1982. Methods of Soil Analysis: Chemical and Microbiological Properties, Part 2., Eds. Page, A.L., American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.

SSSA, 1996. Methods of Soil Analysis: Chemical Methods, Part 3., Eds. Sparks, D.L., American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., 1993. Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill, Inc., New York.

USEPA, 1995. A Guide to the Biosolids Risk Assessment for the EPA Part 503 Rule, *U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management*, EPA832-B-93-005.



ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Konya’da dünyaya geldim. Lise eğitimimi 1991’de Bursa Erkek Lisesinde tamamladım. 1997’de İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldum. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.

