

**İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ
KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA FARKLI KATKI
MADDELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

742 937

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisi Esra ERDİM

(501001901)

142937

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Temmuz 2003

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

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. Turgut ONAY (B.Ü.)

TEMMUZ 2003

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÖNSÖZ

Ülkemizdeki ekonomik gelişmelere ve artan nüfusa paralel olarak katı atıkların bertaraf edilmesi problemi de gün geçtikçe büyümektedir. Özellikle zengin bir nütrient kaynağı olan evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının bertarafında bu değerli atıklardan faydalanmak yerine yok etme yoluna gidilmektedir. Bu çalışmada, aslında biyolojik atık olarak ifade edilen evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarından en verimli şekilde yararlanma yöntemi olan aerobik kompostlaştırma prosesi incelenmiştir. Çamur kaynağı olarak seçilen İstanbul Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin nütrient giderimi yapan bir tesis olması da bu çalışmayı farklı kılmakta ve ileride bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutacağı ümit edilmektedir.

Çalışmalarım sırasında fikirleri ve yardımlarını esirgemeyen, maddi manevi desteğini her an yanımda hissettiğim değerli hocam ve tez danışmanım Y.Doç.Dr. İbrahim DEMİR'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Değerli katkılarından dolayı Prof.Dr.İzzet ÖZTÜRK'e ve Doç.Dr.Turgut ONAY'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Katkılarıyla çalışmalarımı yönlendirmemi sağlayan, büyük bir sabırla bana yardımcı olan, çalışmada yaşadığım sorunları paylaştığım Osman ARIKAN'A en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen İsmail TOSUN'a , İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı çalışanlarına değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman olduğu gibi bu çalışma sırasında da anlayış ve sabırla daima yanımda bana destek olan sevgili eşim Eray ERDİM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2003

Esra ERDİM

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. KOMPOSTLAŞTIRMA PROSESİ	3
2.1. Kompostlaştırma Prosesinin Tanımı	3
2.2. Aerobik Kompostlaştırma Prosesi	3
2.3. Mikrobiyoloji	7
2.3.1. Bakteriler	7
2.3.2. Mantarlar	9
2.3.3. Aktinomisetler	10
2.3.4. Yüksek yapıli organizmalar	12
2.4. Kompostlaştırma Prosesinde Meydana Gelen Kimyasal Dönüşümler	13
2.5. Kompostlaştırma Prosesine Etki Eden Faktörler	15
2.5.1. Fiziksel veya yapısal şartlandırma	15
2.5.1.1. Ağırlık ve hacim ilişkileri	18
2.5.1.2. Porozite ve serbest hava boşluğu	20
2.5.1.3. Katkı malzemesi	22
2.5.1.4. Gözenek malzemesi	23
2.5.2. Kimyasal şartlandırma	25
2.5.2.1. Nütrientler	25
2.5.2.2. pH	27
2.5.3. Havalandırma ve karıştırma	28
2.5.4. Sıcaklık	31
2.5.5. Su muhtevası	33
2.5.6. Dane boyutu	35
2.6. Kompostun Toprağa Uygulanmasıyla Oluşan Biyokimyasal Dönüşümler	36
2.6.1. Humus oluşumu	37
3. KOMPOSTLAŞTIRMA METOTLARI VE KOMPOSTUN KULLANIMI	41
3.1. Kompostlaştırma Sistemlerinin Sınıflandırılması	41
3.1.1. Statik yığın sistemi	41
3.1.2. Karıştırmalı statik yığın sistemleri	42
3.1.3. Havalandırılmalı statik yığın sistemi	42
3.1.4. Kapalı sistemler	43
3.2. Kompostlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırılması	43
3.3. Kompost Stabilesini Belirleyen Faktörler	45

3.4. Kompostun Kullanım Alanları	46
3.5. Kompostun Faydaları	47
3.6. Kompostun Kalitesi ve Kompostun Kullanımı ile İlgili Yasal Mevzuat	48
3.7. Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Kompostlaştırılması	51
3.7.1. Evsel atıksu arıtma çamurlarının karakteristikleri	54
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	55
4.1. Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	55
4.1.1. Tesisin gayesi	55
4.1.2. Proses açıklaması	55
4.1.3. Su alma yapısı ve by-pass odası	55
4.1.4. Giriş terfi merkezi ve terfi hattı	57
4.1.5. İlk arıtma ünitesi	57
4.1.6. Biyolojik fosfor ünitesi	58
4.1.7. Havalandırma havuzları	58
4.1.8. Son çöktürme havuzları	59
4.1.9. Çamur depolama havuzu	59
4.1.10. Çamur susuzlaştırma birimi	59
4.2. Deney Düzenegi	60
4.3. Çalışma Planı	66
4.3.1. Yapılan analizler ve analiz yöntemleri	66
4.4. Birinci ve İkinci Seri Çalışma	67
4.5. Birinci ve İkinci Seri Çalışmanın Sonuçları	70
4.5.1. Sıcaklık	70
4.5.2. Su muhtevası	72
4.5.3. pH	73
4.5.4. Organik madde	74
4.5.5. TKN değişimi	75
4.5.6. TP değişimi	76
4.5.7. Ağır metaller	77
4.5.8. Salmonella	78
5. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	80
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	89

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Organik maddelerin rölatif ayrışma hızları.....	8
Tablo 2.2. Çeşitli atıkların absorblayabilecekleri maksimum su muhtevaları.....	16
Tablo 2.3. Farklı atıkların azot içerikleri ve C/N oranları.....	26
Tablo 2.4. Farklı hedeflere yönelik hava ihtiyacı değerleri.....	29
Tablo 2.5. Rutgers ve Beltsville stratejileri arasındaki başlıca farklar.....	32
Tablo 3.1. Aerobik kompostlaştırma proseslerinin karşılaştırılması.....	44
Tablo 3.2. Kompost stabilite ve olgunluk parametreleri.....	45
Tablo 3.3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri.....	49
Tablo 3.4. Toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükleri.....	49
Tablo 3.5. Ağır metal sınır değerleri(EPA 503 CFR 40).....	50
Tablo 3.6. Evsel atıksu arıtma çamuru miktarları ve yoğunlukları.....	51
Tablo 3.7. Atıksu arıtma tesisi çamurlarının tipik kimyasal özellikleri.....	52
Tablo 3.8. Arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılmasının avantaj ve dezavantajları.....	54
Tablo 4.1. Deneysel çalışmada yapılan analizler ve analiz yöntemleri.....	66
Tablo 4.2. Reaktörlerde kullanılan substratların özellikleri	69
Tablo 4.3. Reaktörlere konan substrat miktarları.....	69

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Kompostlaştırma prosesinde gözlenen sıcaklık aralıkları.....	6
Şekil 2.2 : Bakteriler.....	9
Şekil 2.3 : Mantarlar.....	10
Şekil 3.4 : Aktinomisetler.....	12
Şekil 3.5 : Yüksek yapılı organizmalar.....	12
Şekil 2.6 : Mandıra atıklarının kompostlaştırılmasında başlangıç su muhtevası değerlerinin sıcaklık profiline etkisi.....	17
Şekil 2.7 : Kompost matrisi.....	18
Şekil 2.8 : Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki.....	21
Şekil 2.9 : Çeşitli substratlar için su muhtevası-serbest hava boşluğu etkileşimi.....	21
Şekil 2.10 : Atık-gözenek malzemesi karışımı ve suyun absorblanması.....	23
Şekil 2.11 : Kompost prosesi akım diyagramı.....	24
Şekil 2.12 : Evsel organik atıkların tahta yongalarla kompostlaştırılması süresince pH değişimi.....	28
Şekil 2.13 : Laboratuvar ölçekli bir reaktörde sıcaklık–oksijen tüketimi ilişkisi.....	30
Şekil 2.14 : Arıtma tesisi çamurları ve odun yongaları karışımının kompostlaştırılmasında havalandırma hızı-su muhtevası arasındaki ilişki.....	34
Şekil 2.15 : Century modeline göre kompost içindeki karbonun topraktaki akış diyagramı.....	39
Şekil 2.16 : Kompostlaşma prosesinde hümik asit oluşumu.....	40
Şekil 3.1 : Statik yığın sistemi.....	42
Şekil 3.2 : Karıştırmalı statik yığın(windrow) sistemi.....	42
Şekil 3.3 : Havalandırmalı statik yığın sistemi.....	43
Şekil 3.4 : Arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılması akım diyagramı.....	53
Şekil 4.1 : Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması	56
Şekil 4.2 : Kompost reaktörleri.....	60
Şekil 4.3 : Kompost reaktörlerinin şematik gösterimi	61
Şekil 4.4 : Rotometre.....	62
Şekil 4.5 : Timer ve selenoid vana sistemi.....	63
Şekil 4.6 : Sıcaklık ölçüm sistemi	63
Şekil 4.7 : Sıcaklık on-line kayıt sistemi.....	64
Şekil 4.8 : Karıştırma ekipmanı.....	65
Şekil 4.9 : Numune alma kapakları.....	65
Şekil 4.10 : NH ₃ gazı tutma sistemi.....	66
Şekil 4.11 : Fındık kabukları.....	68
Şekil 4.12 : Fıstık kabukları.....	68
Şekil 4.13 : Saman.....	68

Şekil 4.14	: 1.seri çalışmada reaktörlerdeki sıcaklığın zamanla değişimi	71
Şekil 4.15	: 2.seri çalışmada reaktörlerdeki sıcaklığın zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.16	: 1.seri çalışmada su muhtevasının zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.17	: 2.seri çalışmada su muhtevasının zamanla değişimi.....	73
Şekil 4.18	: 1.seri çalışmada reaktörlerdeki pH'nın zamanla değişimi.....	74
Şekil 4.19	: 2.seri çalışmada reaktörlerdeki pH'nın zamanla değişimi.....	74
Şekil 4.20	: 1.seri çalışmada reaktörlerdeki organik maddenin zamanla değişimi	75
Şekil 4.21	: 2.seri çalışmada reaktörlerdeki organik maddenin zamanla değişimi	75
Şekil 4.22	: 1.seri çalışmada reaktörlerdeki TKN'nin zamanla değişimi.....	76
Şekil 4.23	: 2.seri çalışmada reaktörlerdeki TKN'nin zamanla değişimi.....	76
Şekil 4.24	: 1.seri çalışmada reaktörlerdeki Toplam Fosfor'un zamanla değişimi	77
Şekil 4.25	: 2.seri çalışmada reaktörlerdeki Toplam Fosfor'un zamanla değişimi	77
Şekil 4.26	: 1.seri çalışmadan elde edilen ürünlerindeki ağır metal konsantrasyonları.....	78
Şekil 4.27	: 2.seri çalışmadan elde edilen ürünlerindeki ağır metal konsantrasyonları.....	78

İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ KOMPOSTLAŞTIRILMASINDA FARKLI KATKI MADDELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Arıtma tesisi çamurları yüksek oranda organik madde içeriğine sahip atıklardır. Organik nitelikli atıklardan en verimli yararlanma yöntemi bu atıkların kompostlaştırılmasıdır. Kompostlaştırma, uçucu organik madde içeriği yüksek olan katı fazdaki atıkların stabilizasyonunu esas alan bir prosestir. Bu proses sonunda stabil halde ve başta tarım olmak üzere çeşitli amaçlarla kullanılabilen bir ürün elde edilebilir.

Bu çalışmada İstanbul-Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde oluşan çamurların aerobik olarak kompostlaştırılabilirliği ve farklı katkı maddeleri kullanımının bu proses üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda iki seri çalışma gerçekleştirilmiş, arıtma tesisinden alınan çamurlar sırasıyla fındık kabuğu, fıstık kabuğu ve saman ile değişik oranlarda karıştırılmış ve işletme parametreleri incelenmiştir. Elde edilen verilerden fıstık kabuğunun katkı malzemesi olarak en iyi sonuçları verdiği bulunmuştur. Ancak başlangıç karışımının C/N oranının düşük olmasının da bir sonucu olarak fazla miktarda NH_3 oluştuğu tespit edilmiştir. Fındık kabuğu kullanılan reaktörde sıcaklıklar istenen seviyelere ulaşmıştır ancak proses sonunda elde edilen ürünün su muhtevası % 50 civarlarında olmasına rağmen oldukça ıslak bir görüntü ortaya çıkmıştır. Bu durum fındık kabuğunun yapısında önemli bir oranda yağ bulunmasıyla açıklanmıştır. Saman kullanılan çalışmada ise samanın dane boyutunun çok büyük olması nedeniyle yeterli karışım sağlanamamıştır. İkinci seri çalışmada birinci seri sonunda en iyi sonuçların elde edildiği fındık ve fıstık kabuklarına plastik malzemeden yapılmış gözenek malzemesi ilave edilmiş ve bu malzemenin proses üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kullanılan gözenek malzemesi fıstık kabuğu ile yapılan çalışmada boşlukların artmasını dolayısıyla daha iyi havalanma şartlarını sağlamıştır. Bunun sonucu olarak ilk seriye kıyasla daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. Fındık kabuğu kullanılan reaktörde ise gözenek malzemesi kullanımının sıcaklığı artırıcı yönde bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum fındık kabuğunun boyutlarının yeterli büyükte olması sebebiyle havalanmayı homojen bir şekilde sağlaması ile açıklanabilir. Elde edilen ürünlerin tarımda kullanılabilmesi için ağır metaller ve patojen mikroorganizmalar açısından standartları sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. ve her iki seri çalışma sonucunda elde edilen ürünlerin standartları sağladığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada Türkiye'deki atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurların bertarafı için kompostlaştırmanın uygun bir alternatif olduğu ve katkı maddesi olarak ülkemize özgü bir ürün olan fıstık kabuğu kullanılmasının iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

EVALUATING THE EFFECTS of VARIOUS AMENDMENTS on COMPOSTING of ADVANCED WASTEWATER TREATMENT SLUDGES

SUMMARY

Wastewater treatment plant sludges are wastes which are composed of highly organic materials. Composting is the best suitable way of benefitting from these organic wastes. Composting is a process by which solid wastes, containing relatively high volatile organic material, are stabilized. A stable product is produced through this process and this product can be used for various purposes, especially in agriculture.

In this study the aerobic composting of sludge generated from Istanbul Pasakoy Advanced Wastewater Treatment Plant and the effects of using various amendments on this process were investigated. In this scope, two runs were performed. The sludge was mixed with hazelnut shells, peanut shells and straw in different ratios respectively and operation parameters were examined.

Results indicated that the best results were obtained when peanut shells were used as amendment. However, since the initial mixture had low C/N ratio, high amount of NH_3 formation was observed as a result. The temperature reached to the desired levels in the reactor containing hazelnut shells, however despite the moisture content being approximately % 50, a fairly wet appearance was seen. This could be explained with the existence of substantially high oil content in the structure of shells. On the other hand, due to the big particle size of straw, sufficient mixing could not be achieved in the reactor consisting of straw and sludge.

In the second run, bulking agents made of plastic material were added to the reactors containing hazelnut shells and peanut shells, in which the best results were obtained in the first run, and the effects of these materials on the process performance were evaluated. The addition of bulking agents enhanced the free air spaces as well as the aeration in the reactor containing peanutshells. Thus higher temperatures were obtained when compared with the first run. However, it was observed that bulking agent addition did not increase the temperature in the reactor containing hazelnut shells. This could be explained by the fact that of peanut shells had sufficient particle sizes and could provide homogeneous aeration.

In order to be able to use the products in agriculture they were examined for heavy metals and pathogens whether they satisfied the standards or not. Results indicated that in both of the runs the products satisfied the standards.

In this study it was found that composting wastewater treatment plant sludges and the addition of peanut shells, which are peculiar products to our country, gave the best and the most effective results during composting.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Anlam ve Önemi

Ülkemizde son yıllarda atıksu arıtma tesisi inşaatı hızlanmıştır. Yapılan arıtma tesislerinde oluşan çamurlar genellikle mekanik olarak susuzlaştırıldıktan sonra düzenli depolama alanlarına boşaltılmaktadır. Ülkemizdeki endüstrilerin büyük bir kısmının şehirlerde yer alması nedeniyle yeterli katı atık depolama alanlarının bulunmaması gittikçe büyüyen bir sorun haline gelmektedir. Hem alan bulunmadığı sorunlar, hem de mevcut alanların ömürlerinin uzatılması için atıksu arıtma tesisi çamurlarının diğer yöntemlerle bertaraf olmalarının araştırılması gerekir.

Diğer taraftan arıtma tesislerinin sayısındaki hızlı artışa paralel olarak bu tesislerde oluşan çamur miktarı da artmaktadır. Organik madde bakımından oldukça zengin olan bu çamurların depolama alanlarına gönderilmesi büyük bir zenginlikten faydalanamamıza neden olmaktadır.

Diğer organik katı atıklar gibi arıtma tesisi çamurlarının da verimli bir şekilde bertarafı mümkündür. Tarım ülkesi olan Türkiye'nin toprakları maalesef tarımsal etkinlikler bakımından yeterli değildir. Organik atıkların toprağa uygun bir şekilde verilmesi bu toprakların iyileştirilmesi açısından büyük önem taşır. Organik atıklardan en verimli yararlanma yöntemi bu atıkların kompostlaştırılmasıdır. Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak bu yöntem maalesef ülkemizde yeterli ilgiyi bulamamıştır. Avrupa Birliği'ne girmeye hazırlandığımız bu dönemde, 2019 yılında düzenli depolama alanlarına hiç organik atık göndermemeyi hedefleyen birliğe ülkemizin de uyum sağlayabilmesi için bu konudaki çalışmaların hızlandırılması gerekmektedir.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada İstanbul Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan çamurların farklı katkı ve gözenek malzemeleri ile kompostlaştırılması incelenmiştir. Katkı/gözenek malzemesi olarak literatürde kullanımına sıkça rastlanan samana ek olarak ülkemize özgü ürünler olan fındık ve yerfıstığı kabukları kullanılmıştır. Çalışmalar iki seri halinde yürütülmüş ve iki seride de kullanılan çamur miktarları sabit tutulmuştur. İkinci seride katkı malzemesine ilave olarak gözenek malzemeleri de kullanılmış ve bu maddelerin kompostlaştırma prosesinin performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Ülkemizde tarım yapılan toprakların büyük bir kısmı organik madde bakımından fakirdir. Diğer tarımsal atıklar gibi fındık ve fıstık kabuklarının kompost yapılarak tekrar toprağa verilmesi hem toprağı organik madde bakımından zenginleştirecek, hem de tarım verimini arttıracaktır.

2. KOMPOSTLAŖTIRMA PROSESİ

2.1 KompostlaŖtırma Prosesinin Tanımı

KompostlaŖtırma, organik maddelerin kontrollü çevresel Ŗartlar altında biyolojik olarak ayrıştırılması ve stabilizasyonu prosesidir. Proses sonucunda humusa benzeyen, stabil ve toprak Ŗartlandırıcısı olarak kullanabilen, kompost olarak adlandırılan bir ürün elde edilir.

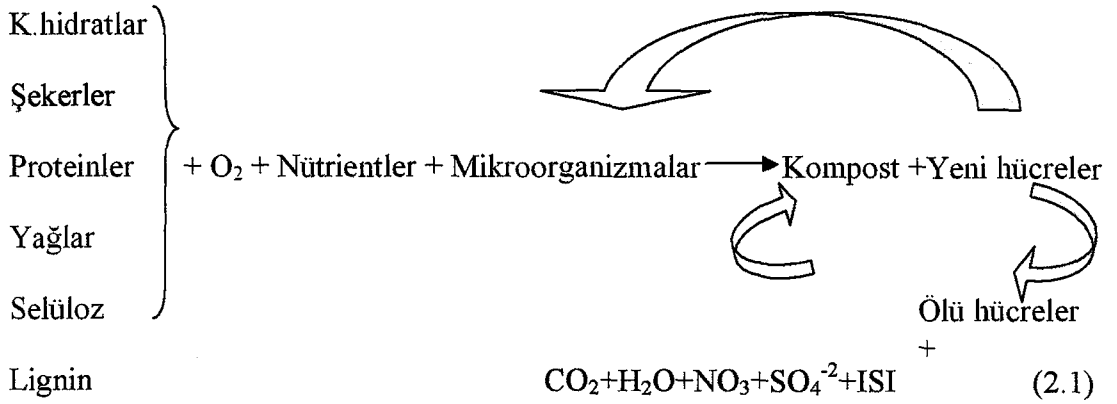
KompostlaŖtırma prosesi aerobik veya anaerobik koŖullarda gerçekteŖtirilebilir. Aerobik kompostlaŖtırma, organik maddelerin oksijenin (havanın) mevcut olduğu ortamlarda ayrıştırılması iŖlemidir ve oluŖan baŖlıca metabolik ürünler karbondioksit, su ve ısıdır. Anaerobik kompostlaŖtırma, organik maddelerin oksijenin (havanın) bulunmadığı ortamlarda ayrıştırılması iŖlemidir ve oluŖan baŖlıca metabolik ürünler metan, karbondioksit ve organik asitler gibi düşük moleköl ağırlıklı bileŖikler olarak sayılabilir.

Anaerobik kompostlaŖtırmada ayrıştırılan organik madde baŖına daha az enerji açığa çıkması, prosesin tamamlanması için gereken sürenin çok uzun olması, oluŖan ara ürünler ve ürünler sebebiyle koku probleminin ortaya çıkması, sıcaklığın istenen değerlere yükselememesi gibi nedenlerden dolayı kompostlaŖtırma sistemlerinin çoğu aerobik olarak iŖletilmektedir.

2.2 Aerobik KompostlaŖtırma Prosesi

Aerobik kompostlaŖtırma prosesinde organik maddenin ayrıştırılması hızlı bir Ŗekilde gerçekteŖirken atığın bünyesinde mevcut olan ve istenmeyen patojenlerin elimine edilmesi için gereken yüksek sıcaklıklara ulaŖılabilir. Aynı zamanda koku problemi de minimize edilir (Metcalf&Eddy, 1991).

Proses, denklem formunda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.



Deklem 2.1'de görüldüğü gibi oluşan yeni hücreler organik maddenin ayrıştırılmasında aktif biyokütle olarak görev yapar ve öldükten sonra kompostun bünyesine geçerler.

Isı, mikrobiyal solunum sonucu açığa çıkar (Epstein,1997). Atık çevresinden izole edildiği zaman üretilen ısı kompostlaştırılacak olan kütlenin sıcaklığını artırır.

Aerobik kompostlaştırma prosesi esas olarak üç kademede gerçekleşmektedir.

- 1.) Bakterilerin karbonhidrat, şeker, glikoz, nişasta ,protein, gibi çabuk ayrışabilen maddeleri ayrıştırmaları ve ısının açığa çıkması,
- 2.) Zor ayrışan bileşiklerin parçalanması,
- 3.) Mineralizasyon.

Mineralizasyon kompostlaştırma prosesinde istenmeyen bir safhadır. Çünkü mineral hale gelmiş organik maddeler besin değerini kaybettiklerinden toprak şartlandırıcısı olarak kullanılamazlar. Kompostun humus türündeki organik maddde içeriği ne kadar yüksekse tarımsal açıdan değeri de o kadar fazladır.

Dolayısıyla kompostlaştırma işlemine organik atık içindeki patojen mikroorganizmalar ölünceye kadar devam edilir.

Aerobik kompostlaştırma prosesi ile ulaşılmak istenen hedefler aşağıda belirtilmiştir.

- 1.) Biyolojik olarak ayrışabilir organik maddeleri yarı stabil bir ürüne dönüştürmek ve atığın hacmini azaltmak.
- 2.)Atığın bünyesinde mevcut olabilecek patojen ve diğer istenmeyen mikroorganizmaları yok etmek.

3.) Nütrient içeriğini maksimum seviyede tutmak ve korumak.

4.) Gübre ve toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilecek bir ürün elde etmek.

Proses aerobik mikroorganizmaların hakim olduğu çok geniş bir organizma topluluğu tarafından gerçekleştirilir. Bu mikroorganizmaların faaliyetlerini verimli bir şekilde sürdürebilmeleri C/N oranı, O₂ , su muhtevası, sıcaklık, dane boyutu ve pH faktörlerinin kontrolüyle sağlanır.

Karbon ve azot mikrobiyal aktivite ve çoğalma için gerekli olup proseste önemli rol oynamaktadır. Karbon ana enerji kaynağı olarak kullanılırken azot da hücre sentezi için gereklidir (Epstein,1997). Sıcaklık prosesi etkileyen önemli bir faktör olmakla beraber, proses sırasında mikrobiyolojik faaliyet sonucu açığa çıktığından önceden kontrol edilmesi söz konusu değildir ve bu yönüyle diğer parametrelerden farklıdır. Disimilasyon olayı sonunda ortaya çıkan enerjinin bir kısmı yeni hücrelerin yapımında kullanılırken, geri kalanı da ortamdaki sıcaklığın yükselmesine neden olur.

Kompostlaştırma prosesi uygulamada esas olarak iki evrede gerçekleştirilir.

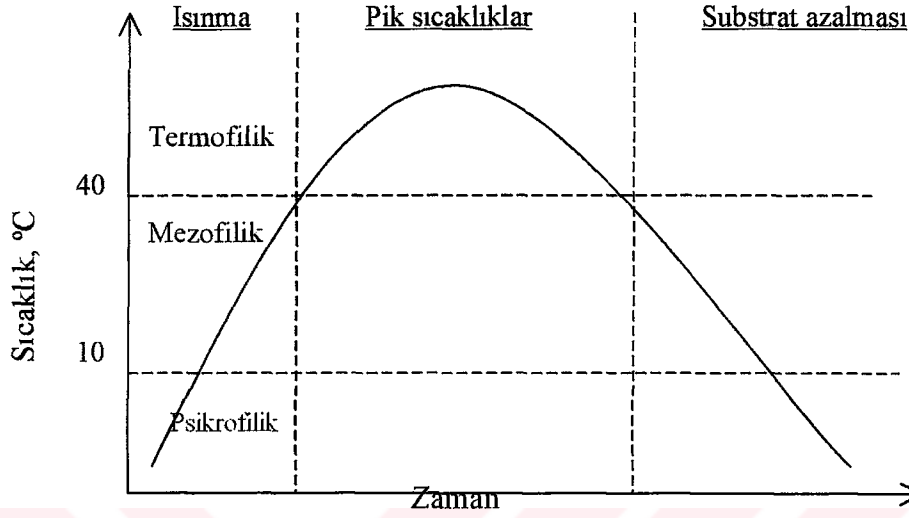
1) Aktif kompostlaşma evresi

2) Olgunlaşma evresi.

Aktif kompostlaşma evresi mikrobiyolojik aktivitenin çok yüksek olduğu, öncelikle kolay ayrışabilir maddelerin, daha sonra selüloz gibi bozunmaya nispeten dirençli maddelerin ayrıştırıldığı periyottur. Olgunlaşma safhası ise aktif kompostlaşma evresini takip eden, mikrobiyolojik aktivitenin daha düşük olduğu fakat ayrıştırma işleminin devam ettiği evredir. Olgunlaşma evresinin son aşamasına ulaşıldığında kompostun stabil hale geldiği söylenebilir.

Aktif kompostlaşma evresi süresince kompost yığnında geniş bir sıcaklık aralığı gözlenir. Sıcaklık değişimine bağlı olarak ortamda farklı mikroorganizma türleri baskın hale gelir. Aktif kompostlaşma periyodunda gözlenen sıcaklık evreleri o sıcaklıklarda baskın hale gelen mikroorganizmalara göre adlandırılmış olup üçe ayrılır (Şekil 2.1).

- Psikrofilik sıcaklıklar ($< 10^{\circ}\text{C}$)
- Mezofilik sıcaklıklar ($10^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$)
- Termofilik sıcaklıklar ($> 40^{\circ}\text{C}$)



Şekil 2.1 Kompostlaştırma prosesinde gözlenen sıcaklık aralıkları (NEH,2000)

Kompostlaştırma prosesinin ilk evresi ortam sıcaklığına ve kompostlaştırılacak atığın bileşimine bağlı olarak psikrofilik veya mezofilik sıcaklıklarda gerçekleşir. Prosesin başlangıç safhalarında, sıcaklığın hızla artmaya başlamasından önce, kısa bir gecikme periyodu gözlenebilir. Bu periyot, mikroorganizmaların ortama alışarak yavaş yavaş çoğalmaya başladıkları süreçtir. Mikroorganizmalar kolay ayrışabilen maddeleri tüketmeye başladıkça çoğalma hızları artar ve açığa çıkan ısı yığın içinde birikerek sıcaklığın yükselmesini sağlar. İşletme koşullarına göre farklılık göstermekle beraber genellikle 2-3 gün içinde termofilik sıcaklıklara ulaşılır (NEH, Part 637-2000). Termofilik sıcaklıklarda yüksek aktiviteye sahip çok sayıda ve çeşitli mikroorganizma grubu baskın hale gelerek patojenleri, sinek yumurtalarını ve yabancı ot tohumlarını yok eder.

Proseste farklı mikroorganizmaların rol alması ile kolay ayrışabilir maddeler, kompleks maddeler, hatta selüloz gibi ayrışmaya direnç gösteren farklı madde grupları ayrıştırılabilir. Sıcaklık yükseldikçe pik değerlere ($55^{\circ}\text{C}-75^{\circ}\text{C}$) ulaşılır ve mikrobiyolojik aktivite, hem kolay ayrışabilir maddelerin ve oksijenin azalması hem de yüksek sıcaklıklarda mikroorganizmaların fonksiyonlarının zarar görmesi sebebi ile azalmaya başlar. Aktivitelerini kaybeden mikroorganizmalar kendilerini koruyabilmek için spor oluştururlar.

Ayrıştırma işleminin yavaşlamasıyla birlikte ısı oluşumu azalır ve yığın soğumaya başlar. Teorik olarak sıcaklığın 10°C'nin altına inmesiyle olgunlaşma evresinin başladığı söylenebilir (NEH,Part 637-2000).

Olgunlaşma süreci, mikrobiyolojik aktivitenin düşük hızlarda devam ettiği ve aktif kompostlaşma peryodundaki faaliyetler sonucu ortaya çıkan ürünler ile zor ayrışabilir nitelikteki maddelerin stabilizasyonunun gerçekleştirildiği safhadır. Bu evrede gözlenen en belirgin reaksiyonlar organik asitlerin ayrıştırılması, hümitik bileşiklerin oluşumu ve nitrat-azotu oluşumudur. Mikrobiyolojik faaliyetin devam edebilmesi için su muhtevası ve havalandırma şartları bu evrede de kontrol altında tutulmalıdır. Mikroorganizmaların aktivitelerinin düşük olmasına bağlı olarak reaksiyon hızlarının da yavaş olması olgunlaşma evresinin uzun sürelerde tamamlanmasına neden olur. Aktif kompostlaşma periyodunun uzunluğu ve kompostun kullanım amacı bu evrenin uzunluğunu etkileyen faktörlerdir. Olgunlaşma evresinin tamamlanması, yığının tekrar tekrar karıştırılmasına rağmen sıcaklığının ortam sıcaklığında kalması ile belirlenir. Sıcaklıkta gözlenen sabit kalma potansiyelinin yanlış işletme şartlarının bir sonucu değil de olgunlaşma evresinin tamamlanmasının göstergesi olması ayırt edilmesi gereken önemli bir noktadır.

2.3 Mikrobiyoloji

Aerobik kompostlaştırma prosesinde gözlenen farklı sıcaklık, su muhtevası, oksijen ve pH değerlerine bağlı olarak çok geniş bir mikroorganizma topluluğu görev alır. Mikrobiyolojik çeşitlilik değişen çevre koşullarında prosesin verimli bir şekilde devam etmesine ve birbirinden farklı özelliklere sahip bir çok maddenin ayrıştırılmasına olanak sağlar. Hangi organizma türünün veya türlerinin ortamda hakim olacağını belirleyen en önemli iki faktör sıcaklık ve mevcut besin kaynağıdır.

Düşük molekül ağırlığı ve basit kimyasal yapı özellikleri ile karakterize edilen kolay ayrışabilir maddeler, suda çözünmeleri ve organizmaların hücre duvarlarından kolayca geçebilmeleri nedeniyle prosesin başlangıç safhasında hızlı bir şekilde tüketilirler. Bu maddelerin azalmasıyla birlikte mikroorganizmalar besin kaynağı olarak yüksek molekül ağırlıklı, polimerik(uzun zincirler halinde) yapıdaki ve hücre duvarından doğrudan geçemeyen zor ayrışabilir maddelere yönelirler.

Zor ayrışabilir maddelerin hidroliz edilerek hücre duvarından içeri geçebilir hale gelmesi ancak mantar gibi özel organizma türlerinin üretebildiği hücre dışı enzimler sayesinde gerçekleştirilir. Stentiford (1993), organik maddeleri rölatif ayrışma hızlarına göre Tablo 2.1’de görüldüğü gibi sınıflandırmıştır.

Tablo 2.1 Organik maddelerin rölatif ayrışma hızları (Stentiford, 1993)

<u>Kolay Ayrışabilir Maddeler</u> Şekerler Nişasta, glikojen, pektin Yağ asitleri, gliserol Yağlar Aminoasitler Nükleik asitler Proteinler
<u>Yavaş Ayrışabilir Maddeler</u> Hemiselüloz Selüloz Düşük molekül ağırlıklı bileşikler
<u>Ayrışmaya Dirençli Maddeler</u> Lignoselüloz

Kompostlaştırma prosesinde rol alan başlıca mikroorganizma türleri bakteriler, mantarlar ve aktinomisetlerdir. Bu mikroorganizmalar en verimli oldukları sıcaklık aralıklarına bağlı olarak psikrofilik, mezofilik veya termofilik olabilirler. 10°C’nin altındaki sıcaklıklarda çalışan mikroorganizmalar psikrofilik, 10°C - 40°C arasında çalışan mikroorganizmalar mezofilik, 40°C’nin üstündeki sıcaklıklarda çalışan mikroorganizmalar termofilik olarak adlandırılır.

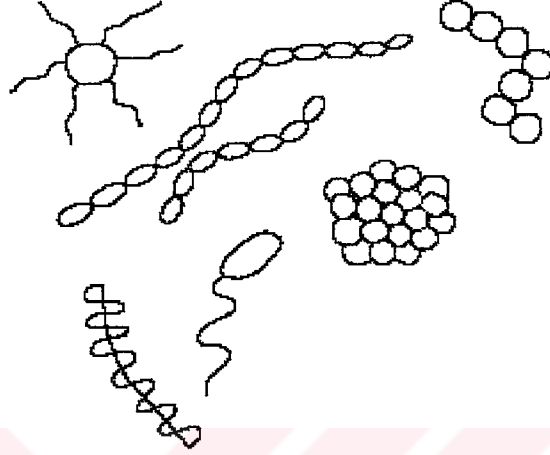
Oksijen gereksinimlerine bağlı olarak organizmalar aerobik, fakültatif veya anaerobik şeklinde sınıflandırılırlar. Bakteriler hem aerobik hem de anaerobik koşullarda yaşayabilen tek organizma topluluğudur.

2.3.1 Bakteriler

Bakteriler kompostlaştırma prosesinin özellikle başlangıç safhalarında görülen küçük, basit yapılı, tek hücreli organizmalardır (Şekil 2.2).

Değişik çevre koşullarında barınabilen geniş bir organizma topluluğu oluştururlar ve büyük ölçüde kolay ayrışabilir maddelerin tüketilmesinde rol alırlar. Mantarlara ve aktinomisetlere kıyasla küçük olmalarına rağmen sayıca üstündürler. Bakteriler, şeker gibi kolay ayrışabilir maddeleri çok hızlı bir şekilde ayrıştırırlar.

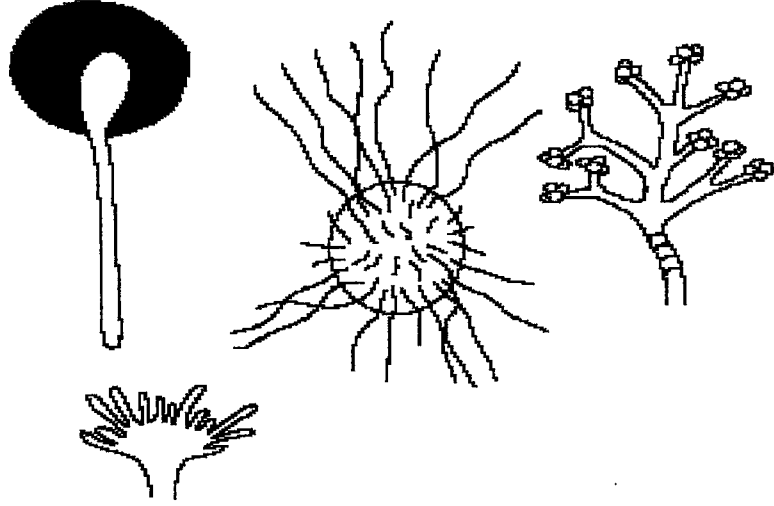
Optimum pH aralıkları 6 – 7.5 olan bakterilerin verimleri su muhtevastındaki azalmaya baęlı olarak dūřer. Yūksək sıcaklık gibi olumsuz evre řartlarından korunabilmek için spor oluřturabilen bakteriler, kořulların uygun hale gelmesiyle tekrar aktif hale geçerler.



şekil 2.2 Bakteriler (NEH,Part 637-2000)

2.3.2 Mantarlar

Bakterilerden daha būyūk olan mantarlar (řekil 2.3), ayrıřtırdıkları maddelerin yapısına baęlı olarak kompostlařtırma prosesinin daha ileri safhalarında rol alırlar. Őzellikle ayrıřmaya dirençli hemiselūloz, pektin gibi maddeler ile odunsu maddelerin ayrıřtırılmasında gōrev yaparlar. Ligninin ayrıřmaya en çok direnç gōsteren organik bileřen olmasına karřın beyaz mantar tūrlerinin (Basidiomycetes) bu maddeyi tamamen ayrıřtırabildięi, Fusarium, Aspergillus, Nocardia ve Streptomyces tūrlerinin de kısmen ayrıřtırma iřlemini gerçekleřtirdięi belirlenmiřtir (Higuchi, 1982). Bakterilere kıyasla dūřūk sıcaklık ve pH řartlarına karřı daha toleranslı olan mantarların çoęu zorunlu aerobik olmaları sebebiyle ortamdaki oksijen seviyesine karřı çok hassastırlar.



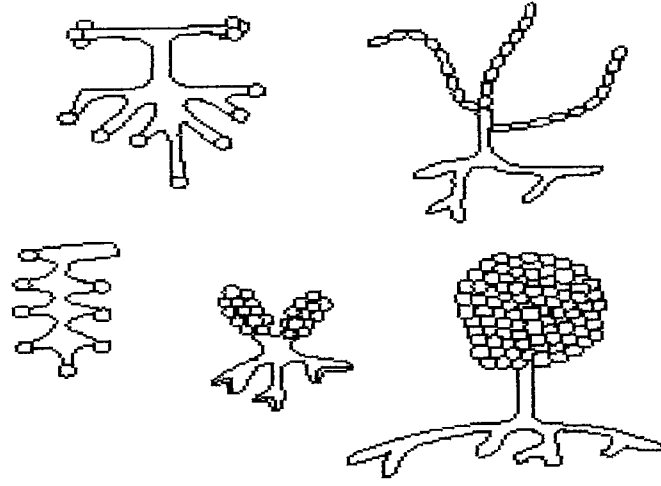
Şekil 2.3 Mantarlar (NEH,Part 637-2000)

Mantarların 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ölmeleri, zor ayrışabilir nitelikteki maddeleri ayrıştıran bu organizmaların yaşayabilmeleri ve ayrıştırma işleminin tam olarak gerçekleşmesi için proses sırasında çok yüksek sıcaklıklara ulaşılmaması gerektiğini gösterir (Mc Kinley et al., 1985). Diğer yandan patojen giderimi için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulması sıcaklığın çok önemli ve dikkatle kontrol edilmesi gereken bir parametre olduğunu gösterir. Tansey ve Brock (1978) tarafından yapılan çalışmalarda ise 70-80°C gibi yüksek sıcaklıklarda yaşayabilen mantar türlerinin bulunduğu ve bunlardan özellikle mantar kompostçuluğu gibi hassas proseslerde faydalandığı belirtilmiştir.

2.3.3 Aktinomisetler

Aktinomisetler büyüklükleri ve yapıları bakımından bakterilere benzerlik gösterirken filament oluşturmaları ve çeşitli maddeleri substrat olarak kullanabilmeleri açısından mantarlara benzerler (Şekil 2.4).

Organik asitleri, şekerleri, nişastayı, hemiselülozu, selülozu, proteinleri, polipeptitleri, aminoasitleri hatta ligninleri ayrıştırabilen aktinomisetler, salgıladıkları hücre dışı enzimlerle bakterileri yok edebilmektedirler.



Şekil 2.4 Akinomisetler (NEH,Part 637-2000)

Bu mikroorganizmalar kolay ayrışabilir maddelerin çoğunun tüketildiği, su muhtevasının ve pH değerlerinin düştüğü prosesin ileri safhalarında ortamda hakim tür olmaktadır.

2.3.4 Yüksek yapılı organizmalar

Protozoa, rotifer ve nematodları kapsayan bu grup yığın sıcaklığının azalmasıyla baskın hale gelir. Bakteri ve mantarlarla beslenen, ligninlerin ayrıştırılmasında rol alan bu organizmalar kompostun hastalık yapıcı özelliklerinin giderilmesine ve kalitesinin artmasına katkıda bulunurlar (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Yüksek yapılı organizmalar (NEH,Part 637-2000)

Tüm aerobik kompostlaştırma proseslerinin mikrobiyolojisi benzer olup proses kontrolünde kritik parametreler su muhtevası, sıcaklık, oksijen ve C/N oranıdır.

Biyolojik olarak ayrışabilir nitelikteki organik atıkların kompostlaştırılmasında su muhtevasının uygun değerlere ayarlanması (%50-60) ve yeterli havalandırmanın sağlanması halinde mikrobiyal metabolizmanın hızlandığı gözlenmiştir (Palmisano ve Barlaz, 1996).

2.4 Kompostlaştırma Prosesinde Meydana Gelen Kimyasal Dönüşümler

Mikroorganizmalar, atığın içinde bulunan organik maddeleri yeni hücre sentezlemek ve bu katabolik prosesleri gerçekleştirebilmek için enerji elde etmek üzere ayrıştırılır. Kompleks yapıları organik maddelerin basit yapılar haline dönüştürülmeleri çok sayıda kimyasal dönüşüm eşliğinde gerçekleşir. Mikroorganizmalar hücre sentezini gerçekleştirebilmek için ihtiyaç duydukları enerjiyi solunum ve fermentasyon reaksiyonları ile sağlarlar.

Aerobik solunum reaksiyonlarında mikroorganizmaların moleküler oksijeni (O_2) kullanarak karbon kaynağındaki enerjiyi açığa çıkarmaları sonucu karbondioksit ve su oluşur (Denklem 2.2).

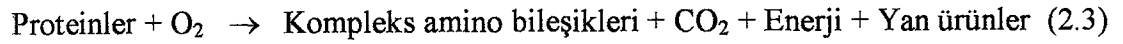


Aerobik solunum, daha verimli olması, açığa çıkan enerji miktarının daha fazla olması, daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşebilmesi ve koku probleminin daha az olması avantajlarıyla anaerobik solunuma ve fermentasyona tercih edilir. Aerobik mikroorganizmaların ayrıştırılabileceği organik maddelerin çok çeşitli olması da stabilizasyonun verimliliği bakımından üstünlük sağlar.

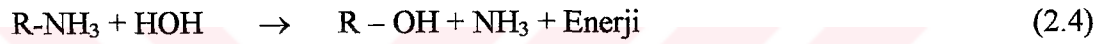
Anaerobik solunumda mikroorganizmalar enerji elde etmek için NO_3^- , SO_4^{2-} ve CO_3^{2-} bileşiklerindeki bağlı oksijeni elektron alıcısı olarak kullanırlar. Bu alternatif elektron alıcılarının kullanılması H_2S ve CH_4 gibi istenmeyen kötü kokulu bileşiklerin oluşmasına sebep olur. Diğer taraftan organik asit türevli ara ürünlerin oluşması ve birikmesi aerobik organizmalar açısından sakıncalıdır. Aerobik solunum reaksiyonları sırasında da oluşabilen organik ara ürünler zincir reaksiyonları ile hemen tüketildiklerinden anaerobik solunum reaksiyonlarında olduğu gibi koku potansiyeli oluşturmazlar.

Fermentasyon, oksijenin kullanılmadığı, en basit enerji üretim adımındır. Fermentasyonla ayrıştırılan karbonun çoğu doğrudan son ürünlere dönüştürüldüğünden açığa çıkan enerji çok azdır.

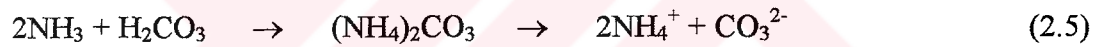
Yeni hücre sentezi için ihtiyaç duyulan azot, protein gibi azotlu organik bileşiklerin ayrıştırılmasından elde edilir. Proteinler enzimatik oksidasyon prosesleri ile kompleks amino bileşiklerine dönüştürülürken CO₂, enerji ve diğer yan ürünler de açığa çıkar (Denklem 2.3).



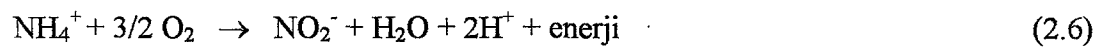
Oluşan kompleks amino bileşiklerinin yeni hücre sentezinde kullanılabilmeleri için yeterli karbon kaynağı mevcut olmalıdır. Karbon miktarının yetersiz kalması halinde amonifikasyon reaksiyonu (Denklem 2.4) ile stabil olmayan amonyak formları oluşur ve birikmeye başlar.



pH ve sıcaklığa bağlı olarak amonyak bileşiği ve amonyum iyonu arasında bir denge mevcuttur (Denklem 2.5).

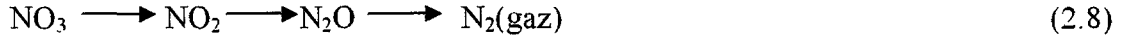


Asidik koşullar (pH<7) NH₄⁺ iyonunun oluşumunu hızlandırırken bazik koşullar (pH>7) NH₃ gazının oluşumunu hızlandırır. Amonyak gazının buhar basıncının düşük olması nedeniyle yüksek sıcaklıklar bu gazın oluşumu hızlandıran diğer bir faktördür. Kompostlaştırma prosesinde meydana gelen bir başka kimyasal dönüşüm de amonyak/amonyumun nitrata oksitlendiği nitrifikasyon reaksiyonudur. İki kademedен oluşan nitrifikasyon prosesinin ilk adımında ototrofik bakteriler NH₄⁺-N'ni nitrite (NO₂⁻) dönüştürürler (Denklem 2.6). İkinci adımda nitrifikasyon bakterileri ilk adımda oluşan nitriti hızlı bir şekilde nitrata oksitlerler (Denklem 2.7).



Nitrifikasyon kompostlaştırma prosesinin olgunlaşma evresinde meydana gelir. Nitritin bitkiler için toksik , nitratin ise bitki metabolizması için en kullanışlı azot formu olması nedeniyle olgunlaşma evresinin tamamlanması için gereken tüm şartlar yerine getirilmelidir.

Önemli bir diğer azot dönüşüm prosesi de denitrifikasyondur. Denitrifikasyon, oksijenin bulunmadığı ortamlarda aerobik veya anaerobik bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Reaksiyonu aerobik bakterilerin yürütmesi halinde hidrojen akseptörü olarak NO_3^- kullanılır ve N_2 gazı açığa çıkar (Denklem 2.8).



Reaksiyonun anaerobik bakteriler tarafından yürütülmesi durumunda kötü kokulu bir bileşik olan N_2O gazı oluşur (Denklem 3.9). Denitrifikasyon NO_3^- kaybına yol açtığından istenmeyen bir prosestir ve kompost yığınının aerobik şartlarda kalması sağlanarak oluşumu engellenebilir.



2.5 Kompostlaştırma Prosesine Etki Eden Faktörler

Prosesin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için öncelikle kompostlaştırılacak atığın şartlandırılması gerekir. Şartlandırma, prosesi kısıtlayabilecek olan su muhtevası, serbest hava boşluğu, nütrientler ve enerji faktörlerinin düzenlenerek uygun hale getirilmesidir. Şartlandırma üç şekilde yapılabilir:

- Fiziksel veya yapısal şartlandırma
- Kimyasal şartlandırma
- Termodinamik (enerji bakımından) şartlandırma

Fiziksel veya yapısal şartlandırma, atığın su muhtevası ve serbest hava boşluğu özelliklerinin düzenlenmesini kapsar. Kimyasal şartlandırmada, atığın pH ve nütrient değerleri proses için uygun hale getirilir. Termodinamik şartlandırmada ise prosesin başarılı bir şekilde devam edebilmesi için gerekliyse enerji takviyesi yapılır.

2.5.1 Fiziksel veya yapısal şartlandırma

Kompostlaştırılacak atığın yapısı katı partiküller ve bunların arasındaki boşluklardan meydana gelen bir matris olarak düşünülebilir.

Boşlukların tamamen suyla dolması oksijen transferinin engellenmesine ve ortamın anaerobik hale gelmesine neden olur. Karıştırma işlemi ile boşluklardaki suyun uzaklaştırılması sağlanabilir ancak bu durumda da su muhtevasının mikrobiyolojik aktiviteyi olumsuz etkileyecek değerlere düşmemesine dikkat edilmelidir.

Genellikle katı veya yarı katı haldeki maddelere uygulanan kompostlaştırma prosesinde başlangıç su muhtevası değeri bilinmesi gereken bir parametredir. Glouke (1977) tarafından belirlenen çeşitli atıkların absorblayabilecekleri maksimum su muhtevaları Tablo 2.2’de gösterilmiştir. Bu değerler doğrudan atıkların yapısal özellikleri ile ilişkilidir.

Tablo 2.2 Çeşitli atıkların absorblayabilecekleri maksimum su muhtevaları

Atık Türü	Su Muhtevası (Toplam ağırlığın %’si)
Teorik su ihtiyacı	100
Saman	75-85
Talaş, yonga	75-90
Pirinç kabukları	75-85
Evsel atıklar	55-65
Hayvan gübresi	55-65
Ham veya çürütülmüş çamur	55-60
Islak atıklar (çim kırıntıları, evsel çöp,...)	50-55

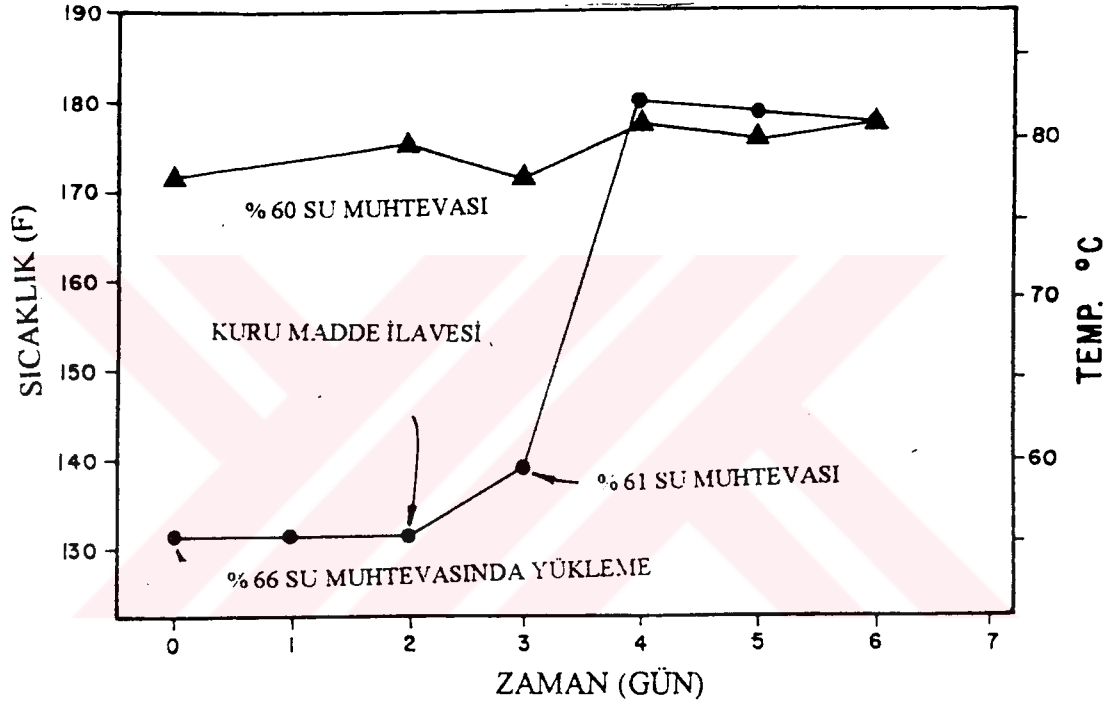
Saman gibi lifli veya odun yongası gibi hacimli maddeler yapısal bütünlüklerini ve porozitelerini kaybetmeden önemli miktarlarda su absorblayabilirler. McGauhey ve Gotaas (1976) su muhtevası % 85 gibi yüksek değerlere sahip sebze atıkları ve saman karışımının kompostlaştırılmasını başarı ile gerçekleştirirken aynı başarı atık kağıt kullanılması halinde su muhtevasının daha düşük (%76) olmasına rağmen elde edilememiştir.

Su muhtevası mikrobiyolojik aktivitenin devamını sağlayacak kadar yüksek, aynı zamanda serbest hava boşluklarını doldurmayacak kadar düşük olmalıdır.

Su muhtevasının kompostlaştırma prosesindeki önemi Senn (1971) tarafından, mandıra atıklarının kompostlaştırılması çalışmalarında ortaya konmuştur.

Deney düzeneği derinliği 2.4 m. olan ve basınçlı havalandırma sistemine sahip varillerden oluşmaktadır.

Su muhtevasının sıcaklık profili üzerine olan etkisi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. % 66 su muhtevasına sahip atıkların kompostlaştırılması sırasında 55°C'den yüksek sıcaklıklara ulaşamamıştır. Prosesin, su muhtevası % 61 olan atıklarla yürütülmesi halinde sıcaklığın hızla 75°C'ye kadar yükseldiği gözlenmiştir. Yapılan paralel bir çalışmada, başlangıç su muhtevasının % 60 olması halinde sıcaklığın hızlı bir şekilde 75°C'ye kadar yükseldiği ve bu sıcaklıkta bir kaç gün kaldığı belirlenmiştir. Su muhtevasının artması partiküllerin kompaktlaşmasına ve boşluk hacminin azalmasına neden olduğundan havalandırma işlemi yeterli seviyede gerçekleşemez ve proses başarısızlıkla sonuçlanır.



Şekil 2.6 Mandıra atıklarının kompostlaştırılmasında başlangıç su muhtevası değerlerinin sıcaklık profiline etkisi (Senn,1971)

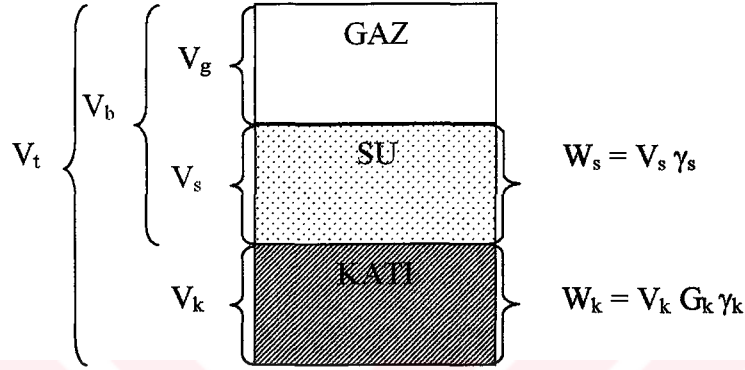
Başlangıç karışımında su muhtevası ve sebest hava boşluğu değerlerinin uygun değerlere ayarlanması, bu parametreler arasındaki dengenin proses boyunca korunacağı anlamına gelmez. Yeterli havalandırmanın sağlanması halinde ulaşılan termofilik sıcaklıklar önemli miktarda suyun uzaklaşmasına neden olur. Su muhtevasının reaksiyon hızını yavaşlatacak değerlere kadar düşmesi karşılaşılabilecek muhtemel bir olaydır ve bu durum karışıma su ilave ederek düzeltilebilir.

Kompostlaştırılacak atığın içindeki serbest hava boşlukları hem gereken hava miktarının hem de havanın karışım içinde izleyeceği yolun belirlenmesi açısından önem taşır.

Optimum su muhtevası serbest hava boşluklarının belli bir değerin üzerinde kalması sağlanarak elde edilebilir. Genellikle lifli ve gevrek yapıli atıklar yüksek su muhtevası değelerinde dahi oldukça fazla serbest boşluk içerirler.

2.5.1.1 Ağırlık ve hacim ilişkileri

Kompost yığını katı, sıvı ve gaz fazından oluşan üç fazlı bir matris olarak düşünülebilir(Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kompost matrisi

Gerçek şartlarda boşluk hacmini şekilde gösterildiği gibi katı partiküllerden ayrı düşünmek mümkün değildir ancak bileşenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini anlamada kolaylık sağlaması amacıyla bu kabul yapılmıştır. Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi gaz hacmi ve serbest su hacmi boşluk hacmini oluşturur. Toplam hacim ise boşluk hacmi ve katı hacminin toplamıdır.

Katı partiküllerin özgül ağırlığı kendisini oluşturan bileşenlerin özgül ağırlığına bağlı olarak ifade edilir. Uçucu (organik) ve sabit (mineral) bileşenlerin özgül ağırlığı bilinirse katı maddenin özgül ağırlığı Denklem 2.10'a göre hesaplanabilir.

$$\frac{1}{G_k} = \frac{V_k}{G_u} + \frac{(1-V_k)}{G_f} \quad (2.10)$$

V_k : Uçucu katı madde %si

G_k : Katı maddenin özgül ağırlığı

G_u : Uçucu katı maddelerin özgül ağırlığı

G_f : Sabit katı maddelerin özgül ağırlığı

Genellikle uçucu katı maddelerin özgül ağırlığı 1.0 ve sabit katı maddelerin özgül ağırlığı 2.5 olarak kabul edilebilir (Haug, 1993).

Kompostlaştırılacak atığın toplam hacmi, içindeki su, katı ve gazların hacimleri toplamına eşittir. Evsel ve endüstriyel arıtma tesisi çamurlarının gaz içerikleri genellikle çok düşüktür. Gaz hacmi ihmal edilecek olursa maksimum birim hacim ağırlık değeri elde edilebilir. Bu durumda toplam hacim Denklem 2.11 ve Denklem 2.12 ifadeleriyle hesaplanabilir.

$$V_t = \frac{W_k}{G_k \delta_s} + \frac{W_s}{\delta_s} = \frac{W_k}{G_k \delta_s} + \frac{W_s (1 - S_k)}{S_k \delta_s} \quad (2.11)$$

$$V_t = (W_k / \delta_s) [1/G_k + (1 - S_k) / S_k] \quad (2.12)$$

W_k : Katı maddelerin ağırlığı

W_s : Suyun ağırlığı

δ_s : Suyun yoğunluğu

S_k : Karışımın katı madde %si

Çamur keki gibi ihmal edilebilecek seviyede gaz hacmine sahip atıkların hemen hemen bütün boşluklarının su ile dolu olduğu söylenebilir. Bu özellikteki atıkların birim hacim ağırlıkları Deklem 2.13 ve 2.14 ile hesaplanabilir.

$$\delta_k = \frac{W_k}{S_k V_t} = \frac{W_k}{S_k (W_k / \delta_s) [1/G_k + (1 - S_k) / S_k]} \quad (2.13)$$

$$\delta_k = \frac{\delta_s}{[(S_k / G_k) + 1 - S_k]} \quad (V_g = 0)$$

(2.14)

Kompostlaştırma prosesinin başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için atığın birim hacim ağırlığının azaltılması, dolayısıyla serbest hava boşluklarının artırılması gerekmektedir.

Proseste karıştırma işlemi birim hacim ağırlığını azaltmak ve sıkışmayı önlemek için yapılır. Sıkışma serbest hava boşluklarındaki azalmaya karşılık birim hacim ağırlığında artışa sebep olması nedeniyle istenmeyen bir olaydır.

Atığın katı madde yüzdesi arttıkça birim hacim ağırlığı azalır. Kompostlaştırma prosesinde hacim azalması maddelerin konsolidasyona uğraması ile gerçekleşir.

2.5.1.2 Porozite ve serbest hava boşluğu

Kompostlaştırma prosesinde en önemli hacim ifadeleri porozite ve serbest hava boşluğudur.

Porozite, n , boşluk hacminin toplam hacime oranı olarak ifade edilir. (Denklem 2.14)

$$n = V_{\text{boşluk}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.14)$$

$$n = (V_{\text{toplam}} - V_{\text{katı}}) / V_{\text{toplam}} = 1 - V_{\text{katı}} / V_{\text{toplam}} \quad (2.15)$$

$$n = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \delta_s} \quad (2.16)$$

δ_m : Kompostlaştırılacak atık karışımının birim hacim ağırlığı

S_m : Kompostlaştırılacak atık karışımının katı madde %si

G_m : Kompostlaştırılacak atık karışımının özgül ağırlığı

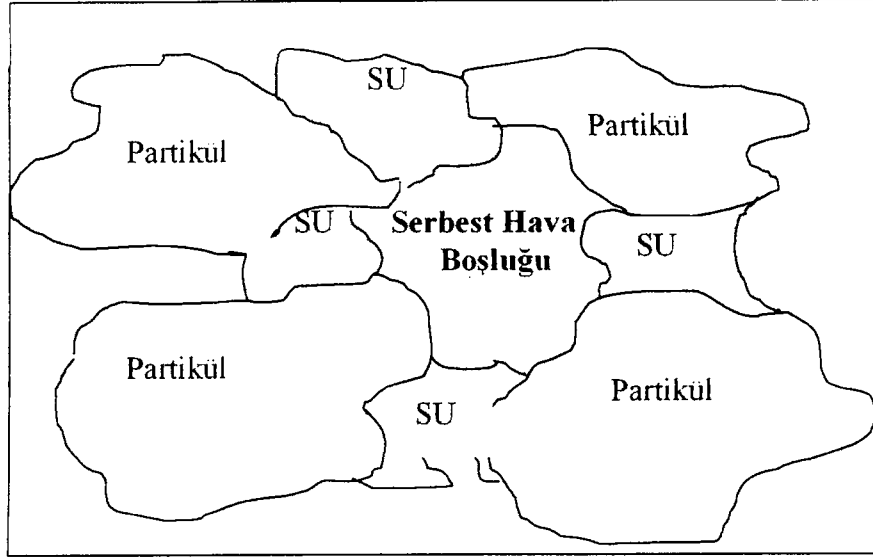
Serbest hava boşluğu, f , gaz hacminin toplam hacime oranı olarak ifade edilir (Denklem 2.17).

$$f = V_{\text{gaz}} / V_{\text{toplam}}$$

$$f = (V_{\text{toplam}} - V_{\text{katı}} - V_{\text{su}}) / V_{\text{toplam}}$$

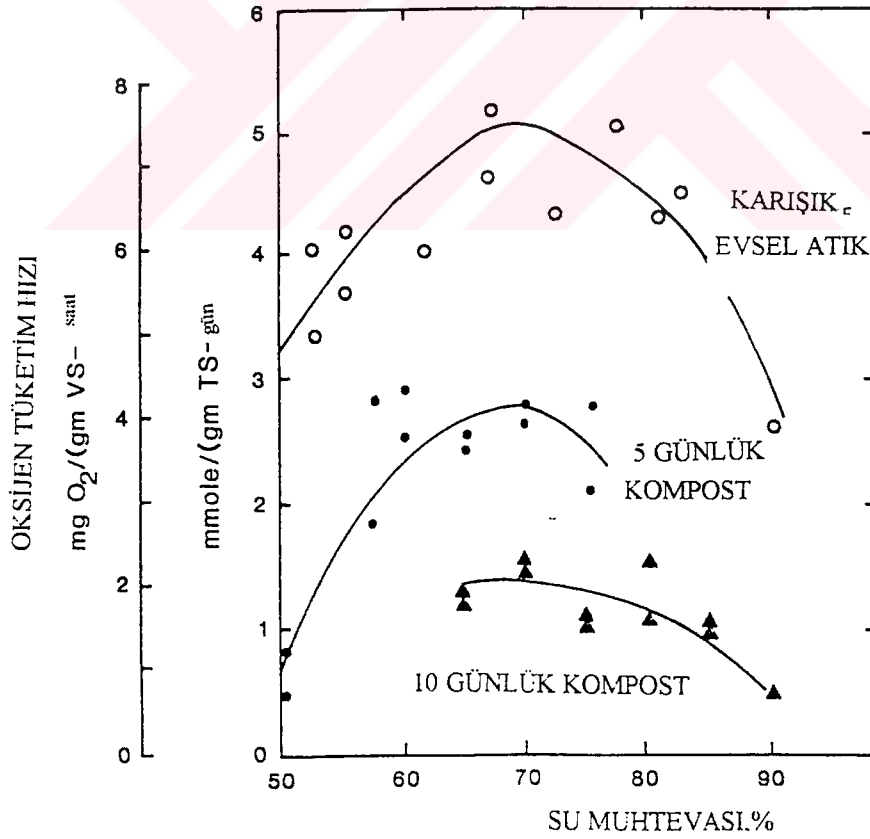
$$f = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \delta_s} - \frac{\delta_m (1 - S_m)}{\delta_s} \quad (2.17)$$

Serbest hava boşluğu kavramı Epstein (1997) tarafından şematik olarak ifade edilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Kompost matrisinde serbest hava boşluğu, su ve partikül madde arasındaki ilişki (Epstein, 1997)

Jeris ve Regan (1973), kompostlaştırılabilir çeşitli substratlar için su muhtevasının serbest hava boşluğu ile etkileşimini incelemiş ve Şekil 2.9'daki sonuçları elde etmişlerdir.



Şekil 2.9 Çeşitli substratlar için su muhtevası-serbest hava boşluğu etkileşimi (Jeris ve Regan, 1973)

Schulze (1962), evsel atıkların ve çamurların birlikte kompostlaştırılabilmesi için serbest hava boşluğunun minimum % 30 olması gerektiğini belirtmektedir. Bu değer bir çok substrat ve kompost sistemi için uygun görülmektedir. Jeris ve Regan (1973), farklı su muhtevalarına sahip çeşitli atıklarla yaptıkları kompostlaştırma çalışmaları sonucunda serbest hava boşluğunun % 30-36 olması halinde en verimli sonuçları elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Evsel ve endüstriyel atıksu tesisi çamurları, hayvan gübresi gibi su muhtevası yüksek atıklardaki serbest hava boşluğu çok azdır. Su muhtevasının yüksek olması uygun şekilli yığınlar oluşmasını ve havalanmayı engelleyeceğinden kompostlaştırılacak atığın birim hacminin azaltılması ve yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Su muhtevasını ayarlamak için uygulanabilecek dört yöntem bulunmaktadır.

- 1) Kompost geri devri,
- 2) Katkı malzemesi veya katkı malzemesi+kompost ilavesi,
- 3) Gözenek malzemesi ilavesi,
- 4) Kompostlaştırmadan önce atığın kurutularak su muhtevasının azaltılması.

Kompost ve katkı malzemesinin birlikte ilave edildiğinde fiziksel şartlandırmada etkili olmasının nedenleri,

- Atığın birim hacmini azaltması
- Atığın yapısını kuvvetlendirmesi, atığın konsolidasyona uğramadan, serbest hava boşluklarını kaybetmeden yığın yapılabilir hale getirilmesi olarak sayılabilir.

2.5.1.3 Katkı malzemesi

Kompostlaştırılacak atık/atıkları şartlandırmak için ilave edilen katkı malzemeleri iki gruba ayrılır.

Organik veya inorganik yapılı, atığın birim hacim ağırlığını azaltan ve hava boşluklarını arttıran malzemeler. (Yapısal kuvvetlilik sağlarken su muhtevasını azaltırlar).

Organik yapılı, kolay ayrışabilir madde bakımından zengin katkı malzemeleri. (Enerji sağlarlar).

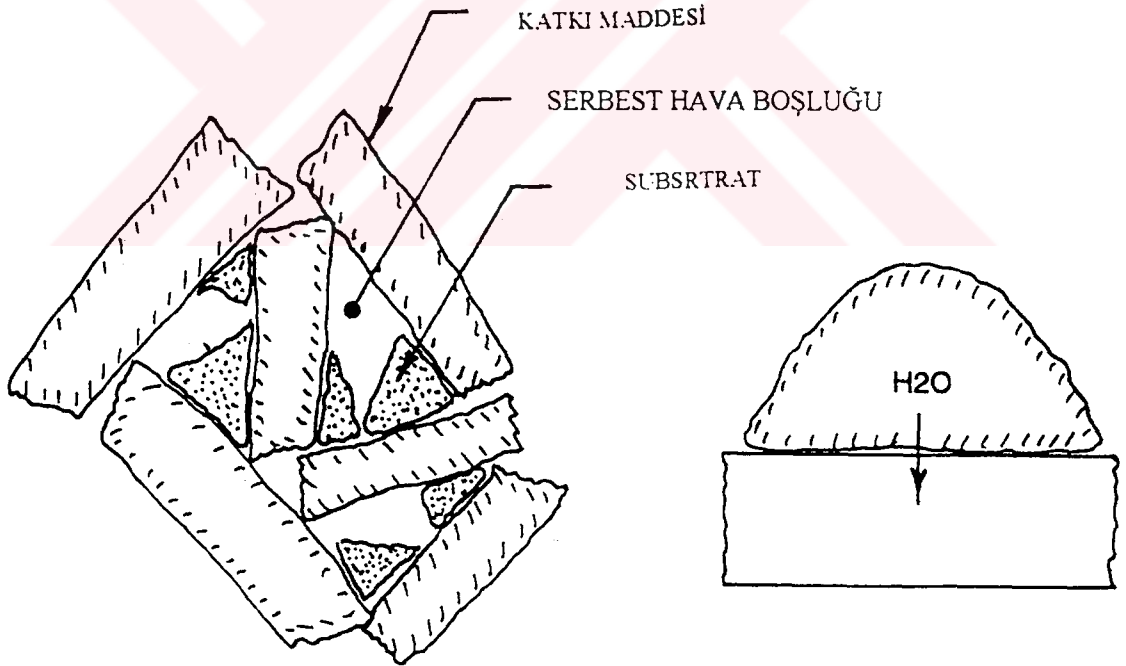
En çok kullanılan katkı malzemeleri talaş, saman, turba, pirinç kabukları, pamuk bitkisi artıkları, gübre, evsel atık bileşenleri ve çiftlik atıkları olarak sayılabilir.

İdeal bir katkı malzemesinin su muhtevası ve birim hacim ağırlığı düşük, ayrışabilme kapasitesi yüksek olmalıdır.

2.5.1.4 Gözenek malzemesi

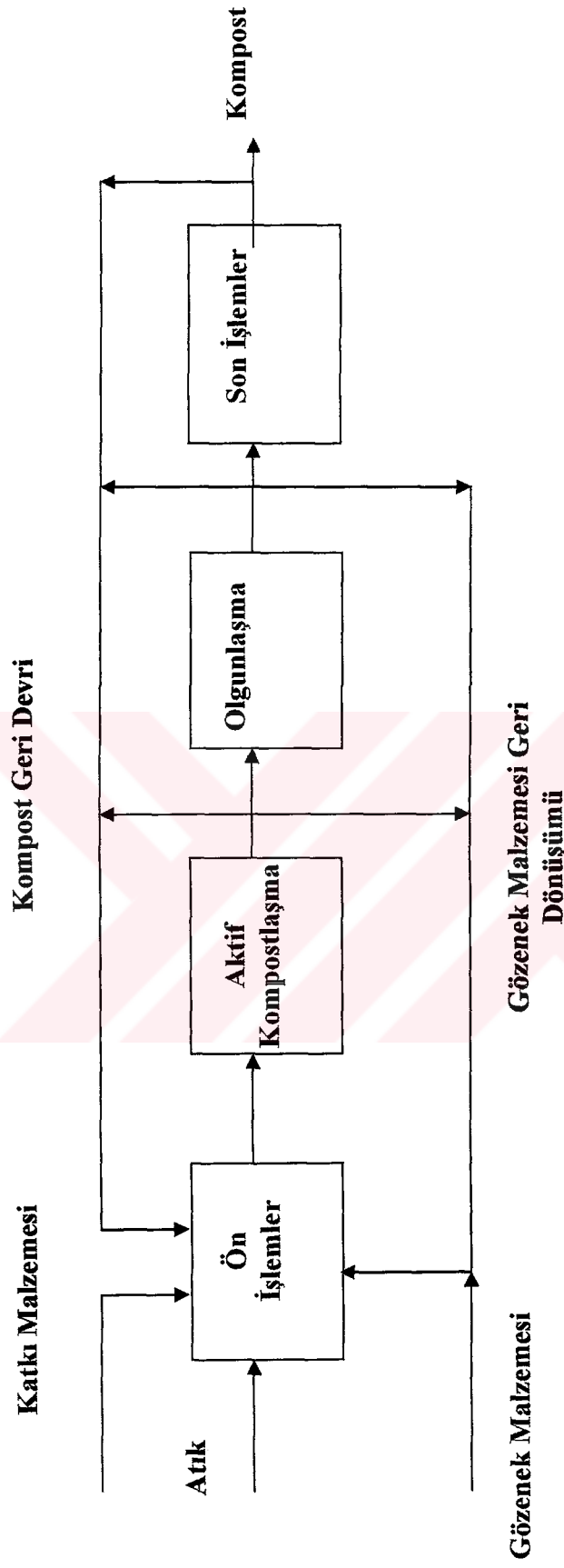
Organik veya inorganik yapıli maddeler olup kompostlaştırılacak atığın partikülleri arasında boşluklar yaratarak atığa yapısal kuvvetlilik kazandırılır ve havalanmanın gerektiğı gibi yapılabilmesini sağlarlar. Gözenek malzemeleri su absorblama karakteristiklerine göre de sınıflandırılabilir. Selülozik maddelerin çoğı poröz bir yapıya sahip olup su absorblama kapasiteleri yüksektir. Plastikler gibi poröz olmayan maddelerin ise hiç su absorblamadıkları kabul edilmektedir. Benzer şekilde poröz olduğı halde doğıun hale gelmiş bir gözenek malzemesi de hiç su absorblayamaz. Gözenek malzemesinin su absorblama kapasitesinin bilinmesi şartlandırma için ne kadar malzeme gerektiğinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Atık ve gözenek malzemesinin birbirleriyle olan ilişkileri ve suyun gözenek malzemesi tarafından absorblanması Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Atık-gözenek malzemesi karışımı ve suyun absorblanması (Haug, 1993)

Fıstık kabukları, ağaç kırıntıları, lastik parçaları, ufanmış evsel çöpler sık karşılaşılan gözenek malzemeleri olmakla beraber pratikte en çok odun parçaları kullanılmaktadır. Kompostlaştırma prosesinin akım diyagramı Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 Kompost prosesi akım diyagramı

2.5.2 Kimyasal şartlandırma

Bazı atıkların kompostlaştırılabilmesi için fiziksel şartlandırmanın dışında ilave düzenlemeler yapmak gerekir. Çiftlik atıkları ve evsel katı atıklar gibi selüloz içeriği yüksek maddelerin nütrient ihtiyaçları mikrobiyolojik aktiviteyi sürdürmeye yeterli değildir. Benzer şekilde pH değeri çok düşük veya çok yüksek atıkların kompostlaştırılabilmeleri için de ayarlamalar yapmak gerekir.

2.5.2.1 Nütrientler

Nütrientler biyolojik ayrıştırmada mikrobiyolojik sentezin sağlanabilmesi için gereklidir. En önemli iki nütrient karbon ve azottur. Diğer inorganik nütrientlere kıyasla daha çok ihtiyaç duyulması sebebiyle azotun önemi daha da artmaktadır. Kompostlaştırma prosesinde C/N oranı, azot yönünden dengenin sağlanıp sağlanmadığının göstergesi olarak kullanılır. Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta bu oranın belirlenmesinde gözönüne alınan karbonun atık içindeki toplam karbon miktarı değil kullanılabilir karbon miktarı olması gerektiğidir. Epstein (1997) yaptığı çalışmalarda bir birim azot için 25-30 g karbona ihtiyaç duyulduğunu tespit etmiştir. Kompostlaştırma işlemi sırasında mikroorganizmalar karbonu enerji kaynağı olarak kullanıp yeni hücreler sentezlerler. ve oluşan CO₂ atmosfere verilir. Öncelikle kullanılabilir karbon tüketilir, proses ileledikçe kullanılabilir karbon kaynağının azalmasıyla metabolik faaliyet ve oluşan CO₂ azalır. Epstein (1997), oluşan CO₂'in ve suyun hemen hemen sıcaklıkla eşzamanlı olarak pik değerlere ulaştığını, daha sonra azaldığını belirtmişlerdir. Bach ve diğ. (1984), CO₂ emisyonu ile uçucu katı madde miktarının birbirleriyle orantılı olduklarını bulmuşlardır.

Doğada, karbonun lignin gibi zor ayrışan maddelerden sağlanması sebebiyle ayrışma hızı çok düşüktür. Evsel katı atıklar gibi selüloz içeriği yüksek fakat azot bakımından fakir atıkların kompostlaştırılmasında da benzer durum gözlenebilir.

Mikroorganizmalar protein sentezleyebilmek için azota ihtiyaç duyarlar. Bakteriler kuru ağırlık bazında % 7-11, mantarlar % 4-6 azot içerirler. Farklı atıkların içerdikleri azot miktarları Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Farklı atıkların azot içerikleri ve C/N oranları (Tchobanoglus,1993)

Atık	N, %	C/N oranı, kuru ağırlık bazında
Gıda İşleme Atıkları		
Meyve atıkları	1,5	34,8
Karışık mezbaha atıkları	7,0-10,0	2
Patates kabukları	1,5	25
Gübreler		
İnek gübresi	1,7	18
At gübresi	2,3	25
Domuz gübresi	3,75	20
Kümes hayvanları gübresi	6,3	15
Koyun gübresi	3,75	22
Çamurlar		
Çürütülmüş aktif çamur	1,88	15,7
Ham aktif çamur	5,6	6,3
Odun ve saman		
Kereste hızarhanesi atıkları	0,13	170
Yulaf samanı	1,05	48
Talaş	0,1	200,0-500,0
Buğday samanı	0,3	128
Çam odunu	0,07	723
Kağıt		
Karışık kağıt	0,25	173
Gazete	0,05	983
Kahverengi kağıt	0,01	4490
Bahçe atıkları		
Çimen kırpıntıları	2,15	20,1
Yapraklar	0,5-1,0	40-80

Mc Gaughey ve Gotass (1976), evsel atıkların kompostlaştırılmasında karışımın başlangıç C/N oranları 20 – 78 arasında olacak şekilde denemeler yapmışlar ve bu atıklar için en uygun C/N oranının 30-35 arasında olduğunu belirtmişlerdir. Kompostlaştırma prosesi için atık karışımının başlangıçta sahip olması gereken C/N oranı 25-30/1 olarak kabul edilebilir. C/N oranı düşük olan atıklar ile C/N oranı yüksek olan atıklar karıştırılarak uygun değerler elde edilebilir.

C/N oranının yüksek olması halinde kompostlaştırma prosesi kullanılabilir azotun hızla tüketilmesi nedeniyle yavaşlar.

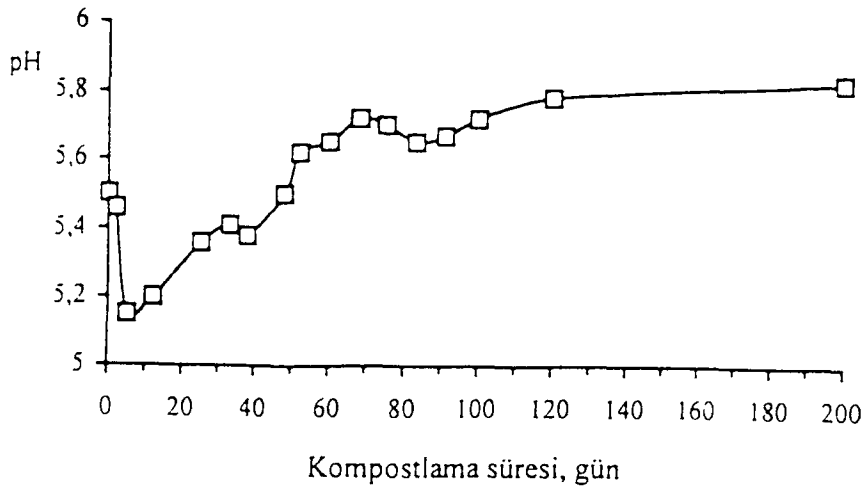
C/N oranı çok büyük olan bir kompostun toprağa uygulanması halinde mikroorganizmalar çoğalmaları için gerekli olan azotu topraktan alarak toprağı azot bakımından fakirleştirir. C/N oranı küçük ise fazla azot, sıcaklık ve pH değerlerine de bağlı olarak, amonyak formunda uçarak toprakta yine azot bakımından fakirleşme meydana getirir.

Aritma tesisi çamurlarının kompostlaştırılmasında azot türlerinin konsantrasyonları havalandırma hızına ve gözenek malzemesi miktarına bağlı olarak değişim gösterir (Bishop ve Godfrey, 1983). Havalandırma statik yığınlar da toplam azotun % 1.6 'dan % 1.4'e düştüğü, hiç havalandırma yapılmaması halinde bu düşüşün daha da çok olduğu gözlenmiştir. Toplam ve organik azotta gözlenen en büyük azalmanın 8 m³/dk/m³ havalandırma hızında ortaya çıkması havalandırmanın mineralizasyonu ve uçuculuğu arttırmasının bir göstergesidir.

2.5.2.2 pH

Kompostlaştırma prosesi doğası itibariyle tampon kapasitesi yüksek olan bir prosestir. Bunun nedeni mikrobiyolojik ayrışma sonucu zayıf asit olan CO₂ ve zayıf baz olan NH₃ 'ün oluşmasıdır. CO₂, organik maddelerin ayrıştırıldığı tüm reaksiyonlarda son ürün olarak ortaya çıkarken NH₃ proteinlerin ayrıştırılması sırasında oluşur. CO₂ yüksek pH değerlerinin nötralizasyonunda, NH₃ ise düşük pH değerlerinin nötralizasyonunda rol alır. Kompostlaştırılacak atığın başlangıç pH değerinden bağımsız olarak proses sonunda 7.8-8.0 değerleri elde edilir (Graves ve Hattemer, 2000). pH'ın kompostlaştırma prosesindeki önemi mikrobiyolojik aktiviteyi etkilemesine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bakterilerin geniş bir pH aralığında yaşabilmelerine karşılık mantarlar düşük pH değerlerinde aktiftirler. Prosesin başlangıç safhalarında CO₂ ve organik asit oluşumuna bağlı olarak pH değeri 4.5 -5.0 değerlerine kadar iner. Bu safhada mezofilik organizmalar çoğalmaya başlar ve sıcaklık artar. Gerek oluşan organik asitlerin ayrıştırılması gerekse proteinlerin ayrıştırılmasına bağlı olarak NH₃ oluşumu pH değerlerinin yükselmesini sağlar. Jeris ve Regan (1973), termofilik kompostlaştırmanın en verimli pH 7.5-8.5 aralığında gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Evsel organik atıkların tahta yongalarla kompostlaştırılması süresince pH'da meydana gelen değişim Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Evsel organik atıkların tahta yongalarla kompostlaştırılması süresince pH değişimi (Epstein, 1997)

2.5.3 Havalandırma ve karıştırma

Kompostlaştırma prosesinde havalandırma esas olarak üç amaca yönelik olarak gerçekleştirilir.

1. Biyolojik ayrışmanın sağlanabilmesi için (stokiometrik ihtiyaç),
2. Kompostlaştırılacak atığın bünyesindeki fazla suyu uzaklaştırmak için (kurutma ihtiyacı),
3. Fazla ısıyı uzaklaştırmak için (sıcaklık kontrolü),

Stokiometrik ihtiyaç atığın kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmekle beraber 1.2 - 2.0 gO₂/ayrışabilir katı madde değeri bir çok substrat için kullanılabilir(Haug, 1993). Kurutma ihtiyacı ve ısı uzaklaştırılması için gereken O₂ genellikle stokiometrik ihtiyaçtan çok fazladır. Gerekli hava miktarının belirlenmesinde proses şartlarına da bağlı olarak kurutma ihtiyacı veya sıcaklık kontrolü etkili faktör olabilir. Su muhtevası yüksek atıklar için belirleyici faktör kurutma ihtiyacı iken su muhtevası düşük nispeten kuru atıklar için ısı giderimi hava ihtiyacının belirlenmesinde göz önüne alınmaktadır. Katı madde içeriği % 20 olan atıkların kompostlaştırılmasında kurutma için gerekli olan hava biyolojik ayrışma için gereken miktarın 10 -30 katı kadar olabilmektedir. Tablo 2.4.'de hedeflenen amaca göre gerekli olan toplam hava ihtiyacı değerleri verilmektedir.

Mikrobiyolojik aktivitenin sürdürülebilmesi için ortamda daima yeterli oksijen bulunmalıdır. Çıkış gazında bulunması tavsiye edilen oksijen konsantrasyonu % 5 (Strom ve diğ., 1980), - % 18 (de Bertoldi, 1983) arasındadır.

Tablo 2.4 Farklı hedeflere yönelik hava ihtiyacı değerleri (Krogmann,2001)

Hedef	Toplam hava ihtiyacı (l hava/g kuru madde)
Stokiometrik O ₂ ihtiyacı	2.54
Stokiometrik O ₂ ihtiyacı, % 50 kullanım oranı	5.08
Kurutma (Başlangıç su muhtevası, % 65 ise)	11.40
Kurutma (Başlangıç su muhtevası, % 80 ise)	27.60

Yapılan Kabuller : Atığın %65'i organik, ayrışma hızı % 54.3, stokiometrik O₂ ihtiyacı 2 gO₂/g ayrışabilir organik madde, hedeflenen su muhtevası % 35, verilen hava 25°C'de 1.2 g/l - 10⁵ Pa - O₂ içeriği % 23.4 - giriş hava sıcaklığı 20°C, çıkış hava sıcaklığı 60°C

Kompostlaştırma prosesinin başlangıç safhasında önce kolay ayrışabilir maddelerin tüketilmesi nedeniyle oksijen ihtiyacı fazla olur. Gerekli oksijen esas olarak üç şekilde sağlanır.

- Doğal havalandırma ile (difüzyon ve konveksiyon),
- Aktif havalandırma ile(basınçlı veya vakumlu havalandırma),
- Fiziksel olarak çevirme yoluyla

Yığın sistemlerinde genellikle doğal havalandırma veya fiziksel çevirme yöntemleri kullanılır. Aktif havalandırma uygulamalarına daha çok statik sistemlerde ve kapalı reaktör sistemlerinde rastlanmaktadır. Aktif havalandırmalı sistemler enerji tüketimi açısından vakumlu sistemlere göre daha ekonomik olmakla beraber vakumlu sistemler çıkış gazlarının kolaylıkla toplanabilmesi açısından avantajlıdır.

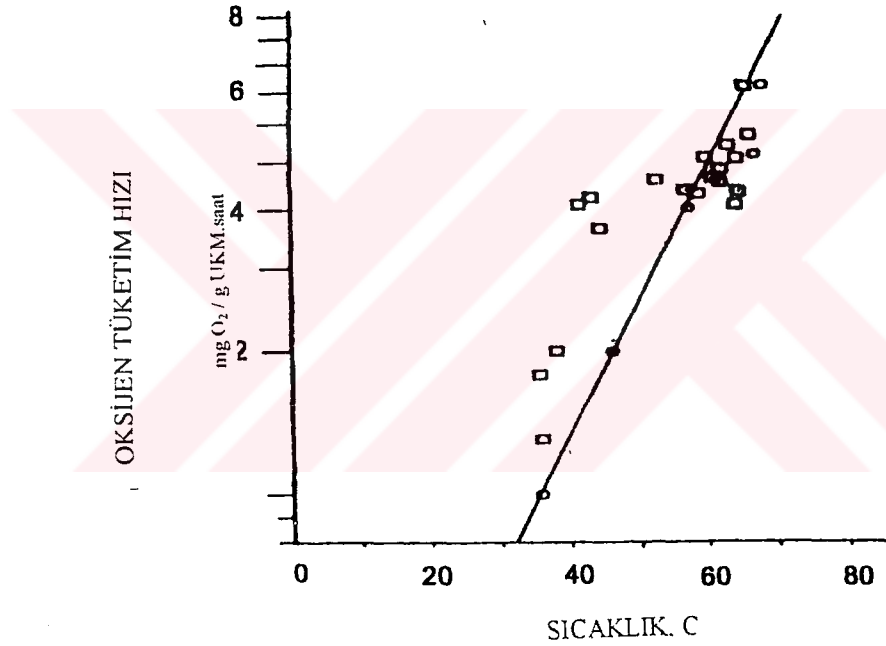
Caballero (1984), arıtma tesisi çamurlarının yığın metoduyla kompostlaştırılması çalışmalarında yığının karıştırılmasından hemen sonraki oksijen ihtiyacının karıştırmadan öncekinin iki katına çıktığını belirtmiştir. Bu artışın sebebi karıştırma sonucu partiküllerin boyutlarının küçülerek yüzey alanlarının artması ve buna bağlı olarak da mikrobiyolojik faaliyetin hızlanması olabilir. Su muhtevasındaki azalma da serbest hava boşluğunu arttırarak mikrobiyolojik faaliyeti hızlandırabilir. Statik sistemler oksijen tüketimi açısından yığın sistemlere benzerler.

Thompson (1984), yaptığı çalışmalarda blowerların kapatılmasından sonraki 20 dakika içinde oksijen tüketiminin çok düşük seviyelere indiğini tespit etmiştir. Bu nedenle aktif havalandırmalı statik yığınlarda blowerlar sıcaklık ve zamana bağlı olarak kontrol edilmektedir. Blowerların çalışma-durma periyotları arasındaki sürenin en fazla 15 dakika olması önerilmiştir (Epstein, 1997).

Epstein (1997), laboratuvar ölçekli reaktörle yaptığı çalışmalarda sıcaklık ile O₂ tüketimi arasında, O₂ tüketiminin logaritmik ölçekte işaretlenmesi halinde, lineer bir ilişki (Denklem 2.18) olduğunu göstermiştir (Şekil 2.13).

$$Y = a \cdot 10^{KT} \quad (2.18)$$

a : Sabit katsayı, (0.1) ve K = 0.28 (20°C-70°C arasındaki sıcaklıklarda)



Şekil 2.13 Laboratuvar ölçekli bir reaktörde sıcaklık – oksijen tüketimi ilişkisi (Epstein, 1997)

Bu lineer ilişki mikrobiyolojik aktivitenin en yüksek olduğu ilk yedi günde elde edilen verilere göre ortaya konmuştur. Schultz (1960), aynı çalışmada yedinci günden itibaren oksijen tüketiminin sıcaklıkla birlikte azaldığını belirtmiştir. Kaibuchi (1961) evsel katı atıkları reaktörlerde basınçlı havalandırma ile kompostlaştırılması çalışmasında havalandırma hızının 4.3 mg/O₂/saat/g ayrışabilir madde değerinde pik sıcaklıklara ulaşıldığını ifade etmiştir.

Statik sistemlerde havalandırma hızı değeri özellikle arıtma tesisi çamurları gibi su muhtevası yüksek atıklarda fazla suyun giderilmesi açısından çok önemlidir.

Dinamik sistemlerde ise atığın fiziksel olarak çevrilmesi sırasında yeterli su giderimi sağlanır.

2.5.4 Sıcaklık

Sıcaklık kompostlaştırma prosesinin verimini etkileyen önemli bir çevresel değişkendir (Namkoong ve Hwang, 1997; Joshua ve diğ., 1998). Mikrobiyolojik aktivitenin yanısıra populasyon dinamiği (bileşimi, yoğunluğu) de çarpıcı bir biçimde sıcaklıktan etkilenir. Sıcaklık artışı, başlangıç sıcaklığına, metabolik ısı oluşumuna ve oluşan ısının korunumuna bağlıdır (Miller, 1992). Kompostlaştırma prosesinin verimli bir şekilde sürdürülebilmesi için sıcaklık değerlerinin belli aralıklarda tutulması gerekmektedir (Finsten ve Morris, 1975; Finsten ve diğ., 1986). Mosher ve Anderson (1977), yaptıkları çalışmalar sonucunda 20°C'nin altındaki sıcaklıklarda prosesin çok yavaşladığını hatta durduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde 60°C'nin üzerindeki sıcaklıkların, mikrobiyolojik aktiviteyi zayıflattığı ifade edilmiştir (Miller, 1992).

Mac Gregor ve diğ. (1981) kompostlaştırma prosesi için en uygun sıcaklıkların biyolojik ayrışmanın çok hızlı gerçekleştiği 52°C -60°C arasında olduğunu belirtmiştir. Bach ve diğ. (1984), arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılmasında optimum sıcaklığın 60°C olduğunu ifade etmiştir. Atığın patojen mikroorganizmalar içermesi halinde sıcaklık, havalandırılmalı statik yığın ve reaktör sistemlerinde 55°C ve üzerinde en az üç gün, yığın sistemlerinde beş kez karıştırma sonunda en az onbeş gün süreyle tutulabilmelidir (EPA, 40CFR503).

Kompostlaştırma prosesi genellikle sıcaklık-süre ilişkisi çerçevesinde izlenir. İyi işletilen kontrollü bir sistemde sıcaklık istenen amaç doğrultusunda ayarlanabilir. Örneğin atık patojen mikroorganizmalar içeriyorsa hedef dezenfeksiyondur ve işletme patojen giderimi için gerekli sıcaklıklara ulaşılacak şekilde kontrol edilir.

Sıcaklık-süre ilişkisi ayrışma hızını etkilemesi sebebiyle stabil ve olgun bir ürün elde edilmesi açısından da önemlidir. Sıcaklık değişimi mikroorganizmaların türleri ve miktarları üzerinde etkili bir faktördür. Hatta bu etki çoğu zaman prosesin mezofilik-termofilik şeklinde sınıflandırılmasına neden olur.

Kompostlaştırma prosesinde çok çeşitli mikroorganizmaların faaliyet gösterdikleri farklı sıcaklık aralıkları oluşur. 10°C'nin altındaki sıcaklıklarda psikrofilik mikroorganizmalar, 10°C-40°C aralığında mezofilik mikroorganizmalar ve 40°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda termofilik mikroorganizmalar rol alır.

Sıcaklık 65°C'nin üzerine çıktığında ise mikroorganizmaların çoğu elimine olur ve ortamda yalnızca spor oluşturabilen bakteri türleri kalır. Mikroorganizmaların ölmesiyle birlikte ayrıştırma işlemi de yavaşlar.

Sıcaklığın kompostlaştırma prosesi üzerindeki etkisi ve kontrolü üzerine yapılan çeşitli araştırmalar ve çalışmalar sonucunda geliştirilen yaklaşımlardan en dikkat çekici olanları Rutgers ve Beltsville stratejileridir.

Rutgers Stratejisi, sıcaklığın mikrobiyolojik ayrıştırmanın en hızlı olduğu 60°C üst sınırına kadar yükselmesine izin veren, daha yüksek sıcaklıklarda mikrobiyolojik faaliyetin azalması sebebiyle bu sıcaklıklara ulaşılmasını sisteme hava vererek engellemeyi esas alan, sıcaklık kontrollü bir yöntemdir. Beltsville stratejisi ise ortamdaki O₂ konsantrasyonunun daima %5 - %15 arasında kalmasını sağlayacak şekilde havalandırma sağlayan, dolayısıyla sıcaklığın 80°C değerlerine kadar yükselmesine izin veren bir yöntemdir. Rutgers ve Beltsville stratejileri arasındaki başlıca farklar Tablo 2.5.'de verilmiştir (Finsten ve diğ., 1985).

Tablo 2.5 Rutgers ve Beltsville stratejileri arasındaki başlıca farklar*

İşlem	Rutgers	Beltsville
Proses kontrol mekanizması	Sıcaklığı 60°C üst sınırında tutmak	O ₂ konsantrasyonunun devamlı %5-%15 arasında olmasını sağlamak
Blower kontrolü	Başlangıç safhasında sabit havalandırma, ilerleyen safhalarda sıcaklığa bağlı olarak ayarlama	Proses boyunca sabit havalandırma
Blower kapasitesi	Fazla ısıyı uzaklaştırmak için gereken pik ihtiyacı karşılamalı	50 ton yaş ağırlık başına 1/3 hp tavsiye edilmekte
Blowerin çalışma şekli	Basınçlı	Vakumlu
Sonuçlar	Isı oluşumu ve buharlaşma hızı yüksek Önem alınmadığı takdirde su muhtevası mikrobiyolojik aktiviteyi durduracak kadar azalabilir Yüksek patojen giderimi	Sıcaklık mikrobiyolojik aktivitenin engellendiği yüksek değerlere ulaşır Yüksek sıcaklık nedeniyle ayrıştırma ve buharlaşma hızı düşük Yüksek patojen giderimi

*: Her iki strateji de açık statik yığın sisteminde uygulanmıştır.

Statik sistemlerde ve reaktör sistemlerinde sıcaklık kontrolü yığın sistemlere kıyasla daha kolay yapılabilir. Statik sistemlerde ve reaktör sistemlerinde sıcaklık kontrolü yığın sistemlere kıyasla daha kolay yapılabilir.

Her üç sistemde de sıcaklık üniform değildir, genellikle kütlenin merkezinde daha yüksek sıcaklıklar, yüzeye doğru ise daha düşük sıcaklıklar gözlenir. Yığın sistemlerde yüzey alanının büyük olması ısı kaybının fazla olmasına neden olur.

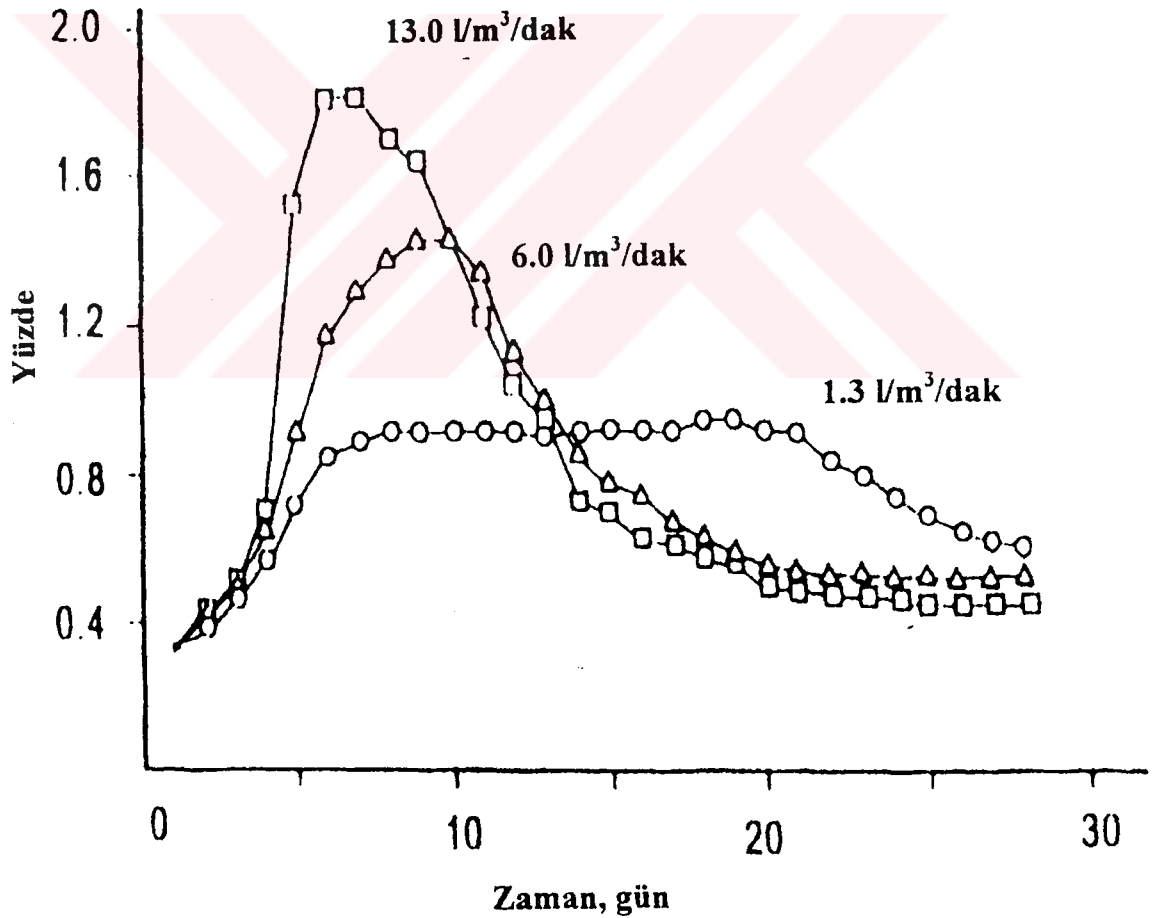
2.5.5 Su muhtevası

Mikroorganizmalar besinlerini çözünmüş halde alabilirler ve mikrobiyolojik ayrışma partiküllerin yüzeyindeki ince sıvı filmlerde meydana gelir. Bu nedenlerle su muhtevası mikrobiyolojik faaliyet ve ayrışma hızı açısından çok önemlidir. Su muhtevasının çok düşük olması prosesin erken safhalarında dehidrasyona sebep olacağından biyolojik aktivite olumsuz etkilenir ve fiziksel olarak stabil ancak biyolojik açıdan stabil olmayan bir ürün elde edilir (Bertoldi ve diğ. 1983). Diğer taraftan su muhtevasının yüksek olması hava boşlukların su ile dolarak ortamın anaerobik hale gelmesine neden olacağından istenmeyen bir durumdur (Epstein, 1997). Yapılan çeşitli araştırmalar sonunda kompostlaştırma prosesinin başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için su muhtevasının %50 – 60 arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Tiquia ve diğ. 1998; Mc Kinley ve diğ. 1986; Suler ve Finstein, 1977).

Witter ve Lopez-Real (1987) kesikli reaktörlerde arıtma tesisi çamurları ile samanın kompostlaştırılması çalışmalarında su kaybı, CO₂ üretimi ve hava ihtiyacının benzer değişimler gösterdiklerini belirtmişlerdir. İlk iki günde bu parametrelerde artış gözlenmiş, ikinci günden itibaren azalma başlamış ve 10.-12. günlerde durma noktasına gelmiştir. Buna karşın Manios ve diğ. (1987) zeytin bitkisi yapraklarıyla yaptıkları çalışmalarda yığınlardaki su muhtevasının 70 gün sonunda artmaya başladığını gözlemiştir. Coppola ve diğ. (1983) arıtma tesisi çamurları ve odun yongaları ile gerçekleştirdikleri pilot ölçekli çalışmalarda açığa çıkan su ile havalandırma hızı arasında bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.14).

En büyük su kaybı havalandırma hızının 13 l/m³/dk değerinde meydana gelmiştir. Su muhtevası 7. ve 15. günler arasında azalmış ve zamanla stabil hale gelmiştir. 1.3 l/m³/dk değerinde açığa çıkan su miktarı hemen hemen sabit kalmıştır. Yazarlar bu değerlerdeki farklılıklarının sebebinin mikroflora olabileceğini ifade etmiş ve en uygun değeri 10 l/m³/dk olarak belirtmişlerdir.

Kompostlaştırma prosesinde su muhtevasının değişimi havalandırma yöntemine, kullanılan gözenek malzemesine ve atığın özelliklerine bağlıdır. De Bertoldi ve diğ. (1982), pilot ölçekli çalışmalarında su muhtevastaki değişimi üç farklı havalandırma yöntemi için incelemişlerdir. Başlangıç su muhtevası % 67.3 olan evsel katı atık ve arıtma tesisi çamuru karışımının su muhtevası fiziksel çevirme ile 15 günde % 55 'e, 30 gün sonunda ise % 43'e inmiştir. Aynı atık karışımının basıçlı havalandırma ile havalandırılması sonucu su muhtevası 15 gün sonunda % 48'e, 30 gün sonunda % 29'a düşmüştür. Üçüncü yöntem olan vakumlu havalandırma metodu ile 15 gün sonunda % 57, 30 gün sonunda ise % 45 değerleri elde edilmiştir. Aktif kompostlaştırma evresinde su muhtevası % 45-% 55 aralığında kaldığı sürece su muhtevası kısıtlayıcı bir faktör olmaz.



Şekil 2.14 Arıtma tesisi çamurları ve odun yongaları karışımının kompostlaştırılmasında havalandırma hızı-su muhtevası arasındaki ilişki (Coppola, 1983)

Fazla suyun uzaklaştırılması atığın proses sonrasında işlenmesi bakımından da önemlidir. Arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırmadan hemen sonra eleme işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Su muhtevasının % 45'ten fazla olması halinde eleme işleminin verimi düşer, gözenek malzemesi geri kazanımı azalır.

Wilson ve Thompson (1976), arıtma tesisi çamuru ve odun yongalarının kompostlaştırılmasında proses sonundaki su muhtevası değerinin % 50'den az olabilmesi için başlangıçtaki su muhtevasının % 60'ı geçmemesi gerektiğini belirtmişlerdir.

2.5.6 Dane boyutu

Dane boyutu birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme ve akım karakteristiklerini etkileyen bir faktördür. Dane boyutunun azalması mikroorganizmaların faaliyet gösterecekleri yüzey alanını artıracığından biyokimyasal reaksiyon hızı artar (Epstein,1997). Dane boyutunun çok küçük olması halinde yığının içindeki gözenekler azalacağından birim hacim ağırlığı artar, havanın yığın içine girişi engellenir, ve reaksiyon hızı yavaşlar. Evsel katı atıklar gibi düzensiz şekillere sahip maddelerin kompostlaştırılmadan önce ön işlem olarak parçalanmaları ve dane boyutlarının azaltılması gerekir. Mekanik karıştırma ve aktif havalandırma yapılan tesislerde dane boyutu, parçalama işleminden sonra 1.25 cm. değerine kadar düşürülmelidir. Doğal havalandırmalı statik küme ve yığınlarda ise dane boyutu 5 cm'den daha az olmalıdır (Borat, 1997).

Su muhtevası yüksek atıkların fiziksel şartlandırılmasında kullanılan katkı malzemelerinin partikül büyüklüğü de önemli bir parametredir. Katkı malzemesinin çok ince daneli olması, atığın katı madde içeriği yeterli olsa bile havalanma için gerekli serbest hava boşluklarının oluşamamasına neden olur. Bir çok kompost tesisi kullanacakları katkı malzemesinin özelliklerini belirlemişlerdir. Örneğin Lancaster, Pennslyvania kompost tesisinde, katı madde içeriği minimum % 35 olan, % 95'i 12.5 mm. çaplı elekten, % 50'si de 2.23 mm.çaplı elekten geçen talaş kullanılmaktadır (Epstein, 1997). Kompost bahçe işlerinde veya çimlik alanlarda kullanılacaksa partikül büyüklüğü 10 mm.den küçük olmalıdır (Epstein, 1997).

2.6 Kompostun Toprağa Uygulanmasıyla Oluşan Biyokimyasal Dönüşümler

Bitkilerin kimyasal özellikleri ve bileşimleri büyüme süreçleri boyunca değişim gösterir. Zirai atıkların bileşimleri de bitki türüne ve yetiştirme ortamına bağlı olarak farklı özellikler taşır. Bitkinin olgunlaşması periyodunda bünyesindeki nişasta, şeker, protein ve çözünebilir besin miktarında azalma gözlenirken hemiselüloz, selüloz ve lignin içeriği artar.

Bu nedenle yeni oluşmuş bir organik atığın toprağa ilave edilmesi sonucu hızlı bir ayrışma olayı meydana gelir. Epstein (1997), yaptığı çalışmalarda en hızlı olarak çözünmüş organik kısmın, daha sonra basit şekerlerin ayrıştığını belirtmiştir.

Toprakta organik maddenin ayrışması olayının doğası ve hızı çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiş ve kompostlaştırma prosesinin temelde aynı özelliklere sahip olmakla beraber kontrollü şartlar nedeniyle daha hızlı gerçekleşen bir proses olduğu (Epstein, 1997) belirtilmiştir.

Topraktaki organik karbonun ve azotun davranışlarını modellemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Parton ve diğ. (1987). 'Century' adını verdiği modelinde topraktaki organik madde oluşumunu kademelere ayırarak incelemeyi önermiştir. Bu modelin komposta uyarlanmış hali Şekil 2.15'de verilmektedir. Modelde, ayrışma hızı ve ayrışma direnci göz önüne alınarak topraktaki organik madde dağılımı esas olarak üç kısımda incelemektedir.

- Aktif tabaka : Yenilenme süresinin kısa olduğu (1-5 yıl), mikroorganizmaların ve mikrobiyolojik faaliyetin yoğun olduğu tabaka.
- Yavaş tabaka : Yenilenme süresinin 20-40 yıl , mikrobiyolojik ayrışmanın nispeten yavaş olduğu tabaka.
- Pasif tabaka : En uzun yenilenme süresine sahip (200-1500 yıl) mikrobiyolojik ayrışmaya dirençli tabaka.

Kompost, uygulandığı toprağın bitki artıklarından ve mikrobiyolojik ürünlerden meydana gelmiş olan organik madde matrisine, doğrudan organik madde ilavesi sağlar. Bitki gelişimine katkıda bulunan kompost kütle ilavesiyle de dolaylı yoldan organik madde matrisine katkıda bulunur. Zamanla toprağa ilave edilen kompost humusa dönüşür.

2.6.1 Humus oluşumu

Humus karmaşık yapısı nedeniyle tanımlanması zor olan bir maddedir. Kaynağına bağlı olarak çeşitlilik gösteren, çok sayıda kompleks ve bağlı moleküllerden oluşmuştur (Mac Carthy ve diğ., 1990).

Aerobik kompostlaştırma prosesinin esas hedefi stabilize olmuş bir ürün elde etmektir. Bu stabilize ürün, kompost, çoğunlukla hatalı bir şekilde humus olarak adlandırılır.

Organik maddenin kompostlaştırma prosesi sırasında veya toprakta uğradığı ayrışma olayı gerçekte hümfikasyondur. Hümfikasyon yüksek ve düşük molekül ağırlıklı maddelerin ayrışmasını, toprak organizmaları tarafından hücre sentezlenmesi olaylarını içerir. Çoğunlukla aerobik şartlarda gerçekleşen hümfikasyon prosesinde azotun rolü büyüktür. Humustaki azotlu bileşikler doğal şartlarda azot ihtiyacının karşılanması açısından kaynak görevi görür (Flaig, 1975). Kononova (1975) topraktaki organik maddeleri başlıca iki sınıfa ayırmıştır. İlk grup humusun esas kaynağı olan, yeni ve tamamen ayrışmamış bitki ve hayvan kalıntılarını içerir. İkinci grup toprak humusudur ve kendi içinde iki alt sınıfa ayrılır.

Humik asit, fulvik asit, hüminler ve himatomelanik asit gibi hümkik maddeler

Tam ayrışma ürünleri ile mikrobiyal sentez sonucu oluşan ürünler

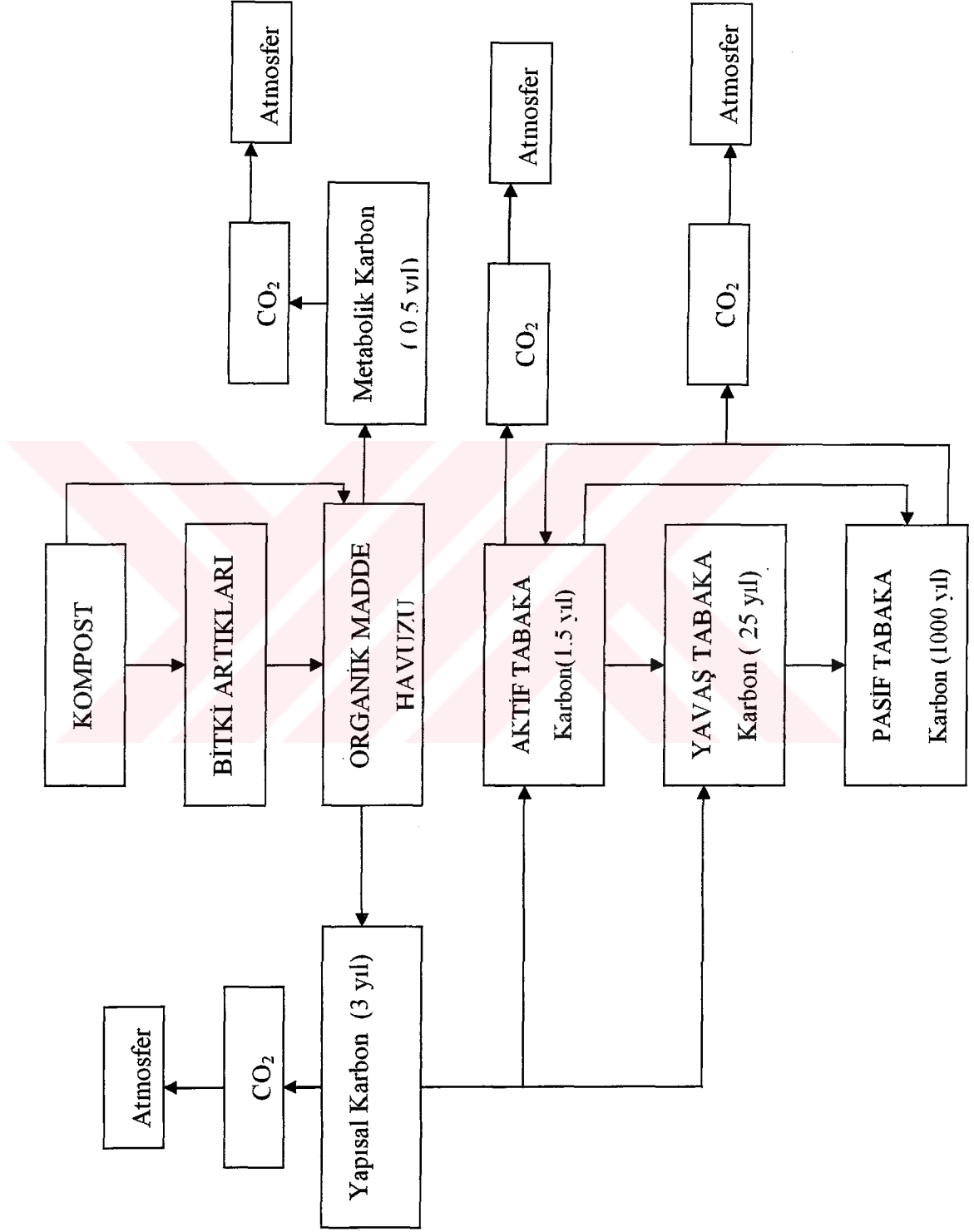
Bu iki alt grubu birbirinden ayırmak çok güçtür. Prosesin ilk safhalarında birinci alt gruptaki maddeler oluşurken ilerleyen safhalarda humus benzeri madde oluşmaya başlar. Humusun çok önemli bir madde olmasını sağlayan özellikleri;

- Toprağın fiziksel özelliklerini geliştirmesi
- Toprağın tamponlama kapasitesini arttırması
- Toprağa nütrient ilave etmesi
- Toprağın katyon değiştirme kapasitesini arttırması
- Toprağın su tutma kapasitesini arttırması
- Koyu rengi sayesinde güneş ışınlarını çekerek toprağın kolay ısınmasını sağlaması

olarak sayılabilir.

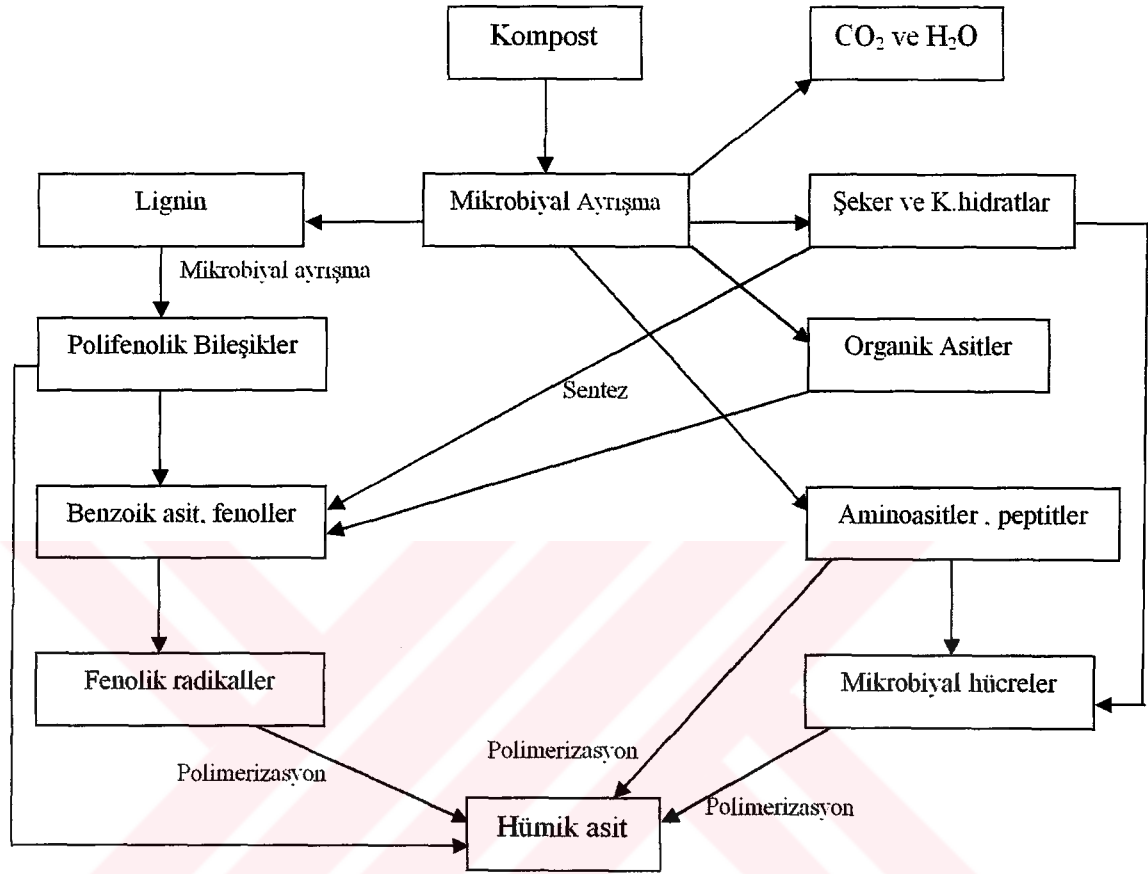
Humus, çeşitli organik maddelerden meydana gelmiştir ve ayrışma olayının yalnızca bir kademesini temsil eder. Kimyasal olarak, humusun % 80'i hümik asit ve polisakkaritlerden oluşmaktadır (Gascho ve Stevenson, 1968).





Şekil 2.15 Century modeline göre kompost içindeki karbonun topraktaki akış diyagramı(Parton, 1987)

Kompostlaşma prosesi sırasında hümik maddelerin oluşumuna ait çeşitli teoriler ortaya atılmıştır. Bunlardan en çok ilgi göreni Stevenson (1994) tarafından önerilen teoridir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Kompostlaşma prosesinde hümik asit oluşumu (Stevenson,1994)

3. KOMPOSTLAŞTIRMA METOTLARI VE KOMPOSTUN KULLANIMI

3.1 Kompostlaştırma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Aerobik kompostlaştırma metotları yığın sistemleri ve kapalı sistemler olarak iki ana gruba ve bu gruplar da kendi içlerinde alt gruplara ayrılır.

Yığın Sistemler :

- 1.) Statik Yığın
- 2.) Karıştırmalı Statik Yığın(Windrow)
- 3.) Havalandırmalı Statik Yığın
- 4.) Havalandırmalı ve Karıştırmalı Statik Yığın

Kapalı Sistemler :

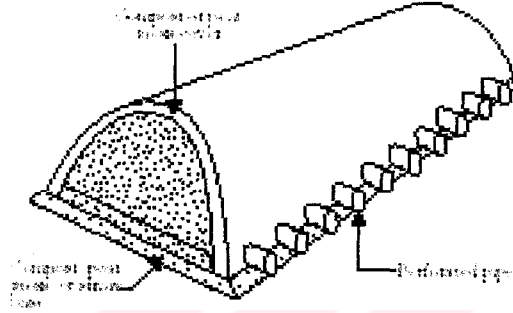
- 1.) Kutu sistemi
- 2.) Karıştırmalı dikdörtgen reaktörler
- 3.) Silo sistemi
- 4.) Döner tank sistemleri

3.1.1 Statik yığın sistemi

Statik yığın sisteminde kompostlaştırılacak atık karıştırılmadan yığınlar halinde bekletilir (Şekil 3.1). Gerekli olan hava difüzyon ve konveksiyon yoluyla sağlanır. İşçi ve ekipman maliyeti çok az olan bu sistemde ayrışma hızı çok yavaştır ve pasif havalanma nedeniyle anaerobik koşulların oluşma ihtimali vardır.

Havalandırma sisteminin iyi işletilebilmesi ve kontrolü açısından her yığın için ayrı blowerlar kullanılmaktadır. Blowerların çalışma düzenleri belli bir sıcaklık profilini sağlayabilmek için genellikle zaman ayarlayıcı sistemler tarafından belirlenir.

Susuzlaştırılmış atıksu arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılmasında gözenek malzemesi kullanılması gerekmektedir. En yaygın olarak kullanılan ağaç yongaları, bu sistemde, havalandırma borularının üzerine yerleştirilir. Aktif kompostlaştırma süresi 3-4 haftadır.



Şekil 3.3 Havalandırmalı statik yığın sistemi

3.1.4 Kapalı sistemler

Kapalı sistemler havalandırma, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu gibi prosesi etkileyen faktörlerin kontrol altında tutulabildiği ve proses süresi ile koku probleminin minimize edildiği sistemlerdir. Bu sistemde reaktör olarak kutular, yatay dikdörtgen tanklar ve döner tanklar kullanılabilir. Son yıllarda işçi maliyetinin ve arazi ihtiyacının düşük olması, koku probleminin kontrol altında tutulabilmesi gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedirler. Ancak yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olduğu unutulmamalıdır. Bu sistemlerde aktif kompostlaştırma süresi 1-2 hafta sürerken olgunlaşma için 4-12 haftalık periyotlar gerekmektedir.

3.2 Kompostlaştırma Sistemlerinin Karşılaştırılması

İyi işletilen yığın, havalandırmalı statik yığın ve kapalı reaktörlerde kompostlaştırma proseslerinin performansları pratik olarak aynı olduğundan alternatif prosesler arasında seçim, yatırım ve işletme masraflarına, arazi uygunluğuna, işletme kolaylığına ve çevre problem potansiyeline bağlı olarak yapılır. Bu tür bir karşılaştırma Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Aerobik kompostlaştırma proseslerinin karşılaştırılması (Tchobanoglous, 1993)

Karşılaştırma Kriteri	Yığın	Aerobik Kompostlaştırma Prosesi		
		Havalandırılmalı Statik Yığın	Reaktörde, Basınçlı Havalandırma Karıştırılmalı (Dinamik)	Karıştırmasız (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 yığında kurutma veya olgunlaştırma gerekirse yükselebilir	Düşük fakat yığında kurutma veya olgunlaştırma gerekirse yükselebilir
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 İklima 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

3.3 Kompost Stabilesini Belirleyen Faktörler

Stabilizasyon terimi organik maddelerin ayrışma derecesini ifade eder. Tam stabilizasyon, organik maddenin karbondioksit ve suya oksitlenmesi ile gerçekleşir. Kompostlaştırma prosesi sonunda elde edilen kompostun toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilmesi için tamamen stabil hale gelmesi istenmez. Olgunluk, bitki gelişim potansiyeli ve fitotoksite ile ilgili bir parametredir. Fitotoksik bileşikler stabilesi iyi olmayan kompostlarda mikroorganizmalar tarafından üretildiği için genellikle stabilite ve olgunluk parametreleri birlikte ele alınır. Epstein (1997) Kompostun stabilesini ve olgunluğunu değerlendirmek için Tablo 4.2’de verilen parametreleri kullanmıştır.

Tablo 3.2 Kompost stabilite ve olgunluk parametreleri (Epstein, 1997)

Metot	Parametreler
Kimyasal Metotlar	C/N Azot türleri(TKN, NH_4^+ -N, NH_3 -N, NO_2 -N, NO_3 -N) TOK Organik madde Toplam PO_4 -P pH Kasyon değişim kapasitesi Organik kimyasal bileşenler (selüloz, lignin, şeker, hidrokarbonlar) Asetik asit Nişasta-iyot Hümikleşme parametreleri
Fiziksel Metotlar	Sıcaklık Renk Kokusu Spesifik ağırlık
Bitki Testleri	Tere tohumu Bitki kök incelemeleri
Mikrobiyolojik testler	Solunum- O_2 tüketimi Solunum- CO_2 değişimi Enzim aktivitesi

Bu parametrelerin tek başlarına stabilite ve olgunluğun göstergesi olarak kullanılması uygun olmayıp sahip olmaları gereken özellikler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- C/N oranı

Üründeki C/N değerinin başlangıçtaki C/N değerine oranının 0.49-0.85 olması beklenir. Kesin bir gösterge olmamakla beraber proses sonunda C/N oranının < 20 olması istenir.

- Azot türleri

NH₃ olgunlaşmamış kompostun, NO₃ ise olgunlaşmış kompostun göstergesidir.

- Katyon değişim kapasitesi

Katyon değişim kapasitesi, katyon tutma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Aerobik kompostlaştırmada 5-8 hafta süresince katyon değişim kapasitesi 40 meq/100 g'dan 80 meq/100 g değerine kadar artmaktadır. Olgunlaşmış komposttaki minimum katyon değişim kapasitesi değeri 60 meq/100 g olarak kabul edilir(Epstein, 1997).

- Organik kimyasal bileşenler

İyi bir gösterge olan selüloz kompostlaşma prosesi boyunca azalır.

- Hümikleşme parametreleri

Kompostlaşma süresince hümik madde oluşumunda artış gözlenir.

3.4 Kompostun Kullanım Alanları

Kompost ilavesi toprağın fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerini iyileştirir, ancak ağır metal ve diğer kirletici madde konsantrasyonları dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Ağır metal seviyesi yüksek olan kompostlar yalnızca düzenli depolama alanlarında üst örtü olarak ve atık maddelerin bertarafı için tahsis edilmiş alanlarda kullanılabilirler (Wei ve diğ., 2000). Kompostun gübre olarak kullanımı da çok yaygındır. İnorganik gübreler spesifik miktarlarda azot-fosfor-potasyum (NPK) içerirler. En genel iki gübre bileşimi 10-10-10 (N, P ve K' un herbiri %10) ve 5-10-10' dur. Fakat çamur ve kompost nadiren bu kadar yüksek konsantrasyonlarda nütrientlere sahiptir. Komposttaki N-P-K içeriği yeterince yüksek olmadığı için, yasal olarak gübre adı altında satılamaz. Gübre olarak satılabilmesi için, kompostun N-P-K elementlerinden biri veya hepsiyle güçlendirilmesi gerekmektedir.

Sadece kompost ilavesi ile toprağa yeterli nütrientleri sağlamak için bazen çok büyük yükleme oranları gerekebilir. Bu da nakliye ve işleme masraflarındaki artış nedeniyle ekonomik olmayabilir.

Kompost,

- Tarla, bahçe, sera, mera, meyvelik ve fidanlıklarda gübre olarak,
- Golf sahaları, çim sahalar, parklar ve oyun alanlarında toprak şartlandırıcısı olarak,
- Erozyon kontrolünde,
- Koku gideriminde biyofiltre malzemesi olarak,
- Düzenli depolama alanlarında son örtü malzemesi olarak,
- Yanmış orman alanlarının, eski maden ocaklarının rehabilitasyonunda kullanılabilir.

3.5 Kompostun Faydaları

- Kompostlaştırma ile organik atıklar kısmen stabilizasyona uğrar.
- Elde edilen ürün tarımda, seralarda, fidanlıklarda toprağı iyileştirmek ve organik madde açısından zenginleştirmek üzere kullanılabilir.
- Kompost, depolanabilir ve uzun süre saklanabilir nitelikte, gelir getiren bir üründür.
- Düzenli depolama alanlarından önemli miktarda tasarruf edilir.
- Erozyona uğramış alanlarda kompost, kaybedilmiş organik maddeyi sağlar ve toprağın kendini yenilemesine yardım eder. Kompost, bitkilerin yeniden gelişimi için uygun bir alt tabaka oluşturur ve erozyonu önler.
- Kompost ilave edilen toprağın içindeki organik madde miktarındaki artışa bağlı olarak boşluk oranı ve su tutma kapasitesi artar, erozyon önlenir.
- Suni gübre tüketiminin azaltılmasını sağlar.
- Zor işlenen toprakların tarım açısından elverişli hale gelmesini sağlar.
- Topraktaki saprofit mikroorganizma sayısını artırır.

3.6 Kompostun Kalitesi ve Kompostun Kullanımı ile İlgili Yasal Mevzuat

Kompostun kalitesini belirleyen en önemli parametreler ağır metal içeriği, nütrient içeriği, patojen mikroorganizma içeriği, fiziksel ve kimyasal özellikleri(pH, dane boyutu, çözünmüş tuz içeriği vb.) ve yabancı ot tohumlarının varlığı olarak sayılabilir.

Metal bileşiklerinin çözünürlükleri, kompostun uygulandığı toprağın pH' sına bağlı olarak değişir. Metal tuzları, asidik topraklarda, bitkinin özümsemesine uygun şekilde çözünmüş formda bulunurlar. Nötr ve alkali pH seviyelerinde, birçok element ve özellikle de ağır metaller çözünmeyen bileşiklere dönüşür. Bu formda, bitkilere daha az etkilidirler ve yeraltı suları için daha az kirlilik riski taşırlar. Yani, metal konsantrasyonunun yükselmesi ve yeraltı suyu kirliliği tehlikeleri, düşük pH' larda fazladır.

Ağır metal içeriği üzerinde en çok durulan kalite parametresidir. Çünkü bitkiler, dokularında iz element biriktirme özelliklerine göre değişiklik gösterirler. Bitkilerin yapraksı kısımlarındaki metal konsantrasyonu, tohumlara ve köklere göre genellikle daha fazladır. Bir elementin miktarındaki artış o elementin toprağa ilave edilen miktarıyla orantılı olarak artar; ve bitkinin gelişimini engelleyecek toksik konsantrasyona ulaşır. Ekinlerde, Mo, Se, Cd gibi yeterince yüksek konsantrasyonlarda biriken elementler, insanlar ve hayvanlar için toksiktir.

Ülkemizde kompostun tarımda kullanılabilmesi için taşınması gereken özellikler 10.12.2001 tarihli ve 24609 sayılı resmi gazetede yayınlanan 'Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin 3. Bölümünde 10. madde ile belirtilmiştir.

Kompostun toprakta kullanılabilmesi için;

- a) Kompostun, hijyenik yönden kusursuz olması, insan ve tüm canlı sağlığını tehdit etmemesi,
- b) C/N oranının 35'den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktörde komposta azot beslemesinin yapılması,
- c) Toprak ıslahı için kullanılacak kompostun, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az % 35'i oranında olması,
- d) Piyasaya sürülen kompostun su muhteva oranının % 50'yi geçmemesi,
- e) Piyasaya sürülen kompost içinde, cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığın % 2'sini geçmemesi,

- f) Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en fazla üçer aylık aralarla, ihtiva ettikleri kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden analizlerinin yapılması,
- g) Kompostun kullanılacağı arazide toprağın pH değeri, ihtiva ettiği kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden analiz edilmesi,
- h) Numunelerin usulüne ve tekniğine uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
- i) Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin Tablo 3.3 'de yer alan değerleri aşması halinde söz konusu arazide kompostun kullanılmaması,
- j) Kompostun arazide 10 yıllık dönemde her yıl uygulanması halinde, ağır metaller itibari ile araziye verilen yükün Tablo 3.4' de verilen değerleri aşmaması gerekir.

Tablo 3.3 Topraktaki ağır metal sınır değerleri (TKKY, 2001)

Ağır Metal	pH < 6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	pH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır *	50 **	140 **
Nikel *	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Civa	1 **	1,5 **

* pH değeri 7'den büyük ise Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırılabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Tablo 3.4 Toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükleri (TKKY, 2001)

Ağır Metal	Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl) **
Kurşun *	1500
Kadmiyum	15
Krom *	1500
Bakır *	1200
Nikel *	300
Çinko *	3000
Civa	10

* İşlenmiş arıtma çamurunun topraklarda kullanılması ile hasatın alınması arasında en az üç ay süre varsa ilgili kuruluşların görüşü alınarak Bakanlıkça civa ve kadmiyum hariç olmak üzere bu değerler % 5'e kadar artırılabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde kompostlaştırma prosesi ve kompostun kullanımı ile ilgili düzenlemeler EPA (Environmental Protection Agency) tarafından yapılmaktadır ve kendi yönetmeliği bulunmayan ülkelerde de oldukça büyük bir kabul görmektedir. EPA, 503 CFR 40 'da yalnızca arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılması ile ilgili düzenlemelere yer vermiştir. Bu maddede yer alan ağır metal sınır değerleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Ağır metal sınır değerleri (EPA, 503 CFR 40)

Ağır Metal	Sınır Değerler (mg/kg fırın kuru toprak)
Kurşun	1500
Kadmiyum	39
Arsenik	41
Bakır	1500
Nikel	420
Çinko	2800
Selenyum	36
Civa	17

Diğer kalite kriter parametrelerinden patojen mikroorganizmalar ile ilgili ülkemizde geçerli olan 'Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde herhangi bir mikroorganizma grubu için spesifik sınırlayıcı değerler bulunmamaktadır. EPA 503 CFR 40'da kompostun patojen içeriği ile ilgili kısıtlamalar yer almaktadır. Patojen giderimini sağlamak üzere kapalı sistemlerde ve havalandırılmalı statik yığında sıcaklık en az 3 gün 55°C ve üzerinde tutulabilmelidir. Bu değer karıştırılmalı statik yığınlar da minimum 15 gün süreyle sağlanmalıdır. Salmonella sp.bakterisi < 3 EMS/ 4 g kuru madde veya fekal koliform < 1000 (EMS/ g kuru madde) olmalıdır.

3.7 Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Kompostlaştırılması

3.7.1 Evsel atıksu arıtma çamurlarının karakteristikleri

Çamur, tesisten tesise, atıksu kaynağına (evsel, endüstriyel veya karışık) ve arıtmanın derecesine göre farklılık gösterir. Çamurun fiziksel ve kimyasal özellikleri kompostlaştırma işleminin planlanmasında önemlidir. Fiziksel özellikler, ekipman ve alan ihtiyacının seçimini etkiler. Kimyasal özellikler, maddenin kompostlaştırılabilirliğini ve son ürünün faydalı kullanım seçeneklerini etkiler. Dolayısıyla çamur karakteristikerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Kompostlaştırmada çamurun önemli fiziksel özellikleri; oluşan çamurun hacmi, yoğunluğu, ağırlığı ve su muhtevasıdır. Evsel atıksu arıtma tesisi çamuru miktarları ve yoğunlukları Tablo 3.6' da verilmiştir.

Tablo 3.6 Evsel atıksu arıtma çamuru miktarları ve yoğunlukları (Metcalf&Eddy, 1991)

Proses	Yoğunluk (g/cm ³)	Katı Madde, kg/ 10 ³ m ³	
		Aralık	Tipik Değer
Ön Çöktürme	1.02	108-169	151
Aktif çamur (atık çamur)	1.005	72-96	84
Damlatmalı Filtre (atık çamur)	1.025	60-96	72
Uzun Havalandırma (atık çamur)	1.015	84-120	96
Havalandırma Lagün (atık çamur)	1.01	84-120	96
Filtrasyon	1.005	12-24	18
Alg uzaklaştırması	1.005	12-24	18
Fosfor uzaklaştırması için ön çöktürme havuzu tankına kimyasal madde ilavesi			
Düşük Kireç (350-500 mg/l)	1.04	241-398	301
Yüksek Kireç (800-1600 mg/l)	1.05	602-1325	795

Çamur hacmi, arıtılan birim atıksudan oluşan çamur miktarına bağlıdır. Hacim, kompostlaştırma prosesinin yürütüleceği yerin ve çalışmanın gereksinimlerini belirleyecektir. Kompostlaştırma üniteleri, 5 – 7 gün süreyle depolanan çamur hacminin yoğunluğu temel alınarak planlanır. Çamur ağırlığı, çamur içindeki katıların miktarıdır. Su muhtevası, susuzlaştırma derecesini ve kompost karışım oranını etkiler. Atıksu arıtma tesisi çamurlarının tipik kimyasal özellikleri Tablo 3.7.' de verilmiştir.

Tablo 3.7 Atıksu arıtma tesisi çamurlarının tipik kimyasal özellikleri (Metcalf&Eddy, 1991)

Parametre	Çamur Tipi		
	Ön Çöktürme Çamuru	Aktif Çamur	
	Aralık	Tipik Değer	Aralık
Toplam katı madde, %	2-8	5	0.83-1.16
Uçucu katı madde, % TKM	60-80	65	59-88
Azot, % TKM	1.5-4	2.5	2.4-5.0
Fosfor, % TKM	0.8-2.8	1.6	2.8-11
pH	5-8	6	6.5-8
Alkalinite, mg/l CaCO ₃	500-1500	600	580-1100

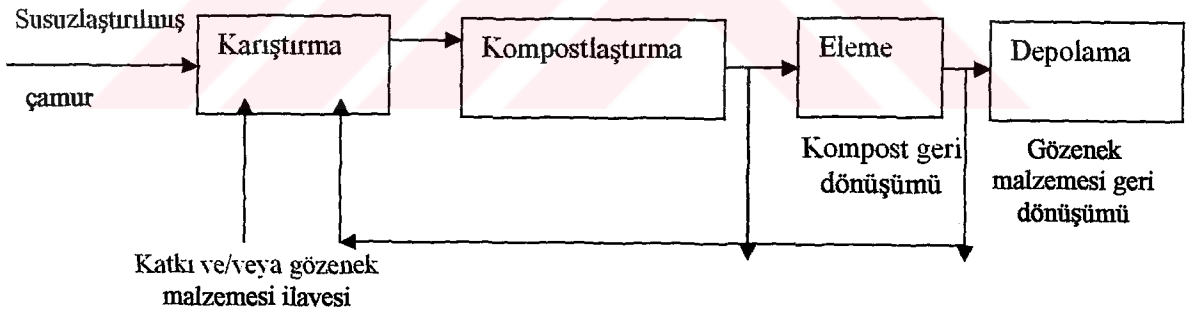
Çamurun ve oluşan kompostun önemli kimyasal özellikleri; toplam katı madde oranı, uçucu katı madde oranı, pH, makronütrientler, mikronütrientler, iz elementler, ağırmetaller ve C/N oranı' dır. Toplam uçucu katıların yüzdesi, toplam katıların, 550C° de oksitlenen kısmıdır ve toplam katıların yüzdesi cinsinden ölçülür.

Uçucu katıların ölçümü, çamurdaki organik maddenin belirlenmesi açısından gerçekçi bir yaklaşım sunar. Çamurdaki uçucu kısım, kompostlaştırmayı gerçekleştiren mikrobiyal populasyon için ana enerji kaynağıdır. Uçucu katıların yüzdesi düşükse, enerji girdisi düşük olur ve aerobik kompostlaştırmada termofilik sıcaklıklara ulaşmak güçleşir. pH, mikrobiyal populasyonu kısıtlayarak kompostlaştırmayı etkiler. Ayrıca son ürünün yükleme oranlarını belirlemede de önemlidir, çünkü yüksek seviyelerdeki pH azot kaybına yol açar ve ağır metallerin bitkiler tarafından özümsemesini önler. Temel makronütrientler arasında katı maddenin yüzdesi olarak ölçülen N, C, P, K vardır. Azot ve karbon, C/N oranını değiştirerek mikrobiyal metabolizmayı etkiler. Karbon, toprağa katıldığında nütrient minerilizasyon hızını etkiler. Azot, fosfor ve potasyum, son ürünün organik gübre olarak değerini belirler. Mikronütrientler, bitkilerin gelişimi için gereklidir, fakat yüksek düzeylerde toksik olabilirler. Demir, mangan, bakır ve çinko, çamurun toksisitesini ölçmede kullanılan ağır metallerdir. Aşırı bor, bitki köklerini yakabilir; yüksek düzeylerde klor, sülfür ve magnezyum tuzları bitki gelişimini engeller. Eğer toprak koşulları yüksek hızda özümsemeye elverişliyse, molibden, bitkiler için toksiktir. Aşırı düzeydeki iz elementler bitkiler için toksiktir. Kadmiyum, ağır metallerin en tehlikelisi, çünkü bitkiler için toksik olmadığı seviyelerde, insan ve hayvanlar için toksiktir. Bu yüzden tarlalardaki, yıllık maksimum uygulama oranları dikkatle belirlenmelidir.

Nikel, kurşun, bakır ve çinko, tarlalardaki yükleme oranları açısından düzenlenmesi gereken ağır metallere aittir. Yüksek konsantrasyondaki sodyum bitki gelişimini geciktirir.

Çamurdaki ağır metal konsantrasyonu evsel atıksuyun endüstriyel atıksularla karışmış olup olmamasına bağlıdır. Endüstriyel katkı ne kadar fazlaysa, çamurdaki metal konsantrasyonu o kadar çoktur. Konsantrasyon ayrıca, endüstriyel ön arıtmanın mevcut olup olmamasına da bağlıdır. Bakır, çinko ve kurşunun yüksek konsantrasyonları, boru tesisatından kaynaklanır. C/N oranı, toplam katıların kuru ağırlığı olarak ölçülür. Çamur katılarında genelde bulunan değerler 8 ile 17 arasındadır. C/N oranının 25/1 veya 30/1 olması kompostlaştırma için idealdir. Çamur bu orana sahip olmadığı için kompostlaştırmayı hızlandırmak amacıyla karbon kaynağı olarak katkı malzemesi eklenmelidir.

Kompostlaştırma tesislerinde tüm çamur türlerinin işlenebilmesiyle beraber ham çamurların kompostlaştırılması sırasında daha çok koku problemiyle karşılaşılır ve alan ihtiyacı artar. Bu nedenle prosese girmeden önce atığın susuzlaştırılması gerekebilir. Susuzlaştırılmış çamur fiziksel şartlandırmayı sağlamak amacıyla katkı/gözenek malzemeleriyle karıştırıldıktan sonra proses başlar(Şekil 4.4).



Şekil 3.4 Arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılması akım diyagramı

Arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılmasında ortaya çıkan avantaj ve dezavantajlar Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8 Arıtma tesisi çamurlarının kompostlaştırılmasının avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Ürün(kompost) depolanabilir veya hemen kullanılabilir	Katı madde içeriği min %18 olmalıdır
Üründen gelir elde edilebilir	Katkı malzemesi ihtiyacı vardır
Yakmaya kıyasla düşük maliyet	Arazi ihtiyacı fazladır
Düzenli depolamaya gidecek miktar %60 azalır	Düzenli depolamaya kıyasla yüksek maliyet
	Koku ve bioaerosol oluşum potansiyeli

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis

4.1.1 Tesisin gayesi

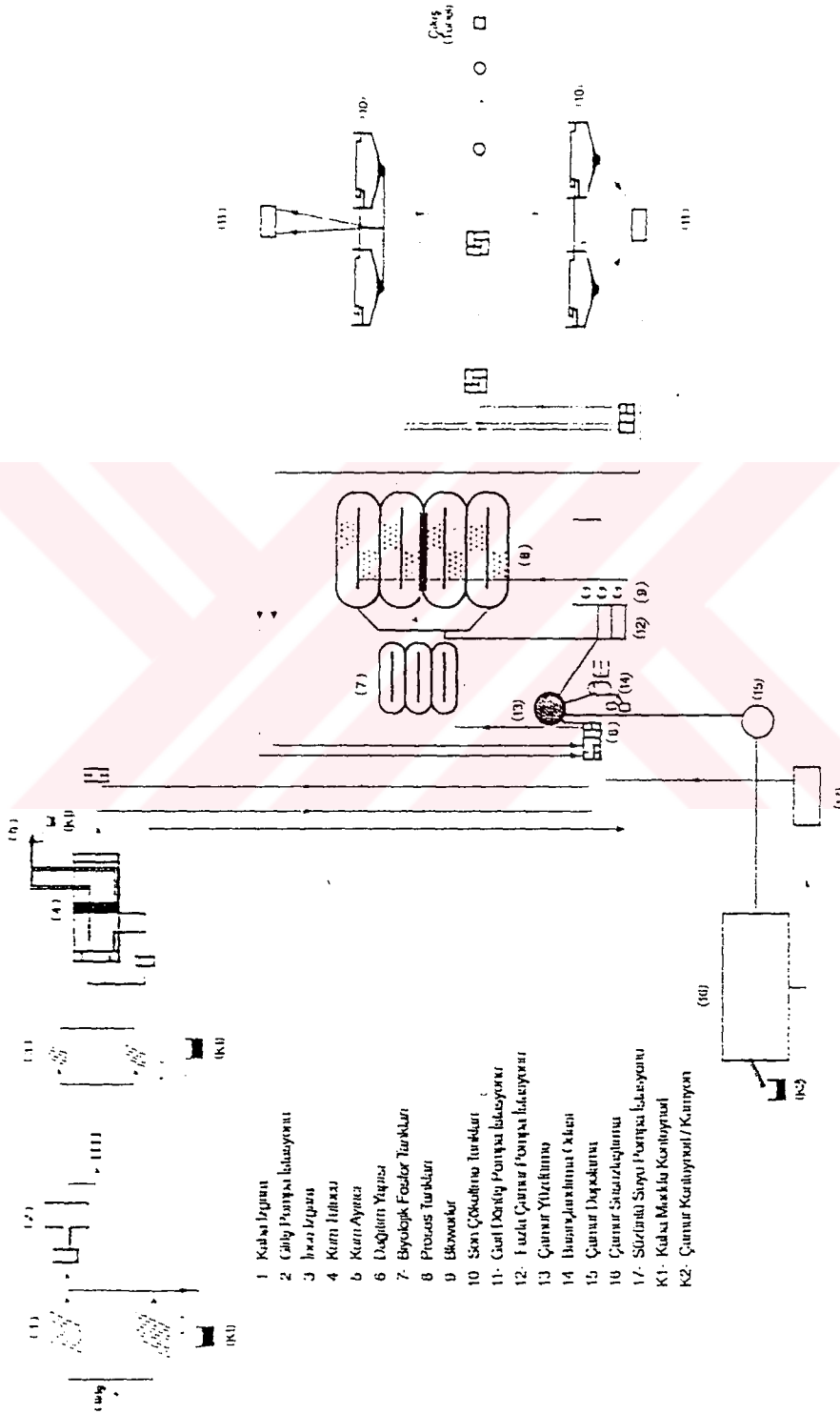
Ömerli Barajı İstanbul'un su kaynakları arasında çok önemli bir yere sahiptir. Ömerli Havzası'nda yer alan ve yetersiz alt yapıya sahip, kontrolsüz kentleşmenin etkilerinden baraj gölünü korumak ve gelecekte de bu su kaynağından yararlanabilmek gayesiyle Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis kurulmuştur.

4.1.2 Proses açıklaması

Arıtma tesisi, nihai kapasitede 1.065.000 kişilik bir nüfustan kaynaklanan ve 500.000 m³/gün debiye sahip atıksuları arıtmaktadır. Tesis, ilk etapta, 25.000 kişilik atıksu yüküne göre inşa edilmiştir. Tesisin kurulu olduğu alan 507.000 m²'dir. İleri biyolojik atıksu tasfiye işlemi, atıksuda bulunan karbonun yanısıra, su kaynaklarında kirliliğe yol açan azot, fosfor gibi besi maddelerinin de giderilmesini sağlar. Arıtma tesisi akım şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.

4.1.3 Su alma yapısı ve by-pass odası

Su alma yapısı kanalıyla Paşaköy deresinden ve kollektörlerden alınan atıksu, by-pass yapısına alınmaktadır. By-pass yapısı atıksuyun giriş terfi merkezine kontrollü olarak verilmesini sağlamak amacıyla sürgülü kapaklarla donatılmıştır. Tesiste herhangi bir arıza olması durumunda bu kapaklar kapatılarak atıksu by-pass hattına verilmektedir. By-pass edilen atıksu yapılmakta olan bir tünel ile Riva deresine oradan da Karadeniz'e deşarj edilecektir.



Şekil 4.1 Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması

4.1.4 Giriş terfi merkezi ve terfi hattı

By-pass yapısından gelen atıksu, öncelikle ızgara aralığı 50 mm olan mekanik temizlemeli kaba ızgaradan geçirilmektedir. Kaba ızgaralar otomatik temizlemeli olarak çalışmakta ve ızgarada tutulan atıklar bir konveyör ile konteynerlere aktarılmaktadır. Konteynerde biriktirilen atıklar gezer vinç ile taşıyıcı bir vasıtaya konularak uzaklaştırılmaktadır. Kaba ızgarada herhangi bir arıza veya bakım durumunda bakım yapılan kısımdaki sürgülü kapak kapatılarak diğer hattın kapakları açılmaktadır. Izgaralardan geçen atıksu, pompa haznesine gelerek 650 l/sn debi kapasiteli giriş pompaları tarafından tesise basılmaktadır. Üç ana giriş pompasından ikisi asıl biri yedek olarak konumlandırılmıştır. Terfi hattı 1200 mm çaplı çelik borulardan teşkil edilmiştir. Terfi yüksekliği ise 39 m.'dir.

4.1.5 İlk arıtma ünitesi

Giriş terfi merkezinden basılan atıksu, çubuk aralığı 10 mm olan mekanik temizlemeli ince ızgaradan geçer. Otomatik olarak çalışan, iki paralel hattan oluşan ince ızgaralarda toplanan atıklar, bantlı konveyörlerle ızgara atıkları presine iletilmektedir. Buradan da konteynere alınarak uzaklaştırılmaktadır. İnce ızgaralardan geçen atıksu, kum tutucu yapısına gitmektedir. Kum tutucular ince kabarcıklı difüzörlerle donatılmıştır. Hava blower odasında bulunan 7,5 kw gücünde üç adet (iki asıl, bir yedek) blowerlardan temin edilmektedir. Kum tutucu havuzları dibinde çökelen kum, gezer köprü üzerine monte edilen dalgıç pompalar vasıtasıyla kum ayırma hunisine aktarılmakta ve kumlar burgulu konveyör ile atıksu konteynerine boşaltılmaktadır. Ayrıca yüzeyde biriken yağlar yine köprü üzerindeki yüzey sıyrıcı ile sıyrılıp, bir toplama haznesine alınarak çamur depolama havuzuna basılmaktadır. İlk arıtma sonrası atıksuları, debisini ölçüp kaydeden Parshall savağından geçerek tesise geçmektedir. Ölçülen debi tesiste çalışacak ekipmanların kapasitelerinin ayarlanması için kullanılmaktadır.

4.1.6 Biyolojik fosfor ünitesi

İnce ızgara ve kum tutucudan gelen atıksu, geri devir çamuruyla karışarak biyolojik fosfor ünitesine girmektedir. Bu ünite üç havuz seri olarak çalışmaktadır ve havuzların toplam hacmi 8800 m³'tür. AKM, her havuzda bulunan muz tipi iki yavaş karıştırıcı ile askıda tutulmaktadır. Bu karıştırıcıların kanat genişliği 2500 mm, motor gücü 3,1 kw ve devir hızı 25 devir/dak.'dır. biyolojik fosfor giderme ünitesi, biyolojik arıtmada anaerobik ortam şartları sağlamaktadır. Bu tanklarda mikroorganizma bünyesinde bulunan fosforun daha sonra havalandırma havuzlarında çok daha fazlasını suya vermesi işlemi gerçekleşmektedir.

4.1.7 Havalandırma havuzları

Havalandırma havuzları aerobik ve anoksik kısımları bulunan seri olarak bağlı dört havuzdan oluşmaktadır ve bu tankların toplam hacmi 40.000 m³'tür. Havalandırma havuzları, iki ayrı çalışır konumdadır. Bu durumda nitrifikasyonun devam etmesini için geri kalan kanallar havalandırılmaktadır. Her tanka AKM'nin çökmesini önlemek, hava kabarcıklarının yolunu uzatarak havalandırma verimini arttırmak ve homojen karışımı sağlamak üzere kanat açıklığı 2500 mm olan muz tipi karıştırıcılar monte edilmiştir. Bu karıştırıcıların motor gücü 3.1 kw ve devir hızı 31 devir/dak. dır. Dört kanalın herbirine, havalandırma için ince kabarcıklı seramik difüzörler yerleştirilmiştir. Difüzörlere hava blower binasında bulunan üç adet blower tarafından temin edilmektedir. Her kanala verilecek hava miktarı dört motorlu kelebek vana ile ayarlanarak tanklardaki çözünmüş oksijen seviyesi önceden belirlenmiş seviyede tutulmaktadır. Normal çalışma şartları altında 1. kanal anoksik, 2. kanal yaz aylarında anaerobik, kış aylarında aerobik, 3. ve 4. kanallar ise aerobik olarak çalışmaktadır. Anoksik tanklarda denitrifikasyon gerçekleşirken aerobik tanklarda nitrifikasyon ve organik madde giderimi sağlanmaktadır. Denitrifikasyon öncesinde aerobik kısımda nitrat açısından zengin bir çıkış suyu elde etmek için atıksu 4-5 defa anoksik kısımlara devrettirilmektedir.

4.1.8 Son çöktürme havuzları

Havalandırma havuzlarından gelen atıksu, sürgülü kapaklarla donatılan bir dağıtım yapısına gelerek her biri 4500 m³ hacme sahip, 42 m çapında ve 3.2 m derinliğinde dairesel çöktürme tankına verilir. Son çöktürme havuzları döner yarım köprülü sıyırıcılarla teçhiz edilmiştir. Bu köprüler sürekli çalışmaktadır. Çöken çamuru ortadaki çamur toplama konisine taşıyan dip sıyırıcıları, bakım kolaylığı açısından parçalara ayrılabilir niteliktedir. Çöken çamur ortadaki çamur toplama konisinden geri devir terfi merkezine cazibeyle alınarak biyolojik fosfor ünitesi girişine geri devrettirilmektedir. Arıtılmış su çift savaklı çıkış savaklarından geçerken döner köprü üzerindeki tahrikli bir fırça kanalın temizlenmesini sağlamaktadır.

4.1.9 Çamur depolama havuzu

DAF ünitesinden gelen çamur, çamur depolama havuzunda homojenliğini koruması için dört yavaş karıştırıcıyla sürekli olarak karıştırılmaktadır. Aerobik ortam şartlarının korunması için ise, havalandırma havuzunda olduğu gibi seramik dip difüzörleri teçhiz edilmiştir. Hava difüzörlere çamur susuzlaştırma binasında bulunan biri yedek iki adet blowerdan temin edilmektedir. Çamur depolama havuzunda depolanan çamur, çamur susuzlaştırma binasından çekilmektedir.

4.1.10 Çamur susuzlaştırma birimi

Çamur depolama havuzundaki çamur, uygun seviyeye geldiğinde, çamur susuzlaştırma binasında bulunan çamur besleme pompaları tarafından çekilerek, homojenliği sağlayan bir parçalayıcıdan geçirilip, bir üst katta bulunan santrifüjlere iletilmektedir. Polielektrolit hazırlama ünitesinde hazırlanan çözelti çamurun yumaklaşmasını sağlamak üzere santrifüjlere verilmektedir. Susuzlaştırılan çamur, santrifüjün altında bulunan çamur çıkış pompalarına oradan da bina dışında bulunan bir siloya basılmaktadır. Silodan kamyonlara yüklenen çamur yakma tesisi veya depolama alanına, santrifüjden çıkan su ise süzüntü suyu terfi merkezine gönderilmektedir.

4.2 Deney D zeneg i

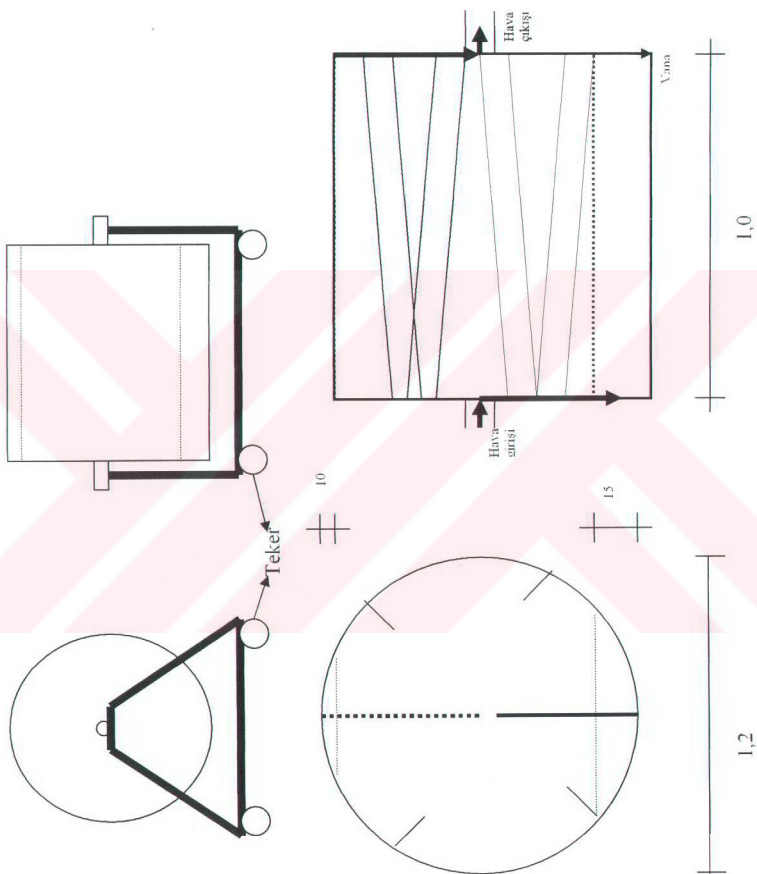
Çalışmada her birinin hacmi brüt 1.2 m^3 , net 0.77 m^3 olan üç adet döner tambur reaktör kullanılmıştır. Kompostlaştırma prosesini gerçekleştirmek üzere kullanılan reaktörler şekil 4.2’de gösterilmiştir. Ayrıca reaktörlerin şematik gösterimleri de şekil 4.3’de verilmiştir.



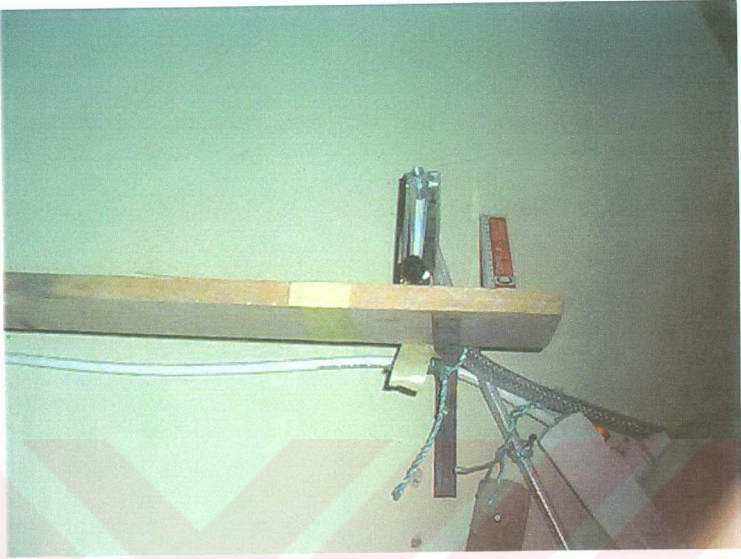
şekil 4.2 Kompost reaktörleri

Karışımın homojenliğini sağlamak üzere her bir reaktör içine plakalar teşkil edilmiştir. Atık kütlesinin sıcaklığını korumak, çevreyle ısı alış verilişini önlemek amacıyla reaktörler poliüretan izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır.

Sisteme hava Tahaş marka RS 20-08 AS tipi, maksimum kapasitesi $2.15 \text{ m}^3/\text{dk}$ olan kompresör ile sağlanmıştır. Verilen hava debisini ayarlayabilmek ve kontrol altında tutabilmek için maksimum 150 lt/dk. kapasiteli Dwyer marka rotometreler kullanılmıştır (şekil 4.4). Hava reaktörün yan tarafından merkez doğrultusunda giren ve tabanda delikli olan bir borudan verilmiş, çıkış ise tam aksi taraftan olacak şekilde sağlanmıştır.



Şekil 4.3 Kompost reaktörlerinin şematik gösterimini

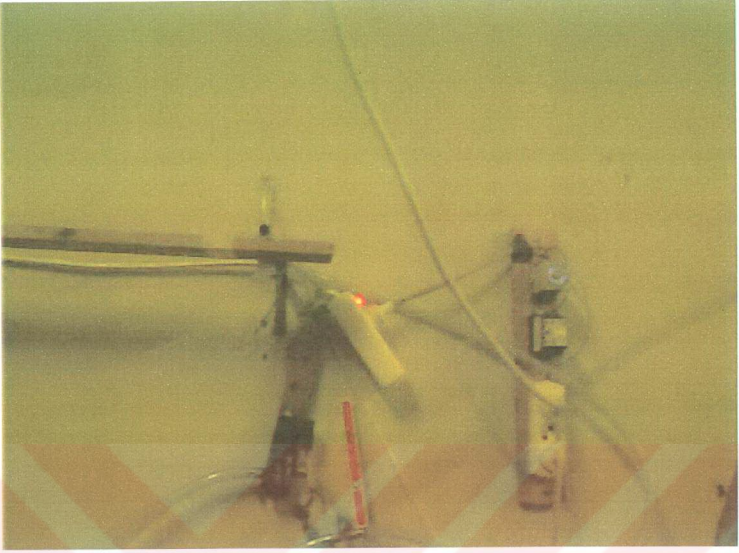


Şekil 4.4 Rotometre

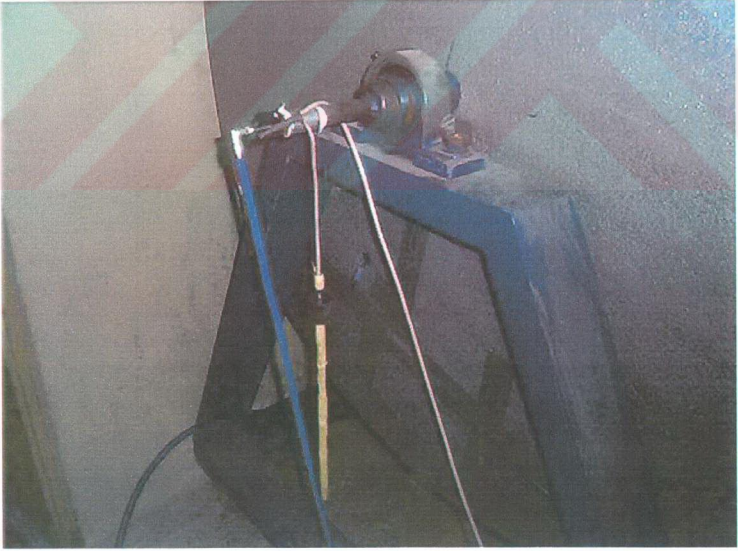
Reaktörlere verilen hava debisi, 1 saatte reaktör içindeki atık hacmi kadar olacak şekilde belirlenmiştir. Yani 1 saatte reaktörlere 750 lt. hava beslenmiştir. Hava sisteme kesikli olarak beslenmiştir. 15 dakikalık periyotlar halinde 2,5 dakika boyunca 75 lt hava beslemesi yapılmış, 12,5 dakika ise hava verilmemiştir. Bu uygulama bir timer ve selenoid vana tesisatı ile sağlanmıştır (Şekil 4.5).

En önemli işletme parametrelerinden biri olan sıcaklık her 10 dakikada bir on-line olarak ölçülmüş (Şekil 4.6) ve özel bir program vasıtasıyla bilgisayara kaydedilmiştir. On-line kayıt sistemi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Reaktörler günde iki kez havanın beslenmediği zamanlarda mekanik karıştırma ekipmanı ile (Şekil 4.8) 10’ar dakika karıştırılmış, böylece verilen havanın tüm kütleye homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır.



Şekil 4.5 Timer ve selenoid vana sistemi



Şekil 4.6 Sıcaklık ölçüm sistemi



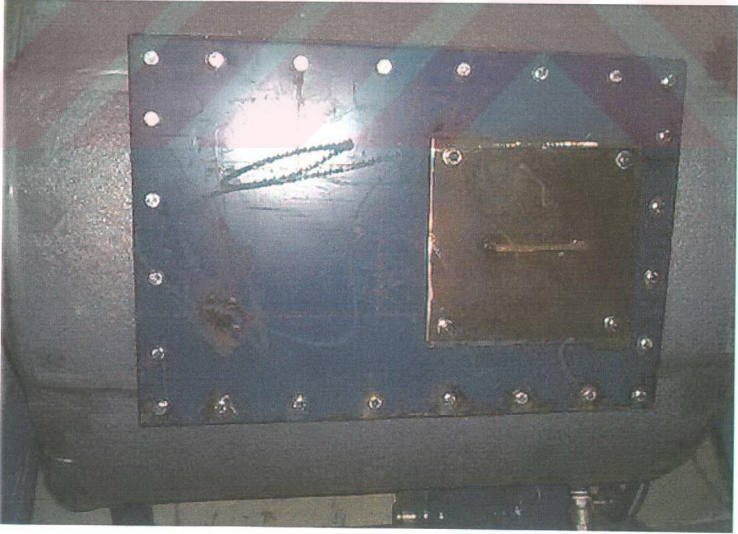
Şekil 4.7 Sıcaklık on-line kayıt sistemi

Numuneler belirli aralıklarla numune almak için özel yaptırılmış 30*30 cm. ebatındaki kapaklardan alınmıştır. Numune alma kapakları Şekil 4.9'de gösterilmiştir.

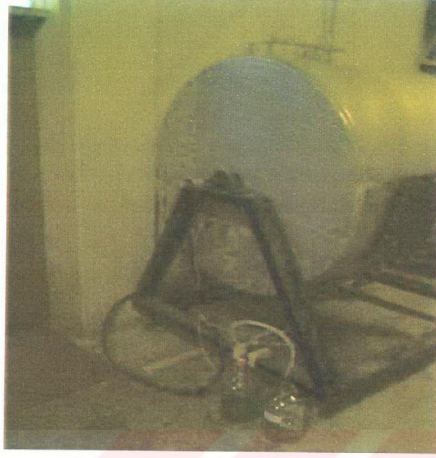
Çıkış havasında O_2 ve CO_2 gazının Orsad cihazıyla ölçülmesi için gerekli düzenek kurulmuş ancak çalışma sırasında cihazda meydana gelen aksaklık nedeniyle ölçüm yapılamamıştır. Çıkış havasındaki NH_3 gazını tutabilmek için de düzenek kurulmuştur (Şekil 4.10). Önce reaktörden çıkan sıcak havanın bir şişede yoğunlaşması sağlanmış, daha sonra bu şişeden çıkan hava içinde 0,1N H_2SO_4 bulunan başka bir şişeye verilmiştir. Ancak gaz debisinin büyük olması nedeniyle çıkış gazı sağlıklı bir şekilde tutulamamıştır.



Şekil 4.8 Karıştırma ekipmanı



Şekil 4.9 Numune alma kapakları



Şekil 4.10 NH_3 gazı tutma sistemi

4.3 Çalışma Planı

İki ayrı seri şeklinde yürütülen çalışmalarda her bir reaktöre çamurla birlikte farklı katkı/gözenek malzemeleri konmuştur. İlk seride aktif kompostlaştırma süresi boyunca haftada bir ve olgunlaşma süreci sonunda, ikinci seri çalışmada aktif kompostlaştırma periyodunda üç günde bir ve olgunlaşma süreci sonunda numune alınmıştır.

4.3.1 Yapılan analizler ve analiz yöntemleri

Bu çalışma süresince yapılan analizler ve analiz yöntemleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Deneysel çalışmada yapılan analizler ve analiz yöntemleri

Parametre	Analiz Yöntemi	Kaynak
Su muhtevası	103°C’de 2 saat	SSSA (1993)
pH	pH metre, 1:5 (w:w)	SSSA (1993)
Organik Madde	550°C’de 2 saat	SSSA (1993)
TKN	H_2SO_4 ile parçalama	APHA (1995)
Toplam Fosfor	HNO_3 ve HClO_4 parçalaması sonrası AAS	Kocasoy (1994)

Katı numuneler kurutulduktan sonra Retsch marka ZM 1 tipi öğütücüde öğütülmüş ve analizlere hazır hale getirilmiştir. Bazı parametrelere ait analiz metotları aşağıda özetlenmiştir.

pH: Katı numunelere 1:5 oranında distile su ilave edilmiş ve 10 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra ORION marka 520A model pH metrede okuma yapılmıştır.

Su muhtevası : Numuneler 103°C'lik etüvde 24 saat bekletildikten sonra desikatöre alınmış ve tartım yapılmıştır(SSSA, 1993).

Organik Madde : 550°C'lik fırında 2 saat yakılan numuneler desikatörde bekletildikten sonra tartım yapılmıştır(SSSA, 1993).

C/N: Reaktöre konan substrat özelliklerini belirlemek amacıyla C/N oranı analizi TÜBİTAK MAM tarafından elementel analiz yoluyla gerçekleştirilmiştir.

Toplam Fosfor(TP): HNO₃ ve HClO₄ asit parçalaması sonrası pH nötralizasyonu yapılmış ve kalay klorür metodu ile kolorimetrik olarak tayin edilmiştir. Oluşan mavi renk 690 nm'de Pharmacia LKB Novaspec II spektrofotometre ile okunmuştur.

Toplam Kjeldahl Azotu(TKN): Makro-Kjeldahl yöntemi ile tespit edilmiştir. Numunede bulunan NH₄⁺ ile NH₄⁺ haline dönüştürülen organik azot kuvvetli bazik ortamda distilasyon yapılarak borik asit içinde tutulmuştur. Daha sonra asit ile titrasyon yapılarak amonyum miktarı tayin edilmiştir.

Ağır Metaller: HNO₃ ve HClO₄ asit parçalaması sonrasında(Kocasoy, 1994) atomik absorpsiyon UNICAM 929/1011 tipi spektrofotometre ile tayin edilmiştir.

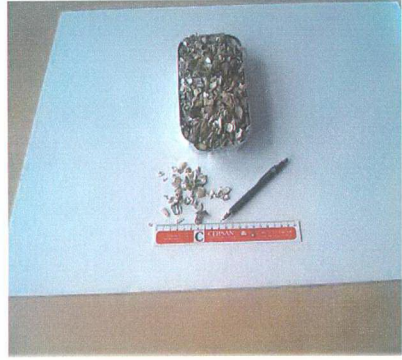
Salmonella bakterisi : Numuneler Tween 80 çözeltisi ile karıştırılıp homojen hale getirildikten sonra seçici zenginleştirme işlemi için içinde Tetrathionate Broth besiyeri bulunan tüplere ekilmiş, daha sonra petri kutularındaki agarlara ekim yapılmıştır. Sonuçlar EMS olarak elde edilmiştir.

4.4 Birinci ve İkinci Seri Çalışma

Birinci seri çalışmada kek halindeki çamura ilave olarak 1.reaktörde Düzce'den getirilen fındık kabukları, 2.reaktörde yerfıstığı kabukları, 3.reaktörde ise saman karıştırılmıştır (Şekil 4.11-4.12-4.13).



Şekil 4.11 Fındık kabukları



Şekil 4.12 Fıstık kabukları



Şekil 4.13 Saman

İkinci seri çalışmada, ilk seride katkı malzemesi olarak ilave edildiğinde en iyi sonuçları veren fındık kabukları ve fıstık kabuklarına ek olarak gözenek malzemesi ilave edilmiştir. Gözenek malzemesi olarak plastik malzemeden yapılmış 10 cm. uzunluğunda boru parçaları kullanılmıştır.

Reaktörlerde kullanılan atık ve katkı malzemelerinin özelliklerini belirlemek üzere herbir substrat için yapılan deney sonuçları Tablo 4.2'de belirtilmiştir. Her iki seri çalışmada da reaktörlere konan substrat miktarları sabit tutulmuştur.

Elde edilen deney sonuçlarına göre reaktörlere konması gereken substrat miktarları belirlenmiştir ve bu değerler Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Reaktörlerde kullanılan substratların özellikleri

Parametre	Çamur		Fındık kabuğu	Fıstık kabuğu	Saman
	1.seri	2.seri			
Su Muht. %	72,84	73,84	13,635	12	10,1
Organik madde, %	56	44,9	98,65	96,475	95,65
C, %	23,04	21,2	51,92	47,88	41,93
N, %	3,47	4,21	0,0001	0,78	0,0001
C/N	6,63	4,98	519200	61,38	419300
d, kg/m ³	1000	1000	285	120	40
TP, mg/kg kuru madde	9695	1958	109		
TKN, mg/kg kuru madde	25203	35912	6866	9234	4974
pH	6,64	6,43	6,30	5,81	8,24
Ni, mg/kg kuru madde	42,75	59	< 25	< 25	< 25
Zn, mg/kg kuru madde	391	340	12,25	22,85	19,2
Cd, mg/kg kuru madde	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Cr, mg/kg kuru madde	156	90	< 25	< 25	< 25
Cu, mg/kg kuru madde	550	440	12,5	16,5	13,75
Pb, mg/kg kuru madde	63,2	48	16,5	< 25	< 25

Tablo 4.3 Reaktörlere konan substrat miktarları

R1	Çamur,kg	Fındık kabuğu,kg	Karışımın S.M., %	Karışımın C/N oranı
	300	135	54,46	28,05
R2	Çamur,kg	Fıstık kabuğu,kg	Karışımın S.M., %	Karışımın C/N oranı
	160	125	53,64	20,39
R3	Çamur,kg	Saman,kg	Karışımın S.M., %	Karışımın C/N oranı
	100	26	59,89	17

Karışımın su muhtevasının hesaplanmasında Denklem 4.1'den, C/N oranının belirlenmesinde ise Denklem 4.2'den yararlanılmıştır.

$$S.M_{\text{kararı}} = \frac{(m_{\text{çamur}} * SM_{\text{çamur}}) + (m_{\text{katkı}} * SM_{\text{katkı}})}{(m_{\text{çamur}} + m_{\text{katkı}})} \quad (5.1)$$

$$C/N_{\text{kararı}} = \frac{\frac{m_{\text{çamur}} * C_{\text{çamur}} * (100 - SM_{\text{çamur}})}{m_{\text{çamur}} * N_{\text{çamur}} * (100 - SM_{\text{çamur}})} + \frac{m_{\text{katkı}} * C_{\text{katkı}} * (100 - SM_{\text{katkı}})}{m_{\text{katkı}} * N_{\text{katkı}} * (100 - SM_{\text{katkı}})}}{(5.2)}$$

4.5 Birinci ve İkinci Seri Çalışmanın Sonuçları

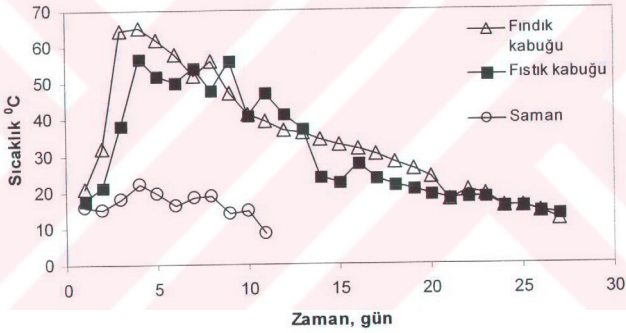
Bu bölümde olgunlaşma süresi dahil 70 günlük deneysel çalışma periyodu süresince izlenen parametreler ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

4.5.1 Sıcaklık

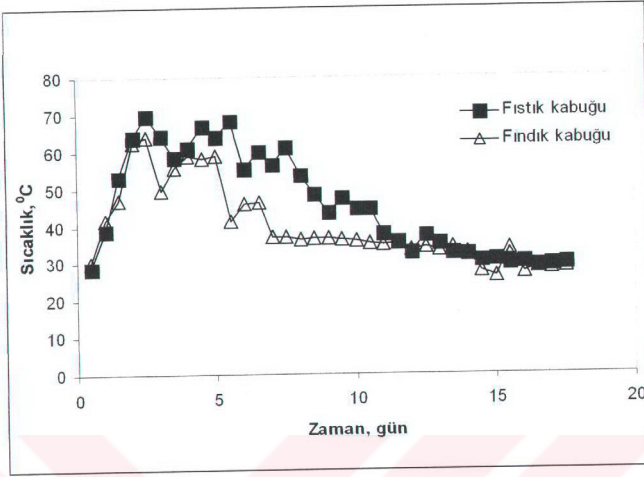
Aerobik kompostlaştırma prosesinin en önemli parametrelerinden biri olan sıcaklık bu çalışmada her gün 10 dakika aralıklarla on-line olarak ölçülmüş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Termometreler reaktörlerin merkezi doğrultusunda açılan bir boruya yerleştirilmiştir. Kompostlaştırma prosesinin 2. gününden itibaren sıcaklıklar 50°C'nin üzerine çıkmıştır. İlk 10 gün içinde biyolojik ayrışma hızına bağlı olarak sıcaklık hızla yükselmiştir. Birinci seri çalışmada gözlenen maksimum sıcaklık değeri 1.reaktörde 71°C olup bu sıcaklığa üç gün içinde, 2.reaktörde ise 63°C 'ye dört gün içinde ulaşılmıştır. Sıcaklıktaki artışın önemli nedenlerinden biri de karıştırma sonucunda katı partiküllerin parçalanarak mikrobiyal faaliyetlerin gerçekleşeceği yüzey alanının artmasıdır. 1.reaktörde en yüksek sıcaklık değerlerinin gözlenmesi fındık kabuğunun geometrik şekli gereği iyi bir gözenek malzemesi olmasından ve boşluklar yaratarak havanın tüm kütleye nüfuz etmesini sağlaması ile açıklanabilir. 3.reaktörde sıcaklığın yeteri kadar yükselmediği gözlenmiştir. Bunun nedeni samanın dane boyutunun büyük olması nedeniyle çamurla yeteri kadar karışmamış olmasıdır. İkinci seri çalışmada fıstık kabuğu ve gözenek malzemesi bulunan reaktördeki sıcaklık değerlerinin yalnız fıstık kabuğu kullanılan çalışmaya kıyasla daha yüksek değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Bunun nedeni plastik boru parçalarının boşluk hacmini artırarak havanın kütleye daha iyi nüfuz etmesini sağlamasıdır. Fındık kabuğu ve gözenek malzemesi kullanılan reaktörde ise sıcaklık değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Bu durum fındık kabuğunun dane boyutunun yeteri kadar büyük olması nedeniyle yeterli boşluk hacmini oluşturması ile açıklanabilir.

İşletme koşullarını aynı tutabilmek için bütün reaktörler günde iki kez 10'ar dakika karıştırılmıştır. Prosesin sonlarına doğru kolay ayrışabilir organik maddeler azaldığından sıcaklıklar düşmeye başlamıştır. Reaktör sistemlerinin en büyük avantajlarından biri olan aktif kompostlaştırma periyodunun kısa sürmesi bu çalışmada da gerçekleşmiş ve 15-20 gün içinde sıcaklıkların ortam sıcaklığına kadar düştüğü gözlenmiştir. Daha sonra olgunlaşma evresi için reaktörler boşaltılmış ve açık havada 50 gün bekletilmiştir. Reaktör sistemlerinde kompostlaştırma proseslerinde patojen gideriminin sağlanabilmesi için en az 3 gün minimum 55°C değerinin sağlanması istenmektedir. Her iki reaktörde de bu değerler sağlanmıştır. Reaktörlerdeki sıcaklık profili Şekil 4.14'de ve Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



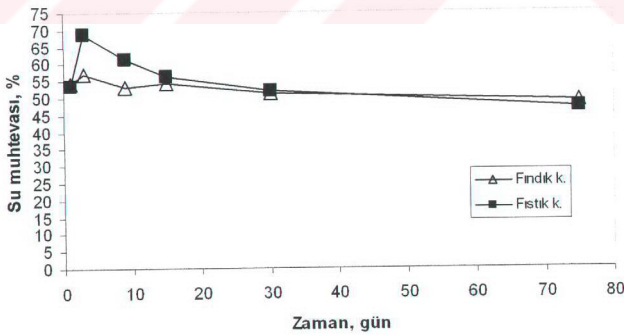
Şekil 4.14 1.seri çalışmada reaktörlerdeki sıcaklığın zamanla değişimi



Şekil 4.15 2.seri çalışmada reaktörlerdeki sıcaklığın zamanla değişimi

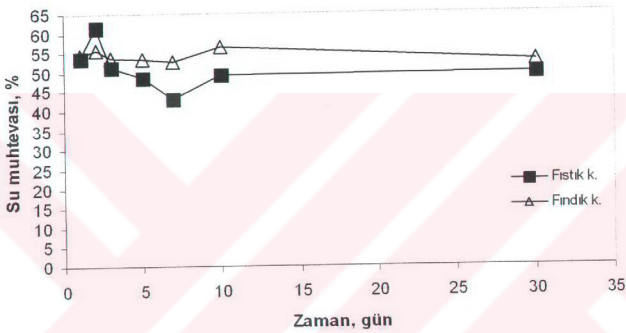
4.5.2 Su muhtevası

Her iki seri çalışmada da 1. ve 2.reaktörlerde karışım oranları başlangıç su muhtevası % 55-60 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışma boyunca su ilavesi yapılmamıştır. Şekil 4.16'da ve Şekil 4.17'da proses boyunca su muhtevasında meydana gelen değişim gösterilmiştir.



Şekil 4.16 1.seri çalışmada su muhtevasının zamanla değişimi

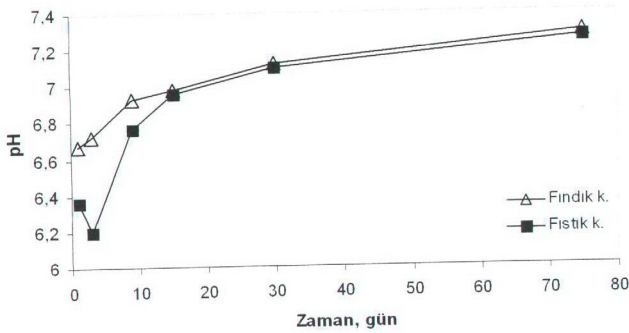
İlk günlerde 2. reaktörde su muhtevasının artmış olmasının nedeni mikrobiyal faaliyetin hızlı olması nedeniyle reaksiyon sonucu su açığa çıkan su miktarının fazla olmasıdır ancak daha sonra oluşan bu su sıcaklığın da artması ile birlikte buharlaşmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi proses süresince reaktörlerdeki su muhtevasında önemli bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Buharlaşma yoluyla ortamdaki organik maddelerin ayrışması ile meydana gelen kütle azalması su kaybının su muhtevasındaki azalmaya yansımaları engellemiştir.



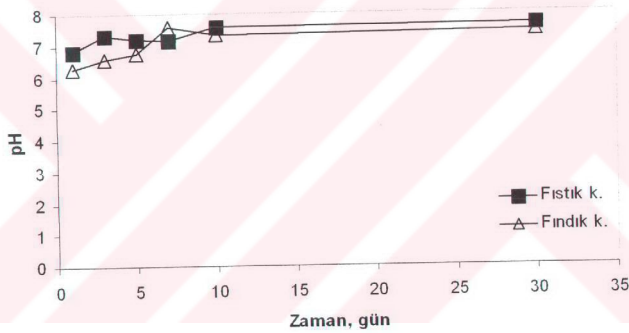
Şekil 4.17 2.seri çalışmada su muhtevasının zamanla değişimi

5.4.3 pH

Kompostlaştırma süresince reaktörlerdeki pH'nın zamana göre değişimi Şekil 5.17'de ve Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Arıtma tesisi çamurunun pH değerinin nispeten düşük olması nedeniyle 1 ve 2. reaktörlerdeki karışımların başlangıç pH değerleri birinci seri çalışmada sırasıyla 6.67 ve 6.36, ikinci seri çalışmada ise 6.81 ve 6.28 olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın da artmasıyla birlikte pH değerleri artma eğiliminde bulunmuş ve proses sonunda her iki reaktörde de nötr değerlere ulaşılmıştır.



Şekil 4.18 1.seri çalışmada reaktörlerdeki pH'nın zamanla değişimi

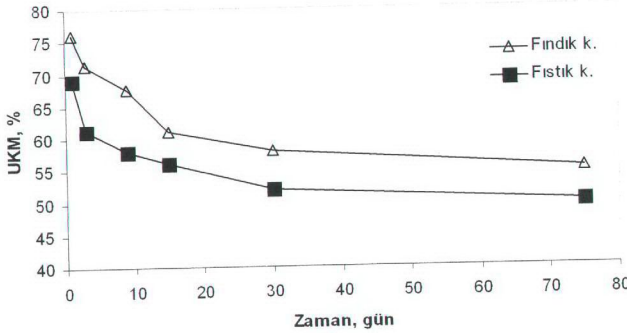


Şekil 4.19 2.seri çalışmada reaktörlerdeki pH'nın zamanla değişimi

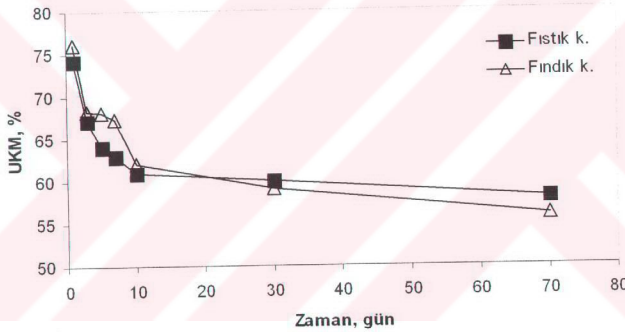
4.5.4 Organik madde

Kompostlaştırma prosesi boyunca organik maddenin ayrışmasını takip edebilmek için izlenen organik madde içeriğinin zamanla değişimi Şekil 4.20'de ve Şekil 4.21'de verilmiştir.

Organik madde muhtevası başlangıçta 1.reaktörde %76, 2.reaktörde %69 iken zamanla azalmış ve 30 gün sonunda 1.reaktörde %58, 2.reaktörde %52 değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 4.20 1. seri çalışmada reaktörlerdeki organik maddenin zamanla değişimi



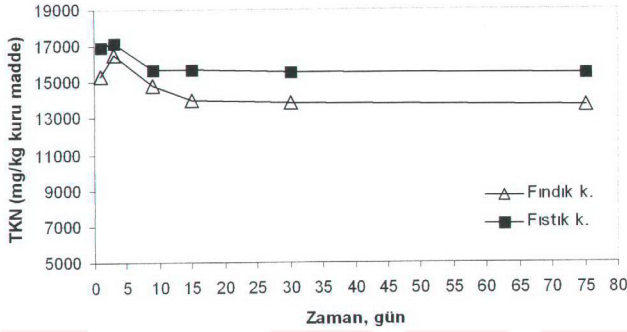
Şekil 4.21 2. seri çalışmada reaktörlerdeki organik maddenin zamanla değişimi

4.5.5 TKN değişimi

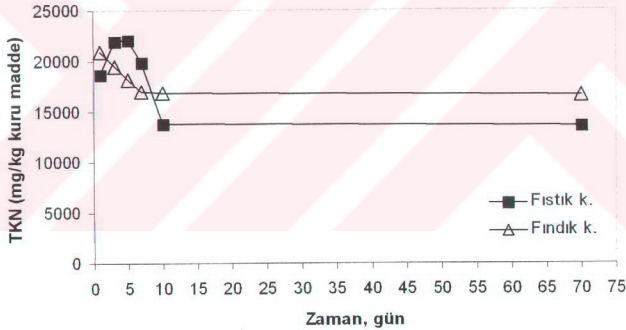
Kompostlaştırma süresince TKN değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te görülmektedir.

Toplam azot genellikle proteolytic bakterilerin faaliyetlerinden etkilenen bir parametredir ve sıcaklık artışına bağlı olarak amonyak formunda serbest hale geçer (Wagner et al., 1990). Şekillerden görüldüğü gibi prosesin ilk günlerinde toplam azot artış göstermiştir.

Bunun nedeni reaksiyon sonucu CO_2 açığa çıkmasıyla organik maddedeki karbonun azalması ve buna ilave olarak atmosferdeki azotu bağlayan bakterilerin faaliyetidir



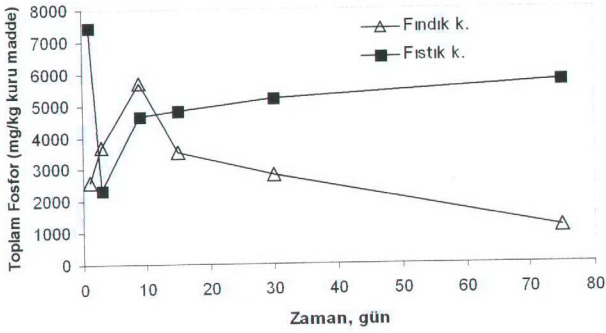
Şekil 4.22 1. seri çalışmada reaktörlerdeki TKN'nin zamanla değişimi



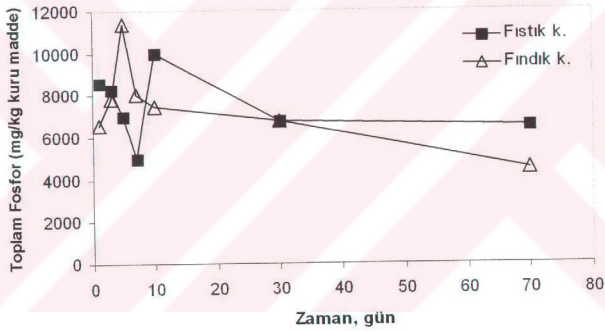
Şekil 4.23 2. seri çalışmada reaktörlerdeki TKN'nin zamanla değişimi

4.5.6 TP Değişimi

Ortamdaki besi maddesi durumunu belirlemek amacıyla toplam fosfor analizleri yapılmıştır (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25). Şekillerden ayırışma süresince organik karbonun sitemi terketmesinden kaynaklanan kütle kaybı sebebiyle fosfor konsantrasyonunda bir artış olduğu görülmektedir.



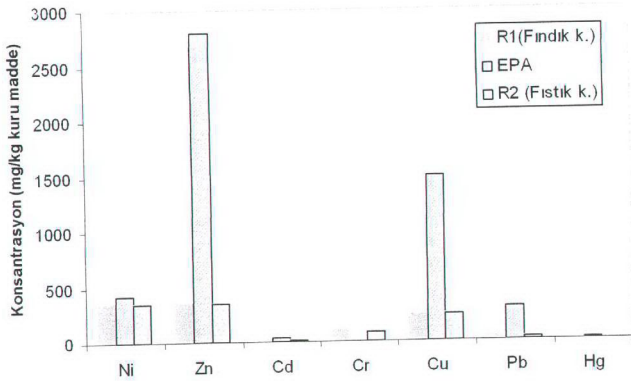
Şekil 4.24 1. seri çalışmada reaktörlerdeki Toplam Fosfor'un zamanla değişimi



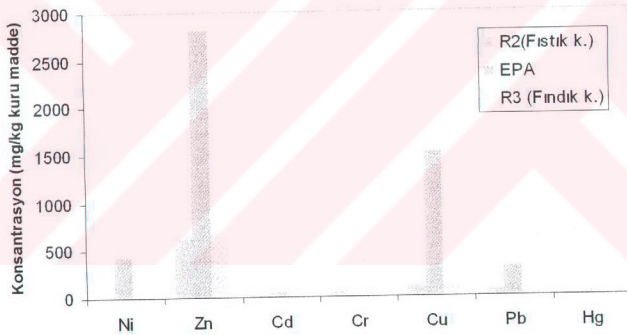
Şekil 4.25 2. seri çalışmada reaktörlerdeki Toplam Fosfor'un zamanla değişimi

4.5.7 Ağır metaller

Elde edilen kompostun toprağa uygulanabilirliğini kontrol etmek bakımından ürünlerde ağır metal tayini yapılmıştır. Her iki seri çalışmada da gerek Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde, gerek EPA 40 CFR Part 503 'te belirtilen limit değerlerin aşılmadığı görülmüştür (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27).



Şekil 4.26 1.seri çalışmadan elde edilen ürünlerindeki ağır metal konsantrasyonları



Şekil 4.27 2.seri çalışmadan elde edilen ürünlerindeki ağır metal konsantrasyonları

4.5.8 Salmonella

Ülkemizde kompostun tarımda kullanılabilmesi için taşınması gereken özelliklerin belirtildiği Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde herhangi bir mikroorganizma grubu için spesifik sınırlayıcı değerler bulunmamaktadır. Buna karşın EPA 503 CFR 40'da kompostun patojen içeriği ile ilgili olarak *Salmonella* sp.bakterisi için < 3 EMS/ 4 g kuru madde kısıtlaması getirilmiştir.

Yine EPA 503 CFR 40'da patojen giderimini sağlamak üzere kapalı sistemlerde ve havalandırılmalı statik yığında sıcaklığın en az 3 gün 55°C ve üzerinde tutulabilmesi şartı getirilmiştir. Her iki çalışma sırasında da 55°C ve üzerindeki sıcaklıkların 3 günden fazla süreyle sağlanması sonucunda elde edilen ürünler üzerinde çoklu tüp yöntemiyle yapılan Salmonella tayininde Salmonella'ya rastlanmamıştır.

5. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada İstanbul Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde oluşan çamurların kompostlaştırılmasında farklı katkı maddelerinin kullanılmasının, elde edilen kompostun kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

İki seri halinde yürütülen çalışmaların ilk serisinde üç reaktör kullanılmış ve ana substrat olan çamura sırasıyla fındık kabuğu, yerfıstığı kabuğu ve saman karıştırılmıştır. Karışım oranları belirlenirken tüm reaktörlerdeki başlangıç su muhtevasının % 50-60 , C/N oranının ise 20:1-30:1 değerleri arasında kalacak şekilde ayarlanmıştır.

Kullanılan samanın dane boyutunun oldukça büyük olması nedeniyle çamurla yeteri kadar karışmamış, dolayısıyla yeterli C kaynağı bulamayan mikroorganizmaların çoğalması engellenmiş ve sıcaklık artışı gerçekleşmemiştir. Ayrıca daha sonra yapılan incelemelerde temin edilen samanın gerçekte kurutulmuş ot olduğu anlaşılmıştır. Literatürde ve pratikte kullanımına sık rastlanan samanla kompostlaştırma prosesinin başarıyla gerçekleşmesi için öncelikle samanın bir parçalayıcıda parçalanması ve daha sonra çamurla karıştırılması gerekmektedir.

Katkı malzemesi olarak fındık kabuğu kullanılan reaktörde sıcaklık üç gün içinde 71°C değerine ulaşmış ve patojen giderimi sağlayacak değerler sağlanmıştır. Fındık kabuğunun dane boyutunun büyük olması kütlenin homojen bir şekilde havalanmasını sağlamıştır. Ancak proses sonunda elde edilen kompostun su muhtevası % 50 civarlarında olmasına rağmen çok ıslak bir görüntü meydana gelmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda fındık kabuğunda % 27 oranında yağ bulunduğu ve ürünlerdeki ıslaklığın muhtemel sebebinin yağ içeriği olduğu anlaşılmıştır(düşünülmektedir). Bu görüntüyü gidermek için havalandırmanın yukarıdan aşağıya yapılarak oluşan suyun kolay bir şekilde drene edilerek kolayca uzaklaştırılması veya bu süreçte hava beslemesinin daha sık yapılması ve/veya hava debisinin artırılması çözüm olarak kullanılabilir.

Yerfıstığı kabuğunun katkı malzemesi olarak kullanıldığı reaktörde sıcaklık dört gün içinde 63°C değerine ulaşmış ve proses boyunca patojen giderimi sağlayacak değerler yeterli süreyle sağlanmıştır. Elde edilen ürün rengi ve görüntüsü bakımından kompost özelliklerini taşımaktadır.

Kompostlaştırma prosesi için optimum kabul edilen C/N oranı 30:1 olmasına karşın bu karışımda kullanılan substratın arıtma tesisi çamuru olması ve katkı malzemesi olan fıstık kabuğunun da yapısında azot mevcut olması nedeniyle ancak 20:1 olarak ayarlanabilmiştir. Düşük sayılabilecek bir C/N oranında başlayan proses sırasında organik azotun parçalanmasıyla açığa çıkan amonyak sıcaklık ve pH artışına paralel olarak gaz formuna geçerek atığı terketmiştir. Reaktörlerin boşaltılması sırasında keskin bir NH₃ kokusu duyulmuştur. Bu durumu önlemek ve kompostun nütrient içeriğini muhafaza edebilmek için kullanılan katkı malzemesine ilave olarak MgNH₄PO₄.6H₂O(MAP) veya zeolit kullanılması tavsiye edilebilir.

İkinci seri çalışmalarda ilk seri sonunda en iyi sonuçların elde edildiği katkı malzemelerine gözenek malzemesi olarak plastik boru parçaları ilave edilmiş ve bu malzemesinin proses üzerindeki etkileri incelenmiştir. Fındık kabuğu bulunan reaktörde sıcaklıklarda ilk seriye kıyasla önemli bir değişim meydana gelmemiştir, bunun nedeni fındık kabuğunun boyutlarının büyük olması nedeniyle zaten gerekli boşluk hacmini yaratmasıdır, dolayısıyla ayrıca bir gözenek malzemesi kullanmanın gereği yoktur. Fıstık kabuğu bulunan reaktörde ise sıcaklık değerleri ilk seriye kıyasla önemli ölçüde artmıştır. Bu durum fıstık kabuklarının boyutlarının küçük olması nedeniyle yeterli boşluğun oluşmadığı, ilave edilen gözenek malzemesinin boşlukları artırarak daha iyi havalanmayı sağlamasıyla açıklanabilir. Her iki seri çalışmadan elde edilen ürünler ağır metaller ve Salmonella bakterisi bakımından standartları sağlamıştır.

Ülkemizde diğer tarımsal atıklarda olduğu gibi fındık ve fıstık kabukları da genellikle yakıt olarak kullanılmaktadır. Tarım yapılan topraklarımızın büyük bir kısmı organik madde bakımından fakirdir. Diğer tarımsal atıkların, fındık ve fıstık kabuğunun kompost yapılarak tekrar toprağa verilmesi hem toprağı organik madde bakımından zenginleştirecektir hem de tarım verimini arttıracaktır.

Fındık ve fıstık kabuklarının oluştuğı mevsimde ise evsel katı atıklarda ki organik madde ve su muhtevası yüksektir. Bu dönemde oluşan evsel katı atıklar ile kabuklar

birlikte kompostlaştırılabilir. Bu kabukların atıksu arıtma tesisi çamurları ile evsel katı atıkların kompostlaştırılmasında çok iyi bir katkı/gözenek malzemesi olacağı belirlenmiştir.

Fındık ve fıstık kabukları küçük köy veya çiftlik ölçekli tesisler ile merkezi tesislerde kompostlaştırılabilir. Merkezi tesisler için havalandırmalı-karıştırmalı yığın uygundur. Çiftlik veya köy ölçeğinde kompostlaştırma için ise karıştırmalı yığın metodu uygundur. Kabukların çiftçiler tarafından kompostlaştırılması düşünülürse mutlaka hayvansal atıklar ve/veya yeşil atıklarla karıştırılması gereklidir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çamurlarının bertarafı için havalandırmalı – karıştırılmalı kompostlaştırma prosesi önerilmektedir. Tesisin çamur sisteminin tam olarak çalışması halinde bir günde katı madde içeriği % 25 olan, yaklaşık 85 m³ çamur oluşmaktadır. Bu çamurun havalandırmalı-karıştırılmalı yığın metodu ile kompost yapılması için boyutlandırma kriterleri şunlardır:

Çamura ilave etmek üzere gözenek-katkı malzemesi olarak Belediyeye ait park-bahçelerde oluşan budama artıkları ile tesis civarındaki tarımsal alanlardan elde edilen zirai atıklar kullanılacaktır. Katkı-gözenek malzemesi hacmi günde oluşan çamur hacminin iki misli olacaktır.

Hızlı ayrışma süresinin 3 hafta olması yeterlidir. Bu sürede kesit alanı 2,4 m² olan ve traktör tarafından çekilen karıştırıcılar kullanılacaktır. Yığınların altına havalandırma için HDPE borular yerleştirilecektir. Hızlı ayrışma periyodu için toplam 750 m yığın boyu gereklidir. Yığın genişliği 3 m, yüksekliği 1,3 m olacaktır. Gerekli boyu sağlamak için 8 sıra yığın yapılacaktır. Hızlı ayrışma için gerekli alan 40*100 m² dir. Olgunlaştırma işlemi sadece havalandırma ile yapılacaktır. Bunun için gerekli alan ise 15*15 m² boyutunda olacaktır. Planlanan tesis için toplam 5000 m² arazi gereklidir ve ihtiyaç duyulan arazi tesis alanında mevcuttur.

İlk yatırım için gerekli ekipmanlar ve maliyet:

1 adet kepçeli traktör	İSKİ de mevcuttur.
1 adet ağaç parçalama makinası.....	120.000.000.000.-TL
1 adet karıştırma makinası.....	20.000.000.000.-TL
1500 m HDPE boru.....	50.000.000.000.-TL
2 adet blower.....	50.000.000.000.-TL
60 adet HDPE fittings malzemesi.....	5.000.000.000.-TL
İşçilik.....	5.000.000.000.-TL

Toplam : ...250.000.000.000 -TL

5 yılda amortisman düşünülürse yıllık 50 milyar TL.

İşletme gideri

Mazot gideri : 1 günde 50 l mazot =60.000.000.TL., yılda.....22.000.000.000 TL
Elektrik gideri: 1 günde 150.000.000 TL, yılda55.000.000.000.TL
Bakım gideri:.....20.000.000.000.TL
İşçilik:36 .000.000.000 TL

Toplam: 133 000.000.000.TL

Yıllık gider(Toplam) : 183.000.000.000 TL

Gelir :

Bir günde 20 ton kompost elde edilmesi öngörülmektedir.(yıllık 7500 ton).
Ülkemizde değişik organik atıklardan yapılan kompost 25 kg lık naylon torbalarda satılmaktadır. Bunların ton fiyatı 125-550 milyon lira arasındadır. Satış fiyatının 50 milyon lira olarak hesaplanması durumunda dahi yıllık yaklaşık 375 milyar TL gelir elde edilebilmektedir.

Buna göre **yıllık net gelir:.....180.000.000.000 TL**

Mevcut durumda çamurun depo alanlarına gönderilmesi için ücret ödenmektedir. Oysa kompostlaştırma prosesi ile hem oluşan çamur miktarı miktarını azaltmak hem de üründen gelir elde etmek mümkündür. Bu sebeple Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çamurlarının kompostlaştırılması çok ekonomik bir bertaraf metodu olacaktır.

KAYNAKLAR

- Bach, P.D., Shoda, M., and Kubota, H., 1984. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continously mixed isothermal reactor, *J.Ferment.Technol.* **62 (3)**,285-292.
- Bertoldi, M.D., Vallini, G., Pera, A., 1982. Comparison of three windrow compost systems, *BioCycle.* **23 2)**, 5-50
- Bertoldi, M., Vallini, G., and Pera A., 1983. The biology of composting, *Waste Manage. Res.*, **1**, 157-176.
- Bishop, P. L. and C. Godfrey, 1983. Nitrogen transformations during sludge composting, *Biocycle.* **24 (4)**, 34-39.
- Borat, M., 1997. Ders Notları,İstanbul Üniversitesi, İstanbul
- Caballero,R., 1984. Experience at a windrow composting facility : *Los Angeles County Site, Technology Transfer, U.S. EPA*, Municipal Environ. Res.: Cincinnati, OH.
- Coppola,S., S. Dumontet, and P. Marino. 1983. Composting raw sewage sludge in mixture with organic or inert bulking agents, *Proc. of the Int'l. Conf. on Composting of Solid Wastes and Shurries. The Univ. of Leeds, England*, pp 125-147.
- EPA, 1995. A Guide to the Biosolids Risk Assesments for the EPA Part 40CFR 503 Rule, *U.S. Environmental Prorection Agency(USEPA)*, Office of Wastewater Management, **EPA832-B-93-005**.
- Epstein, E. 1997. The Science of Composting, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Finstein, M.S., and Morris, M.I., 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. In : The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend, (Liang, C., Das, K.C., McClendon, R.W.), 2002, *Bioresource Techonology*, pp: 132.
- Finstein, M.S., Miller, F.C., MacGregor, S.T. and Psarianos, K.M., 1985. The Rutgers Strategy for Composting : Process Design and Control, Project Summary, *U.S. Environmental Prorection Agency(USEPA)*, Water Engineering Research Laboratory, Cincinnati, OH

- Finstein, M.S., Miller, F.C., Strom, P.F.,** 1986, Waste treatment composting as a controlled system, *Biotechnology*, **8**, 396-443.
- Flaig, W., Beutelspache H. R, and Rietz E.,** 1975. Chemical composition and physical properties of humic substances, pp. 4-211. In *J.E. Gieseking (ed). Soil Components*. Volume 1 : Organic Components. Springer-Verlag, New York.
- Gascho, G. F. and F. J. Stevenson,** 1968. An improved method for extracting organic matter, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 117-118. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp:102, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Glouke, C.G.,** 1977. Biological reclamation of solid waste, *Emmaus*: Rodale Press.
- Graves, R.E. and Hattemer, G.M.,** 2000. Composting, Chapter2, *Environmental Engineering National Engineering Handbook*, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Haug, R.T.,** 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, London **Higuchi, T.,** 1982. Degradation of lignin: Biochemistry and potential application, *Experientia*, **38**, 159-166.
- Jeris, J.S., Regan, R.W.,** 1973. Controlling environmental parameters for optimal composting, *Part II. Compost Sci.* **14 (1)**, 10-15. In: *The Practical Handbook of Compost Engineering* (Haug, R.T.), pp.213, Lewis Publishers, London.
- Kaibuchi, Y.,** 1961. Research on composting of a city refuse and night soil, *J. Sanitary Eng. Div., ASCE., SA6.,* **87**: 101-139. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp.25, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Kocasoy, G.,** 1994. Atıksu Arıtma Çamuru ve Katı Atık Kompost Örneklerinin Analiz Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Krogmann, U.,** 1994. Kompostierung-Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung, *Hamburger Berichte* **7**, Economica Verlag, Bonn. (In German.) In: *Sludge into Biosolids: Processing, Disposal and Utilization* (Spinosa, L. And Vesilind, P.A.), pp.265, IWA Publishing, London.
- Konnova, M.M.,** 1975. Humus of virgin and cultivated soils, pp. 475-526. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp.101, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Manios, V.I., Tsikalas, P.E., Siminis, H.I., Verdonck, O.,** 1987. Phytotoxicity of olive tree leaf compost, pp. 296-308. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp.32, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.

- MacCarthy, P., Malcolm, R.L., Clapp, C.E., Bloom, P.R.,** 1990. An introduction to soil humic substances, pp: 1-12. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp:101, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- MacGregor, S.T., Miller, F.C., Psarianos, K.M., Finstein, M.S.,** 1981. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature, *Appl. Environ. Microbiol.* **41**, 1321-1330.
- Mc Gaughey, P.H. and Gotaas, H.G.,** 1976. Stabilization of municipal refuse by composting, *Trans.Am.Soc.Civil Eng.*, paper no: 2767.
- Mc Kinley, V.L., Vestal J.R., Eralp A.E.,** 1985. Microbial activity in composting, *Biocycle*, **26 (6)**: 39-43
- Metcalf & Eddy,** 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y, USA.
- Miller, F.C.,** 1992. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors., *Bioresource Technology*, pp. 132.
- Mosher, D., Anderson, R.K.,** 1977. Composting sewage sludge by high-rate suction aeration techniques- the process as conducted at Bangor, *Bioresource Technology*, pp. 132.
- Namkoong, W., Hwang, E.Y.,** 1997. Operational parameters for composting night. *Compost Sci.*, **5 (4)**, 46-51.
- NEH,** 2000. Composting, Natural Resources Conservation Service, Fort Worth, Texas.
- Palmisano, A.C. and Barlaz, M.A.,** 1996. Microbiology of Solid Waste, CRC Press, New York.
- Parton, W.J., Schiemel, C.V., Cole, C.V., and Ojima, D.S.,** 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp:99, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Schulze, K.L.,** 1962. Continuous thermophilic composting, *Appl. Microbiol.*, **10**:108-122. In: *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend*, (Liang, C., Das, K.C., McClendon, R.W.), 2002, *Bioresource Technology*, pp. 132.
- Schultz, K.L.,** 1960. Rate of oxygen consumption and respiratory quotients during aerobic decomposition of a synthetic garbage, *Compost Sci.*, **1**:36-40. In: *The Practical Handbook of Compost Engineering* (Haug, R.T.), pp.23, Lewis Publishers, London.

- Senn, C.L.**, 1971. *Dairy Waste Management Project- Final Report*, University of California Agricultural Extension Service, Public Health Foundation of Los Angeles County. In: *The Practical Handbook of Compost Engineering* (Haug, R.T.), pp.206, Lewis Publishers, London.
- Stentiford, E.L.**, 1993. Diversity of composting systems , in H. A. J. Hoitink and H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Pub., Worthington, OH, 95-110.
- SSSA**, 1996. *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods, Part3*, Eds. Sparks, D.L., American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.
- Stevenson, F.J.**, 1994. Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions, 2nd edit., John Wiley&Sons, Inc., NewYork, In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp.102, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Strom, P.F., Morris, M.L., and Finstein, M.S.**, 1980. Leaf composting through appropriate, low-level technology, *Comp.Sci./Land Util.*, **21(6)**, 44-48.
- Tansey, M.R. and Brock, T.D.**, 1978. Micobial life at high temperatures, *Microbial Life in Extreme Environments*, 160-216.
- Tchobanoglus, G., Theisen, H., Vigil, S.**, 1993. *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues*, Mc Graw-Hill, Inc., NewYork.
- Thompson, J.**, 1984. Experiences at static pile composting operations, Technology Transfer, U.S. EPA, *Municipal Environ. Res.*, Cincinnati, OH. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp.23, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y., Hodgkiss, I.J.**, 1996. Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents, *Bioresour. Technol.*, **55**, 201-206.
- Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği**, 2001.
- Wei, Y.S., Fan, Y.B., Wang, M.J., and Wang, J.S.**, 2000. Composting and compost application in China, Resources, Conservation and Recycling, **30**, 4, 277-300.
- Witter, E. And Lopez-Real, J.M.**, 1987. Monitoring the composting process using parameters for compost stability, pp. 351-358. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp.32, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.
- Wilson, G.B., Thompson, J.L.**, 1976. Dewatering of sludge composting piles. In: *The Science of Composting* (Epstein, E.) pp.34, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Basel.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İstanbul'da doğdum. 1994 yılında İstanbul Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi'nden mezun olup, 1995 yılında İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine hak kazandım. 2000 yılında İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü'nden mezun olup aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri ve Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başladım. 2002 yılından beri İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü bünyesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.