



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KATI ATIKLARIN BIODRYING (BİYO-KURUTMA)
YÖNTEMİYLE HACİMLERİNİN AZALTILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şevket TULUN

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Melayib BİLGİN**

AKSARAY, 2013



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KATI ATIKLARIN BIODRYING (BİYO-KURUTMA)
YÖNTEMİYLE HACİMLERİNİN AZALTILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şevket TULUN

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Melayib BİLGİN**

AKSARAY, 2013

ÖNSÖZ

Hızlı kentleşme ve yeni neslin ihtiyaçlarının artması ile birlikte her ülkede katı atık üretim miktarı artmaktadır. Katı atıkların ekonomik bir şekilde uzaklaştırılması bugün, geçmişe nazaran daha önemli bir durum haline gelmiştir. Evlerde oluşan katı atıkların toplanması uzaklaştırılması için belediyeler yüksek meblağlar harcamaktadırlar. Katı atıkların toplanması ve depolanmasının maliyeti toplam maliyetin ortalama olarak %80' ini teşkil etmektedir.

Katı atık bertaraf yöntemleri; düzenli depolama, yakma, kompostlama, gazlaştırma ve anaerobik çürütmedir. Düzenli depolama ile atıkların mühendislik esaslarına göre depolanması neticesinde depo gazı elde edilebilir ve bu gaz enerji üretiminde kullanılabilir. Yakma, atıkların kontrollü olarak ısı geri kazanımı sağlamak amacıyla yakılması buhar türbinleri ile elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Gazlaştırma, ilk aşamada piroliz içerir daha sonra yüksek sıcaklıkta düşük molekül ağırlıklı gazlar üretilir. Üretilen gazlar enerji üretimi için değerlendirilir. Anaerobik çürütme prosesinde atıkların organik kısmı oksijensiz ortamda bakteriyel aktivite ile metan ve karbondioksit dönüşür ve metan enerji elde edilmesinde kullanılabilir. Kompostlama, katı ve sıvı atıkların içindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalar ile daha basit bileşiklere, özellikle CO₂ ve H₂O'ya dönüştürülmesi işlemidir. Günümüzde en çok kullanılan bertaraf yöntemleri ise depolama metodu, yakma metodu ve kompost metodudur.

Evsel katı atıklar ön işleme ile iyileştirilerek hem hacimsel azalım sağlanması hem de enerji elde edilmesi mümkündür. Ancak evsel katı atıkların nem içeriğinin yüksek olması enerji üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Biyo-kurutma yöntemi; havalandırma ve ısı etkisi ile başta hacim ve nem azaltımı olmak üzere iyi bir ön işlem ve çözüm olarak kabul edilebilir. Bu çalışmamızda evsel katı atıklar kullanılarak önceden dizayn edilen reaktörde biyo-kurutma yöntemiyle farklı şartlar altında hacim azalımı ve proses sonunda oluşan katı atığın ısı kapasitesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda çalışmanın akademik literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma TÜBİTAK 112Y381 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezin hazırlanmasında bana yardımcı olan, emeğini hiçbir zaman esirgemeyen, kendisinden çok şey öğrendiğim, kapısını her çaldığımda bana hep güler yüzlü davranan düzeltme verirken dahi “Bunu şöyle yapsan daha iyi olur” diyen saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Melayib BİLGİN’e (Aksaray Üniversitesi) teşekkürü bir borç bilirim.

Manevi desteklerini hissettiğim başta Arş. Gör. Talip ARSU’ya (Aksaray Üniversitesi) ve Arş. Gör. Şerife ARSU’ya (Aksaray Üniversitesi), çalışma arkadaşlarımdan “Yapılacak bir şey var mı?” diye her seferinde soran Arş. Gör. İsmail ŞİMŞEK’e (Aksaray Üniversitesi), tezi yazmamda destek olan Arş. Gör. Emine BAŞTÜRK’e (Aksaray Üniversitesi), reaktörü tasarlamamda ve son deneyi yapana kadar yanımda olan Arş. Gör. Alper ALVER’e (Aksaray Üniversitesi) ve deneyimlerini benimle paylaşan Uzman Samet ÖZCAN’a (Aksaray Üniversitesi) ve Uzman Tolga BAHADIR’a (Aksaray Üniversitesi) teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında düşüncelerinden destek aldığım kıymetli dostlarım Tolga ATEŞ ve Mesut ATICI’ya,

Tüm yaşamım boyunca yanımda olan, maddi manevi hiçbir yardımını esirgemedi bana böylesine güzel bir yaşamı hediye eden ve varlıklarıyla bana güç veren aileme teşekkür ederim.

Bu tezi anneme ve babama ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

ÖNSÖZ	İ
TEŞEKKÜR	İİ
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Katı Atık Olgusu	3
1.2. Katı Atıkların Sınıflandırılması	4
1.2.1. Kentsel katı atıklar	4
1.2.1.1. Evsel atıklar	5
1.2.1.2. Ticari ve kurumsal atıklar	5
1.2.1.3. Park, bahçe ve pazar yeri atıkları	5
1.2.1.4. İnşaat, yıkım ve harfiyat atıkları	6
1.2.1.5. Arıtma tesisi atıkları	6
1.2.1.6. Tıbbi atıklar	6
1.2.2. Endüstriyel atıklar	7
1.2.3. Tarımsal ve hayvansal atıklar	7
1.2.4. Tehlikeli atıklar	7
1.3. Katı Atıkların Özellikleri	9
1.3.1. Fiziksel özellikleri	9
1.3.1.1. Katı atıkların miktar ve özellikleri	9
1.3.1.2. Katı atıkların birim hacim ağırlıkları	11
1.3.1.3. Katı atıkların nem içeriği	12
1.3.2. Kimyasal özellikleri	13
1.3.2.1. Enerji içeriği (Isıl değeri)	13
1.3.2.2. Kimyasal içeriği	14
1.4. Katı Atık Yönetimi	14
2.5. Katı Atıkların Uzaklaştırılması (Bertarafı)	16
1.5.1. Düzenli depolama	17
1.5.1.1. Alan yöntemi	22
1.5.1.2. Hendek yöntemi	22
1.5.1.2. Çukur (hücre) yöntemi	23
1.5.2. Yakma	24
1.5.3. Kompostlaştırma	25
1.5.4. Piroлиз ve gazifikasyon	26

1.5.5. Kaynakta azaltma ve geri kazanma	27
1.5.6. Biodrying (biyo-kurutma)	28
1.5.6.1. Ticari biyolojik kurutma MBA uygulamaları.....	29
1.5.6.2. Biyo-kurutmaya etki eden faktörler.....	30
1.5.6.3. Biyo-kurutmaya ile kompostlama arasındaki farklar	32
1.6. Amaç ve Kapsam	33
2. LİTERATÜR ÖZETİ	35
2.1. Biodrying (Biyolojik Kurutma) Çalışmaları	35
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	37
3.1. Numuneler ve Kullanılan Malzemeler	37
3.2. Analitik Metotlar	39
3.3. Deneysel Çalışmalar	40
3.3.1. Sürenin biyolojik kurutmaya etkisi.....	40
3.3.2. Sıcaklığın biyolojik kurutmaya etkisi.....	40
3.3.3. Havanın biyolojik kurutmaya etkisi.....	40
3.3.4. Isıl değer çalışmaları	40
3.3.5. Sızıntı suyu çalışmaları	40
4. BULGULAR.....	42
4.1. Sürenin Nem Giderimine Etkisi	42
4.2. Sıcaklığın Nem Giderimine Etkisi	47
4.3. Havanın Nem Giderimine Etkisi	50
4.4. pH Değişimleri.....	51
4.5. K/A Oranlarındaki Değişimleri.....	52
4.6. Regresyon Analizi	53
4.7. Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhane Atıkları İçin Biyolojik-Kurutma Teknolojisinin Uygulama Sonuçları.....	55
4.7.1. Sızıntı suyu karakterizasyonu	58
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	68

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KATI ATIKLARIN BIYODRYING (BİYO-KURUTMA) YÖNTEMİYLE HACİMLERİNİN AZALTIILMASI

Şevket TULUN

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Melayib BİLGİN

Hayat standartlarının yükselmesi, sanayi ve teknolojinin ilerlemesi, hızlı nüfus artışı ile yeni ambalaj malzemelerin geliştirilmesi hem insan başına günde üretilen atık miktarını hem de atıkların bileşiminin büyük ölçüde değişmesine yol açmaktadır. Günümüzde katı atıkların bertarafı genellikle üç temel yöntemle yapılmaktadır. Bu yöntemler; depolama metodu, yakma metodu ve kompost metodudur. Bu çalışmada yeni bir bertaraf yöntemi olan Biyo-kurutma (Biodrying) Metodu kullanılmıştır. Evsel katı atıkların “Biyo-kurutma” yöntemi ile (nem) su içeriklerinin azaltılmasını laboratuvar şartlarında süre, sıcaklık ve hava ihtiyacı izlenerek incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar **Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhanesi’nden** alınan örneklerle uygulanmıştır. Kurutma işlemi sonuçları nem, hacim, ağırlık azalımı ve atığın enerji kapasitesi açısından incelenmiştir

Laboratuvar şartlarında uygulanan Biyo-kurutma işlemi için en verimli sonuçlar; 13 gün sonunda, 50 °C sıcaklıkta hava verilmesi halinde gözlenmiştir. Bu şartların Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhane atıklarına uygulanması halinde %62,7 hacim, %63,33 kütle kaybı ve kurutma sonrası bir kilogram evsel atığın yakılması sonucunda 4680 kcal/kg ısı enerjisi elde edilmiştir.

2013, 80 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Atık Hacim Azaltımı, Biyo-kurutma, Katı Atık, Katı Atık Bertarafı

ABSTRACT

Master of Science Thesis

SOLID WASTE VOLUME REDUCTION BY BIODRYING (BIO-DRYING) METHOD

Şevket TULUN

T.R.

Aksaray University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Melayib BİLGİN

The increase in quality of life, the progress of industry and technology, not only the development of new packing materials with the rapid population growth cause increase of the daily personal waste production both also the change of the composition of the waste. Nowadays, solid wastes are generally disposed by three conventional methods. Those are the Landfilling Method, Incineration Method and Composting Method. In this study, a new method- biodrying method- was used. The most suitable duration, temperature conditions and air requirements for the domestic wastes prepared under laboratory conditions have been determined. The samples collected from **Aksaray University Central Cafeteria** was used in the study. The results of the drying process are analyzed in terms of moisture mass decrease and production of energy from waste. For the most efficient results from the drying process under laboratory conditions were observed at the end of 13 days, when 50 °C air was given. When the optimum conditions were applied to the waste from **Aksaray University Central Cafeteria** 62.7% volume and 63.33% mass decreases were obtained, as the 4680 kcal/kg calorific value was achieved for one kg of waste.

2013, 80 Pages

Keywords: Waste Reduction, Biodrying, Solid Waste, Solid Waste Disposal

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Atığın sınıflandırılması.....	9
Şekil 1.2. Katı atık yönetiminin ana bileşenleri.....	15
Şekil 1.3. Entegre katı atık yönetim diyagramı.....	17
Şekil 1.4. Avrupa Birliği ülkelerinde evsel katı atık yönetim durumum.....	19
Şekil 1.5. TÜİK ‘in 2004 yılı verilerine göre atık bertaraf yöntemleri.....	21
Şekil 1.6. Alan yöntemi ile katı atık depolama.....	22
Şekil 1.7 Hendek yöntemi ile katı atık depolama.....	23
Şekil 1.8. Çukur yöntemi ile katı atık depolama.....	23
Şekil 3.1. Tasarlanan biodrying reaktörü.....	37
Şekil 3.2. Yaptırılan biodrying reaktörü.....	38
Şekil 4.1. 30 °C ve ortalama 50L/sa hava verilmesi durumunda nem kaybı dinamikleri.....	43
Şekil 4.2. 30 °C ve hava verilmediği durumda nem kaybı dinamikleri.....	44
Şekil 4.3. 40 °C ve ortalama 50L/sa hava verilmesi durumunda nem kaybı dinamikleri	44
Şekil 4.4. 40 °C ve hava verilmediği durumda nem kaybı dinamikleri.....	45
Şekil 4.5. 50 °C ve ortalama 50L/sa hava verilmesi durumunda nem kaybı dinamikleri.....	45
Şekil 4.6. 50 °C ve hava verilmediği durumda nem kaybı dinamikleri.....	46
Şekil 4.7. 13 günlük kurutma sonrası kütle kaybı yüzdesel değerleri.....	46
Şekil 4.8. 13 günlük kurutma sonrası hacimsel azalmaların yüzdesel değerleri.....	47
Şekil 4.9. Dış sıcaklığın 30 °C, 50 L/sa hava verildiği şartlarda sıcaklık dinamikleri.....	48
Şekil 4.10. Dış sıcaklığın 30 °C, hava verilmediği şartlarda sıcaklık dinamikleri.....	48
Şekil 4.11. Dış sıcaklığın 40 °C, 50 L/sa hava verildiği şartlarda sıcaklık dinamikleri.....	48
Şekil 4.12. Dış sıcaklığın 40 °C, hava verilmediği şartlarda sıcaklık dinamikleri.....	49
Şekil 4.13. Dış sıcaklığın 50 °C, 50 L/sa hava verildiği şartlarda sıcaklık dinamikleri	49
Şekil 4.14. Dış sıcaklığın 50 °C, hava verilmediği şartlarda sıcaklık dinamikleri.....	49
Şekil 4.15. 30 °C sıcaklık değerinde çıkış gazı değerleri.....	50
Şekil 4.16. 40 °C sıcaklık değerinde çıkış gazı değerleri.....	51
Şekil 4.17. 50 °C sıcaklık değerinde çıkış gazı değerleri.....	51
Şekil 4.18. Biyo-kurutma işlemi sırasında pH değişim grafiği.....	52
Şekil 4.19. Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhane atıkları pH değişimleri.....	56
Şekil 4.20. Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhane atıkları sıcaklık değişimleri.....	56
Şekil 4.21. Kurutma öncesi ve sonrası kütle kaybı değerleri.....	57
Şekil 4.22. Kurutma öncesi ve sonrası hacim değerleri.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Kentsel katı atıkların kaynakları.....	5
Çizelge 1.2. Bazı ülkelerde kişi başına günde üretilen katı atık miktarı.....	10
Çizelge 1.3. Kentsel katı atık bileşenlerinin gelir düzeyine göre dağılımı.....	11
Çizelge 1.4. Farklı ülkelere ait atık karakterizasyon bilgileri.....	11
Çizelge 1.5. Kentsel katı atık bileşenlerinin birim hacim ağırlıkları ve nem içerikleri..	12
Çizelge 1.6. Kentsel katı atıkların enerji içeriği ve kimyasal bileşimine değerleri.....	14
Çizelge 1.7. Türkiye’deki kompost tesis yerleri kapasiteleri ve işlenen atık miktarı....	19
Çizelge 1.8. Türkiye’deki depolama sahalarının yerleri, nüfus ve atık miktarı.....	20
Çizelge 3.1. Hazırlanan evsel atıkların % içerikleri ve miktarları.....	38
Çizelge 4.1. Hazırlanan evsel atıkların başlangıç özellikleri.....	42
Çizelge 4.2. Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhane atıkları başlangıç değerler.....	56
Çizelge 4.3. Sızıntı suyunun karakterizasyonu.....	58

SİMGELER DİZİNİ

®	Mülkiyet
µs/cm	Mikrosimens /santimetre
A/A	Ağırlık/Ağırlık
cal	Kalori
CH ₄	Metan
cm	Santimetre
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
H	Hidrojen
H/H	Hacim/Hacim
H ₂ O	Su
H ₂ S	Hidrojen sülfür
K/A	Karbon/Azot Oranı
kcal	Kilokalori
kJ/kg	Kilojoule/kilogram
L/sa	Litre/saat
m	Metre
m ³	Metre küp
mg	Miligram
mm	Milimetre
O ₂	Oksijen
°C	Santigrad derece
Q _{hava}	Giriş hava akımı
S	Kükürt
sa ⁻¹	1/saat
T _{atık}	Atık sıcaklığı
T _{çıkış}	Çıkış sıcaklığı

KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devleti
AID	Alt Isıl Değer
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
ÇÜY	Çöpten Üretilen Yakıt
DBK	Döner Biyolojik Kurutucu
Eİ	Enerji İçeriği
İK	İyon Kromatografi
KKA	Kentsel Katı Atık
KKAOF	Kentsel Katı Atığın Organik Fraksiyonu
KM	Kuru Madde
KMGKY	Katı Maddeden Geri Kazanılan Yakıt
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBA	Mekanik-Biyolojik Arıtım
NH ₄ -N	Amonyum Azotu
Nİ	Nem İçeriği
pH	Çözeltideki Hidrojen İyonu Konsantrasyonu
RPM	Dakikada Devir Sayısı
TA	Toplam Azot
TOK	Toplam Organik Karbon
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UKM	Uçucu Katı Maddeler
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Endüstri ve teknoloji alanında meydana gelen hızlı gelişmeler, bir yandan insanın doğa üzerindeki egemenliğini artırıp yaşam düzeyinin yükselmesini sağlarken, diğer yandan artan nüfus ve hızlı kentleşme ile birlikte doğal dengelerin giderek bozulması sonucunda tüm canlıları tehdit edecek boyutlara varan hava, su ve toprak kirlenmesine neden olmaktadır (Kaya, 2010).

Tüm dünyada insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve kimi zaman ulaştığı felaket boyutları ile toplumların yaşamını tehdit eden çevre sorunlarından biri de katı atıklardır (Atmaca, 2004). Katı atıklar, insan aktivitelerinden ileri gelen ve normalde katı halde bulunan, kullanılmaz hale gelmiş veya istenmeyen maddelerin tümünü kapsar (Beyhan, 1997).

Gelişen toplumlarda insanların tüketim alışkanlıkları ile tüketim maddelerinden katı atık miktarı ve bileşimleri arasında doğrusal bir ilişki vardır (Kaya, 2010).

İlk çağlardan günümüze kadar, insan dünya kaynaklarını hayatlarını sürdürebilmek için kullanmışlardır. Bu yolla oluşan atıkların bertarafı uzun bir süre önemli bir problem teşkil etmemiştir. Çünkü nüfus az atıkların doğal ortamda özümsebilmesi için gerekli arazi ise büyüktü (Beyhan, 1997).

Atıkların bertarafı ile ilgili problemler, insanların kabileler, köyler gibi irili ufaklı topluluklar halinde bir araya gelmesi ve hayatın bir parçası olan atıkların birikmesi ile ortaya çıkmıştır. Ortaçağda kasabalarda yiyecek ve diğer katı atıkların sokaklara, yollara ve diğer açık arazilere atılması ile beraber oluşturduğu yığınlar, farelerin sağlıksız koşullarda beslenmesine ve hastalanmasına yol açmış, insanları ısırması neticesinde ise veba gibi tehlikeli sağlık hastalıkların yayılmasına neden olmuştur (Beyhan, 1997).

Endüstri devrimi ile beraber toplumların teknolojik gelişim süreci başlamıştır. Buna paralel olarak katı atıkların oluşum miktarları artmaya başlamış ve bunların bertarafı ile ilgili problemler daha büyük boyutlara ve özelliklere ulaşmıştır.

Katı atık sorunun çözümüne ilişkin olarak 1888 yılında İngiltere’de katı atıkların sulara, nehirlere ve araklara dökülmesini yasaklayan “Şehir Sağlık Kanunu” yürürlüğe girmiştir. 1889 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde gemilerin dolaştığı sular ve onlara komşu karalara çöp boşaltımının düzenlenmesini sağlamak amacıyla “Nehirler ve Limanlar Kanunu” yürürlüğe girmiştir (Çakır, 2012).

Nüfusu artışı, teknolojik gelişme, sanayileşme ve kentleşmeyle paralel olarak artan atık miktarı, gerek gelişmiş ülkelerde gerekse de gelişmekte olan ülkelerde katı atık yönetim süreçlerinin önemini giderek arttırmaktadır. Atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi başta çevre ve insan sağlığı olmak üzere ekonomiyi de yakından

ilgilendirmektedir. Ayrıca Türkiye özelinde AB ile tam entegrasyon süreci doğrultusunda atık yönetimi ile ilgili yasal mevzuatların uyumlaştırılması da en önemli gündem başlıklarından birini oluşturmakta ve gün geçtikçe artan atık miktarı, atıkların toplanması ve bertaraf edilmesi ile ilgili kamu harcamalarını etkilemektedir (Kaya, 2013)

Son yıllarda yerleşim birimlerindeki faaliyetler ve endüstriyel kaynaklardan oluşan katı atıkların çevreyi kirletmeden uzaklaştırılması için çağdaş yöntemler geliştirilmiş ve batılı ülkeler başta olmak üzere dünyanın pek çok yerinde yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır (Atmaca, 2004).

Çevre bilincinin geliştirilmesi, sürdürülebilir kalkınmada öncelikli konuların başında gelmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde belediyelerin ürettiği atık miktarı 1990 yılında 160 milyon ton iken, 2000 yılında yaklaşık iki katı kadar artarak 332 milyon tona ulaşmıştır. 2025 yılında kentlerin ortaya çıkaracağı atık miktarının ise bugünün beş katı kadar olacağı tahmin edilmektedir (Subhash, 2010).

“Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin” 14 Mart 1991 tarihinde yayınlamış ve yürürlüğe girmiş olmasına karşın, Türkiye’de atıklar genellikle kontrolsüz bir şekilde düzensiz depolama alanlarına dökülmekle beraber hızla düzenli depolama alanları inşa edilmekte ve işletilmeye alınmaktadır. Halen toplam 2000 küçük ölçekli ve 50 büyük ölçekli düzensiz depolama sahası bulunmaktadır (Anonim, 2008-2012).

Enerji hammadde kıtlığı ve çevre kirliliği günümüzün başlıca sorunları olarak değerlendirilmektedir. Bu sorunların çözümünde, bu güne kadar izlenen yöntem “Çöp” olarak nitelendirilen birçok maddeden gerek üretim sırasında, gerekse tüketim sonrasında en üst düzeyde ve en verimli biçimde yararlanmaktadır (Diamadopoulos vd, 1995; Kaseva vd, 2002; Atmaca, 2004).

Gelişmiş ülkelerde “Katı Atık Yönetimi” kavramı uzun yıllar süren çabalar sonucu etkin bir şekilde yerleşmiş ve uygulamaya konulmuş olduğundan, katı atık hizmetleri açısından temel sağlık ve çevre sorunlarının denetimi, en uygun düzeyde çözümlenmiştir. Gelişmekte olan ülkeler ise, kentleşme sorunlarının tüm sıkıntılarını çekmekte ve yüksek nüfus yoğunluklarından dolayı bunlara yeterli çözüm sağlamak için gerekli mali kaynaklardan yoksun bulunmaktadır. Mevcut kaynakların kıtlığı ve kentsel çevrenin kalitesinin yükseltilmesi gereksinimi verimli bir katı atık yönetiminin önemini göstermektedir (Atmaca, 2004).

Ülkemiz de Avrupa Birliği’ne giriş sürecinde Avrupa Birliği direktiflerin, yasalarımıza uyumlaştırılması amacıyla gerekli yasal mevzuatlar oluşturulmaktadır.

1.1. Katı Atık Olgusu

Literatürde ve mevzuatta “katı atık” olgusuna ilişkin çeşitli tanımlar yer almaktadır. Armağan vd. (2006), katı atık olgusunu “sahibinin istemediği, ancak ekonomik değeri olan ve toplumun menfaati gereği toplanıp fen ve sanat kurallarına, bilimsel esaslar, mühendislik prensiplerine göre bertaraf edilmesi gereken katı şeyler” biçiminde ifade eder (Armağan vd., 2006).

Katı atıklar, insan aktivitelerinden ileri gelen ve normalde katı halde bulunan, kullanılmaz hale gelmiş veya istenmeyen maddelerin tümünü kapsar (Çakır, 2012).

14 Mart 1991 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan “Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği’nde” katı atıklar; üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ve özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde uzaklaştırılması gereken katı maddeleri ve arıtma çamurları şeklinde tanımlanmaktadır.

5 Nisan 2005 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan “Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği’nde” ise katı atıklar; üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ve özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde uzaklaştırılması gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu, (iri katı atık, evsel katı atık) şeklinde tanımlanmaktadır.

Yine aynı tarihli “Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği’nde” ise;

İri Katı Atık: Buzdolabı, çamaşır makinesi, koltuk gibi evsel nitelikli eşyalardan oluşan ve kullanılmayacak durumda olan çoğunlukla iri hacimli atıklar,

Evsel Katı Atık (Çöp): Konutlardan atılan tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, bahçe, park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen katı atıklar,

Arıtma Çamurları: Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atık suların, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri sonucunda ortaya çıkan, suyu alınmış kurutulmuş çamur,

Kompost: Organik esaslı katı atıkların oksijenli veya oksijensiz ortamda ayrıştırılması suretiyle üretilen toprak iyileştirici madde,

Üretici: Faaliyet süresince atık oluşumuna sebep olan kişi veya kuruluş,

Geri Dönüşüm: Atıkların bir üretim prosedürüne tabi tutularak, orijinal amaçlı ya da enerji geri kazanımı hariç olmak üzere, organik geri dönüşüm dâhil diğer amaçlar için yeniden işlenmesi,

Geri Kazanım: Tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşiklerin fiziksel kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesi,

Zararlı ve Tehlikeli Atık: Patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait suyla temas halinde parlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici, organik peroksit içerikli, zehirli koroziv,

hava ve su ile temasında toksik gaz bırakan, toksik ve ekotoksik özellik taşıyan ve bakanlıkça tehlikeli ve zararlı atık olduğu onaylanan atıklar,

Bertaraf Etme: Katı atıkların; konut, işyeri gibi üretildikleri yerlerde geçici olarak biriktirilmesi, bu yerlerden toplanılması, taşınması, geri kazanılması gibi işlemlerden sonra çevre ve insan sağlığı açısından zararsız hale getirilmesi ve ekonomiye katkı sağlaması amacıyla kompostlaştırma, enerji kazanmak üzere yakma ve/veya düzenli depolama işlemlerin tümü,

İşleme Tesisi: Geri kazanma tesisi, kompost veya yakma tesisi gibi katı atıklardan tekrar kullanılabilir madde veya enerji elde etmek, katı atıkların hacmini küçültmek ya da çevreye zararını azaltmak maksadı ile kurulan inşa edilen tesis ve yapılar,

Organik Madde veya Yanma Kaybı: Katı atık veya kompostun kurutulduktan sonra kül fırınında 775 °C'de 3 saat süre ile yakılması sonucu yanan veya kaybolan madde miktarı,

Kuru Madde: Katı atık veya kompostun kurutma fırınında 103 °C'de yaklaşık 24 saat süre ile sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulması sonucunda geride kalan katı atık madde miktarı,

Organik Madde: Ambalaj atıkların biyolojik olarak parçalanabilen kısımlarının kontrollü koşullar altında mikroorganizmalar aracılığıyla aerobik veya anaerobik ortamda ayrıştırılarak stabilize organik atık veya metan gazının elde edilmesi olarak tanımlanmıştır.

1.2. Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıkların türleri ve kaynakları, katı atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi açısından önem taşımaktadır. Katı atıkların türleri ve kaynakları bölgenin sosyal, ekonomik ve kültürel yapısına bağlı olarak değişmek ile birlikte, katı atıkları genel olarak kentsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, tarımsal ve hayvansal atıklar ve tehlikeli atıklar olmak üzere dört grupta incelemek mümkündür.

1.2.1. Kentsel katı atıklar

Katı atıkların çok büyük bir bölümü kentsel katı atıklardan oluşmaktadır. Kentsel katı atıklar, evsel atıklar, ticari atıklar, ticari ve kurumsal atıklar, park, bahçe ve pazar yeri atıkları, inşaat, yıkım ve hafriyat atıkları arıtma tesisi atıkları ve hastane atıklarından kaynaklanmaktadır (Buenrosto vd., 2001). Tchobanoglous vd. (1993) göre kentsel katı atıkların kaynakları Çizelge 1.1.'de verilmiştir

Çizelge 1.1. Kentsel katı atıkların kaynakları (Tchobanoglous vd., 1993)

Kaynaklar	Atıkların Üretildiği Yerler ve Faaliyetler	Katı Atık Türleri
Yerleşim Yerleri	Müstakil konutlar, düşük, orta ve yüksek katlı apartmanlar vb.	Yiyecek atıkları, kağıt, plastik, tekstil, cam vb.
Ticari Yerler	Dükkanlar, lokantalar, marketler, servis istasyonları vb.	Kağıt, plastik, yiyecek atığı, cam, metal, ve tehlikeli atıklar,
Kurumlar	Okullar, hastaneler, hapishaneler, devlet daireleri	Kağıt, karton, plastik, yiyecek atığı, cam, metal, özel atıklar,
İnşaat ve Yıkım	Yeni inşaat alanları, yol yapım ve onarım bölgeleri, binaların restorasyon ve yıkımı	Odun, çelik, beton vb.
Kentsel Faaliyetler	Park, bahçe, cadde ve sokak ile diğer dinlenme alanları	Özel atıklar, çöpler
Arıtma Tesisi ve Yakma Üniteleri	Su atıksu ve endüstriyel arıtım prosesleri vb.	Arıtma tesisi atıkları

1.2.1.1. Evsel atıklar

EPA (Environmental Protection Agency), evsel katı atıklar, dayanıklı eşyalar (aletler, araba lastikleri, piller vb.), dayanıklı olmayan eşyalar (gazete, kitap, magazin dergileri vb.) kutular ve paketler, yiyecek atıkları, park ve yeşil alan atıkları, ticari ve endüstriyel kaynaklardan oluşan çeşitli organik atıklar olarak tanımlamaktadır

Evsel katı atık depolanma alanlarından toplanmış ve depolanmış ticari ve kurumsal atıklarla konutlardan toplanan evsel katı atıklar için kullanılmaktadır. Endüstriye ve endüstriyel tesise bağlı olarak, miktar ve karakteristiklerinde sürekli değişiklik gösteren atıkları içermezler (Çakır, 2012).

1.2.1.2. Ticari ve kurumsal atıklar

Evlerde ve dükkân, depo, büro, resmi daireler gibi üretime doğrudan katılmayan işyerlerinde yiyeceklerin yenmesi, pişirilmesi, hazırlanması, işlenmesi veya çürümesi sonucunda oluşan hayvan, meyve, sebze artıkları ile yanabilen veya yanamayan katı atıklardan oluşur. Bu gruptaki yiyecek artıklarının, birim hacim ağırlıkları $500-600 \text{ kg/m}^3$, yanabilen ve yanamayan diğer kül atıklarının birim hacim ağırlıkları ise $60-400 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir (Sağdıç, 2010).

1.2.1.3. Park, bahçe ve pazar yeri atıkları

Park bahçe yeşil alan ve Pazar yerlerinde genellikle organik atıkları içermektedir. Bunlar; bitki ile yapraklar, sebze ve meyve atıklarından oluşmaktadır. Genelde organik yapıda olduklarından kompostlaştırılabilir veya kuruduktan sonra yakılabilirler. Ancak

yanlış bir uygulama olarak yakma işlemi basit ve denetimsiz olarak toplandığı yerde yapılmaktadır. Dolasıyla bu durumda tam yanma sağlanmadığından önemli ölçüde bir hava kirliliği ortaya çıkmaktadır. Bu gibi katı atıkların düzenli olarak bertaraf edilmeleri gerekmektedir (Atmaca, 2004).

1.2.1.4. İnşaat, yıkım ve harfiyat atıkları

Bu tür atıklar, odun, çelik, plastik, tuğla, beton ve toprak atıklarıdır. Bunlar hem organik hem de inorganik içeriklidirler. Bu atıkların bazıları kompostlaştırılabilir, bazıları yakılır, bazıları da geri kazanımda kullanılabilir (Seyidoğlu, 2005).

Bu atıklar genelde katı atık olarak algılanmakla birlikte, işletme atığı olarak değerlendirmek durumundadırlar. Ancak diğer katı atıklarla birlikte giderilmeyip, inorganik yapıda olduklarından dolayı ayrı ve basit fakat düzenli depolanmaları gerekmektedir. Enkazın bünyesinde metal ve tahta parçaları bulunabilir. Ancak bunlar ölkemizde işçiliğin ucuz olması nedeniyle genelde daha yıkım yerinde eskici ve hurdacılar tarafından ayıklanarak değerlendirilmektedir.

1.2.1.5. Arıtma tesisi atıkları

Su, atıksu ve endüstriyel atık arıtma tesislerinden ortaya çıkan ve yarı katı atıklardır. Bu atıkların özellikleri her biri arıtma sürecine bağlı olarak değişiklik gösterir. Endüstriyel atıksu arıtımında meydana gelen çamurlar başta olmak üzere bazı çamurlar tehlikeli atık kapsamına dâhil edilebilir (Sağdıç, 2010).

1.2.1.6. Tıbbi atıklar

Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan bu atıklar, evsel katı atıkların dışında havada suda ve toprakta kalıcı özellik gösteren ve ekolojik dengeyi bozan atıklar olduğundan tehlikeli ve zararlı atık sınıfına girmekte ve bu tür atıkların üretim taşıma, depolama ve bertarafına ilişkin özel önlemler alınması gerekmektedir.

Türkiye’de tıbbi atıkların güvenli yönetimiyle ilgili esaslar, 22 Temmuz 2005 tarih ve 25883 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” ile belirlenmiştir (Anonim, 2008-2012).

Yönetmeliğe göre genel olarak atıkların kaynağından ayrı toplanması ve geçici depolanması sorumluluğu sağlık kuruluşlarının, atıkların geçici atık depolarından alınarak taşınması, sterilizasyon işlemine tabi tutulması ve bertaraf edilmesi konularındaki sorumluluk ise belediyelere aittir (Anonim, 2008-2012).

1.2.2. Endüstriyel atıklar

Her türlü hafif veya ağır endüstri tesislerinden açığa çıkan istenmeyen nitelikteki katı madde ve çamurlar, endüstriyel katı atık kapsamına girmektedir. Bu tür atıklar oluşum faktörlerine göre üçe ayrılır

- ✓ Endüstriyel birimlerdeki işlem ve süreçlerden kaynaklanan katı atıklar,
- ✓ Endüstriyel atık su arıtma tesis çamurları,
- ✓ Hava kirliliği kontrol ekipmanlarından kaynaklanan katı atıklar

Çoğu endüstrilerin katı atıkları, diğer endüstrilerde hammadde olarak kullanılabilir. Bunlara örnek; gıda, meşrubat, mezbaha ve kümes hayvanları çiftlikleri, alkol distilasayon endüstrileri atıkları, gübre ve hayvan yemi üretiminde hammadde olarak kullanılabilir (Güden, 2011).

1.2.3. Tarımsal ve hayvansal atıklar

Bu tip atıklar çiftliklerden, tarlalardan ve diğer zirai alanlardan kaynaklanır. Tavuk, koyun ve inek çiftliklerinin atıkları, hayvan dışkısı ve atık saman bakımından oldukça zengindir. Bu tür atıklar, besi çiftliklerinden kaynaklanan hayvan leşleri de içermektedir. Kentsel katı atık akımı ve yerel yönetimler açısından en fazla sorun oluşturan tarımsal ve hayvansal atık türü ise yerleşim alanlarına yakın bölgelerde kurulu besi çiftliklerinde ortaya çıkmaktadır (Atmaca, 2004).

1.2.4. Tehlikeli atıklar

Tehlikeli atıklar derişimi, niteliği, kimyasal ve bulaşıcı olma özellikleri nedeniyle arıtılması mümkün olmayan hastalıkların ve ölüm oranlarının artmasına sebep olan veya önemli oranda katkıda bulunan bir katı atık veya katı atık bileşimi ile arıtma, depolama, taşıma ve uzaklaştırma işlemleri uygun bir şekilde yapılmadığında çevre ve insan sağlığı üzerinde potansiyel bir tehlike yaratan atıklardır (Anonymous, 1991). Bu tanım katıları işaret etmesine karşın sıvı ve gazları da içermektedir. Ülkemizde geçerli olan “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne” göre tehlikeli atıklar; patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, suyla temas halinde parlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici, peroksit içerikli, zehirli, korozyif, hava ve su ile temasında toksik ve ekotoksik özellik taşıyan ve tehlikeli olduğu onaylanan atıklar olarak tanımlanır.

Tehlikeli atıkların yasal olarak tanımlanmasında kullanılan geçerli yöntemlerden biri de “İçeren Liste” yaklaşımıdır. “İçeren Liste” Belçika, Danimarka, Fransa, Almanya, Hollanda, İsveç, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri gibi birçok ülkede

kullanılmaktadır. Bu listeler belirli endüstrilerden kaynaklanan bazı atıklar, özel bileşenli olan atıkları veya süreçleri ile tanımlanmış belirli atık akımlarını içerir. Tehlikeli olarak ele alınan tüm bileşik veya karışımlar listeye alınır. Diğer bir deyimle listede belirtilenlerin tümü tehlikeli atık sınıfına girer. Listelerde bulunmasa bile tutuşabilirlik, koroziflik, reaktiflik zehirlilik özelliği gösteren atıklar da tehlikeli atık olarak adlandırılabilir (Anonymous, 1990).

Tehlikeli atıkların oluşumunda ve sınır ötesine taşınmasının önlenmesi ya da en aza indirgenmesi amacıyla, ülkemiz 20-22 Mart 1989 tarihlerinde Basel sözleşmesini imzalamıştır.

Tehlikeli atıkların açık bir listesini içeren Basel sözleşmesi esas alınarak hazırlanan “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” ise 14.03.2005 tarihli 25755 sayılı resmi gazetede yayımlanarak, yürürlüğe girmiştir (Kaya, 2013).

Yukarıda yapılan sınıflandırmanın dışında katı atıklar organik ve inorganik olarak da gruplandırılır. Atıkların organik ve inorganik olma oranı bertaraf yöntemleri açısından önemli kriterlerden biridir.

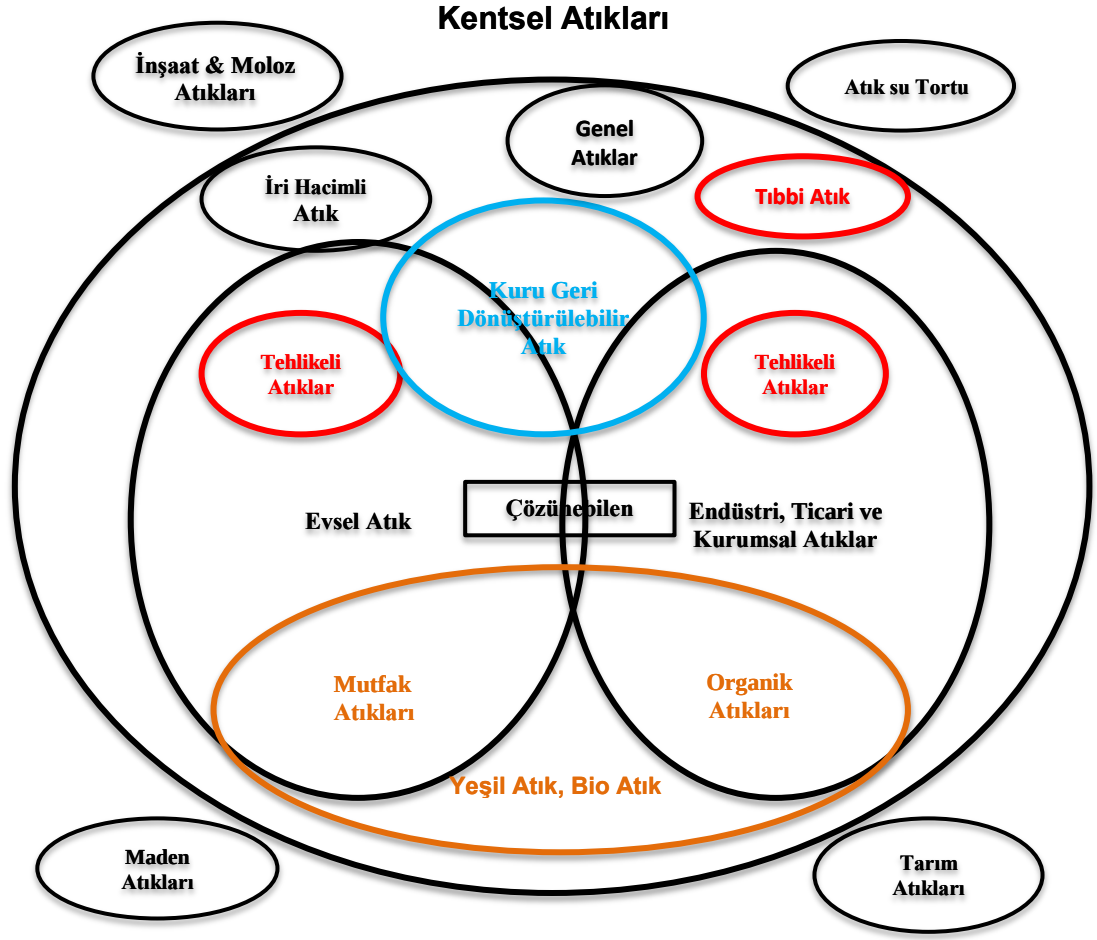
Katı atık bileşenlerini ise aşağıdaki gibi sıralama mümkündür.

- ✓ Kağıt, karton atıkları
- ✓ Plastik, kauçuk atıkları
- ✓ Tekstil atıkları
- ✓ Tahta atıkları
- ✓ Metal atıkları
- ✓ Cam atıkları
- ✓ Kül, cüruf ve toprak atıkları

Katı atıkların heterojen bir yapıya sahiptirler ve bileşimleri sürekli değişir. Katı atık bileşenleri için atığın bertaraf edilme yöntemi açısından önemli olan aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir.

- ✓ Yanabilenler: Gıda atıkları, bahçe atıkları, karton, plastik, kauçuk, tekstil
- ✓ Kompost olabilenler: Gıda atıkları, bahçe atıkları, kağıt atıkları
- ✓ Yanmayan ve kompost olmayanlar: Cam, metal, toprak, kül, cüruf, seramik
- ✓ Geri kazanılabilenler: Plastik, cam, karton, metal, kağıt (Akpınar, 2006).

Genel olarak atıkların sınıflandırılması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Atığın sınıflandırılması (Steiner M., Wiegel U., 2009)

1.3. Katı Atıkların Özellikleri

1.3.1. Fiziksel özellikleri

Katı atıkların fiziksel özellikleri ile ilgili veriler, katı atıkların toplanması ve taşınmasındaki ekipmanların seçilmesinde ve işletilmesinde, enerji dönüşümünde, geri kazanılabilir maddelerle ilgili çalışmalarda, uygun bertaraf yönteminin seçimi ve tasarımında önemli bir parametredir (Tchobanoglous, 1993).

1.3.1.1. Katı atıkların miktar ve özellikleri

Uygun bertaraf yönetimini belirlemek için özellikle katı atıkların bileşimi belirlenmelidir. Katı atıkların bileşimi ve miktarları bunların oluşturduğu yere, mevsime, halkın yaşam biçimine, sosyal düzeye, ekonomik yapıya, beslenme

alışkanlıklarına, atıklarla ilgili bazı yasalara ve atıkların geri kazanabilirliğine bağlı olarak değişim göstermektedir (Malgorzato, 2001; Benitez vd., 2003; Atmaca, 2004). Fakat üretilen katı atıkların miktarını ve bileşimini etkileyen en önemli parametreler nüfus ve yaşam standardıdır (Daskalopoulos vd., 1998)

Katı atıkların miktarı ve özellikleri ülkeden ülkeye değiştiği gibi aynı ülkede, bölgeden bölgeye, hatta aynı şehirde semtten semte değişmektedir. Bu değişim; insanların sosyo-ekonomik yapısına, gelir seviyesine, tüketim ve kullanım alışkanlıklarına bağlıdır. Hızlı kentleşme, yaşam koşullarındaki değişimlere paralel olarak artan tüketim eğilimleri gibi nedenlerle kişi başına üretilen katı atık miktarlarında sürekli artış söz konusudur. Çizelge 1.2.'de bazı ülkelerde kişi başına düşen günlük evsel katı atık miktarları verilmiştir.

Çizelge 1.2. Bazı ülkelerde kişi başına günde üretilen katı atık miktarı (Kaya, 2010)

Ülke	Katı Atık Miktarı (kg/kişi/gün)
Türkiye	0,95
Hindistan	0,51
A.B.D	2,17

2010 yılında yapılan anket sonuçlarına göre kişi başına günlük ortalama belediye atık miktarı, yaz mevsimi için, 1,15 kg, kış mevsimi için 1,10 kg yıllık ortalama değer ise 1,4 kg olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2010)

İnsanların evsel kullanımları sonucu atıkları, atıkların miktar ve özellikleri, yaşadıkları şehrin sosyo-ekonomik seviyesine, kullanılan yakıt türüne, beslenme alışkanlıklarına vb. faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre; düşük gelirli ülkelerde yiyecek atıkları ve kül gibi inorganik atıklar fazla olup geri dönüşebilir nitelikteki atıklar azdır. Gelir seviyesi yükseldikçe yiyecek atığı miktarı azalmakta; ambalaj atıklarının miktarı artmaktadır çünkü gelir seviyesi yüksek ülkelerde paketlenmiş ürünlerin tüketimi artırmaktadır. Şehir düzenlemeleri, park ve bahçelerin fazla olması da gelişmişlik göstergesi olduğundan gelir seviyesi yüksek olan ülkelerde bahçe atığı miktarı fazladır (Çizelge 1.3.) (Ünver, 2010).

Çizelge 1.3. Kentsel katı atık bileşenlerinin gelir düzeyine göre dağılımı (Ünver, 2010)

Bileşen	Düşük Gelirli Ülke	Orta Gelirli Ülke	Yüksek Gelirli Ülke
Organik (%)			
Yiyecek Atıkları	40-85	20-65	30-6
Kâğıt	1-10	8-30	45-20
Karton	1-10	8-30	5-15
Plastik	1-5	2-6	2-8
Tekstil	1-5	2-10	2-6
Lastik	1-5	1-4	0-2
Deri	1-5	1-4	0-2
Bahçe Atığı	1-5	1-10	10-20
Tahta	1-5	1-10	1-4
İnorganik (%)			
Cam	1-10	1-10	4-12
Teneke Kutu	1-5		2-8
Alüminyum	1-5		0-1
Diğer Metal	1-5	1-5	1-4
Kil kül, vs.	1-40	1-30	0-10

Ülkelerin sosyo- ekonomik düzeyleri oluşan kentsel katı atığın kompozisyonunda etkili olmaktadır. Çizelge 1.4.'de farklı ülkelere ait atık bileşenleri verilmiştir (Ünver, 2010)

Çizelge 1.4. Farklı ülkelere ait atık karakterizasyon bilgileri (Ünver, 2010)

Bileşen	Atık Bileşen Miktarı (%)			
	Türkiye	Batı Avrupa	ABD	Ortadoğu
Organik	20-90	21,3	22,6	62,3
Kağıt/Karton	0,5-15	27,4	45,6	25,3
Plastik	1,5-12	3,1	2,6	5,8
Tekstil	0,3-5	3,5	4,5	1,4
Cam	0,3-5	9,5	6,2	1
Metal	0,3-5	8,5	9,1	2,8
Kül	-	19,8	7,6	-
Diğer	-	6,9	1,8	1,4

1.3.1.2. Katı atıkların birim hacim ağırlıkları

Katı atıkların birim hacim ağırlıkları oluştukları yere, mevsime, nüfusun sosyal ekonomik yapısına, çöp toplama araçlarının niteliklerine, depolama sahasına olan uzaklığına bağlı olarak değişmektedir (Peavy vd., 1985; Atmaca, 2004). Gelişmiş

ülkelerde atıklar düşük, az gelişmiş ülkelerdeki katı atıklar yüksek birim hacim ağırlığına sahiptir. Bunun nedeni gelişmiş ülkelerdeki atıklarda kâğıt, cam, plastik ve metal gibi geri kazanılabilir atıkların çok olması, az gelişmiş ülkelerde ise geri dönüşümü olmayan atıkların olmasından kaynaklanmaktadır. Katı atıkların birim hacim ağırlıkları gevşek veya sıkışık olma durumuna bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle katı atıkların birim hacim ağırlığı belirtilirken sıkıştırılmış, konteynırdaki doğal hali, ya da gevşek gibi terimler kullanılmalıdır (Tchobanoglous vd., 1993). Katı atık bileşenlerin tipik birim hacim ağırlıkları Çizelge 1.5.'de verilmiştir.

Çizelge 1.5. Kentsel katı atık bileşenlerinin birim hacim ağırlıkları ve nem içerikleri (Peavy vd., 1985)

Madde Grupları	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)		Nem İçeriği (%)	
	Değer Aralığı	Tipik Değer	Değer Aralığı	Tipik Değer
Yiyecek Atıkları	120-480	290	50-80	70
Kağıt	30-130	85	4-10	6
Karton	30-80	50	4-8	5
Plastik	30-130	65	1-4	2
Tekstil	30-100	65	6-15	10
Lastik	90-200	130	1-4	2
Deri	90-260	160	8-12	10
Bahçe Atıkları	60-225	105	30-80	60
Odun	120-320	240	15-40	20
Çeşitli Organik	90-360	240	10-60	25
Cam	160-480	195	1-4	2
Teneke Kutuları	45-160	90	2-4	3
Demir Olmayan Metaller	60-240	160	2-4	2
Demirli Metaller	120-1200	320	2-6	3
Kül, Tuğla ve Diğerleri	320-960	480	6-12	8

1.3.1.3. Katı atıkların nem içeriği

Katı atıklar nem içeriği katı atıkların birim ağırlıkları içerisindeki su miktarı olarak ifade edilir. Nem oranının ölçülmesinde belirli miktardaki katı atığın yaş ve kuru ağırlık farkından faydalanır (Anonim, 2010). Kentsel katı atık bileşenlerinin nem içeriğine ait değerler Çizelge 1.5.'de verilmiştir.

Katı atıklarda yaş kütlenin nem içeriği;

$$\text{Nem içeriği (\%)} = \frac{a-b}{a} * 100 \quad (1.1)$$

a = Örneğin başlangıçtaki ağırlığı

b= Örneğin kurutulduktan sonraki ağırlığı

Kuru kütleyi elde etmek için katı atık maddesi 24 saat süreyle 77 °C' nin üzerinde kurutulmalıdır. Bu sıcaklık ve zaman maddeyi kurutmak ve uçucu maddelerin buharlaşmasını sınırlandırmak için kullanılır (Anonim, 2010).

1.3.2. Kimyasal özellikleri

Katı atıkların işlem ve geri kazanım seçeneklerinin belirlenebilmesi açısından kimyasal bileşiminin belirlenmesi gerekir. Katı atıklar yakıt olarak kullanılacaksa aşağıdaki dört temel özellik bilinmelidir (Peavy vd.,1985; Atmaca,2004).

- ✓ Ön analiz (bir saat süre ile 105 °C'de kurutma sonucunda nem içeriği, 950 °C'de yakma sonucunda uçucu madde içeriği, yakma sonucunda kalıntı kül ve kalan sabit karbon miktarı
- ✓ Külün ergime noktası; katı atıklardaki ergime noktası 1100-1200 °C
- ✓ Nihai analizleri; katı atıkların nihai analizleri kül, kükürt, azot, hidrojen, karbon'un yüzde olarak belirlenmesini kapsar
- ✓ Isıl değer enerji içeriği

1.3.2.1. Enerji içeriği (Isıl değeri)

Katı atıkların ısı değeri, bırakacağı kalıntı ve enerji içeriklerine göre belirlenir. Başka bir ifade ile birim atık miktarının yakılması neticesinde elde edilen enerji olarak da ifade edilebilir. Yakma sistemlerinin tasarımında kullanılan oldukça önemli bir parametredir (Anonim, 2010). Kentsel katı atıklardaki organik maddelerin enerji içeriği laboratuvarında Kalorimetre ile veya atığın nihai analiz sonuçları biliniyorsa aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplama ile bulunabilir (Peavy vd.,1985; Atmaca,2004).

$$\text{Enerji içeriği} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 337C + 1428 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 9S \quad (1.2)$$

C: %Karbon, H: %Hidrojen, O: %Oksijen ve S: %Kükürt.

Laboratuvarında kalorimetre ile elde edilen enerji içeriği ölçüm sonuçları kuru bazda olup, ham örneğin enerji içeriğini elde etmek için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$\text{kJ/kg (kuru bazda)} = \text{kJ/kg ham örnek} * \left(\frac{100}{100 - \% \text{ nem}} \right) \quad (1.3)$$

$$\text{kJ/kg (külsüz bazda)} = \text{kJ/kg ham örnek} * \left(\frac{100}{100 - \% \text{ nem} - \% \text{ kül}} \right) \quad (1.4)$$

Bir katı atığın kendi kendine yanabilmesi için ısı değeri 1500-2000 kcal/kg, ilave yakıtla yanabilmesi için gereken alt ısı değeri 950-1300 kcal/kg olmalıdır. Isı değerinin

1200 kcal/kg'ın altına düşmesi atığın ekonomik olarak yanmayacağını gösterir (Anonim, 2010).

1.3.2.2. Kimyasal içeriği

Kentsel katı atıkların tipik kimyasal özellikleri ve enerji içerikleri Çizelge 1.6.'da verilmiştir. Katı atık örneklerinin ısı değeri mevcut değilse yukarıdaki eşitlik (1.2) kullanılarak ısı değeri teorik olarak hesaplanabilir.

Çizelge 1.6. Kentsel katı atıkların enerji içeriği ve kimyasal bileşimine ait tipik değerler (Peavy vd., 1985)

BİLEŞENLER	KURU BAZDA KÜTLE (%)						ENERJİ İÇERİĞİ (kj/kg)	
	C	H	O	N	S	Kül	Değer Aralığı	Tipik Değer
Yiyecek	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0	3500-7000	4650
Kağıt	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0	11600-18600	16750
Karton	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0	13950-17450	16300
Plastik	60,0	7,2	22,8	-	-	10	27900-37200	32600
Tekstil	55,0	6,6	31,2	4,6	0,2	2,5	15100-18600	17450
Lastik	78,0	10	-	2,0	-	10	20900-27900	23250
Deri	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10	15100-19800	17450
Bahçe Atıkları	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	4,5	2300-18600	6500
Ahşap	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1	1,5	17450-19800	18600
Değişik Organikleri	48,5	6,5	37,5	2,2	0,3	5,0	11000-26000	18000
Toz, Kül, vb.	26,3	3,0	2,00	0,5	0,2	68	2300-12800	10500

1.4. Katı Atık Yönetimi

Katı atıkların oluşturduğu kirliliğe ilişkin potansiyel risklerin her geçen gün artması sonucu doğal kaynaklarında giderek azalması, katı atık yönetiminin karmaşık bir yapı kazanmasına yol açmıştır. Katı atık yönetimi ile ilgili birçok tanım yapılmış olmakla birlikte, genel anlamda katı atık yönetimi; her türlü katı atık ya da artığın toprağa, suya ve havaya zarar vermeden, hayvan ve bitki türlerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmadan sağlıklı koşullarda toplanması, taşınması, depolanması ve en kısa sürede arıtılması ya da uzaklaştırılması amacı ile verimli ve ekonomik bir hizmet düzeninin belirlenmesi, uygulanması ve geliştirilmesidir.

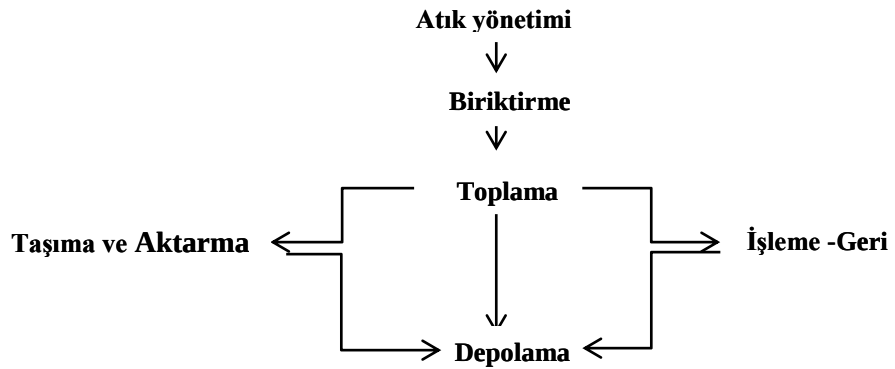
Gelişmiş ülkelerde katı atık yönetimi kavramı etkin bir şekilde yerleşmiş ve uygulanmaya konulmuş olduğundan katı atık hizmetleri açısından temel sağlık ve çevre sorunlarının denetimi optimum düzeye kadar çözümlenmiştir. Bu ülkeler hâlihazırda, kullanılan kaynakların geri kazanılması konularında ileri düzeyde çalışmalar

yapmaktadır. Atık toplama ve işleme teknolojileri oldukça gelişmiş olup, endüstrileri yeterli sayıda araç ve gereçler üretmektedir. Ayrıca halk mevcut sistem ile iyi bir işbirliği içindedir. Teknik eğitim için oturtmuş etkin kurumların yanı sıra, özellikle araç, gereçlerin ve iş gücünün verimli gelişmesini sağlayan zengin bir literatür vardır. Bu duruma karşılık ülkemizde de olduğu gibi gelişmekte olan ülkelerde kentleşme sorunları çekmekte, yüksek nüfus yoğunluğu mali kaynakların verimli kullanılmasını engellemektedir.

Verimli bir katı atık yönetimi;

- ✓ Atık oluşumu
- ✓ Kaynakta sınıflandırma, biriktirme, ayıklama ve işleme
- ✓ Toplama
- ✓ Taşıma transfer
- ✓ Ayırma, işleme ve dönüştürme
- ✓ Nihai bertaraf olmak üzere altı temel unsur içermektedir.

Başarılı bir atık yönetimi için ana bileşenler Şekil 1.2.'de gösterilmiştir (Ghassemi, 2005). Katı atık yönetiminin ilk aşaması katı atık üretimidir. Her gün miktar olarak artış, nitelik olarak çeşitlilik gösteren katı atık üretimi, günümüz katı atık yönetiminde, birçok araştırmacı ve uygulayıcı “azalma” ilkesiyle yoğunlaştığı aşamadır. Herkesin birleştiği nokta, bir taraftan atık toplama ve bertarafına yönelik ileri teknolojiler geliştirilirken, diğer taraftan çıkan atığın azaltılmasının bir gereklilik olduğu şeklindedir (Çalışkan, 2013)



Şekil 1.2. Katı atık yönetiminin ana bileşenleri (Ghassemi, 2002),

Burada sunulan yaklaşım klasik bir yaklaşım biçimi olup, atık yönetimi günümüzde ise üretim kademesinden itibaren başlamaktadır. Üretim ve tüketim kademelerinde az atık oluşturan teknolojiler gelişmekte ve uygulanmaktadır. Üretimden nihai bertarafa kadar yönetim diyagramı bir katı atık yönetim sisteminin teknik ve ekonomik bakımından yapılabilir olması ve her bir aşamasının önceki ve sonraki işlemlerle uyumlu olarak

entegre bir sistem tasarımıyla mümkündür. Bu tasarımın temel değerlendirme faktörleri; teknik yapılabilirlik, ekonomik yapılabilirlik ve sosyal yapılabilirliktir (Kaya, 2010).

Teknik açıdan verimli bir katı atık yönetim sisteminin yapılabilirliği aşağıdaki parametreler göz önüne alınmalıdır.

- ✓ Mevcut durumun belirlenmesi, nüfus katı atık miktarı, katı atıkların niteliği, katı atıkların ısı değeri, uzaklaştırma şekli, iklim koşulları, topografya, jeolojik yapı su ve hava kalitesi standartları, tarım arazilerinin durumu gibi fiziksel parametreler.
- ✓ Geleceğe yönelik tahminler, katı atık miktarı ve özelliklerinde olabilecek değişimler ve gelişmeler.
- ✓ Biriktirme ve toplama seçenekleri, katı atık içerisinde geri kazanılabilir malzemelerin ekonomik olarak toplanabilir miktarda olup olmadığı ve toplama yöntemleri ile değerlendirme sistemi ortaya konulmalıdır. Kaynağında değerlendirilecek atıkların belirlenmeli ve bunlar için uygun değerlendirme yöntemleri planlanarak halka uygulama aşamasında gerekli eğitim ve bilinçlendirme kazandırılmalıdır.
- ✓ Ayırma, işleme, dönüştürme ve nihai bertaraf, toplanan katı atıkların toplandıktan sonra nihai bertarafın yapılması gereklidir (Demir vd., 2001).

Sosyal açıdan yapılabilirlik, hane halkı, sanayi ve sağlık kurumları ve diğer işyerleri, belediye ve diğer kamu kuruluşları gibi gerçek ve tüzel kişiler arasındaki ilişki biçimine, sistemde kendilerine ilişkin görev ve sorumlulukları her şekilde üstleneceklerine ve başarabileceklerine, diğer bir ifadeyle toplumun eğitim düzeyine ve kültürel yapısına dayanmaktadır (Kaya, 2010).

2.5. Katı Atıkların Uzaklaştırılması (Bertarafı)

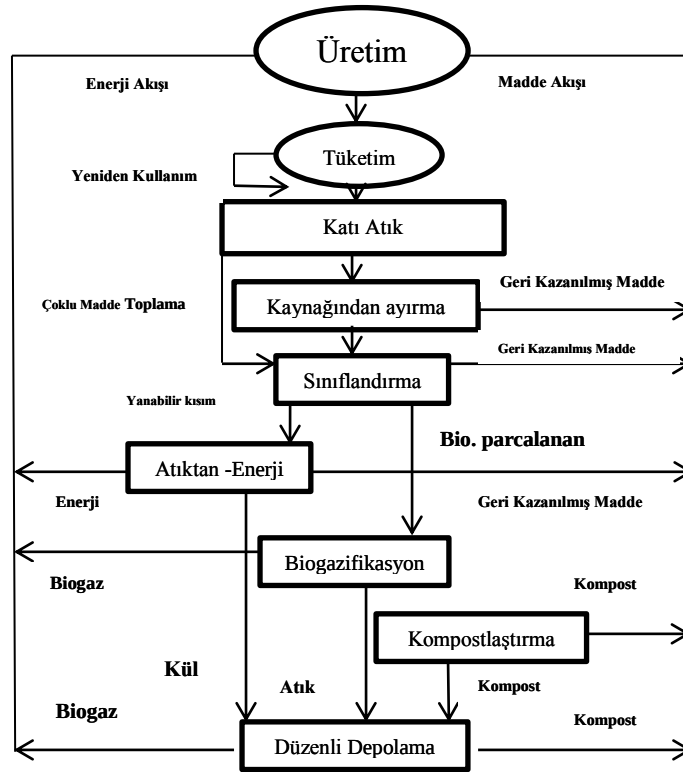
Toplum, katı atıkları hiçbir şekilde gözden uzak tutulması ve bir şekilde elden çıkarılması gereken madde olarak bakmamalıdır. En az bu bakış açısı kadar yanlış olan diğer bir yaklaşım da çöplerin esasen çok değerli bir kaynak olduğu görüşüdür. Soruna en gerçekçi yaklaşım, katı atık uzaklaştırma işlemlerinin mümkün olan en az maliyet ile yapılması gereken önemli bir toplum hizmeti olduğudur. Bunun için atıklar etkin yöntemler ile toplanmalı ve taşınmalı, geri kazanılması ekonomik olan madde grupları alındıktan sonra geri kalan uygun teknikler kullanılarak zararsız hale getirilmelidir (TÇSV, 1995)

Kaynağından ayrı veya karışık toplanan katı atıklar, özelliklerine uygun olarak bertaraf edilmelidir (Vizayakumar ve Nag, 2005). Entegre katı atık yönetim sisteminde uygulanan değerlendirme ve bertaraf teknolojileri aşağıda verilmiştir.

- ✓ Kaynakta azaltma ve Geri kazanma

- ✓ Yakma
- ✓ Piroliz ve Gazifikasyon
- ✓ Kompostlaştırma
- ✓ Düzenli depolama
- ✓ Biodrying (Biyo-kurutma)

Günümüzde katı atık yönetiminde düzenli depolama, kompostlaştırma, yakma ve geri kazanım en çok kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin tamamı gelişmiş ülkelerde çözüm olarak önerilmektedir. Fakat bu yöntemler tek başına çözüm değildir (Ashford vd., 2000).



Şekil 1.3. Entegre katı atık yönetim akım diyagramı (Demir vd., 1999)

Ayrıştırma faaliyetlerinin daha etkili bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak çevre ve insan sağlığının ayrıştırma sonucu ortaya çıkan nihai ürünlerden mümkün olduğu kadar az ve etkilenmesini sağlamak ve ekonomik açıdan en uygun prosesi bulmak için çeşitli atık bertaraf yöntemleri geliştirilmiştir (Kaya, 2013).

1.5.1. Düzenli depolama

Düzenli depolama, evsel, ticari ve bazı endüstriyel arıtma çamurları gibi katı atıkların uygun bir arazide denetimli, düzenli ve sağlık koşullarına uygun bir şekilde uzaklaştırılması faaliyetidir.

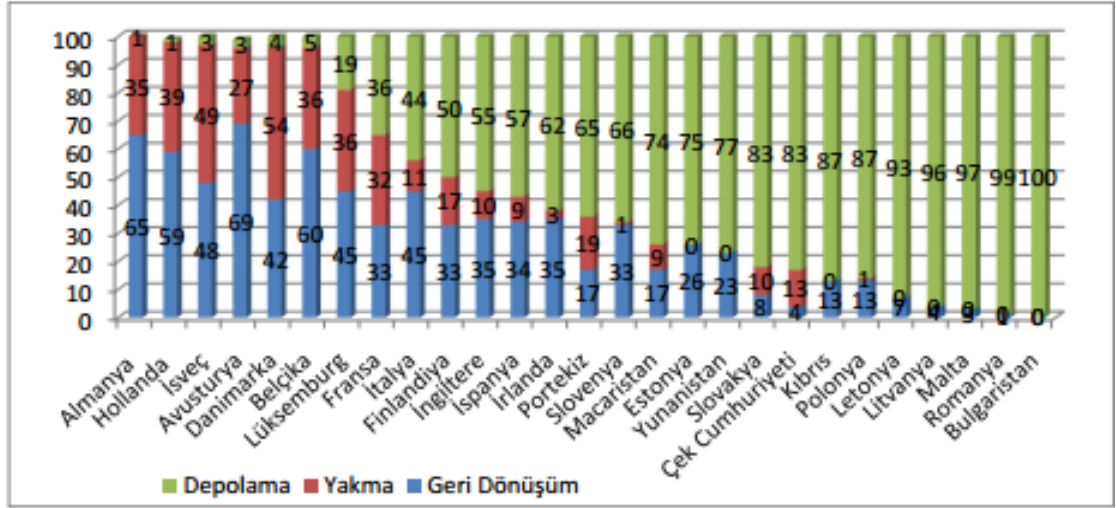
Düzenli depolama (Sanitary landfilling) terimi oldukça sık kullanılan Amerikan terimidir. İngilizler genellikle kontrollü döküm (Controlled tipping) terimini, Almanlar ise deponi terimini kullanmaktadır. Bu terimlerin hepsi aynı faaliyeti, yani çöplerin arazide denetimli ve düzenli bir şekilde depolanması anlamına gelmektedir.

Üstün mühendislik teknikleriyle kurulan modern düzenli depolama tesislerinin kuruluş yeri seçimi, tasarımı, faaliyet ve faaliyetlerin işleyişinin izlenilmesi ilgili yasalar ve yönetmelikler gereğince gerçekleştirilmektedir. 2010 yılında yürürlüğe giren “Atıkların Düzenli Depolamasına Dair Yönetmelik” ile atıkların düzenli depolama tesislerine kabulünde uygulanacak atık kabul kriterleri belirlenmektedir. Ayrıca işletme sırasında kontrol ve bakım süreçleri ile tesis kapatıldıktan sonraki kapatma sonrası bakım süreçleri, bu aşamalarda yapılması gereken analizler, analiz sıklıkları, alınması gereken ayrıntılı olarak verilmiştir. Bunu yanı sıra düzenli depolama tesisine kabul edilmemesi gereken atıklar

- ✓ Sıvı atıklar
- ✓ Atık
- ✓ Patlayıcı, aşındırıcı, oksitleyici, yüksek tutuşma ve yanma özelliği gösteren atıklar,
- ✓ H9 enfeksiyon yapıcı olarak tanımlanan, herhangi bir ön işleme tabi tutulmamış tıp ve veterinerlik kurullarından kaynaklanan tıbbi atıklar
- ✓ “Atık Yönetimi Esaslarına İlişkin Yönetmelik” Ek-III A’da belirtilen özelliklerden herhangi birini gösteren tanımlanmış veya yeni kimyasal maddeler
- ✓ Kullanılmış lastikler olarak yönetmelikte verilmiştir.

Bununla birlikte yönetmelikte “Atıklar, ön işleme tabi tutulmaksızın depolama sahasına kabul edilmeyecektir” ifadesi yer almaktadır. Ön işlem atığının hacmini azaltmak, tehlikeli özelliğini azaltmak, yönetimini kolaylaştırmak, geri kazanımını artırmak amacıyla atığa uygulanan fiziksel, biyolojik, kimyasal ve ısı işlemlerdir. Bunlara ek olarak, yönetmelik ile düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek biyo-bozunur atık kaynağında ayrı toplanması ve enerji geri kazanımı da dahil olmak üzere geri kazanılabilir atıkların düzenli depolama tesislerine gitmemesini teşvik etmekte yeni teknolojileri ve bertaraf yöntemlerini öngörmektedir (URL-1).

Şekil 1.4.’de 27 Avrupa ülkesinin ayrı ayrı atık bertaraf durumları verilmiştir. 2010 yılı verilerine göre oluşan atığının %80’inden fazlası depolayan 10 ülke görülmektedir. Bunun yanı sıra Danimarka, İsviçre, Lüksemburg ve Hollanda gibi gelişmiş ülkelere yakma sistemlerinin kullanım oranı %20’nin üzerindedir (URL-2).



Şekil 1.4. Avrupa Birliği ülkelerinde evsel katı atık yönetim durumu (URL-2)

Türkiye de ise bir yılda oluşan atıkların yaklaşık olarak 12.419.195 tonu düzenli depolama sahalarında depolanmakta, 29.250 ton ise kompost tesislerinde işlenmektedir. Türkiye de 32 adet düzenli, depolama tesisi, 4 adet kompost tesisi bulunmaktadır. İşletilmekte olan düzenli depolama sahaları ve kompost tesislerin yerleri, hizmet verdikleri nüfus ve bertaraf ettikleri atık miktarı Çizelge 1.7. ve Çizelge 1.8.'de verilmiştir (Anonim, 2004-2008).

Çizelge 1.7. Türkiye’deki kompost tesis yerleri kapasiteleri ve işlenen atık miktarları (Anonim, 2008-2012)

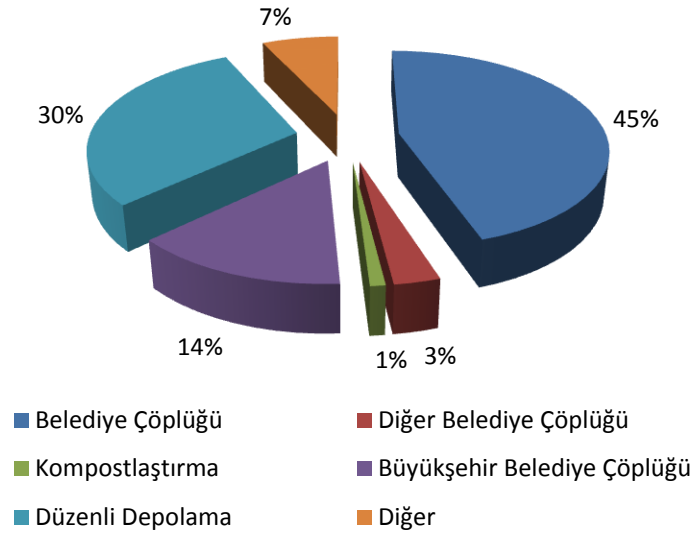
İl	Kapasite (ton/yıl)	İşlenen Atık Miktarı (ton/yıl)
İzmir	182.000	91.250
İstanbul	360.000	162.000
Antalya - Kemer	54.750	45.000
Denizli	3.000	1.000
TOPLAM	599.750	29.250

Çizelge 1.8. Türkiye’ deki depolama sahalarının yerleri, hizmet ettiği nüfus ve atık miktarı (Anonim, 2008-2012)

İller	Hizmet Nüfusu	Atık Miktarı(ton/yıl)
Aksaray	324.150	106.500
Ankara	3.832.800	1.777.000
Antalya	1.043.800	380.900
Aydın	323.900	137.150
Bolu	150.000	49.125
Bursa	2.174.260	984.070
Cihanbeyli	182.180	62.500
Datça	13.950	5.900
Denizli	390.000	180.000
Didim	180.000	76.200
Erzurum	364.644	126.525
Fethiye	157.353	66.623
Foça	30.549	14.272
Gaziantep	1.228.500	421.500
Göcek	15.000	6.350
Hatay	350.000	115.000
Isparta -Burdur	389.207	127.855
İstanbul – 1	7.819.633	3.653.333
İstanbul – 2	3.480.646	1.626.158
İzmir	2.776.556	1.297.188
Kocaeli	485.892	219.915
Kocaeli - Dilovası	587.255	265.791
Manavgat	151.000	55.100
Marmaris	66.668	28.277
Ortaca	65.750	27.830
Patara	33.000	12.500
Sakarya	476 517	215.672
Samsun	498.566	171.580
Sinop	78.978	25.944
Şereflikoçhisar	51.387	16.900
Trabzon -Rize	761.544	250.167
Yozgat	264.148	86.800
TOPLAM	28.747.033	12.419.195

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 1994-2004 yılına kadar belediye teşkilatı kurmuş olan tüm belediyelerdeki katı atık hizmeti ve katı atık bertaraf tesislerin mevcut durumu ile ilgili veriler derlenmiştir. 2005 yılından itibaren ise yalnızca katı atık bertaraf

tesisleri olan belediyeler ele alınmaktadır. Elde edilen verilere göre 2004 yılında katı atık hizmeti veren belediyelerce 24,2 milyon ton atık toplanmıştır. Toplanan atıkların bertaraf yöntemi Şekil 1.5.'de gösterilmektedir (Anonim, 2004-2008).



Şekil 1.5. TÜİK'in 2004 yılı verilerine göre atık bertaraf yöntemleri (Anonim, 2008-2012)

Bu yöntemde genel olarak geri döndürülemeyen ve başka kullanım imkanı olmayan atıklar, geri kazanma tesislerinde açığa çıkan kalıntılar ve yakma tesislerinde çıkan kül ve cüruf gibi maddeler geçirimsiz veya geçirimsizliği sağlanmış zemin üzerine yerleştirilmekte, atık hacmini azaltmak için sıkıştırılmakta ve periyodik olarak üzeri kapatılmaktadır. Düzenli depolama yönteminin özellikleri kısaca şöyledir;

- ✓ Katı atıklar çevreye kötü koku yaymaz.
- ✓ Katı atıklar rüzgarla etrafa yayılıp çevreyi kirletmez.
- ✓ Zararlı ve hastalık taşıyıcı canlılar barınma ve çoğalma ortamı ortadan kalkar.
- ✓ Sızıntı suları kontrol altında alınıp arıtmakta olup yeraltı ve yerüstü suları kirlenmeye karşı korunur.
- ✓ Depo tesisine evcil ve yabani hayvanların girmesine, orada barınıp beslenmelerine ve çoğalmalarına engel olunur (Pichtel, 2005).

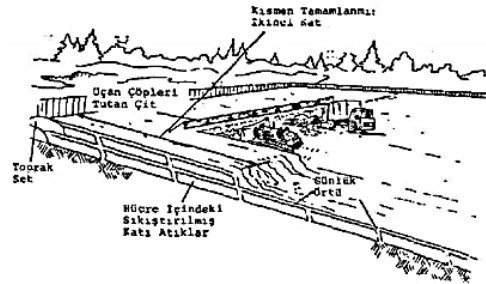
Düzenli depolamada en önemli aşama yer seçimidir. Bu aşamada öncelikle bölge içinde katı atıkların sağlıklı ve çevreye en az düzeyde kirlilik yaratacak olan sahaların belirlenmesi gerekir. Saha seçiminde dikkate alınması gereken faktörler ise; arazinin büyüklüğü ve ömrü, mevcut ulaşım ağlarının uygunluğu, taşıma mesafesi, toprak cinsi ve topografya, yüzey suyu hidrolojisi, jeolojik ve hidrojeolojik şartlar, bölgenin deprem durumu, iklim koşulları, yerel, çevresel faktörler sahanın tamamlandıktan sonraki kullanım amacıdır (Anonymous, 1994).

Depolama sahalarında katı atıklar yaygın olarak hendek metodu, alan metodu ve hücre metodu kullanılarak doldurulmaktadır (Anonim, 2010).

1.5.1.1. Alan yöntemi

Bu yöntem arazinin hendek kazılmasına uygun olmadığı hallerde kullanılır. Arazi üzerine işletme öncesi yapılabilecek tek çalışma, arazi yüzeyindeki yüksek organik içerikli toprağın tamamlanan deponi alanını örtmek amacıyla kullanılmasıdır. Çöplerin uzun ve dar şeritler (30-60 cm kalınlıkta) halinde araziye serilir ve sıkıştırılarak 2-3 m yüksekliğe kadar depo edilir. Günün sonunda çöp yığını üzerine 20-30 cm kalınlığında toprak örtü ile kaplanır. Üzeri toprakla örtülen sıkıştırılmış toprak yığımına “Hücre” adı verilmektedir. Alan yöntemi yeraltı su düzeyinin yüzeye yakın olduğu alanlarda kullanılır. Alan yönteminde verime etki eden en önemli faktör çalışma yüzeyinin büyüklüğüdür (Güler vd., 1994).

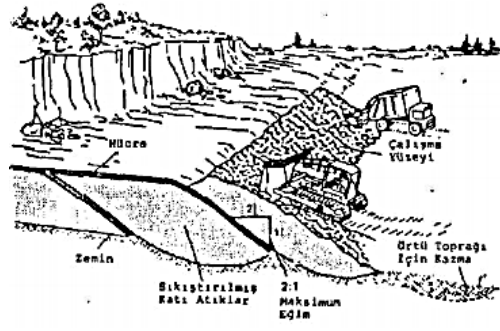
Alan metodu, daha çok doğal çukurlarda uygulandığında aşırı miktarda sızıntı suyu oluşmaktadır. Ayrıca işletilmesinde kontrolün çok zor olması sebebiyle tercih edilen bir yöntem değildir (Anonim, 2010).



Şekil 1.6. Alan yöntemi ile katı atık depolama (Güler vd., 1994)

1.5.1.2. Hendek yöntemi

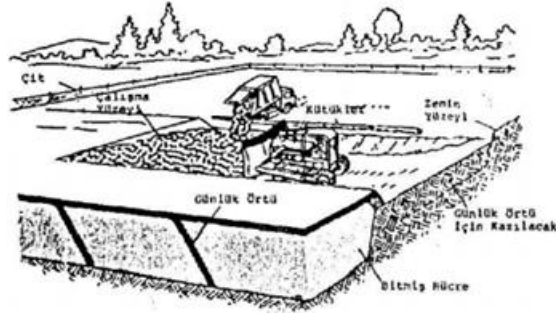
Hendek yöntemi yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlarda az miktarda atık depolanacağından ve doldurulacak atık hacmi kadar kazı yapılacağından ekonomik bir yöntem değildir (Anonim, 2010) Yöntem ise toprak yüzeyinde dar ve uzun kazılar yapılır ve kazılar sonucu çıkan toprak stok edilir. Ardından katı atıklar genellikle 40-100 m uzunluğunda, 1-2 m derinliğinde ve 5-8 m genişliğindeki yapılan hendeklere boşaltılır. Atıklar 1:3 veya en fazla 1:2 eğiminde yayılarak sıkıştırılır (Güler vd., 1994).



Şekil 1.7. Hendek (Rampa) yöntemi ile katı atık depolama (Güler vd., 1994)

1.5.1.2. Çukur (hücre) yöntemi

Hücre metodunda katı atıklar daha önceden hazırlanmış, alanlara depolanır. Özellikle son yıllarda ekonomik ve emniyetli olması sebebiyle, hücre metodunun kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (Anonim, 2010). Deponi alanlarında ortalama olarak ilk yüksekliğinin %20'si kadar çökme meydana gelir ve çökmelerin %90 ilk 5 yılda meydana gelir. Bu yüzden ilk 5 yıl içinde deponi sahasına fazla yük bindirilmemelidir (Güler vd., 1994).



Şekil 1.8. Çukur yöntemi ile katı atık depolama (Güler vd., 1994)

Düzenli depolama alanında aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır;

- ✓ Zemin sızdırmazlığı,
- ✓ Sızıntı suyu drenajı,
- ✓ Yağış suyu ve çevre drenajı,
- ✓ Gaz drenajı, yararlanılması veya yakılması,
- ✓ Çöp araçlarının temizlenmesi,
- ✓ Yabancı hayvanların girişinin engellenmesi,
- ✓ Kağıt ve plastiklerin uçuşmalarının önlenmesi
- ✓ Dolgusu biten kısımların yeşillendirilmesi (Atmaca, 2004).

1.5.2. Yakma

Yakmanın (Incineration) literatürde pek çok tanımı vardır. Katı atıklara uygulanan şekliyle, Dünya Sağlık Teşkilatı'nın (WHO) katı atıklar sözlüğünde yakma, yanabilir katıların yüksek sıcaklıkta yanarak inert atıklar haline getirilme yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Patrick ve Buekens, 1995). Başlıca amacı depolama ile uzaklaştırılacak atık miktarının azaltılması olan yakma yöntemi ile, katı atıkların hacimce %80-90 ağırlık bakımından %75-80 oranında azaltılabilmektedir (Saltabaş vd., 2011)

Katı atıkların yakılabilmesi için atığın yakmaya uygun olması ve ikincil bir yakıta ihtiyaç duyulması önemlidir. Aksi takdirde yakma ekonomik olmamaktadır (Kaya, 2010).

Oldukça heterojen bir yapıya sahip olan ve bünyesinde çok değişik maddeleri ihtiva eden çöplerin yakılmasında ileri teknolojik alt yapıya sahip olunması gerekmektedir (Kaya, 2013).

Fiziksel ve kimyasal bileşimin bilinmesi durumunda katı atıkların ısıl değerini tahmin etmek mümkündür. Genel bir kural olarak ısıl değerin 5000 kJ/kg'ın altında olduğu durumlarda yakma doğru bir seçenek değildir (Patrick ve Buekens, 1995). Yanabilirlik açısından en önemli ölçüt nem, kül ve organik madde miktarıdır. Genel olarak kül ve cüruf içeriği %60'tan az, yanabilen organik madde oranı %25'ten fazla nem oranı %50'den az olan atıklar yanabilir olarak isimlendirilmektedir (TÇSV, 1995).

En önemli avantajı depolanacak atığın hacminin büyük oranda azalmasıdır. Ayrıca yanma sonucu ortaya çıkan atığın araziye boşatılması az sınırlandırmaları getirmektedir. Atığın yanmasıyla açığa çıkan ısı enerjisi endüstri ve halkın yararlanabileceği bir forma dönüştürülebilir.

Çöpün yakılabilmesi için, çok sayıda araştırma yapılmalı ve o bölgedeki farklı çöp numunelerinin incelenmesi sonucunda gerekli ısıl değerli sağladığı kanıtlanmalıdır. Yakma yöntemi ile organik maddenin ısıl içeriği %65-80 oranında sıcak hava, buhar ve sıcak suya dönüştürülebilir (Kaya, 2013).

Yakma; atıkların bertarafı için yeterli arazinin bulunmadığı, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip alanlarda sıkça kullanılan bir yöntemdir. Ancak yakma işlemi çoğu zaman ciddi hava kirliliği sorunlarına neden olabilir (Atmaca, 2004).

1.5.3. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, biyolojik bozunma ile eş anlamlı kullanılabilir (Kaya, 2013). Kompostlaşma işlemi genel olarak katı atığın içindeki organik atıkların bozulması işlemidir. Bu süreç, katı atığın içinde bulunan bitki hayvan atıklarının stabil toprak yapıcısı ve koşullandırıcısı olarak kullanılabilecek bir hale dönüştüren işlemdir. Katı ve sıvı atıkların içindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalar ile daha basit bileşiklere, özellikle CO₂ ve H₂O'ya dönüştürülürler (İpekoğlu, 1990).

Kompostlaştırma işlemi, nemi tutulan ve havalandırılan karışık organik atıklarda doğal olarak bulunan, kendiliğinden çoğalan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Başlangıçta çoğunlukla bakteri olan bu mikroorganizmaların çoğalması sırasında ısı, CO₂ ve su buharı açığa çıkar. Eğer ısınin açığa çıkması, ısı kaybından daha hızlı ise, sıcaklık yükselir, ısıya karşı duyarlı organizmalar ve ısıya karşı dayanıklı bakteriler çoğalır. Birinci aşamada mezofilik bakterilerle beraber actinomycetes maya ve diğer mantarlar, yağlar, proteinler ve karbonhidratları ayrıştırırlar. Sıcaklık 40-50 °C'ye ulaştığında kompostlaşmayı başlatan organizmaların hemen hemen tamamı ölür ve bunların yerini 70 °C sıcaklığa kadar dayanabilen ve ısı üretebilen termofilik bakteriler alır. Bu aşamada bütün patojenik organizmalar birkaç saat içinde ölür. Termofilik bakteriler kendi içinde mevcut besini tükettikten sonra ısı üretmeyi durdurur ve kompost soğumaya başlar. Soğuyan komposta son özelliklerini veren ölü bakterileri de içeren yeni bir grup organizma çoğalır. Kompostlamanın üç evresi; mezofilik evre, termofilik evre ve iyileştirme evresi olarak adlandırılabilir. Kompostlamanın son ürünü toprakta bitki ve hayvan kalıntılarına benzer biyolojik işlemlerle doğal olarak yapılan humusa oldukça benzeyen ve daha fazla parçalanamayan maddelerden oluşan organik bir kütledir (Brunt vd., 1995).

Kompostlaştırma, organik maddeyi daha stabil formlara ve inorganik ürünlere dönüştüren, metabolik atık ürün olarak ısı açığa çıkaran mikrobiyal aktivitelerin sonucudur (Kaya, 2010).

Kompostlama; mikroorganizma miktarı ve mikroorganizmaların faaliyetleri, ortamın sıcaklığı, nem içeriği, kompostlanacak maddelerin büyüklüğü, oksijen miktarı, pH ve karbon/azot oranına bağlıdır (Hamoda vd., 1998; Das vd., 2002).

Kompostlamada optimum nem içeriği %60'dır. Nem içeriğinin %60'dan daha büyük olması kompost kütlesine oksijen difüzyonunu engellemektedir. Diğer taraftan düşük nem oranları da kompostlamada verimi düşürmektedir. Mikroorganizmaların enerji kaynağı olarak kullanacakları organik maddelerin çözünmesi için nem oranının belli bir düzeyde olması gerekmektedir (Hamoda vd., 1998).

Kompostlama organizmalarına çoğunluğunu oluşturan bakterilerde K/A oranı yaklaşık 30 olup 23-35 aralığı kompostlaştırma için optimum aralıktır (Brunt vd., 1995).

Kompostlaştırmayı denetim altına alabilmek için çeşitli canlıların, özellikle patojen organizmaların ölme derecelerinin bilinmesi gerekir. Ortamdaki ısının yükselmesi, hem mikroorganizmaların faaliyetinin bir ölçüsü hem de patojenleri öldürme göstergesidir. Patojen bakteriler sadece ısının yükselmesi ile değil, metabolizma ürünü bileşikler nedeniyle de ölmektedirler (Atmaca, 2004).

Kompostlaştırmayı etkileyen diğer faktörler ise parçacık büyüklüğü ve pH'dır. Kompostlaştırmada parçacık büyüklüğü oksijen transferi açısından önemli bir parametredir (Diaz vd., 1993). Kompostlamada ortam ısınmaya başlayınca çoğalan kükürt bakterilerinin salgıladığı organik asitlerle pH düşer, sıcaklığın yükselmesi durumunda bu tür bakteriler ölür ve ortamın pH'ı yeniden yükselir (Iannotti vd., 1993; Atmaca, 2004).

Kompostlaştırma işlemi aerobik ve anaerobik olarak yapılabilmektedir. Kompostlaştırma prosesinde ilk adım aerobik ayrışmadır Aerobik ayrışmanın devam etmesi için oksijenin yeterli olması gerekmektedir. Aerobik kompostlaştırma madde ayrışmasını hızlandırılır ve patojenlerin yok edilmesi için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık artışı meydana getirir. Aerobik kompostlaştırma aynı zamanda istenmeyen kokuları minimize eder. Ayrışmayla beraber ortamda su buhar ve CO₂ artışı devam etmektedir. Atıklarda bulunan azot bileşikleri kısmen, uçucu NH₃'a dönüşmektedir. Fermantasyon sonucunda karışımın sıcaklığı artmaktadır (Çalışkan, 2013).

Kompostlaştırma enerji kullanmadan katı atıkları zararlı olmayan ve hatta yararlı bir ürüne çeviren doğal bir süreç olmasına karşın yaygın bir uygulaması yoktur. Büyük boyutlu birçok kompost tesisi, giderlerini karşılaması beklenen ürünü pazarlayamamalarından dolayı kapatılmıştır.

1.5.4. Piroliz ve gazifikasyon

Piroliz, oksijen yokluğunda duyarlı (stabil) olmayan organik maddeleri gaz, sıvı ve katı bileşenlere dönüştüren termal (400-800°C) bir arıtım sürecidir. Piroliz sistemleri literatürde genellikle gazlaştırma sistemleriyle karıştırılmaktadır. Gazlaştırma ve piroliz sistemlerinin ikisi de katı atıkları gaz, sıvı ve yakıtlara dönüştürmek için kullanılmalarına karşın iki sistem arasındaki temel fark piroliz sistemleri oksijensiz ortamda dışardan ısı alan ve endotermik reaksiyonlar meydana getirmesi, gazlaştırma

sistemlerinin ise atıkların yakılması için kısmen oksijen ve hava kullanılmasıdır (Tchobanoglous vd., 1993; Güden, 2011).

Piroliz katı atıklara hava yokluğunda uygulanarak, gaz, katı ve sıvı ürünler elde edilir. Gaz ürünler; hidrojen, metan, karbondioksit, karbon monoksit, etilen ve diğer gazlar, sıvı ürünler asetik asit, aseton, metanol ve katran, katı ürünler ise; katı atığın içerisindeki mevcut olan inert gereç ve saf karbondan oluşur. Biyokütleyi çeşitli yakıtlara çevirmek için kullanılan en iyi yöntemlerdendir (Çalışkan, 2013).

Gazifikasyon, karbon içeren biyokütle gibi katıların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücresine verilen hava ile biyokütle yakılır ve çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra karbon monoksit ve azot gibi gazlar da bulunur (Brifing, 2008)

1.5.5. Kaynakta azaltma ve geri kazanma

Atıkların kaynağından azaltılması, daha az malzeme kullanılacak şekilde ürün paketlerinin yeniden düzenlenmesi, malzemelerin kullanımında isteğe bağlı veya dayatılmış davranışsal değişikliklerin sağlanması ve malzemelerin dayanıklılığını veya yeniden kullanımını arttırmak gibi atık oluşumunu engelleyen her türlü faaliyet olarak tanımlanmaktadır. Katı atık yönetiminde önceliğe sahip bir süreç olmasına rağmen kaynakta azaltımın evrensel olarak kabul edilmiş net bir tanımı bulunmamaktadır. Kaynakta azaltım tanımı için kullanılan bazı terimler ise; atık azaltımı, atık önlenmesi, atık minimizasyonu ve kirliliği önlenmesi ifadeleridir (Kaya, 2013).

Geri kazanım “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde”, tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan, atıkların özelliklerinden yararlanılarak içinde bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Kaya, 2010).

Plastik, cam, metal, kağıt, seramik, tekstil, kemik ve ahşap gibi malzemeler, depolama alanlarına gömülmek yerine ikincil hammadde olarak değerlendirilebilir. Bu şekilde hem endüstrinin hammadde ihtiyacı azaltılır hem de hammadde için harcanan enerji, su vb. tüketimi azaltılır. Ayrıca bu atıkların yoğunluğu genellikle çok düşük olduğu için büyük çöp hacmi oluşturur. Değerlendirilebilir atıkların ekonomiye geri kazanılmasıyla depolama sahalarına giden atık hacmi önemli mertebede azalır ve depolama sahalarının ömrü böylece uzatılır (Akpınar, 2006).

Geri kazanma, geri kazanabilecek maddelerin kaynakta ayrılması, toplama sırasında ayırma ve merkezde ayırma yöntemlerinden birisiyle yapılabilir. Ancak geri kazanımın

en etkin yolu kaynaktan ayırma sistemidir. Atıkların üretildiği yerde ayrı ayrı toplanıp, sonra bir ayırma tesisinde daha saf fraksiyonlara ayrılması en uygun yaklaşımdır. Ancak bazı yerlerde bu yaklaşım sosyo-ekonomik faktörlerden dolayı mümkün değildir. Bu durumda, atıklar karışık toplanır, sonra bir ayırma tesisinde yaş çöplerden ayrıştırıldıktan sonra fraksiyonlara ayrıştırılır (Akpınar, 2006).

1.5.6. Biodrying (biyo-kurutma)

Biyolojik kurutma, kentsel atıkları kurutmak ve kısmen stabilize etmek için mekanik-biyolojik arıtma (Mechanical-Biological Treatment, MBA) tesislerinde kullanılan bir tür aerobik ayrıştırma yöntemidir. Biyolojik kurutma MBA tesisleri biyolojik kütle içerisinde yüksek miktarlarda bulunan katı maddeden geri kazanılmış yüksek kaliteli yakıt (Solid Recovered Fuel, KMGKY) üretilmektedir (Velis vd., 2009). Biyo-kurutma sürecinde, işletim parametreleri, reaktör tasarımı ve sürecin (zaman) biyolojik olarak kurutulmuş çıktı kalitesindeki etkileri incelenmektedir.

Biyolojik kurutma reaktörlerindeki atık, hava ve ısı yayılımı ile kurutulur. Yüksek hava akım oranları ve karıştırma ile etkin kurutma sağlanır. MBA süreci ve değiştirilen parametreler ile katı maddeden geri kazanılan yakıt (KMGKY) son kullanıcılar için yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşturur.

Biyolojik kurutma, mekanik-biyolojik arıtma (MBA) tesislerinde kentsel katı atıkların (Municipal Solid Waste, EKA) işlenmesi için önemli bir alternatiftir. MBA olarak tanımlanan atık işleme tesisleri kompostlama veya anaerobik çürütme gibi biyolojik dönüştürme reaktörleri ile mekanik yöntemlerde kullanılmaktadır. Son 15 yıllık süreçte Avrupa'da MBA teknolojisi kullanılan tesisler inşa edilmiştir. Sadece Almanya'da halen 6.350.000 ton/yıl katı atık bu yolla işlenmektedir (Kuehle-Weidemeier, 2007). MBA geliştirmekte olan ülkeler içinde cazip bir seçenektir (Pereira, 2005; Raninger vd., 2005; Tränkler vd., 2005; Lornage vd., 2007).

Bilindiği kadarıyla biodrying (Biyolojik kurutma) terimi ilk defa Jewell ve ark. (1984) tarafından çiftlik gübresinin kurutulması ile ilişkili çalışmalarından bahsederken ortaya atılmıştır (Velis vd., 2009).

Tipik olarak MBA tesislerindeki biyolojik kurutma reaktörleri ufulanmış fakat ayrışmamış EKA ile doldurulur yoğun mekanik ve biyolojik işlemeye maruz bırakılarak biyolojik kurutulmuş bir çıktı elde edilir. Atığı kurutmak için biyolojik kurutma reaktöründe ayrışabilir organik maddelerin aerobik ayrışması sırasında açığa çıkan termal enerji fazlalığı havalandırma ile kombine edilir.

Bu, giren atıktaki fazla suyun giderilmesinin mekanik işlemeyi kolaylaştırmasından ve termal geri kazanım potansiyelini iyileştirmesinden dolayı katı maddeden geri kazanılmış yakıt üretmek için kurulmuş olan MBA tesisleri için caziptir (Rada vd., 2007). MBA’de biyolojik kurutma ile KMGKY üretiminin başlıca faydası, giren atığın nötr karbondioksitli (CO₂), alternatif bir enerji kaynağı olan biyojenik içerikli bir yakıt üretimine fırsat vermesidir (Mohn vd., 2008; Staber vd., 2008). Özgün emisyon yükü bakımından düşük CO₂ içeren bir KMGKY üretilir (Heering vd., 1999). Böylece iklim değişikliğine atık yönetimin katkısı azaltılır. Halen Avrupa’da faaliyet gösteren ve toplam kapasiteleri yaklaşık 2.000.000 ton/yıl olan 20 ticari kurum vardır. Sonuç olarak biyolojik kurutma MBA tesislerine ilgi büyüktür (Shanks, 2007). Bu ilginin gelecek yıllarda daha da artacağını göstermektedir.

1.5.6.1. Ticari biyolojik kurutma MBA uygulamaları

MBA tesislerinde bazı ticari, patentli biyolojik kurutma uygulamaları tarif edilmiştir.

Teknoloji Sağlayıcı: Eco-Deco

Eco-Deco 1990’ların ortasında biyolojik kurutmayı geliştirmiş olan İtalya ve İspanya’da yaklaşık 90.000 ton/yıl toplam kapasiteye sahip 10 tesis işleten bir İtalyan şirkettir. (Shanks, 2007). Teknolojiyi BioCubi® adı altında ve genel tesisi “Akıllı Transfer İstasyonu (ITS)” adı altında pazarlamaktadır (Juniper, 2005).

Eco - Deco tesis konfigürasyonları farklılık göstermektedir. Tesisleri tamamen kapalı ve hava kirliliği kontrol sistemleri ile donatılıdır. Atık girdisine takiben aerobik fermentasyon etkinliğini artırmak için homojenleştirme ve boyut küçültmek amacıyla yaklaşık 200-300 mm boyutlarına kadar atıklar ufalanır. Havalandırma zemindeki dökümlü havalandırıcılar ile sağlanır. Hava akımı sıcaklığa bağlı olarak otomatik ayarlanır. Biyolojik kurutma ünitesindeki bekletme süresi 12-15 gündür (Velis vd., 2009).

Teknoloji Sağlayıcı: Entsorga

Teknolojiyi H.E.BIO.T.® (High Efficiency Biological Treatment) adı altında pazarlamaktadır. Bileşik Krallık’ta 60.000 ton/yıl işleyecek olan bir MBA tesisi işleme açılacaktır. Süreç ve performansı hakkında henüz bir bilgi yoktur (Velis vd., 2009).

Teknoloji Sağlayıcı: Future Fuels

Future Fuels Skourides ve ark. (2006) tarafından gerçekleştirilmiş olan pilot ölçekli araştırma ve geliştirme çalışmalarına dayanarak yakın geçmişte biyolojik kurutma yöntemine yönelik uluslararası bir patent başvurusunda bulunmuştur. Atık potansiyeli olarak ticari atıklardan mekanik yollarla ayrıştırılmış olan kentsel katı atıkların organik kısmını (Organic-Fraction of Municipal Solid Waste, KKAOF) işlemek için eğimli döner biyolojik kurutucu (Rotary Bio-Dryer, DBK) kullanmaktadır.

Yukarıda sayılan ticari kurutma teknoloji sağlayıcı firmaların haricinde; Herhof, Nehsel ve Werhle Werk firmalarında mevcuttur (Velis vd., 2009).

1.5.6.2. Biyo-kurutmaya etki eden faktörler

Atığın Fiziksel-Mekanik Özellikleri

Biyolojik kurutma büyük bir oranda fiziksel buharlaşma sürecine bağlıdır. Bu sebepten dolayı atığın fiziksel-mekanik özelliklerinin süreç optimizasyonu için kritik öneme sahip olduğu varsayılabilir. Nem içeriği (Moisture content, Nİ), hava, porozite, geçirgenlik, mekanik dayanım ve atığın sıkıştırılması gibi özellikleri etkin bir biyolojik kurutma için gerekli olan hava akımına karşı direnç gösterme potansiyeline sahiptir. Biyolojik kurutma girdisinin ön işleme tutulması verimli bir kurutma için önemlidir. Çoğu biyolojik kurutma MBA tesisinde atıklar ön işlemde geçirilerek 300-150 mm partikül büyüklüğüne kadar parçalanmaktadır. (Velis vd., 2009).

Havalandırma Sistemi Türü

Atığın mekanik destekli havalandırması biyolojik kurutma için kritik öneme sahiptir. Havalandırma;

- ✓ Su içeriğinin giderilmesini,
- ✓ Atığın sıcaklığının korunması, ısı aktarımını sağlanması ve dağıtılması,
- ✓ Aerobik bozunma için gerekli olan O₂ tedarikini, mümkün kılan kütle ve enerji akımını sunmaktadır (Velis vd., 2009).

Biyolojik kurutmada hava yönetimi reaktör tasarımına ve sürece bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kısmi devirli sürekli havalandırma sistemleri biyolojik kurutmada atıktan oluşan gazların miktarını azaltmak için kullanılır.

Nem İçeriği ve Kayıpları

Bir numunedeki yerçekimine karşı atıktaki tutulan su miktarının atığın nem içeriği denir. Katı atıkların nem kayıpları; hava akım oranı değerleri (giriş ve çıkış hava koşulları) göz önüne alınarak tahmin edilebilir (Richard, 2004). Nem, kütle dengesinden yola çıkılarak, metabolik su kazanımlarını buharlaşma-taşınma kayıplarından hesaplanabilir (Velis vd., 2009).

Biyolojik kurutma sırasında uçucu katı maddenin (UKM) tamamen ayrıştırılmış olmasından dolayı (bozunma etkisi) düşük nem koşullarının (su stresi) mikrobiyal faaliyetlerini ve hareketini engeller hatta durdurabilir (Griffin, 1981; Miller, 1989).

Biyolojik kurutma süreçleri için biyolojik bozunma sürecinin engellendiği asgari nem içeriği belirlenememiştir. Atıktaki Nİ, su stresine yaklaştığından mikrobik faaliyete dayalı ısı üretim oranının düşeceği beklenebilir ve bu da kuruma mekanizmasını etkileyecektir (Haug, 1993).

Sıcaklık

Kurutmayı optimize eden sıcaklık aralığına yönelik birbirine tezat olan açıklamalar vardır. Aerobik biyolojik bozulmaya yönelik bazı modelleme çalışmaları en yüksek giderimin yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirildiğini belirtirken deneysel çalışmalarda ise çok daha düşük sıcaklıklarda azami kurumanın gerçekleştiğini ileri sürmektedir (Velis vd., 2009).

Mukayeseli olarak yapılan bir çalışmada etkili bir kurutma için 45 °C ve yüksek havalandırma oranlarında elde edilebileceği ifade edilmektedir.

Mikrobiyal Faaliyet

Biyolojik kurutma sırasında mikrobiyal süreç atık substratlarının bozunmasına bağlı olarak ısı oluşmasına sebep olmasından dolayı etkili bir kurutma için incelenmesi gerekmektedir. Atık sıcaklığı ($T_{atık}$) belirli mikroorganizmaları için ideal koşulların (mezofilik veya termofilik) sağlanmasıyla dolaylı mikrobiyal büyümeyi etkileyen önemli bir etkidir (Sundberg vd., 2004).

EKA biyolojik kurutma tipik olarak optimal kompostlama için gerekenden daha düşük olan bir Nİ aralığında gerçekleştirilir ve $T_{atık}$ profili farklılık göstermektedir. Bu yüzden bozulma davranışı kompostlama çalışmaları sonuçlarına kıyaslandığında çok daha farklıdır. (Adani vd., 2002).

1.5.6.3. Biyo-kurutmaya ile kompostlama arasındaki farklar

Organik atıkların biyolojik kurutulması ilk olarak organik malzeme yığınınındaki sıcaklık artışının gözlemlendiği andan itibaren araştırılmaya başlanmıştır. Biyolojik faaliyetler sonucunda atık yığınının sıcaklığı yükselmiş, sıcaklığı yükselen atık yığının nemi ve uçucu katı maddeleri buharlaşmış böylelikle atık daha stabil bir özellik kazanmıştır. Atık yığının porozitesi sayesinde havanın yığına girmesini, nemi absorbe etmesini, suyu atmosfere taşıyan doğal bir hava akımı ile yığından çıkmasını ve organik maddeyi başlangıçta olduğundan daha kuru ve biyolojik olarak daha stabil olmasını mümkün kılmıştır. Bu işleme genel olarak kompostlama denir. Kompostlamanın yaygın faydaları arasında atıktaki patojen mikroorganizmaların yok edilmesi ve biyolojik olarak ayrıştırılabilir olan uçucu katı maddelerin parçalanması gelmektedir. Bir başka faydası ise kompostlama süreci tamamlandığında kötü koku oluşumunun durmuş olmasıdır.

Kompostlamanın başlıca dezavantajları arasında, kontrol edilemeyen ve ön görülemeyen çevre ve hava sıcaklıkları neticesinde kötü koku oluşması ve toz açığa çıkması bulunmaktadır. Böylesi bir durumda yığın derinliği, çevrilme sıklığı, mevcut alan, havalandırma oranları, yığın porozitesinin korunması, nem içeriği ve kompost sıcaklığı hedef katı madde içeriğine ulaşması için gerekli olan süreyi ve istikrarlı patojenleri yok etme kabiliyetini olumsuz etkileyecektir

Biodrying EKA'ya uygulanan tek akışlı bir aerobik işlemdir. Yani, tipik iki akışlı işlemde olduğu gibi biyolojik adım öncesinde eleme işlemi yoktur. Bu süreç sırasında biyolojik ayrıştırılabilir malzeme temel olarak karbondioksit ve suya parçalanır. Oksijen varlığı ile mikrobiyolojik faaliyetler sırasında ısı oluşur. Biyolojik olarak kurutulmuş malzeme mekanik ayırma için daha uygundur. Oluşan atık daha yüksek bir alt ısı değerine (Lower Heating Value, AID), daha düşük bir kütleye ve kısmen daha az biyolojik ayrıştırılabilir içeriğe sahip farklı bir atık olur (Negol vd., 2009)

Biyolojik kurutma ile biyolojik bozunma aynı görülmemelidir (Rada vd., 2005). Aralarındaki başlıca farklar: Bio kurutma da işlenecek olan malzemenin hazırlanması (öncesinde eleme olmaması), yönetim kriterleri (su eklenmemesi), işlem süresi (daha kısa sürede gerçekleşmesi), emisyon etkenleri (daha az olması), enerji dengesi olarak belirtilebilir (Negol vd., 2009).

Atık yönetimi ilgili en güncel AB politikası depolanma öncesinde malzemenin geri dönüştürülmesini, enerji geri kazanımını ve atık işlemeyi tavsiye etmektedir. Bu nedenle biyolojik stabilizasyon ve biyolojik kurutma gibi süreçler artan bir şekilde gerek düzenli depolama gerekse yakma öncesinde ön işlem olarak alternatif

oluşturmaktadır. Aerobik süreçler alanında biyolojik stabilizasyon ile biyolojik kurutma arasında bir ayrım yapmak zorundadır.

✓ Biyolojik stabilizasyon; evsel katı atıkların deponi alanlarında depolanması öncesi yararlı hale gelmesi için veya kirlenmiş organik fraksiyonların ıslahı için uygulanan aerobik biyolojik dönüştürme işlemidir.

✓ Biyolojik kurutma: Aynı atıklara uygulanan aerobik biyolojik dönüştürme işlemidir. Nihai ürün çöpten üretilen yakıtın kullanılması (ÇÜY) veya lisanslı termal tesislerde imhasını öngörmektedir (Rada vd., 2005).

Biodrying ile kompost arasında birçok ortak nokta olmasına rağmen temelindeki fark her iki işlem içinde hedeflerinin farklı olmasıdır. Kompost tamamen kokuları gidermek ve patojen mikroorganizmaları öldürmeyi ve biokütledeki çürümeyi amaçlamaktadır. Kompostlama süresi birkaç ay sürebilir. Biodrying ise en kısa zamanda mümkün olduğu kadar su giderimini amaçlamaktadır. Süreç atık malzemenin türüne ve sisteme bağlı olmakla birlikte iki hafta kadar sürmektedir. Ayrıca biodrying sonucu oluşan biodried malzeme biyoenerji üretimi için potansiyel değere sahipken kompostlama sonu oluşan ürün toprak iyileştirici madde olarak kullanılabilir.

1.6. Amaç ve Kapsam

Avrupa Birliği direktifleri ve Türkiye'nin orta ve uzun vadeli taahhütlerinden dolayı gelecek yıllarda çevre yönetimi alanındaki senaryolar değişmek durumundadır. Mevcut üretilen katı atıklar genel olarak araziye depolanmaktadır. Fakat Türkiye'de yürürlükte olan "Katı Atık Yönetmeliği" araziye depolanan ayrıştırılabilir atığın azaltılmasını öngörmektedir.

Katı atıklarda biodrying yöntemi oldukça yeni bir teknolojidir ve yayınlanmış olan araştırmalar ve çalışmalar sınırlıdır. Ticari ve tam ölçekli biyolojik kurutma MBA tesisleri uygulamaları ve çalışmaları son 15 yılı kapsamaktadır. İşletime alınan ilk tesisler İtalya'daki BioCubi®, aerobik kurutma sürecini kullanan Eco Deco (1996) ve Almanya'daki Rotteboxes® kullanan Herhof (1997) sürecidir. Araştırma konusu olmasına rağmen süreç tam olarak optimize edilememiştir (Adani vd., 2002).

Biodrying süreçlerinin bilimini ve mühendisliğini doğru anlamak için mevcut ticari teknolojilere ve bilimsel literatüre başvurmak gerekmektedir (Velis vd., 2009).

Bu çalışmada, evsel atıklar için biyolojik kurutma sürecine ısı, zaman ve havanın etkilerinin analizi sunulmaktadır. Atıklarda mevcut olan biyolojik ayrıştırılabilir fraksiyonun (%45-55) içerdiği yüksek miktarda su ile karakterize edilir. Atık bu haliyle termik enerji santrallerinde veya çimento fabrikalarında doğrudan yakılmaya uygun

değildir. Bununla birlikte içerisindeki nem muhtevası atıkların hacimsel ve kütleli oranını artırmakta deponi sahalarında fazla hacim kaplamasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmanın ana amacı atık kütleye uygulanacak uygun miktarda sıcaklık, hava, mekanik karıştırma ile biyokimyasal oksidasyonun ekzotermik reaksiyonları sayesinde su içeriğini azaltmaktır. Biyolojik kurutma işlemi sonrasında elde edilen nihai ürünün öncelikle en çok hacim azalımının sağlandığı optimum koşullar belirlenmiş daha sonra bu şartlar altında atığın ısı enerjisinin tayin edilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Biodrying (Biyolojik Kurutma) Çalışmaları

Scholwin ve ark. (2003), organik substratın biyolojik kurutulması konusunda etkin süreç modelleme ve denetimi için atık matrislerinin fiziksel-mekanik özelliklerin öneminin altını çizmişlerdir. Etkin biyolojik dönüştürmeyi etkileyebilecek olan ilgili parametreler; malzeme, doldurulan yatak ve akış şemaları ile ilgili olmak üzere üç sınıfta gruplandırılmıştır. Substratların kurutulması ile ilgili konuların anlaşılması geliştirilmiştir (Richard vd. 2004).

Vander Gheynst ve ark. (1997), başlangıç nem içeriği %45 ve %55 olan sentetik yiyecek atığının kurutulmasının gerçekleştirilen pilot ölçekli reaktörde sıcaklık ve nem profillerini araştırmışlardır. Azami sıcaklık farklılıklarının belirgin nem içeriği ile birlikte ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir. Sıcaklık farklılıklarının yüksek havalandırma oranlarında daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir (Velis ve ark., 2009).

Adani ve ark. (2002), kapsamlı bir araştırmada parçalanmış/öğütülmüş kentsel katı atıkların ($\emptyset < 50$ mm) ince katı atıklar ile doldurulmuş statik, ısı yalıtımlı reaktörler kullanmışlardır. Test serileri hava akım oranının manuel olarak ayarlanması ile kontrol edilen orta katman matris sıcaklığının belirlenmiş olan noktasında yürütülmüştür. Etkin ve hızlı bir kurumanın yüksek hava akım oranlarında gerçekleştiğini belirtmişlerdir (Sugni vd., 2005).

Rada ve ark. (2007), yüksek nem (%50 A/A) ve %50 organik madde içerikli suni kentsel katı atık ile test ölçekli deneylerinde hem su hem de uçucu katı maddeler (Volatile solids, UKM) kayıpları için benzer zaman eğrileri rapor etmişlerdir. Çoğu kayıplar nem giderilmesi ile açıklanmaktadır (UKM ile yoğunlaşan nem arasındaki ağırlık kaybı oranı 1:7). Kurutmadaki kuruma oranının temel olarak hava akımı oranı ve çıkış hava sıcaklığı ile ilişkili olduğu rapor edilmiştir. Bunun da biyolojik faaliyetlere bağlı olduğu tespit edilmiştir (Roy, 2005; Navaee-Ardeh vd., 2006).

Leonard ve ark. (2005), 3^3 faktörlü bir tasarım deneyi kullanarak bir mikro kurutucuda atık su çamurunun konvektif kuruması sırasında kuruma kinetiği üzerinde giriş hava sıcaklığının, yüzeysel hızın ve nemin etkilerini incelemişlerdir (Velis vd., 2009).

Bartha (2008), döner tambur biyolojik kurutma reaktörü için CO₂ içeriği %0,05-0,4 aralığında tutulacak şekilde hava tedarikinin kontrol edilmesini tercih etmiştir (Velis vd., 2004).

Roy ve ark. (2006), Selüloz ve kâğıt atıklarının biyolojik kurutulmasında daha yüksek hava akımı oranlarında daha yüksek kuruma oranları (birim zamanda giderilen nem

miktarı) rapor etmişlerdir. $T_{\text{çıkış}}$ ve Q_{hava} eğrileri aynı meyili göstermiştir. Bu daha etkili bir kuruma için yüksek hava akım değerleri kullanmışken 45°C 'lik sıcaklıkta saatlik $0,023\text{ m}^3$ 'lük hava akımı ile en iyi kurutma sonuçlarını elde etmişlerdir.

Skourides ve ark. (2006), kentsel katı atıkların organik kısmını bir döner tamburda karıştırılmış ve biyolojik kurutulmasını araştırılmışlardır. Benzer bir şekilde sonuçlar azami kuruma oranının kullanılan en yüksek havalandırma oranında ($120\text{ m}^3\text{sa}^{-1}$) gerçekleştiğini göstermiştir. Bu da kısa bekleme süresinde(<7 gün) başlangıçta %40 A/A iken %20 A/A ile sonuçlanmıştır (Velis vd., 2009).

Roy ve ark. (2006), yüksek nem değerine sahip posa ve kağıt atıkların biyolojik kurutulması sırasında mikrobiyal büyüme dönemleri ile ilişkili olan üç ayrı kuruma safhası tespit etmişlerdir; (1) Mikroorganizmaların üstel artan kuruma oranı ile sonuçlanan ortama alışması, (2) Yetersiz besin varlığına dayalı olarak kurumanın üstel azalması ve (3) Q_{hava} değerindeki dalgalanmalara dayalı sabit kuruma oranıdır. Bu biyolojik kurumanın mikrobiyal faaliyete daha az bağımlı olduğu, giderek su stresine dayalı olarak engellendiğini bunu yerine atıkta yalnızca fiziksel sürece dönüştüğü anlamına geldiğini belirlemişlerdir.

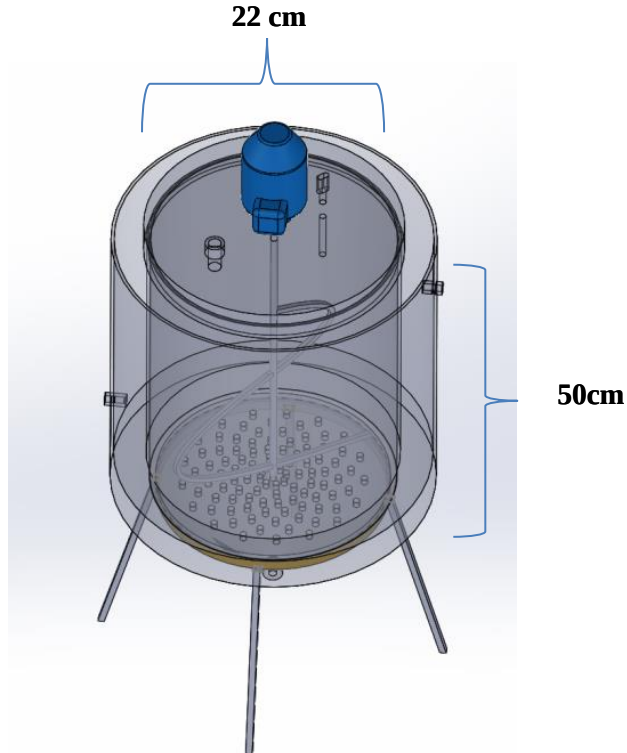
Adani vd. (2002), karşılaştırmalı laboratuvar testlerinde yüksek hava akımı oranının en yüksek enerji içeriği (Energy content, Eİ) ile birlikte en hızlı KMGKY üretimini (150 saat) sağlandığını belirtmişlerdir. Daha düşük hava akım oranlarının kullanılması sonucunda sürecin tamamlanması 205 saatten fazla sürdüğü bunun nedenin ise organik maddelerin yeterli derecede biyolojik olarak ayrıştırılmamasından kaynaklandığı sonucunu çıkarmışlardır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Numuneler ve Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan sentetik katı atık örneği, TÜİK verilerine göre “Aksaray İli Düzenli Katı Atık Deponi” sahasını yansıtacak şekilde Çizelge 3.1.’de gösterilen oranlarda ve miktarlarda hazırlanmıştır. Deneysel çalışmaların yapıldığı pilot ölçekli biyolojik kurutma reaktörü Şekil 3.1.’de gösterildiği gibi tasarlanmış ve Şekil 3.2.’deki gibi yaptırılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde nem giderim verimlerine bağlı hacimsel azalım miktarları dikkate alınmıştır. Bu amaçla çalışmanın ilk kısmında hazırlanan evsel katı atıklar farklı kombinasyonlar denenerek yapılan kurutma işlemi sırasında sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), dönüş hızları (rpm), hava miktarı (L/sa) ve süre (gün) değerleri belirli seviyelerde sabit tutulmuş ve hacimsel azalımın en fazla olduğu optimum değerler belirlenmiştir.

Optimum değerler belirlendikten sonra Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhanesi’nden alınan örnek üzerinde çalışılmıştır. Çalışma sonunda giriş katı atık su muhtevası ve hacim miktarı ile belirlenen şartlar sonrası çıkış değerleri ile karşılaştırılmış ve atık ısıl değer değişimi ölçülmüştür.



Şekil 3.1. Tasarlanan biodrying reaktörü



Şekil 3.2. Yaptırılan biodrying reaktörü

Çizelge 3.1.'de verilen oranlarda hazırlanmış 3 kilogramlık evsel katı atıklardan çeyrekleme yöntemiyle 100 gram örnek alınarak etüvde kurutulmuş ve başlangıçtaki nem içeriği belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Hazırlanan evsel atıkların % içerikleri ve miktarları

Başlangıçtaki Katı Atık		Atıktaki Kütleleri (kg)
Bileşen	%	
Organik Madde	52,90	1,580
Kağıt	12,31	0,370
Cam – Şişe	4,38	0,130
Teneke – Metal	2,89	0,090
Karton	2,06	0,060
Plastik	12,47	0,380
Ambalaj	1,76	0,050
Tekstil	6,50	0,198
Diğer*	4,65	0,14
Toplam	99,90	3,00

*100 gram toprak, 30 gram bitki, 10 gram sigara izmariti

Hazırlanan evsel atık yüksek bir organik içeriğe sahiptir. %53'lük bir organik madde değeri neredeyse Aksaray'daki tüm yerleşim yerleri için temsili kabul edilmiştir.

3.2. Analitik Metotlar

Bu çalışmada eluat, pH, nem, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, toplam çözünmüş katı madde, sıcaklık, çıkış gaz değerleri, toplam organik karbon, toplam azot, sülfat, amonyum, klorür, florür, BOİ, KOİ analizleri ve ısıl değer ölçümleri yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalar süresince kullanılan cihazlar ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır. Kurutulan örnekler saf suda çözünerek VELP marka jar test cihazında 120 rpm dönüş hızında 60 dakika karıştırılmış ve karıştırma işleminden sonrası süzöntü suyunda ORION marka pH metre cihazı kullanılarak pH değeri belirlenmiştir. pH değerinin yanı sıra katı atığın, tuzluluk, elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş katı madde miktarları da ölçülmüştür.

Biodrying işlemleri toplam hacmi 36 litre olan biodrying reaktörleri içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2.). Karışmanın daha homojen olabilmesi ve atıkların sıkışmaması amacıyla, reaktör hacminin yalnızca 20,35 litrelik etkin hacminde kurutma işlemi yapılmıştır. Reaktöre sıcaklık, ana haznenin çevresine sarılan alüminyum borulara SS-15 markalı sirkülasyonlu su banyosuyla sıcak su verilerek gerçekleştirilmiştir. Su banyosundan reaktöre gecen sıcaklığı belirlemek için reaktörün iç kısmına yerleştiren sıcaklık problemleri kullanılmış ve reaktörün iç sıcaklığı anlık olarak ölçülmüştür. Sisteme hava verilmesi amacıyla reaktörün taban kısmından ana hazneye ortalama 50 L/sa'lık hava girişi Cast manufacturing marka ve 3HBE-31T-M303X modeli hava kompresör ile sağlanmıştır. Hava reaktörün alt kısımdan yukarı doğru yükselecek şekilde verilmiştir. Reaktörden çıkan gazın H_2S , CO , O_2 ve CH_4 oranları BW MICRO CLIP XT modeli gaz ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Sızıntı suyunun oluşabilmesi durumuna karşın reaktörün tabanına bir adet tahliye vanası yapılmıştır. Biodrying reaktöründen günlük alınan numuneler CAS marka SC serisi hassas terazi ile ölçülmüştür. Katı atık numunesinde suda çözünebilen toplam organik karbon ile toplam azot miktarı Shimadzu marka TOK-TA cihazıyla belirlenmiştir.

Sızıntı suyu karakterizasyon çalışmaları için numunede, pH (SM 4500 $-H^+$), sıcaklık (SM 2500 B), KOİ (SM 5220 B), BOİ₅ (SM 5210) , TKA (SM 4500 N_{org} B), NH_3/NH_4 (SM 4500 NH_3 B-C), Cl^- (SM 4110 B) ve SO_4^{2-} (SM 4110 B) analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler 3 tekrarlı ve doğrulamalı olarak yapılmıştır.

Atığın kurutma öncesi ve sonrası ısıl değerleri IKA C 200 model bomba kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Günlük olarak alınan atık numunesi 103 °C'de 24 saat etüvde kurutularak nem içeriği hesaplanmıştır. Uçucu organik madde miktarı ise 550 °C'de yaklaşık 2 saat Protherm marka çelikten yapılmış kül fırınında yakılarak tayin edilmiştir.

3.3. Deneysel Çalışmalar

3.3.1. Sürenin biyolojik kurutmaya etkisi

Sürenin biyolojik kurutmaya etkisi araştırılırken, farklı şartlar altında günlük nem miktarları ölçülmüştür. Hazırlanan evsel katı atıktan alınan örneklerde nem muhtevastaki azalmaya bağlı olarak optimum kurutma süresi belirlenmiştir

3.3.2. Sıcaklığın biyolojik kurutmaya etkisi

Sıcaklığın biyolojik kurutmaya etkisi araştırılırken, 30 °C, 40 °C ve 50 °C'deki sıcaklıklar katı atıkların konulduğu ana hazneyi çevreleyen alüminyum borular ile sirkülasyonlu su banyosu cihazı yardımıyla sağlanmıştır. Her bir sıcaklık değeri için hava ve hava verilmediği şartlar altında reaktör iç ortam sıcaklığı, su ceketı sıcaklığı evsel katı atığın sıcaklığı ile oda sıcaklıkları gün içerisinde belirli aralıklar ile ölçülmüştür. Bu ölçümler sırasında mekanik karıştırıcının dönüş hızı 20 rpm de sabit tutulmuştur, daha sonra belirlenen optimum sürede biyolojik kurutma işlemi yapılmıştır. Her bir sıcaklık ve durum için günlük 25 gram örnekler alınmıştır. Alınan örneklerin nem muhtevastına, pH'ına, elektriksel iletkenlik, tuzluluk ve toplam çözünmüş katı madde miktarları ölçülmüştür.

3.3.3. Havanın biyolojik kurutmaya etkisi

Kurutma işleminde havanın etkisinin belirlenebilmesi için farklı reaktör dış sıcaklıklarında sisteme hava verilerek ve hava verilmeden çalışılmıştır. Hava verilerek çalışılan şartlarda reaktörden çıkan gaz balon içerisinde toplanarak çıkış gazlarının miktar ve özellikleri incelenmiştir.

3.3.4. Isıl değer çalışmaları

Kurutma işlemi öncesi ve sonrası numuneler alınarak katı atığın ısı değeri bomba kalorimetre cihazı yardımıyla ölçülmüştür.

3.3.5. Sızıntı suyu çalışmaları

Katı atık deponi sahasında oluşan sızıntı suları genel olarak çöp neminden oluşan sulardır. Kurutma işlemi sırasında buharlaşamayan sular atığın niteliğine ve yaşına bağlı olarak değişmektedir. Sızıntı suyu oluşma ihtimaline karşın reaktörün tabanına tahliye vanası konulmuştur. Hazırlanan sentetik evsel katı atık örneklerinde kurutma işlemi sırasında katı atıktan herhangi bir sızıntı suyu oluşmamıştır. Aksaray Üniversitesi

Merkez Yemekhanesi'nden alınan örneklere uygulanan kurutma işlemi sırasında sızıntı suyu oluşmuştur.

4. BULGULAR

Evsel katı atıklar için, atık bertaraf yöntemlerinden biri olan biyolojik kurutma yöntemi kullanılarak atık stabilizasyonu hedeflenmiştir. Katı atıkların kütle kaybı ve hacim azalım değerleri uçucu katı madde miktarına ve suyun buharlaşmasına bağlıdır. Bu bağlamda öncelikle kurutmanın uygulanabilirliğine ve ekonomik değerlendirilmesine etki edecek olan zaman parametresinin etkisi araştırılmıştır. Daha sonra sistemin çalışabileceği ve nem giderimin en yüksek olacağı sıcaklık değeri araştırılmıştır. Bununla birlikte kurutmaya havanın etkisi incelenerek değerlendirilmiştir. En son olarak uygulanabilirliğini değerlendirebilmek adına Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhanesi'nden alınan örnek için belirlenen şartlar altında kurutma verimi araştırılmıştır ve kurutma işlemi öncesi ve sonrası atığın kalorifik (ısıl) değeri ölçülmüştür.

Değişkenlerin etkisinin belirlemek amacıyla aynı malzemeler kullanılarak hazırlanan evsel katı atıkların başlangıç özellikleri Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.Hazırlanan evsel atıkların başlangıç özellikleri

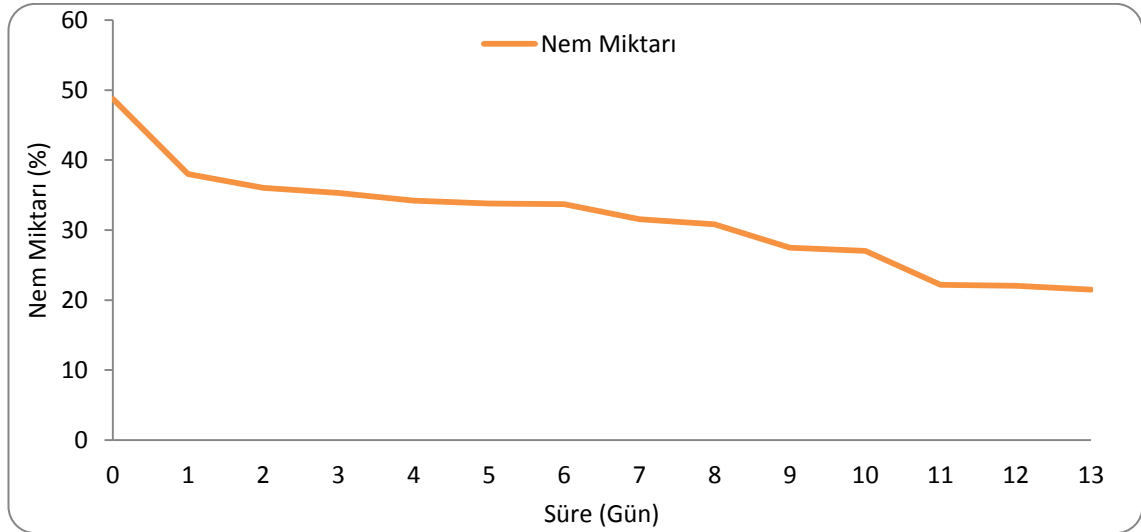
Çalışılan Ortam Şartları	Ölçülen Parametreler				
	Nem İçeriği (%)	pH	İletkenliği (µs/cm)	TÇKM (mg/kg)	Tuzluluk (mg/kg)
20 rpm 30 °C ve ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlarda	48,75	6,31	912	40800	12,0
20 rpm 30 °C ve hava verilmediği şartlarda	50,00	5,96	682	30600	6,0
20 rpm 40 °C ve ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlarda	50,00	6,05	582	26040	0,0
20 rpm 40 °C ve hava verilmediği şartlarda	49,80	5,59	1074	48060	18,0
20 rpm 50 °C ve ortalama 50 L/sa verildiği şartlarda	48,49	6,02	912	35340	6,0
20 rpm 50 °C ve hava verilmediği şartlarda	46,07	6,28	645	29460	6,0

4.1. Sürenin Nem Giderimine Etkisi

Bu çalışmada hazırladığımız evsel katı atıkların kurutma işlemi sonunda hacim azalımı ve kütle kaybı belirlenmiştir. Araştırmalara göre, atığın en önemli kütle kaybının birinci hafta sırasında elde edildiği (günde yaklaşık %3) söylenebilir. İkinci haftada ağırlık kaybı günde yaklaşık %1,5 ve bu iki haftadan sonra ağırlık kaybı günde %0,5'ten daha az olduğu belirtilmiştir. Biyolojik kurutma tesisinin her çalıştığı gün ihtiyaç duyduğu hava için enerji tüketimi anlamına gelmesinden dolayı 2 haftalık bir süre biyolojik kurutma işlemi için optimal süre olarak belirlenmiştir (Negol vd., 2009).

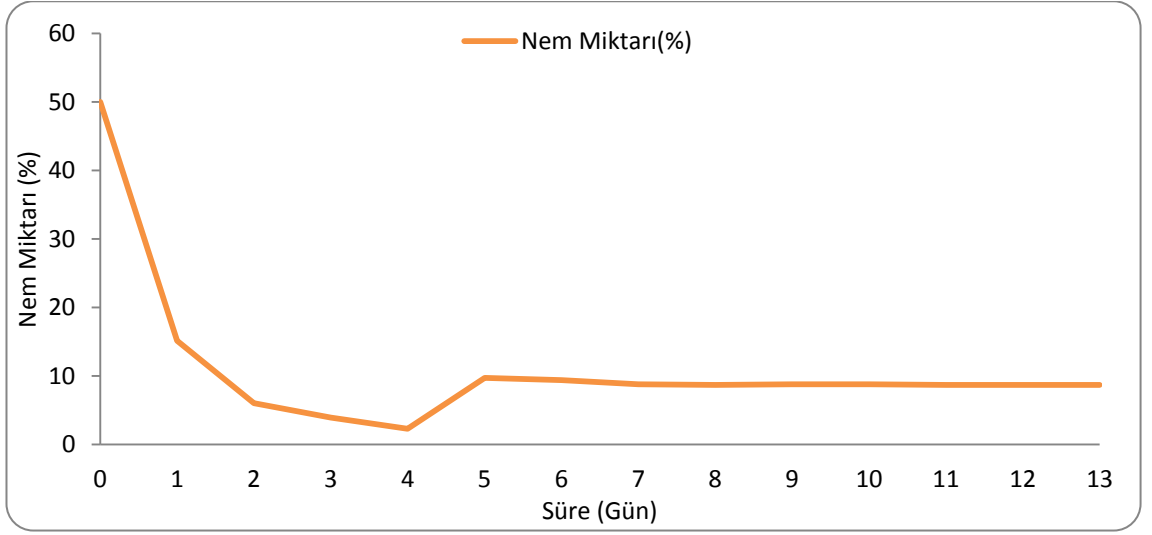
Yapılan çalışmalarda kurutma işlemi sırasında hafif yağmuru simule etmek için 1 m²'lik reaktör alanına 3 mm su ilave edilmiştir. Eklenen su atık çekirdeğinde sıcaklığı 40 °C'den 30 °C'ye düşürmüştür. Atığın çürüyebilirliğini artırarak kurutma için gerekli olan sürenin uzamasına ve atıktan enerji kazanım amacıyla ters düştüğü tespit edilmiştir (Rada vd., 2005). Bu nedenle hazırlanan evsel katı atık örneğine dışarıdan su ilavesi yapılmamıştır.

30 °C sıcaklıkta ve sisteme ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlar altında yapılan kurutma işlemi sırasında en fazla nem kaybı ilk 7 gün içerisinde gerçekleşmiştir. 7. ve 11. günlerde nem azalımı azalan bir hızla değişmiş ve 13. günden itibaren sabit kalmıştır (Şekil 4.1.). Kurutma işlemi sonunda 1490 gram madde kalmış bu süre boyunca analizler için 400 gram numune alınmıştır. 2 litrelik hacim azalımı ölçülmüştür.



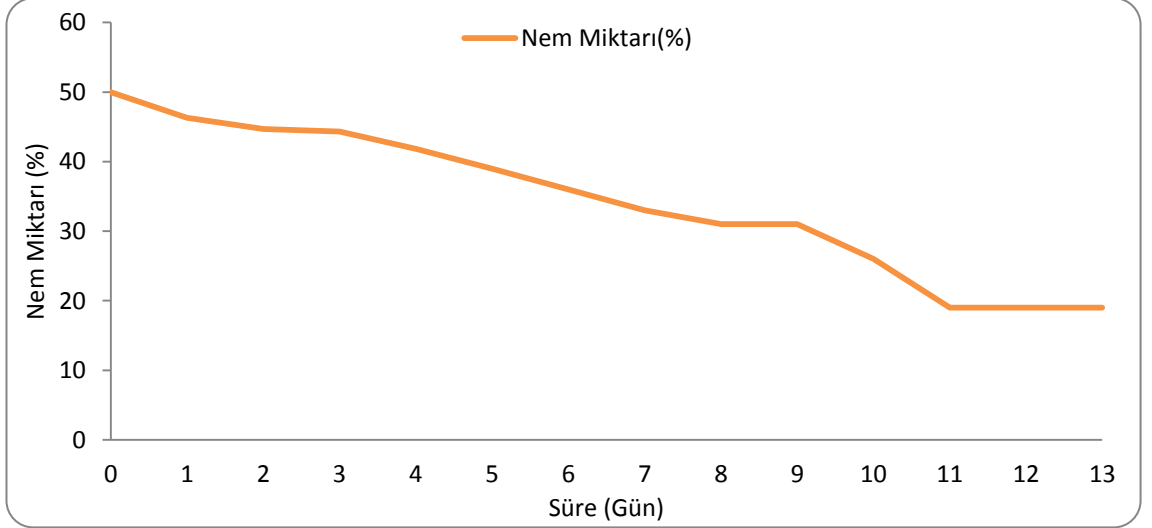
Şekil 4.1. 30 °C ve ortalama 50L/sa hava verilmesi durumunda nem kaybı dinamikleri

Çalışılan başka bir durum ise 30 °C sıcaklıkta ve hava verilmeyen şartlarda yapılan kurutma işlemidir. İlk 4 gün sonunda nem miktarı %2,27'dir. Kurutma işlemine devam edilen süreler sonunda nem miktarında küçük bir artış meydana gelmiş ve kurutma sonunda %8,7'lik bir nem miktarı evsel atık içerisinde kalmıştır (Şekil 4.2.). Kurutma sonrası 1300 gram numune kalmış ve deneysel çalışmalar için 345 gram numune alınmıştır. Biyokurutma sonunda 3,4 litrelik hacim azalımı gerçekleştirilmiştir.



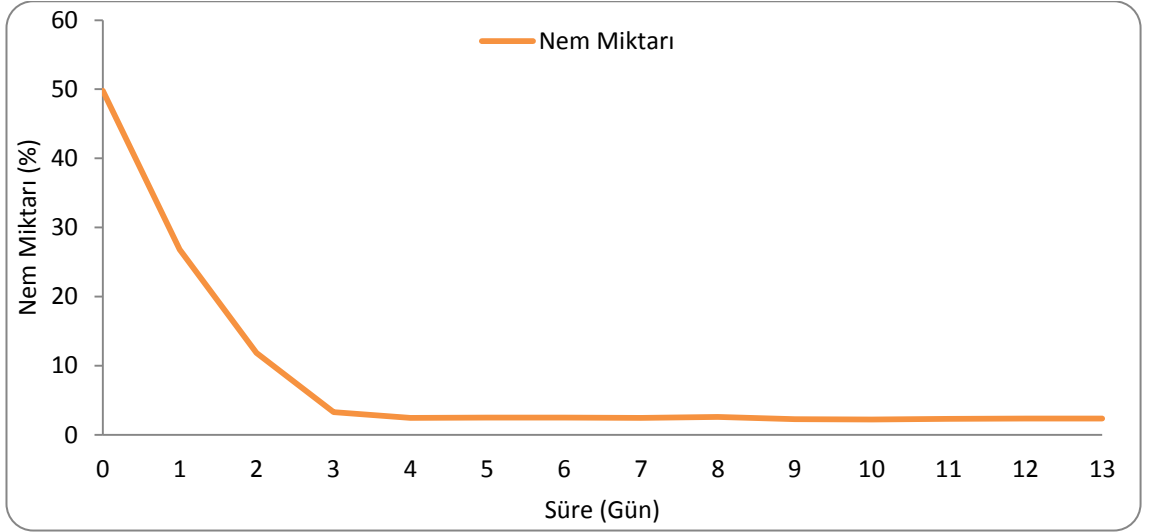
Şekil 4.2. 30 °C ve hava verilmediği durumda nem kaybı dinamikleri

40 °C sıcaklıkta ve 50 L/sa hava verildiği şartlar altında yapılan kurutma işleminde 8 gün süre sonunda %38' lik nem giderimi sağlanmıştır. 10. günden sonra nem miktarı %19'da sabit kalmıştır (Şekil 4.3.). Kurutma işlemi sonunda 1485 gram madde kalmış analizler için toplam 415 gram numune alınmıştır. Deney sonunda 2 litrelik hacim azalımı ölçülmüştür.



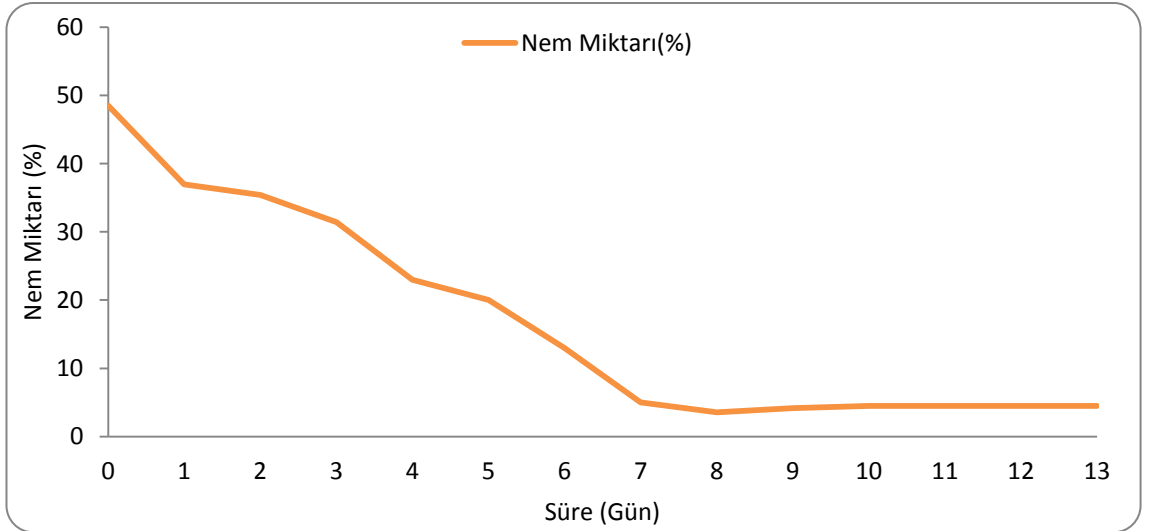
Şekil 4.3. 40 °C ve ortalama 50L/sa hava verilmesi durumunda nem kaybı dinamikleri

40 °C sıcaklıkta ve sisteme hava verilmeden yapılan kurutma işlemi sırasında 3 gün sonunda nem değeri %49,8'den %3,28'e düşmüştür. Daha sonraki günlerde nem değişimleri %2,3 seviyelerinde sabit kalmıştır (Şekil 4.4.). Kurutma işlemi sonunda 1100 gram madde kalmış bu süre boyunca 400 gram numune alınmıştır. Deney sonunda 3 litrelik hacim azalımı gerçekleşmiştir.



Şekil 4.4. 40 °C ve hava verilmediği durumda nem kaybı dinamikleri

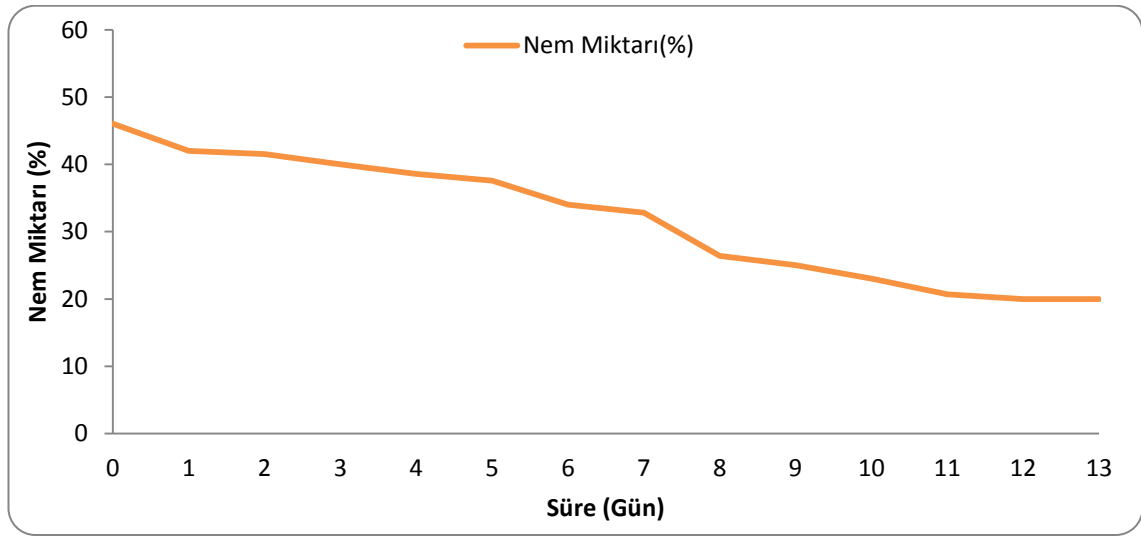
50 °C sıcaklıkta ve reaktöre 50 L/sa hava verildiğinde yapılan kurutma işleminde ise ilk haftada %48,49 olan nem miktarı %5 seviyelerine düşmüş ve takip eden günlerde nem seviyelerinde düşük azalimler gözlenmiş 13 gün sonunda %4,5’de sabit kalmıştır (Şekil 4.5.). Kurutma işlemi sonunda 1100 gram madde kalmış analizler için toplam 425 gram numune alınmıştır. Kurutma sonrası 5,22 litre hacim azalımı sağlanmıştır.



Şekil 4.5. 50 °C ve ortalama 50L/sa hava verilmesi durumunda nem kaybı dinamikleri

Çalışılan başka bir ortam ise 50 °C sıcaklıkta ve hava verilmeden yapılan kurutma işlemidir. Diğer hava verilmeden yapılan çalışmaların aksine günlük nem giderim yüzdelерinde daha düzenli bir azalma görülmüştür. Başlangıçta %46,07 nem içeriğine sahip örnek 9. günde %25’e düşmüştür ve belirlenen 13 gün sonunda ise %20 seviyelerinde kararlılık göstermiştir (Şekil 4.6.). Kurutma işlemi

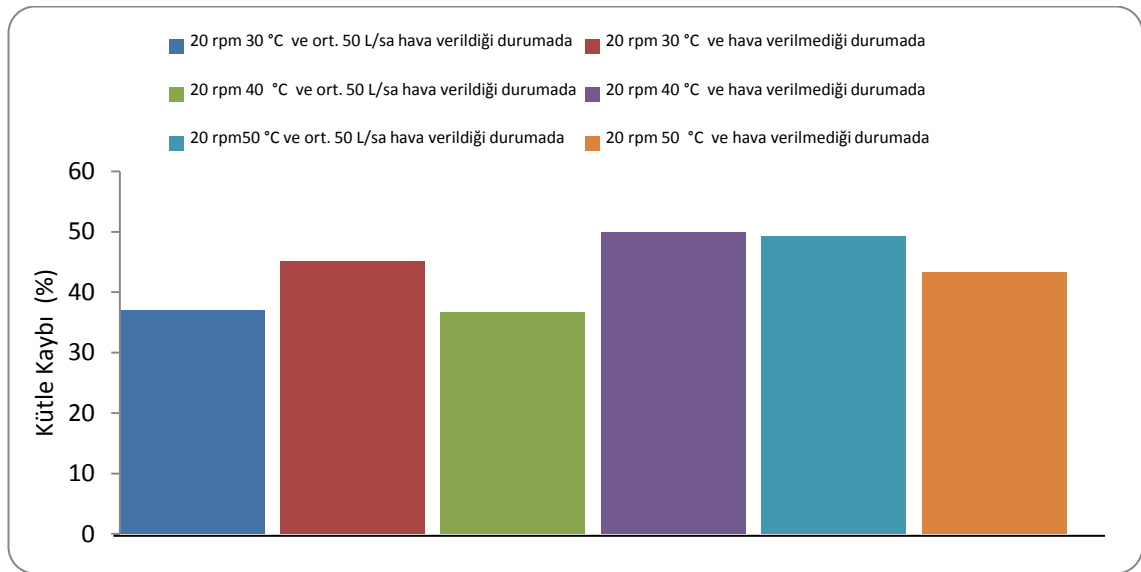
sonunda 1350 gram madde kalmış ve bu süre boyunca toplam 350 gram örnek alınmıştır. Deney sonunda 3,1 litre hacim azalımı ölçülmüştür.



Şekil 4.6. 50 °C ve hava verilmediği durumda nem kaybı dinamikleri

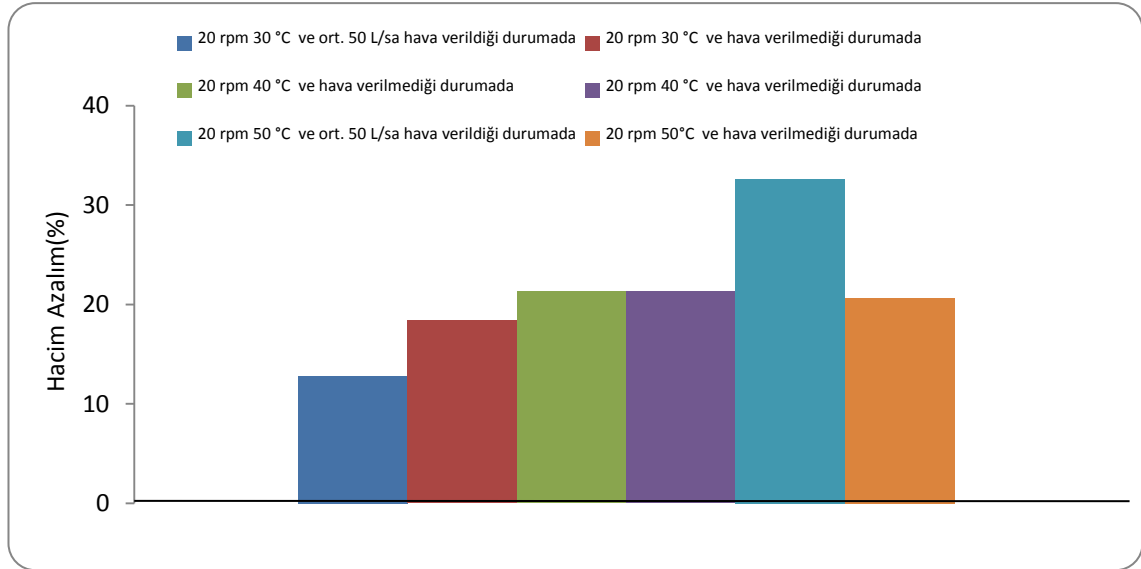
Teorik olarak yapılabilmesi olay olsa da mekaniksel karıştırmanın süreyi kısaltılacağı düşünülmüştür. Gerçek ölçekli biyolojik kurutmanın tipik süresi 7 ila 10 gündür. Deney sürecin etkinliğini teyit etmek için yapılan çalışmalarda 13 günlük süre boyunca ölçümler yapılmıştır.

Başlangıçta 3 kg olarak konulan evsel katı atıklara uygulanan 13 günlük kurutma işlemini sonundaki yüzdesel olarak kütle kaybı Şekil.4.7.'de verilmiştir. Yapılan çalışmalarda analiz için alınan atk miktarları eklenmiştir.



Şekil 4.7. 13 günlük kurutma sonrası kütle kaybı yüzdesel değerleri

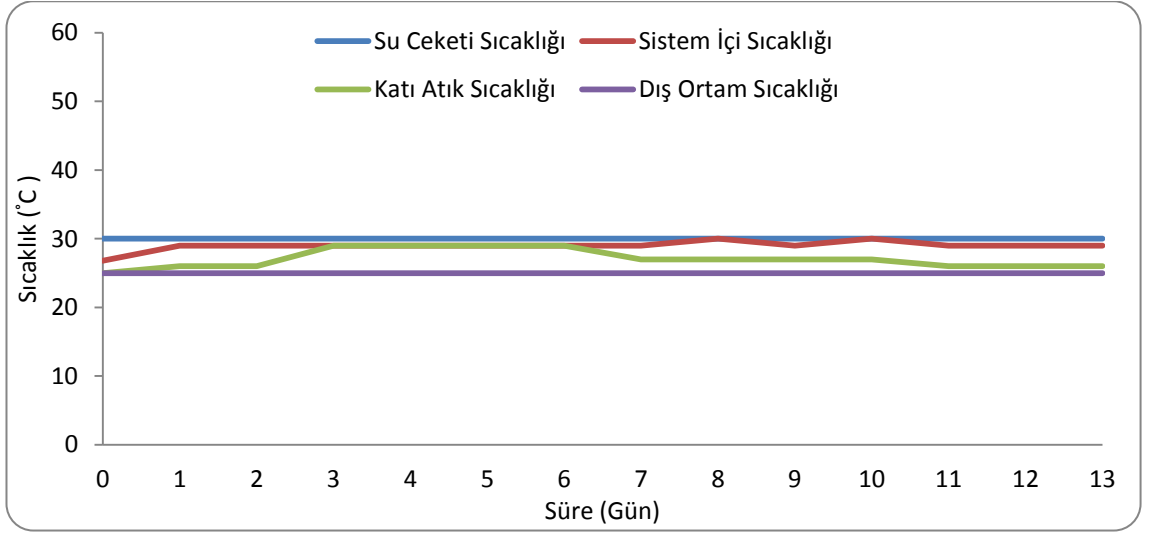
Yapay olarak hazırlanan evsel katı atıklar için farklı tane boyutunda küçültme işlemi yapılmıştır. Atıklar hazırlanırken tam bir standart sağlanması mümkün olmamasından dolayı başlangıç hacimleri farklılık göstermiştir. Hacimsel azalımın yüzdesel değerleri Şekil 4.8.'de verilmiştir.



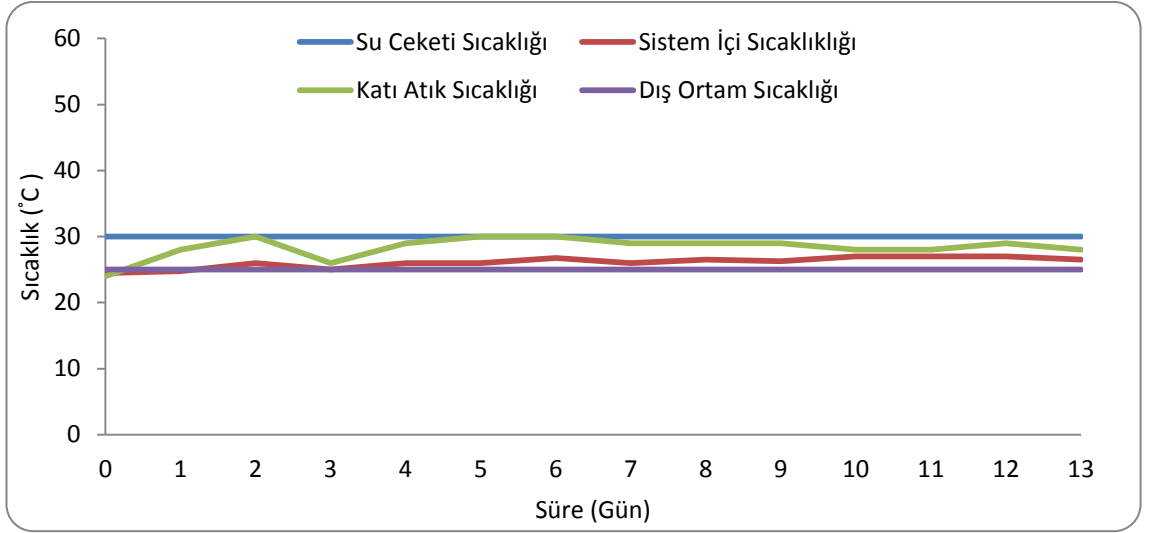
Şekil 4.8. 13 günlük kurutma sonrası hacimsel azalımının yüzdesel değerleri

4.2. Sıcaklığın Nem Giderimine Etkisi

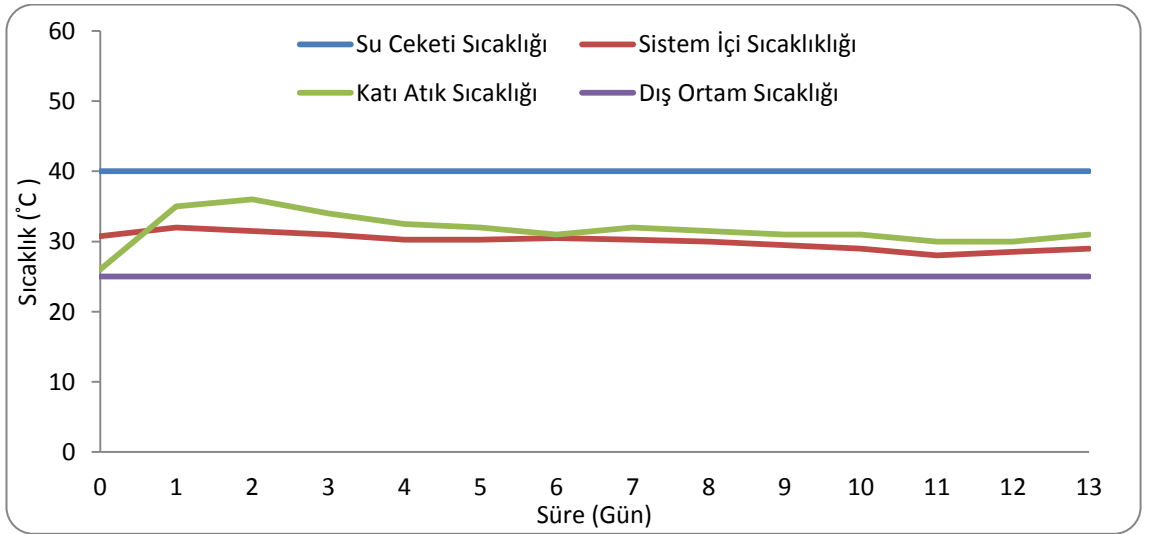
Farklı sıcaklık değerlerindeki çalışmaları gerçekleştirmek için sıcaklık 30 °C ile 50 °C arasında değiştirilmiş ve zamana karşı değişimleri incelenmiştir. Jewell vd. (1984), Sığır gübresinin biyolojik kuruması azami nem giderim oranlarını 40 °C'de elde etmişleridir. Reaktörü istenilen sıcaklık aralığına getirmek için SS-15 sirkülasyonlu su banyosu kullanılmıştır. Sirkülasyonlu su banyosunda ısıtılan su reaktörün çevresini saran metal borulardan geçirilmiştir. Reaktör içindeki sıcaklık ise reaktörün kapak kısmına yerleştirilen dijital termometre probu yardımıyla gün içerisinde ölçülmüştür. Ortam sıcaklığı 25 °C'de sabit tutulmuştur. Kurutma süresi boyunca; reaktör iç sıcaklığı, su ceket sıcaklığı ve evsel katı atık sıcaklık değişimleri Şekil 4.9., 4.10., 4.11., 4.12., 4.13. ve 4.14.'deki grafiklerde gösterilmiştir.



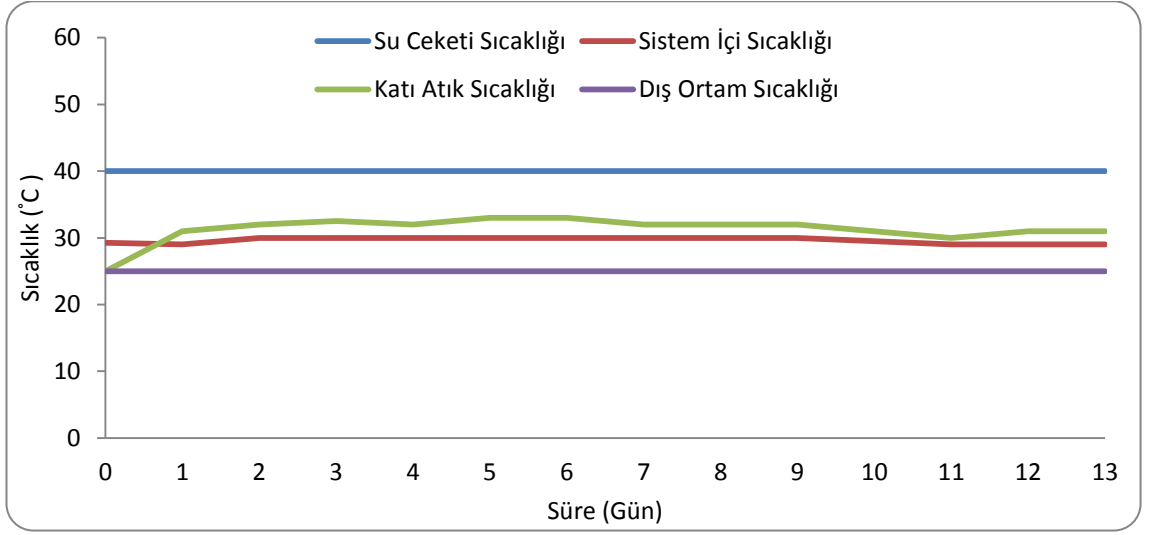
Şekil 4.9. Dış sıcaklığın 30 °C, 50 L/sa hava verildiği şartlarda sıcaklık dinamikleri



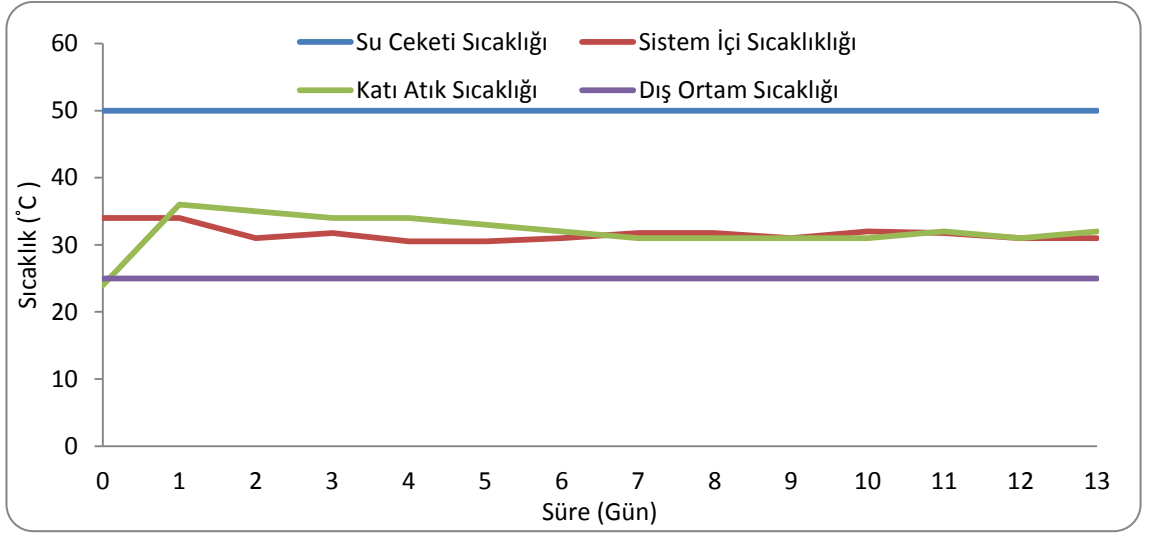
Şekil 4.10. Dış sıcaklığın 30 °C, hava verilmediği şartlarda sıcaklık dinamikleri



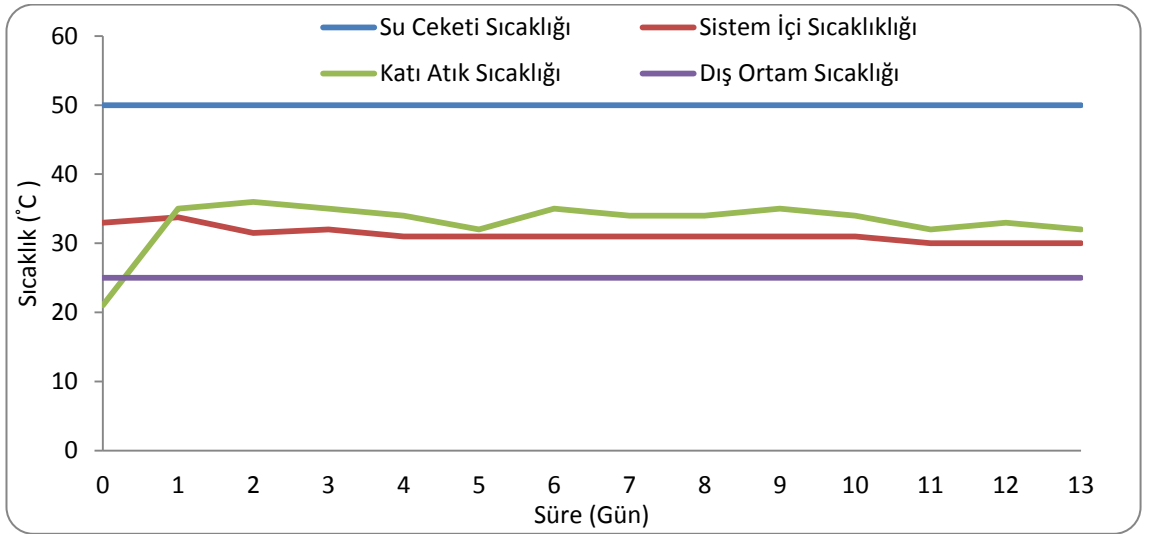
Şekil 4.11. Dış sıcaklığın 40 °C, 50 L/sa hava verildiği şartlarda sıcaklık dinamikleri



Şekil 4.12. Dış sıcaklığın 40 °C, hava verilmediği şartlarda sıcaklık dinamikleri



Şekil 4.13. Dış sıcaklığın 50 °C, 50 L/sa hava verildiği şartlarda sıcaklık dinamikleri



Şekil 4.14. Dış sıcaklığın 50 °C, hava verilmediği şartlarda sıcaklık dinamikleri

Buharlaştırmanın gerçekleşmesi için gerekli enerji (buharlaştırma entalpisi) ve nem tutma sınırına ulaşıldığında herhangi bir ilave enerji temel olarak aerobik biyolojik bozunma ile sağlanır. Buna karşılık geleneksel kurutmada harici ısı kaynakları kullanılır. Organik malzemelerin mikroorganizmalar tarafından aerobik ayrıştırılması matris sıcaklıklarını süratli bir şekilde termofilik aralığa yükseltebilecek olan ekzotermik bir biyokimyasal transformasyondur (Velis vd., 2009). Ayrıca mekanik destekli akımın neden olduğu sürtünme kayıpları vasıtasıyla ısı akışına dönüştürülür. Tahıl kurutmada sürtünmeden dolayı tahıl sıcaklığında 0,5°C ila 2°C arasında beklenen tipik bir artışa neden olur (Nellist, 1998). Bununla birlikte artış matris koşullarına göre farklılık arz edebilir.

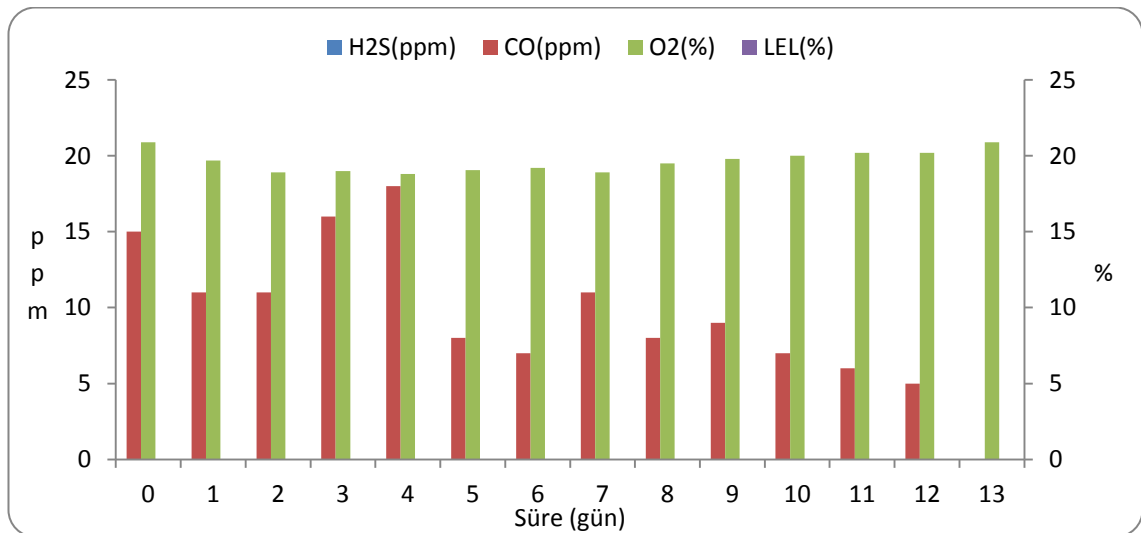
Reaktör iç sıcaklığı ile atık iç sıcaklığının farklı olmamasının nedenleri;

- ✓ Mikroorganizma faaliyetleri ile
- ✓ Mekanik karıştırmanın etkisiyle
- ✓ Reaktör tasarımıyla açıklanabilir

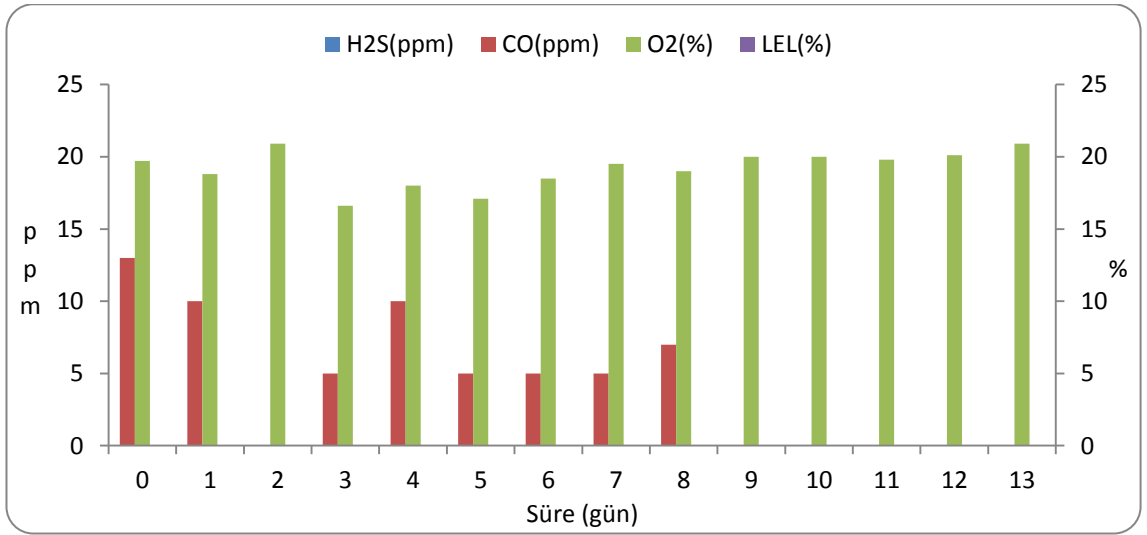
4.3. Havanın Nem Giderimine Etkisi

Havanın, kurutmada etkisini incelemek için hava kompresörü ile reaktöre hava verilmiştir. Hava verilmeden yapılan kurutmada ise, sistemin üzerindeki hava tahliye vanası açık bırakılarak çalışmalar yapılmıştır.

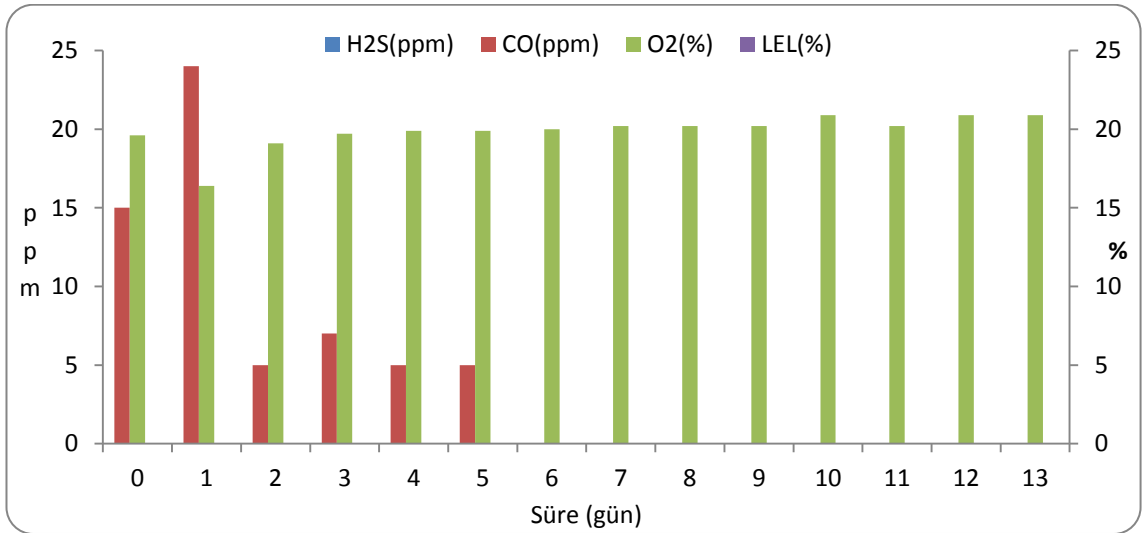
Hava verildiği durumda nem seviyesinde daha düzenli bir azalma görülmüştür. 3 kg'lık evsel katı atık ile 13 gün yapılan çalışma için reaktöre ortalama 50 L/sa hava verilmiştir. Farklı sıcaklık değerlerinde toplanan çıkış gazlarında günlük olarak ölçülen gaz miktarları ve çeşitleri Şekil 4.15., 4.16. ve 4.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. 30 °C sıcaklık değerinde çıkış gazı değeri



Şekil 4.16. 40 °C sıcaklık değerinde çıkış gazı değeri



Şekil 4.17. 50 °C sıcaklık değerinde çıkış gazı değeri

Sonuçlara bakıldığında O₂ miktarının diğer gazlara göre daha fazla olması verilen hava miktarının biyolojik kurutma sırasında aerobik ortamın sağlandığını göstermiştir. Hava miktarını optimize etmek için herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

4.4. pH Değişimleri

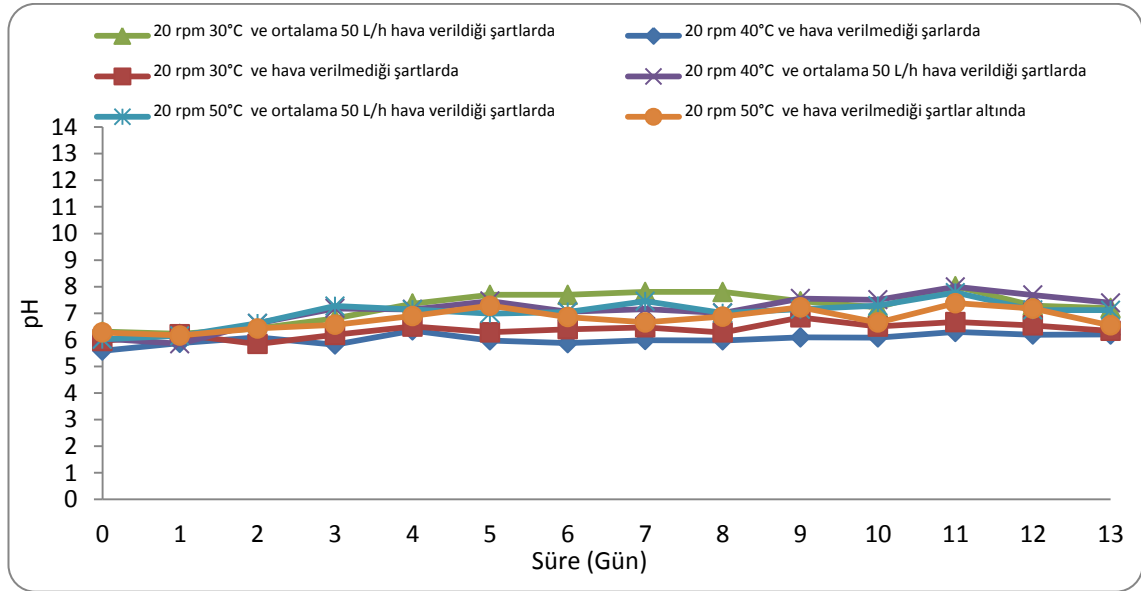
pH değeri biyo-kurutma çalışmalarında biyolojik aktivite hakkında fikir elde edilmesinde önemli bir parametredir. Her mikroorganizmanın yaşayabildiği uygun bir pH değeri vardır. Genel olarak pH 5-9 aralığı birçok mikroorganizma türü için uygun bir aralıktır.

Hava verilerek yapılan kurutma işlemlerinde ortamda mikroorganizmaların su stresine girmeyeceği miktarda nem bulunması durumunda organik maddeler hidrolize uğrar. Bu

süre çok kısadır ve yaklaşık 6-7 gündür. 7 gün sonunda hem atık içerisindeki nemin hem de organik maddelerin azalmasına bağlı olarak biyolojik faaliyetler azalarak durmuştur.

Hava verilen şartlar altında yapılan kurutma işleminde evsel katı atık örneğinin başlangıçta düşük pH değerinde (pH 6-6,5) olmasının nedeni mikroorganizmalar tarafından ortamdaki nütrientlerin kullanımı sırasında H^+ iyonun ortama verilmesi ve ortam şartlarının kapalı olmasından dolayı aerobik artımın son ürünü olan CO_2 gazının atık içerisinde tekrar çözünmesidir. Ortamdaki alkali iyonlarının zaman içerisinde çözünmesiyle birlikte ortamın (pH 7,5-7,9) dengelenir.

Hava verilmeden yapılan kurutma çalışmalarında ise başlangıçta pH 6-6,5 aralığında olan evsel katı atık örneğinde kurutma süresince pH değeri en fazla 7,2'ye çıkmıştır ve ortalama 6,5 civarlarında ölçülmüştür.



Şekil 4.18. Biyo-kurutma işlemi sırasında pH değişimleri

4.5. K/A Oranlarındaki Değişimleri

Hayvan gübreleri, insan atıkları, mutfak atıkları gibi besin maddelerinin tümü belirli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. Biyolojik faaliyetler için organik maddelerdeki karbon gereklidir. Karbondan başka en önemli besi maddesi azot ve fosfordur. Verimli bir biyolojik parçalanmada azot, fosfor ve iz elementler gibi besi maddelerine ihtiyaç vardır. En iyi K/A/F oranı 100/28/6 dır (Çalışkan, 2013).

Karbon mikroorganizmalar için kaynak oluşturur azot ise mikroorganizmaların büyüme hızını artırır. Bu nedenle mikroorganizmalar karbona azottan daha fazla ihtiyaç duymaktadır.

Hazırlanan katı atık örneklerinde kurutma öncesi mikroorganizmaların alabileceği formada bulunan (çözünebilen) K/A oranı besi maddeleri ilavesi ile 22-30'a yükseltilmiştir. K/A oranı 6 gün sonunda 13-14 seviyelerine 13 gün sonunda ise 7-8'e düşmüştür.

Yapılan çalışmalar incelenmiş ve hava verilerek yapılan kurutma çalışmalarında hava verilmeden yapılan çalışmalara göre daha düzenli bir nem azalımı gözlenmiştir. Hava verilmeden yapılan çalışmalarda nem azalımı çok kısa sürede, çok düşük seviyelere düşmesine rağmen biyolojik kurutmanın temel amacı olan ağırlık ve hacim azalım yüzdeleri daha düşük çıkmıştır. Ayrıca kısa sürede ortamda nem miktarının azalması (<%20) mikroorganizma faaliyetlerini inhibe etmiştir. 13 gün boyunca yapılan çalışmalarda biyolojik faaliyetlerin daha etkili olduğu şartlar hava verilerek yapılan kurutma işlemidir. Biyo-kurutma reaktörüne hava verildiği şartlarda, gerek hacim gerekse kütle kaybının en fazla olduğu sıcaklık değeri 50 °C'dir. Bu nedenlerden dolayı Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhanesi'nden alınan katı atıklar için 20 rpm mekanik karıştırma hızı, 50 °C sıcaklık ve ortalama 50 L/sa hava verilerek kurutma işlemi yapılması uygun bulunmuştur

4.6. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metotudur. Eğer tek bir değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa buna tek değişkenli regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı, eğer ilişki var ise bunun gücü hakkında bilgi edinilebilir.

Regresyonda, değişkenlerden biri bağımlı diğerleri bağımsız değişken olmalıdır. Buradaki mantık, eşitliğin solunda yer alan değişkenin sağında yer alan değişkenlerden etkilenmesidir. Sağda yer alan değişkenlerse diğer değişkenlerden etkilenmemektedir (URL-3).

Bu çalışmada, 6 farklı veri seti (3 adet veri seti hava verildiği şartlar diğer 3 veri seti de hava verilmediği şartlar) için, hacim miktarı (L), bağımlı değişkenin, atık iç sıcaklığı (°C), nem azalımı (%) ve sistemden toplanan O₂ gaz miktarı (%) bağımsız değişkenlerine göre regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan 6 regresyon analizi sonucunda 6 adet regresyon denkleminde ulaşılmıştır.

Daha sonra bütün veri setlerinde, bağımsız değişkenlerin ortalama değerleri alınarak 6 regresyon denklemlerinde yerine yazılmıştır ve hacim miktarı (L) en az olduğu veri seti seçilmiştir.

Regresyon alışmaları sisteme hava verildiği şartlar ve hava verilmediği şartlar olmak üzere 2 ayrı sette ayrılmıştır.

Hava verildiği şartlar altında regresyon denklemleri aşağıdadır.

20 rpm dönüş hızı, 30 °C su ceketı sıcaklığında ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlarda;

$$y1 = [17,617 + (0,087 \times Nem) + (-0,081 \times Sıcaklık) + (-0,195 \times O2)] \quad (1.5)$$

20 rpm dönüş hızı, 40 °C su ceketı sıcaklığında ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlarda;

$$y2 = [4,17 + (0,061 \times Nem) + (0,165 \times Sıcaklık) + (0,018 \times O2)] \quad (1.6)$$

20 rpm dönüş hızı, 50 °C su ceketı sıcaklığında ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlarda;

$$y3 = [10,164 + (0,123 \times Nem) + (-0,046 \times Sıcaklık) + (-0,060 \times O2)] \quad (1.7)$$

Hava verilerek yapılan farklı su ceketı sıcaklığındaki biyolojik kurutma işleminde 13 günlük çalışmalar sonucunda bağımsız değerlerin ortalama değerleri aşağıda verilmiştir.

Ortalama nem değerı: 27,65

Ortalama atık iç sıcaklık değerı: 30,21

Ortalama ıkış O₂ değerı: 19,57

Ortalama değerleri her bir regresyon denkleminde yerine konularak aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

20 rpm dönüş hızı, 30 °C su ceketı sıcaklığında ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlarda;

$$y1 = [17,617 + (0,087 \times 27,65) + (-0,081 \times 30,21) + (-0,195 \times 19,57)] \quad (1.8)$$

$$y1 = 13,759 \text{ L}$$

20 rpm dönüş hızı, 40 °C su ceketı sıcaklığında ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlarda;

$$y2 = [4,17 + (0,061 \times 27,65) + (0,165 \times 30,21) + (0,018 \times 19,57)] \quad (1.9)$$

$$y2 = 11,194 \text{ L}$$

20 rpm dönüş hızı, 50 °C su ceketı sıcaklığında ortalama 50 L/sa hava verildiği şartlarda;

$$y3 = [10,164 + (0,123 \times 27,65) + (-0,046 \times 30,21) + (-0,060 \times 19,57)] \quad (1.10)$$

$$y3 = 11,001 \text{ L}$$

Hava verilmediği şartlar altında regresyon denklemleri aşağıdadır.

20 rpm dönüş hızı, 30 °C su ceketı sıcaklığında hava verilmediği şartlarda;

$$y3 = [17,004 + (0,060 \times Nem) + (-0,065 \times Sıcaklık)] \quad (1.11)$$

20 rpm dönüş hızı, 40 °C su ceketı sıcaklığında hava verilmediği şartlarda;

$$y1 = [11,204 + (0,056 \times Nem) + (-0,018 \times Sıcaklık)] \quad (1.12)$$

20 rpm dönüş hızı, 50 °C su ceketi sıcaklığında verilmediği şartlarda;

$$y2 = [10,059 + (0,115 \times Nem) + (-0,020 \times Sıcaklık)] \quad (1.13)$$

Hava verilmeden yapılan farklı su ceketi sıcaklığındaki biyolojik kurutma işleminde 13 günlük çalışmalar sonucunda bağımsız değerlerin ortalama değerleri aşağıda verilmiştir.

Ortalama değeri: 17,16

Ortalama atık iç sıcaklık değeri: 30,86

Ortalama değerleri her bir regresyon denkleminde yerine konularak aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

20 rpm dönüş hızı, 30 °C su ceketi sıcaklığında hava verilmediği şartlarda;

$$y3 = [17,004 + (0,060 \times 17,16) + (-0,065 \times 30,86)] \quad (1.15)$$

$$y1 = 16,027 \text{ L}$$

20 rpm dönüş hızı, 40 °C su ceketi sıcaklığında hava verilmediği şartlarda;

$$y1 = [11,204 + (0,056 \times 17,16) + (-0,018 \times 30,86)] \quad (1.16)$$

$$y1 = 11,609 \text{ L}$$

20 rpm dönüş hızı, 50 °C su ceketi sıcaklığında verilmediği şartlarda;

$$y2 = [10,059 + (0,115 \times 17,16) + (-0,020 \times 30,86)] \quad (1.17)$$

$$y2 = 11,415 \text{ L}$$

Regresyon analizi sonucunda da biodrying çalışmalarında en uygun değerlerin; 20 rpm mekanik karıştırma hızı, 50 °C sıcaklık ve ortalama 50 L/sa hava verilerek yapılan kurutma işlemi olduğunu kanıtlanmıştır. Bunun sebebi ise en yüksek hacim azalımı bu koşullar altında gerçekleşmesidir.

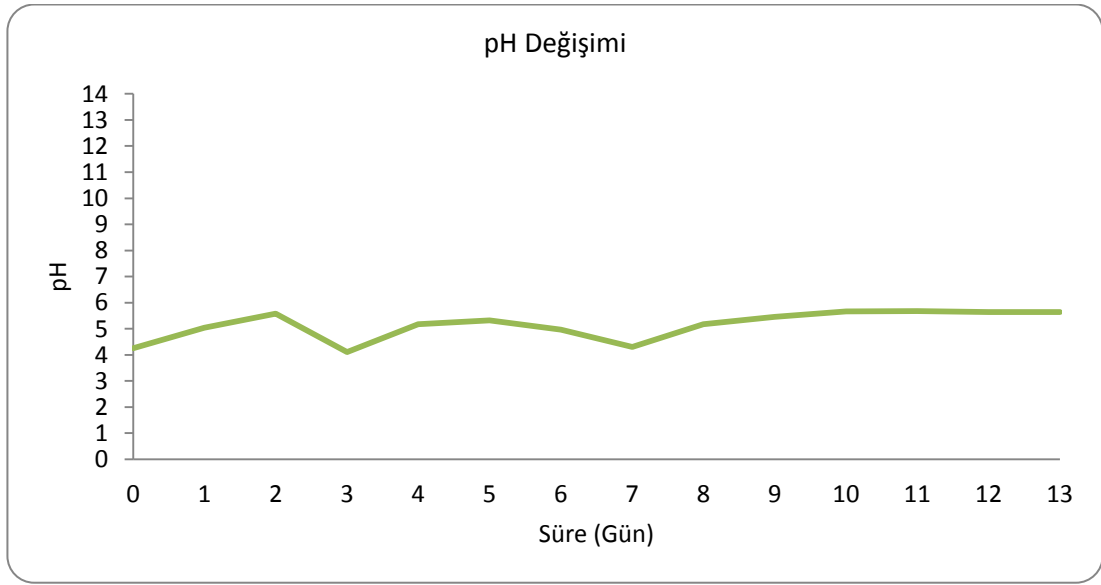
4.7. Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhane Atıkları İçin Biyolojik-Kurutma Teknolojisinin Uygulama Sonuçları

Aksaray Üniversitesi yerleşkesi içerisinde bulunan sosyal tesis bünyesinde; 100 kişilik kapalı ve 50 kişilik açık alan (teras bölümü) olmak üzere 150 kişilik Alakart restoran, 250 kişilik kapalı ve 100 kişilik açık alan olmak üzere toplam 350 kişilik Akademik Personel Yemekhanesi, 450 kişilik İdari Personel Yemekhanesi ve 500 kişilik de Öğrenci Yemekhanesi bulunmaktadır. Günde yaklaşık 130 kg atık çıkmaktadır. Daha önceki çalışmalarda belirlenmiş uygun şartlar Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhanesi'nden alınan 3 kilogramlık örnek için uygulanmıştır. Yemekhaneden alınan örneklerin başlangıç değerleri Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir.

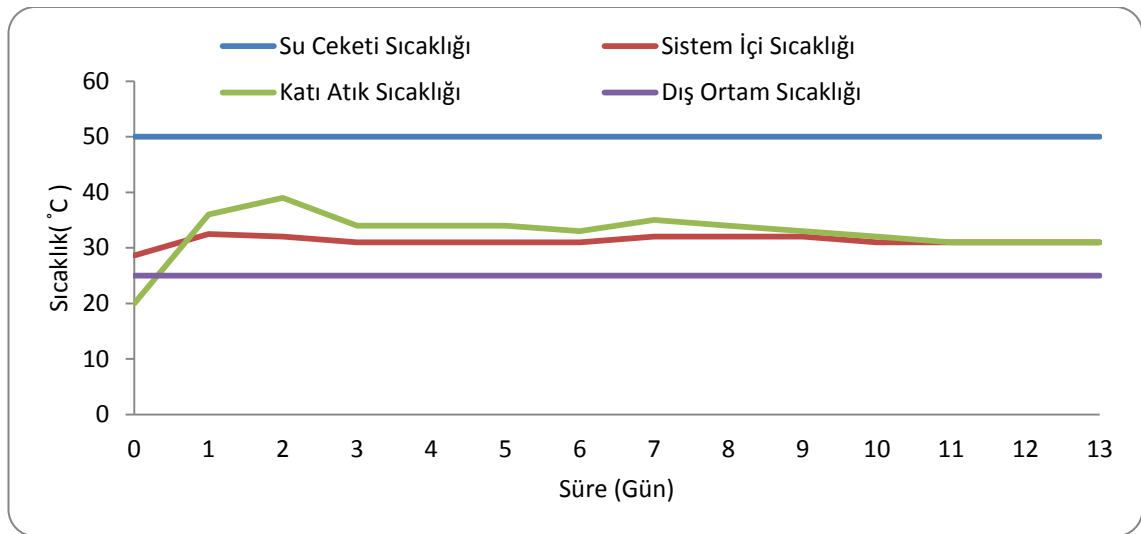
Çizelge 4.2. Aksaray Üniversitesi Merkez Yemekhane atıklarının başlangıç değerleri

Nem Miktarı (%)	85,00
pH	4,25
Tuzluluk (mg/kg)	30,0
Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1466
Toplam Çözmüş Katı Madde (mg/kg)	66780

Kurutma işlemi sırasında pH değişimleri ile sıcaklık değişimleri Şekil 4.19. ve 4.20.'de verilmiştir.

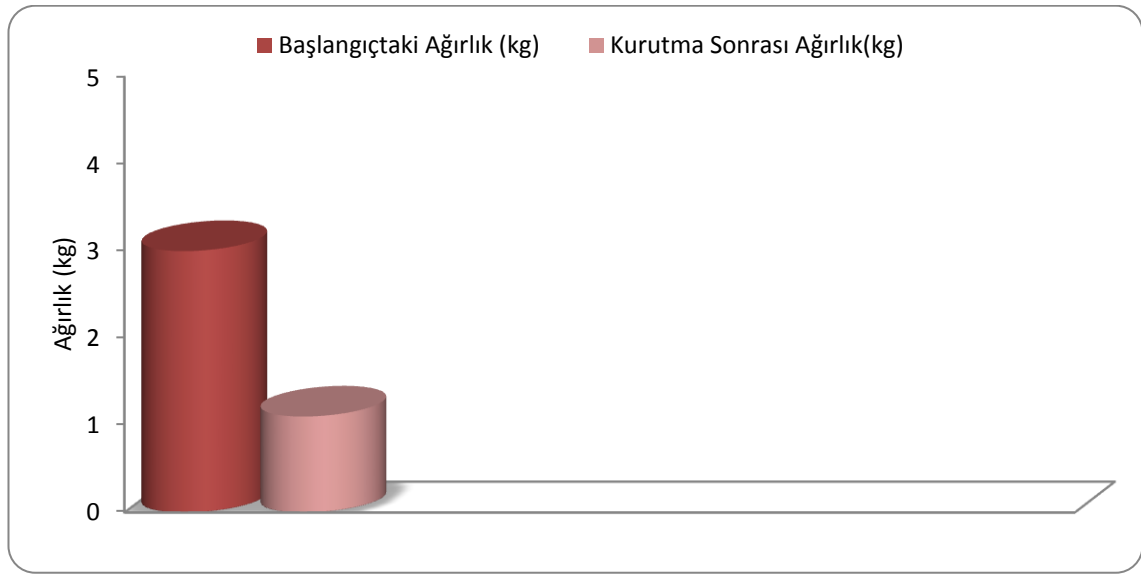


Şekil 4.19. Aksaray Üniversitesi Yemekhane atıkları pH değişimleri



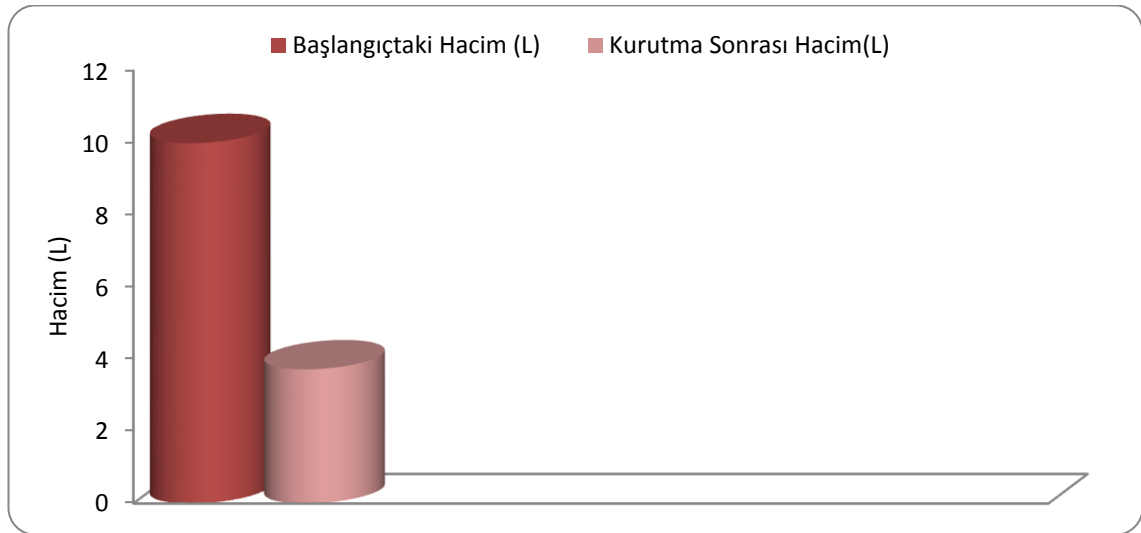
Şekil 4.20. Aksaray Üniversitesi Yemekhane atıkları sıcaklık değişimleri

Biyo-kurutma işlemi öncesi ve sonrası katı atıktaki kütle kaybı Şekil 4.21. hacim azalımı ise Şekil 4. 22.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Kurutma öncesi ve sonrası kütle kaybı değerleri

20 rpm dönüş hızında 50 °C'de ve ortalama 50 L/sa hava verilerek yapılan 13 günlük biyolojik kurutma işlemi sonunda %63,33 kütle kaybı elde edilmiştir.



Şekil 4.22. Kurutma öncesi ve sonrası hacim değerleri

Aksaray Üniversitesi Merkezi Yemekhanesi'nden alınan katı atıkların başlangıçtaki hacmi 10 L iken biyolojik kurutma işlemi sonunda 3,73 L kalmıştır. Kurutma işlemi sonucunda %62,7 hacim azalımı sağlanmıştır. Bomba kalorimetri cihazıyla yapılan ısıl kalorifik değerler çalışmasında kurutma sonrası atığın ısıl değeri 4680 kcal/kg KM

olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre katı atıkların biyolojik kurutulması sonrası yakıt olarak kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

4.7.1. Sızıntı suyu karakterizasyonu

Merkez yemekhaneden alınan örneklerle uygulanan kurutma işleminin 8. günde biyo-kurutma reaktörün alt kısmına yerleştiren tahliye vanasından 70 mL sızıntı suyu alınmıştır. Karakterizasyon çalışması kapsamında yapılan parametre analizleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir. Her bir parametre için ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sızıntı suyunun karakterizasyonu

Parametre (mg/L)	Değer	Standart Sapma (%)
Sıcaklık	24,3	0,1
pH	4,83	0,1
BOİ ₅	12.500	0,5
KOİ	32.552	2,2
BOİ ₅ /KOİ	0,38	1,5
TOK	9.945,4	0,6
TA	683,93	0,5
TKA	674,82	0,2
NH ₃	224.91	0,1
Toplam Sertlik	680,00	1,6
Alkalinite	122,90	0,5
Cl ⁻	3.227,1	0,1
SO ₄ ²⁻	153,83	0,1
F ⁻	174,42	0,1

Ortalama KOİ değeri 32.552 mg/L iken, ortalama BOİ değeri 12.500 mg/L bulunmuştur. Alkali iyonları arasında en yüksek değer Cl⁻ iyonun olduğu görülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Avrupa Birliğinin (AB) atık yönetimiyle ilgili en son politikası, kentsel katı atıklarının azaltılması, malzemelerin geri-dönüşümüne tabi tutulması, enerji geri kazanımı ve atıkları depolamadan önce atık arıtım işleminin yapılmasını önermektedir. Biyolojik kurutma (Biodrying) yöntemi atık karakteristiğini iyileştirebilen veya nihai kullanıma göre stabilize edebilen biyolojik dönüştürme sürecidir ve son zamanlarda kentsel katı atıkların azaltılması ve atıklardan enerji üretimini sağlayan yöntemlerden biridir. Pazara az sayıda ticari biyolojik kurutma süreçleri sağlayıcılar hakimdir, fakat süreç değişiklikleri konusunda araştırmalar ve çalışmalar devam etmektedir. Bu araştırmaların çoğu patent altında olup henüz kamu bilgisine sunulmamıştır.

Bu çalışmamızda biyolojik kurutma yöntemiyle evsel katı atıkların nem, ağırlık azalımı ve çıkan evsel katı atıkların alternatif bir yakıt kaynağı olarak kullanıp kullanılmayacağı incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak laboratuvar şartlarında biyolojik kurutma için en uygun sürenin bulunması amaçlanmıştır. Bu kapsamda %52,9 organik madde, %12,31 kağıt, %4,38 cam-şişe, %2,89 teneke-metal, %2 karton, %12,47 plastik, %1,76 ambalaj, %6,5 tekstil ve %4,65 diğer olmak üzere 3 kilogram ağırlığında evsel katı atık hazırlanmıştır. Hazırlanan atığın mümkün olduğuunca benzer parçacık boyutunda olmasına dikkat edilmiştir. Başlangıçtaki nem içeriği ölçülmüştür. Günlük olarak biyolojik kurutma reaktöründen örnekler alınarak nem giderim verimlerine bakıldığında optimum süre 13 gün olarak belirlenmiştir.

Daha sonra en uygun sıcaklık değerinin bulunması hedeflenmiştir. Bu bağlamda 30 °C, 40 °C ve 50 °C değerleri çalışılmıştır. Laboratuvar şartlarında sıcaklık 25 °C’de sabit tutulmuştur. Reaktörün sıcaklık değerleri reaktörün çevresini saran su ceketini değiştirilerek 13 gün sonundaki nem giderim verimi ölçülmüştür. Biyolojik kurutma süresi boyunca 50 °C’de ve hava verildiği şartlarda en iyi hacim ve kütle kaybı olduğu görülmüştür. 50 °C’de katı atıkta kütle kaybı %49,16 hacim azalımı ise %32,65’dir.

Hava verilerek yapılan kurutma işlemlerinde günlük nem seviyelerinde daha düzenli bir azalım söz konusudur. Katı atık içindeki biyolojik faaliyetler için su miktarının en az %20 seviyelerinde olması gerekmektedir. Hava verilerek yapılan 13 günlük çalışmalarda nem miktarının azalımında göz önüne alınarak mekanik etkilerin yanında biyolojik faaliyetler için biodrying prosesi için hava önemli bir parametre olarak görülmüştür. Çıkış gaz miktarında kurutma sonlarına doğru belirgin bir hacim artması gözlenmiştir. Çıkış gazının yanıcı bir özellik göstermediği belirlenmiştir. Maliyet analizi için yapılacak çalışmalar için atık özelliğine göre hava optimizasyonu yapılması gerekmektedir.

Sisteme su banyosu ile sağlanan sıcaklık değişimleri birbirine benzer özellik göstermiştir. Bunun nedenin tasarım hatası olduğu düşünülmektedir. Reaktörün çevresini saran ve su banyosunda aldığı sıcak suyu reaktöre ileten taşıyıcı boruların yetersiz olması bunun en önemli sebebidir.

Hava verilmeden yapılan kurutma çalışmalarında nem giderim verimi yüksek olduğu görülmesine rağmen kurutma sonrası hacim ve ağırlık azalimleri hava verilerek yapılan kurutma işlemleriyle kıyaslandığında daha düşük değerlere sahiptir.

Kurutma işlemi sonunda sızıntı suyu miktarının önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Alternatif bir enerji kaynağı olarak düşünülmeyen katı atıkların düzenli depolama sahası öncesi biodrying işleminin uygulanması katı atık deponi sahası sızıntı suyunun önemli derecede azalmasına neden olacaktır. Sızıntı sularının tamamen oluşmaması mümkün görülmemektedir. Çünkü mevsimlere bağlı olarak yağış etkileri söz konusudur. Bu bağlamda kesin sonuçların belirlenmesi için daha uzun ve gerçek örnekler üzerinde çalışılması gerekmektedir.

20 rpm dönüş hızında 50 °C’de ve ortalama 50 L/sa hava verilerek yapılan 13 günlük biyolojik kurutma işleminin Aksaray Üniversitesi Merkezi Yemekhanesi’nden alınan örnekler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yemekhaneden alınan örneklerin organik madde içeriği %96 nem içeriği ise %85’dir. Elde edilen sonuçlar biyo-kurutma işlemi sonucunda oluşan atıkların daha yanıcı değerlere sahip olduğu görülmektedir. Biyo-kurutma işleminden önce alınan evsel atığın bir kilogramı yandığı zaman 4680 kalorilik ısı elde edilirken kurutma işlemi sonunda aynı ısı değere sahip nem oranı, hacmi ve ağırlığı az bir atık elde edilmiştir. Atığın ısı değeri göz önüne alındığı zaman kendi kendine yanabilen bir atık olduğu sonucuna varılmıştır.

Biyolojik kurutma sistemlerin yaygınlaştırılması;

- ✓ Düzenli depolama alanına giden atık miktarını belirgin şekilde azalmasına,
- ✓ Toplu yakmaya alternatif sunulması,
- ✓ Endüstri tarafından kömür, petrol veya doğalgaz (fosil yakıtlar) yerine kullanılabilecek atıktan geri kazanılan enerji sağlaması gibi hem çevresel hem de ekonomik yararlar sağlayabilir.

Aksaray İl’ine biyolojik kurutma tesisinin kurulması biyolojik ayrıştırılabilir maddeler ile arazi dolgusu, geri dönüşebilir malzemeler ve enerji kazanma ile ilgili AB hedeflerine ulaşmada yardımcı olacağı ve atık toplama maliyetlerini düşüreceği sonuçları çıkarılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abu-Quadais, M. ve Abu-Qdais, H., 2000. Energy content of municipal solid waste in Jordan its potential utilization, *Energy Conversion and Management*, 41, 9, 983-999.
- Adani, F., Baido, D., Calcaterra, E. ve Genevini, P., 2002. The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste, *Bioresource Technology* 83, 3, 173-179.
- Akpınar, N., 2006. Kentsel katı atıklardan enerji üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.
- Alpan, S., 1998. Katı atıkların yönetimi, Katı Atık Yönetimi Semineri, Ankara, Bildiriler Kitabı, 22-24.
- Armağan, B., İ-Demir, Ö. ve Gök, N., 2006. Katı atıkların ekonomide değerlendirilmesi, 23, 1. Baskı, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- Ashford, S.A., Visvanathan, C., Husain, N. ve Chomsurin, C., 2000. Desing and construction of engineering municipal solid waste landfills in Thailand, *Waste Management and Reseach*, 18, 5, 462-470.
- Atmaca, E., 2004. Sivas İl Merkezi katı atık yönetimin irdelenmesi ve yeniden planlanması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Bartha, B.K., 2008. Einer steurungsstrategie für die biologische abfallbehandlung im dynamischen reaktor (in Germany), Phd Thesis, Technische Universität Dresden, Dresden.
- Benitez, S.O. ve Beraud-J.L., 2003. The municipal solid waste cycle in Mexico final Disposal, *Resources, Conservation and Recycling*, 39, 3, 239-250.
- Beyhan, M., 1997. Isparta evsel ve ticari katı atıklarından geri kazanabilir maddelerin potansiyelinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brifing, 2008, Pyrolysis, gasification and plasma, Friends of earth, www.foe.co.uk/resource/briefings/autoclaving.pdf, 15 Temmuz 2013.
- Brunt, L.P., Dean, R.B. ve Patrick, P.K., 1995. Kompostlama, katı atık yönetimi, Çevre Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 37-77.
- Buenrostro, O., Bocco, G. ve Cram, S., 2001. Classification of sources of municipal solid wastes in developing countries, *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 1, 29-41.
- Chen, P.H., 1996. Assessment of leachate from sanitary landfills, impact of age rainfall and treatment, *Environment International*, 22, 2, 225-237.
- Clarke, M.J., Read, D.A. ve Phillips, P.S., 1999. Integrated waste management planning and decision-making in New York City, *Resources, Conservation and Recycling*, 26, 2, 125-141.

- Çakır, A. ve K., 2012. İzmir harmandalı düzenli depolama alanındaki metan gazı potansiyelinin belirlenerek elektrik enerjisi değerlerinin elde edilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çalışkan, Y., 2013. Organik madde içeren katı atıkların enerji üretimi amacıyla anaerobik kompostlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknolojisi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010. Düzenli depolama ve tıbbi atık bertaraf tesisleri işletme ve kontrol klavuzları, Ankara.
- Anonim, (2008-2012). Atık eylem planı (2008-2012), Çevre ve Orman Bakanlığı yayınları, Ankara.
- Das, K.C., Simit, M.C., Gattie, D.K., Dorotthy, D. ve Boothe, H., 2002. Stability and quality of municipal solid waste compost from a landfill aerobic bioreduction process, *Advances in Environmental Research*, 6, 4, 401-409.
- Daskalopoulos, E., Badr, O. ve Probert, S.D., 1998. Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate composition in the european union countries and the United States of America, *Resources, Conservation and Recycling*, 24, 2, 155-166.
- Demir, A., Özkaya, B. Ve Avşar, F., 2011. İstanbul katı atık yönetiminde kompostlaştırma ve geri Kazanma, 1. Ulusal Katı Atık Kongresi, İzmir, Bildiriler Kitabı, 18-21.
- Demirci, İ., Altınbaş, M. ve Arıkan, O., 1999. Katı atıklar için entegre yönetim yaklaşımı, Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 252-262 .
- Diamadopoulos, E., Koutsantonakis, Y. ve Zaglara, V., 1995. Optimal desing of municipal solid waste recycling systems, *Resources, Conservation and Recycling*, 14, 1, 21-34.
- Diaz, L.F., Savage, G. M., ve vd.,1993. Composting and recycling municipal solid waste, Lewis publishers, Florida, 296 S.
- El-Fadel, M., Zeid, E.B., Chahine, W.ve Alayli, B., 2002, Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content, *Waste Management*, 22, 3, 269-282.
- EPA 530/6-89/025a, 1990. Guidance on the definition and identification of commercial mixed low-level radioactive and hazardous waste answer to anticipated questions, ABD.
- EPA 600/M-91/031, 1991. Hazardous waste management, ABD.
- EPA/625/R-94/008, 1994. Design, operation and closure of municipal waste landfills, ABD.

- Ghassemi, A., 2002. Handbook of pollution control and waste minimization, 0-8247-0581-5, First Edition, Marcel Dekker, New York.
- Grawande, N.A., Reinhart, D.R.ve vd., 2003. Municipal solid waste in situ moisture content measurement using an electrical resistance sensor, Waste Management, 23, 7, 667-674.
- Griffin, D.M., 1981. Water and microbial stress, Advances in Microbial Ecology, 5, 1, 91-136.
- Gökbulut, N.G., 1997. Sinop İl Merkezi Katı Atıkların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Güden, H.Ö., 2011. Amasya merzifon organize sanayi bölgesinde endüstriyel atık yönetiminin incelenmesi ve çözüm önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Hamoda, M.F., Abu Qdais, H.A. ve Newham, J., 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics, Resources, Conservation and Recycling, 23, 4, 209-223.
- Haug, R.T., 1993. The practical handbook of compost engineering, 0-87371-373-7, Frist Edition, Lewis Publishers, USA.
- Heering, B.M., Heering, M. ve Heil. J., 1999. Processing waste to useful fractions with the herhof dry stabilization technique, aufbereitungs – teknik/mineral processing 40, 11-18.
- İpekoğlu, A.N., 1990. Katı atıkların kompost yapılarak değerlendirilmesi, katı atık tanımı, toplanması ve uzaklaştırılması, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Kurs Notları, 9.1-9.13.
- Juniper, 2005. Mechanical- biological treatment: a guide for decision makers, processes, policies and markets, Juniper consultancy services, UK.
- Karnchanawongi, S., Ikeguchi, T., Karnchanawongi, S. ve Koottatep, S., 1995. Characteristics of leachate produced from simulation of landfill in a tropical country, Water Science and Technology, 36, 9, 119-127.
- Kaseva, M.E., Mbuligwe, S.E.ve Kassenga, G., 2002. Recycling inorganic domestic waste: result from a pilot study in Dar es Salaam City, Tanzania, Resources, Conservation and Recycling, 35, 4, 243-257.
- Kaya, P., 2013. Yerel yönetimlerde katı atık yönetiminin maliyet analizi: Türkiye geneli ve İstanbul İli örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, S., 2010. Antalya İli evsel katı atıkların geri kazanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde
- Kuehle- Weidemeier, M., 2007. The Current Situation of MBA in Germany, International Symposium MBA ,Hanover, 187-202.

- Koerner, R.M., Soong, T.Y., 2000. Leachate in landfills: the stability issues, *Geotextiles and Geomembranes*, 18, 2000, 293-309.
- Leonard, A., Blacher, S., Marchot, P., Pirard, J-P. ve Crine M., 2005. Convective drying of wastewater sludges: influence of air temperature, superficial velocity and humidity on the kinetics, *Drying Technology*, 23, 8, 1667-1679.
- Lornage, R., Redon, E., Lagier, T., Hébé. I. ve Carré. J., 2007. Performance of a low cost MBT prior to landfilling: Study of the biological treatment of size reduced MSW without mechanical sorting, *Waste Management*, 27, 12, 1755-1764.
- Malgorzato, G-J., 2001. Management of industrial and municipal solid waste Poland, *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 2, 85-103.
- MEB., 2009. Çevre koruma-katı atık toplama, Ankara.
- Miller, F.C., 1989. Matric water potential as an ecological determinant in compost, a substrate dense system. *Microbial Ecology*, 18,1, 59-71.
- Mohn, J., Szidat, S., Fellner, J., Rechberger, H., Quartier, R., Buchmann, B. ve Emmenegger, L., 2008. Determination of biogenic and fossil CO₂ emitted by waste incineration based on CO₂ and mass balances, *Bioresource Technology*, 99, 14, 6471-6479.
- Navaee-Ardeh, S., Bertrand, F. ve Stuart, P-R., 2006. Emerging biodrying technology for the drying of pulp and paper mixed sludges, *Drying Technology*, 24, 7, 863-878.
- Negol, R.M., Ragazzi, M., Apostol, T., Rada, E. C. Ve Marculescu, C., 2009. Bio-drying of romanian municipal solid waste: an analysis of its viability, *Scientific Bulletin*, 71, 4, 2009.
- Nellist, M.E., 1998. Bulk storage drying of grain and oilseeds, *Silsoe Research Institute, Cranfield University*, 82.
- Pereira, C.J., 2005. Pratical experience with MBA in emerging natinos-example Brazil. *International Symposium MBA, Hanover*, 42-50.
- Peavy, H.S., Rowe, D.R. ve Tchbanoglous, G., 1985, *Solid waste, enviromental engineering*, First Edition, Mc-Graw-Hill Book Company, New York.
- Pichtel, J., 2005. Waste management practices municipal, hazardous and industrial, 8493-3525-6, *Taylor & Francis Group, USA*.
- Rada, E.C., 2005. Municipal solid waste before energy generation, Phd thesis, *University of Trento & Politehnica University of Bucharest, Italy*.
- Rada, E.C., Ragazzi, M., Panaitescu, V. ve Apostol, T., 2005. An example of collaboration for a technology transfer: municipal solid waste bio-drying. *proceeding sardinia, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Italy*, 44.
- Rada, E.C., Ragazzi, M., Panaitescu, V. ve Apostol, T., 2006. Life cycle assessment applied to bio-drying: energetic suspect, *Rifuti Solid*, 20, 2, 89-97.

- Rada, E.C., Ragazzi, V., Apostol, T. ve M., Panaitescu, 2007. Critical analysis of high moisture msw bio-drying: the Romanian case, International Symposium MBA Hanover, 440-551.
- Raninger, B., Bidlingmaier, W., Rundong, L. ve Qi, W., 2005. Management of municipal solid waste in China-mechanical biological treatment can be an option the sino-Germany research project to apply with in the framework of waste management related policies, Symposium MBA 2005, 72-88.
- Reinhart, D.R. ve Pohland F.G., 1991. The assimilation of organic hazardous wastes by municipal solid waste landfills, Journal Industrial Microbiology, 8, 3, 193-199
- Reinhart, D.R., 1993. A review of recent studies on the sources of hazardous compounds emitted from solid waste landfills: a U.S. experience, Waste Management Research, 11, 3, 257-268.
- Richard, T-L., 2004. Fundamental parameters of aerobic solid-state bioconversion processes, in, Lens, P., et al (Eds.), 1-84339-054-X, IWA Publishing, London.
- Roy, G., 2005. Technical and economic modelling of a biodrying batch reactor. MSc. Thesis, Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal,
- Roy, G., Jasmin, S. ve Stuart, P.R., 2006. Technical modelling of batch biodrying reactor for pulp and paper mill sludge, 17. International Congress of Chemical and Process Engineering, Prague, 24.
- Sağdıç, E., 2010. Gıda endüstrisi atık çamurlarının evsel atıklarla kompostlaştırılması , Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Saltabaş, F., Sosyal, Y., Yıldız, Ş. Ve Balahorli, V., 2011. Evsel katı atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul' a uygulanabilirliği, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3, 1, 109-116.
- Scholwin, F., Kraft, E. ve Bidlingmaier, W., 2003. Physical properties of organic waste a key factor for successful control of aerobic biological waste treatment processes. Recycling and Reuse of Waste Materials, Proceeding of the International Symposium, UK, 205-211.
- Seydioğlu, S., 2005. Kastamonu İl'inde katı atıkların yönetimi, miktarı ve kompozisyonlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Scotti, S., ve Minetti, G., 2007. Suitability of MBA facilities in treatment of different kinds of waste, International Symposium MBA 2007, Hanover, 201-231.
- Shanks, 2007. The intelligent transfer station. a method for the treatment of municipal solid waste (MSW): a comparison of positive pressure aeration with hybrid positive and negative aeration, Waste Management, 16, 3, 264-272.
- Sikalidis, C.A., Zabaniotou, A.A. ve Famellos, S.P., 2002. Utilisation of municipal solid waste for mortar production, Resources, Conservation and Recycling, 36, 2, 155-167.

- Skourides, I., Theophilou, C., Loizides, M., Hood, P. ve Smith, S.R., 2006. Optimisation of advanced technology for production of consistent auxiliary fuels from biodegradable municipal waste for industrial purposes, *Sustainable Waste and Resources Management*, 2B, 14, 40.
- Subhash, A., 2010. Solid waste management, 81-8324-353-3, Mittal Publications, New Delhi.
- Subramanian, P.M., 2000. Plastics, recycling and waste management in the USA, *Resources, Conservation and Recycling*, 28, 3-4, 253-263.
- Sugni, M., Calcaterra, E. ve Adani, F., 2005. Biostabilization-biodrying of municipal solid waste by inverting air-flow, *Bioresource Technology* 96, 12, 1331-1337.
- Sundberg, C., Smars, S. ve Jönsson, H., 2004. Low Ph as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting, *Bioresource Techonology*, 95, 2, 145-150.
- Steiner, M. ve Wiegel, U., 2009. Atık yönetiminin esaslarına yönelik rehber kitap, Alexander Quickert, 978-605-4160-02-0, 1. Basım, Eflatun Yayınevi, Ankara.
- Staber, W., Flamme, S. ve Fellner, J., 2008. Methods for determining the biomass content of waste, *Waste Management Research*, 26, 1, 78-87.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. ve Vigil, S., 1993. Integrated solid waste management, First Edition, Mc Graw -Hill Book Company, New York.
- TÇSV, 1995. Katı atıklar, Türkiye'nin çevre soruları'95, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı, yayın no: 1995, Ankara.
- Toprak, H., 1998. Katı atıkların toplama, taşıma ve bertaraf sistemlerin iyileşmesi ve ekonomisi, D.E.Ü., Müh. Fak. Yayınları, No: 256, İzmir, 2-20 s.
- Tränkler, J., Visvanathan, C. ve Kurupan, P., 2005. Mechanical biological waste treatment-the South-East Asian expericences, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, 617
- URL-1. http://www.icci.com.tr/dosya/2011sunumlar/040_Betul_Dogru.pdf, 10 Kasım. 2013
- URL-2. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product_details/publication, European waste treatment methods, 22 Kasım 2013.
- URL-3. Wikipedia, http://tr.wikipedia.org/wiki/Regresyon_analizi, 06 Kasım 2013.
- Ünver, D., 2010. Antalya kentinde uygulanmakta olan katı atık yönetim sistemlerinin çevresel ve ekonomik açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R. ve Pollard., S.J.T., 2009. Biodrying for mechanical-biological treatment of waste: a review of process science and engineering, *Bioresource Technology*, 100, 11, 2747-2761.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şevket TULUN
Doğum Yılı : 1987

Eğitim Bilgileri

Lisans : Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü; 2010
Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği A.B.D.; 2013

İletişim Bilgileri

Adres : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü
68100 Merkez Kampüs / AKSARAY
Telefon : 0 505 792 1417
e-posta : sevkettulun@gmail.com