

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BALYALANMIŞ EVSEL KATI ATIKLARIN DEPOLANMA
SÜRECİNDEKİ DEĞİŞİMİNİN VE YANMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. İsmail ÖZBAY

**Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği
Danışman : Doç. Dr. Ertan DURMUŞOĞLU**

KOCAELİ, 2011

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BALYALANMIŞ EVSEL KATI ATIKLARIN DEPOLANMA
SÜRECİNDEKİ DEĞİŞİMİNİN VE YANMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. İsmail ÖZBAY

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Haziran 2011

Tez Danışmanı

Doç.Dr. Ertan DURMUŞOĞLU


(.....)

Üye

Doç.Dr. Aykan KARADEMİR


(.....)

Üye

Doç.Dr. Osman Atilla ARIKAN


(.....)

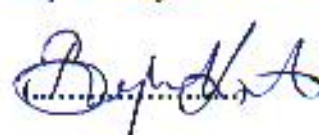
Üye

Yrd.Doç.Dr. Mehmet İŞLEYEN


(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. Beyhan PEKEY


(.....)

KOCAELİ, 2011

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Teknolojik gelişimlerle birlikte artan nüfusun ortaklaşa etkileşimi ile meydana gelen tüketim toplumlari katı atık sorunlarını da ortaya çıkarmıştır. Kocaeli gibi sanayinin yoğun olduğu ve nüfusun sürekli arttığı bölgelerde kentsel katı atıkların neden olduğu çevresel sorunlarında iyi bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Uygun şekilde bertarafı gerçekleştirilmeyen kentsel katı atıklar yeraltı ve yüzeysel su kirliliğine, çevreye kötü kokuların yayılmasına, görüntü kirliliğine ve çeşitli hayvanlar aracılığıyla taşıyıcı mikropların yayılmasına neden olmaktadır. Dünyada kentsel katı atıkların olumsuz etkilerini önlemek amacıyla uygulanan en yaygın bertaraf yönteminin depolama olduğu görülmektedir. Son yıllarda özellikle yakma gibi bertaraf yöntemlerin öncesinde atıkların geçici depolanması için balyalama teknolojisi geliştirilmiştir.

Balyalama teknolojisi, kentsel katı atıkların sıkıştırılarak, plastik malzeme ile sarılması işlemidir. Kentsel katı atıkların balyalanarak depolanması bir yandan sızıntı suyu sorunlarını ortadan kaldırırken diğer yandan gaz oluşumlarını engelleyerek koku problemini ve kendiliğinden çıkabilecek yangın risklerini azalttığı belirlenmiştir. Kocaeli’de Mart 2009-Mart 2010 yılları arasında Gebze Kentsel Katı Atık Transfer İstasyonu’nda, katı atıkların olumsuz etkilerini minimize etmek amacıyla balyalama teknolojisi uygulanmıştır. Zaman içerisinde biriken kentsel katı atık balyalarının aktarma tesisinde büyük alanlar kaplaması, balyalarında bertaraf edilmesi zorunluluğunu getirmektedir. Bu balyaların bertarafında kullanılan en yaygın yöntem de yakmafre Mühendisliği Bölümü ve İZAYDAŞ arasında yapılan protokol sonrasında gerçekleştirilen bir proje kapsamında yürütülen tez çalışmasında balyalanmış kentsel katı atıkların yakılarak bertaraf edilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda yakma işlemine en uygun balya çeşidini belirlemek amacıyla ön işlemlerin balyaların yanma karakteristiğine etkisi ve mevcut balyaların yanma özellikleri incelenmiştir. Daha sonra termal bertarafa uygun atık kompozisyonunu belirlemek amacıyla hazırlanan sentetik balyalarda depolama süresince elde edilen gaz konsantrasyonları izlenerek, ayrışma reaksiyonları sonucu enerji içeriğinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, depolama öncesi enerji içeriği ve depolama sonrası enerji içeriğinde meydana gelecek azalma yüzdesi için regresyon denklemleri belirlenmiştir. Elde edilen bu denklemler termal bertarafa uygun balya kompozisyonunun belirlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca bu çalışmalardan elde edilen sonuçların, katı atık balyalama teknolojisini gerçekleştiren yada gerçekleştirmeyi düşünen yerel yönetimler için bir ön fikir sağlamasını ve bu konuda yapılacak araştırma çalışmalarına da katkısı olmasını ümit ediyorum.

Öncelikle çevre mühendisliği mesleğini bize sevdiren ve akademik hayata atılmam da büyük desteği ve emeği olan, tez çalışmam süresince de bölüm laboratuvar imkanlarını sınırsız bir şekilde kullanmama olanak sağlayan saygıdeğer hocam, Kocaeli Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi Dekanı ve Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Sn. Prof. Dr. H. Savaş AYBERK'e ve üzerimde çok fazla emeği olan, akademik hayatım boyunca yaptıklarını ödeyebilmemin mümkün olamayacağı değerli hocam, Kocaeli Üniversitesi/ Çevre Mühendisliği Bölümü Emekli Öğretim Üyesi Sn. Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVAKLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne doktora tezi olarak sunulan bu çalışmanın gerçekleşmesinde, tezin her aşamasında yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen, çok değerli görüş ve eleştirilerinden yararlandığım tez yöneticisi Kocaeli Üniversitesi/Çevre Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcısı danışman hocam Sn. Doç. Dr. Ertan DURMUŞOĞLU'na sonsuz saygı ve şükranlarımı sunmayı borç bilirim.

Tez çalışması süresince, iyi niyeti, anlayışlı tutumu ve bilgi birikimiyle her zaman desteğini gördüğüm Kocaeli Üniversitesi/Çevre Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcısı Sn. Doç. Dr. Aykan KARADEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde yeralan Sakarya Üniversitesi Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Mehmet İŞLEYEN'e çalışmam boyunca gösterdiği anlayışlı tutumu ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İZAYDAŞ'ın her türlü imkanından yararlanmama olanak sağlayan İZAYDAŞ Genel Müdürü Sn. Muhammet SARAC'a ve Gebze Kentsel Katı Atık Balyalama Tesisi'nde gerçekleştirilen çalışmalarda katkılarını esirgemeyen İZAYDAŞ-Düzenli Depolama Alanları Müdürü Sn. Çağatay BOZKURT, Düzenli Depolama Alanları Şefi Sn. Özlem DİZMAN ve Sn. Mahmut KILDİZE'ye teşekkür ederim.

Balyaların uzun süreli depolanması boyunca depolama alanında balyaların emniyetli bir şekilde korunmasında yardımcı olan, gerçekleştirdiğim gaz ölçüm çalışmaları esnasında tüm gereksinimlerimi sağlayan ve uzun süreli bu çalışmada isteklerimi bıkmadan karşılayan İZAYDAŞ-Dilovası Deponi Sorumlusu Sn. Zafer YILMAZ'a ve Formen Sn. Kemal ALİGÜL'e en içten duygularla teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca deneysel çalışmalarımın laboratuvar imkanlarını kullanmama izin veren İZAYDAŞ-Laboratuvar Şefi Sn. Erkan BAYSAL, Laboratuvar Mühendisi Sn. Gözde GÜLSÜM ve çok yoğun iş tempolarına rağmen deneysel çalışmalarımın yardımcı olan tüm İZAYDAŞ laboratuvar çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öncesi ve süresince çektiğim tüm sıkıntılara katlanan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, eğitim konusunda sürekli beni teşvik eden değerli annem Suna ÖZBAY ve babam Ali Remzi ÖZBAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, özverili ve anlayışlı davranışlarıyla her zaman beni destekleyen, bu yoğun dönemimde de gerek laboratuvar çalışmalarım gerekse tez yazımı sırasında beni hiç yalnız bırakmayan sevgili eşim Bilge ÖZBAY'a candan teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vii
SEMBOLLER.....	ix
ÖZET.....	xi
İNGİLİZCE ÖZET.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Önemi ve Kapsamı.....	1
1.2. Araştırmanın Amacı	3
2. KENTSEL KATI ATIKLARIN AYRIŞMASI ve BİOGAZ OLUŞUMU	5
2.1. Kentsel Katı Atıkların Ayrışması.....	5
2.1.1. Kentsel katı atıkların aerobik ayrışması.....	7
2.1.2. Kentsel katı atıkların anaerobik ayrışması	8
2.2. Deponi Gazları	10
2.3. Ayrışmaya Etki Eden Faktörler.....	18
2.3.1. Kentsel katı atığın kompozisyonu.....	18
2.3.2. Atığın nem içeriği	19
2.3.3. Atığın partikül büyüklüğü	19
2.3.4. Atığın yoğunluğu	20
2.3.5. Ortamdaki nitruent varlığı.....	21
2.3.6. Tampon kapasitesi.....	21
2.3.7. Sıcaklık.....	22
2.3.8. Oksidasyon-redüksiyon koşulları.....	23
3. Balyalama Teknolojisi.....	24
3.1. Balyalama Teknolojisi Çalışma Prensipleri ve Önemi.....	24
3.2. Balyalama Teknikleri	25
3.2.1. Dikdörtgen balya tekniği.....	26
3.2.2. Silindirik balya tekniği.....	28
3.2.3. Dikdörtgen ve silindirik balya tekniklerinin farklılıkları	30
3.3. Balyalama Teknolojisinin Performansı ve Çevresel Etkileri	31
3.3.1. Balyalama teknolojisi ile klasik olarak depolanan kentsel katı atıkların maliyet analizlerinin karşılaştırılması.....	32
3.3.2. Balyalanmış kentsel katı atıklardan kaynaklanan sızıntı sularının kalitesindeki değişimler	33
3.3.3. Balyalanmış kentsel katı atıkların biyolojik davranışları.....	36
3.3.4. Balyalanmış kentsel katı atıkların yanmasından kaynaklanan emisyonlar	40
4. MALZEME ve YÖNTEM.....	41
4.1. Araştırma Alanı	41
4.2. Araştırma Yöntemi.....	43
4.3. Ön İşlemlerin Balyalanmış Kentsel Katı Atıklara Etkisinin Belirlenmesi (I. Aşama)	44

4.3.1. Balyaların hazırlanması.....	45
4.3.2. Depo gazlarının ölçülmesi.....	48
4.3.3. Balyalardan örneklemelerin yapılması.....	49
4.4. Mevcut Kentsel Katı Atık Balyalarının Yanabilirliğinin İncelenmesi (II. Aşama)	50
4.5. Balya Kompozisyonunun Depolama Süresince Gaz Oluşumlarına ve Yanma Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi (III. Aşama)	51
4.5.1. Sentetik balyaların kompozisyonunun teorik olarak belirlenmesi	51
4.5.2. Sentetik balyaların hazırlanması	59
4.5.3. Sentetik balyalarda gaz ölçümlerinin ve örneklemelerin yapılması	61
4.6. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılmasında İstatistiksel Yöntemler	62
4.6.1. İkili korelasyon analizi	63
4.6.2. Çoklu doğrusal regresyon analizi	63
4.7. Çalışmada Gerçekleştirilen Analizler	64
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	67
5.1. Ön İşlemlerin Balyalanmış Kentsel Katı Atıklara Etkisi (I.Aşama).....	67
5.2. Mevcut Kentsel Katı Atık Balyalarının Yanabilirliğinin İncelenmesi (II.Aşama)	76
5.3. Balya Kompozisyonunun Depolama Süresince Gaz Oluşumlarına ve Yanma Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi (III. Aşama).....	81
5.3.1. Balyalardaki atık kompozisyonunun gaz oluşumlarına etkisi.....	82
5.3.2. Balyalardaki gaz oluşumlarının karşılaştırmalı değerlendirmesi.....	88
5.3.3. Balya kompozisyonunun depo gazı oluşumuna etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi	92
5.3.4. Atık kompozisyonunun balyaların yanma özelliklerine etkisi.....	95
5.3.4.1. Atık kompozisyonunun balyaların yakılarak bertarafına etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi	99
6.SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	105
6.1. Sonuçlar	105
6.2. Öneriler	108
KAYNAKLAR	110
EKLER.....	116
ÖZGEÇMİŞ	125

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Anaerobik ayrışma reaksiyonları sonucunda oluşan fazların besin ve bakteriyel grupları.....	9
Şekil 2.2: Deponi gazı oluşum aşamaları.....	10
Şekil 3.1: Poliesterle bağlanmış dikdörtgen balya.....	27
Şekil 3.2: Dikdörtgen balyaların sarma işlemi.....	27
Şekil 3.3: Balyaların LDPE malzeme ile sarılması.....	28
Şekil 3.4: Silindirik balya tekniği çalışma prensibi.....	29
Şekil 3.5: Hazırlanan balyaların polietilen malzeme ile örtülmesi.....	30
Şekil 3.6: Balyalanmış atıklardan kaynaklanan süzüntü sularının karakterizasyonu.....	36
Şekil 4.1: Dilovası düzenli depolama tesisinin genel görünümü.....	41
Şekil 4.2: Solaklar düzenli depolama tesisinin genel görünümü.....	42
Şekil 4.3: Gebze kentsel katı atık balyalama tesisinin genel görünümü.....	42
Şekil 4.4: Balyalanmış kentsel katı atık depolama lotlarının genel görünümü.....	43
Şekil 4.5: Çalışma yöntemi.....	44
Şekil 4.6: By-pass ünitesinden kentsel katı atıkların beslenmesi.....	45
Şekil 4.7: Atıkların banta beslenmesi.....	45
Şekil 4.8: Atıkların elekten geçmesi.....	46
Şekil 4.9: Ayrıştırma işleminin gerçekleştirilmesi.....	46
Şekil 4.10: Ayrıştırılmış malzemelerin görünümü.....	47
Şekil 4.11: Elenmiş ve ayrıştırılmış kentsel katı atıkların öğütücüye aktarılması.....	47
Şekil 4.12: Kentsel katı atıkların balyalama makinasında sarılması.....	48
Şekil 4.13: Balyalarda gaz ölçümlerinin gerçekleştirilmesi.....	48
Şekil 4.14: Kentsel katı atık balyalarının açılması.....	49
Şekil 4.15: Balyalardan katı atık örneklemelerinin yapılması.....	50
Şekil 4.16: Lotlardan örneklemelerin yapılması.....	51
Şekil 4.17: Balya karışımlarının oluşturulması.....	60
Şekil 4.18: Atık karışımının balyalama makinesine beslenmesi.....	60
Şekil 4.19: Sentetik balyaların hazırlanması.....	61
Şekil 4.20: Depolama sonrası balyaların açılması ve örnekleme.....	62
Şekil 5.1: Ön işlemsiz atıklardan hazırlanan balyalardaki gaz gelişimi.....	69
Şekil 5.2: Eleme ve ön ayrıştırma işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyalardaki gaz gelişimi.....	70
Şekil 5.3: Eleme, ön ayrıştırma ve öğütme işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyalardaki gaz gelişimi.....	70
Şekil 5.4: Farklı ön işlemler uygulanmış atıklardan hazırlanmış balyaların gaz oluşumlarının karşılaştırmalı değerlendirmesi.....	72
Şekil 5.5: Farklı lotlarda depolanan balyalanmış kentsel katı atıkların nem ve kül içerikleri.....	78
Şekil 5.6: Farklı lotlarda depolanan kentsel katı atık balyalarının C/N oranları.....	79

Şekil 5.7: Farklı lotlarda depolanan kentsel katı atık balyalarının TOK değerleri ..	80
Şekil 5.8: Farklı lotlarda depolanan kentsel katı atık balyalarının kalorifik değerleri.....	81
Şekil 5.9: Balya 1’de oluşan gazların zamansal değişimi	83
Şekil 5.10: Balya 2’de oluşan gazların zamansal değişimi	83
Şekil 5.11: Balya 3’de oluşan gazların zamansal değişimi	84
Şekil 5.12: Balya 4’de oluşan gazların zamansal değişimi	85
Şekil 5.13: Balya 5’de oluşan gazların zamansal değişimi	85
Şekil 5.14: Balya 6’de oluşan gazların zamansal değişimi	86
Şekil 5.15: Balya 7’de oluşan gazların zamansal değişimi	87
Şekil 5.16: Balya 8’de oluşan gazların zamansal değişimi	87
Şekil 5.17: Balya 9’da oluşan gazların zamansal gelişimi	88
Şekil 5.18: Depolama süresince dış ortam sıcaklık değişimi.....	89
Şekil 5.19: Depolama süresince ortamdaki yağış miktarı.....	89
Şekil 5.20: Balyalardaki deponi gazı oluşumlarının zamansal gelişimi	90
Şekil 5.21: Maksimum CO ₂ oluşumu için tahmin ile ölçülen değer arasındaki ilişki	95
Şekil 5.22: Depolama süresince nem içeriğinde meydana gelen artış	96
Şekil 5.23: Depolama süresince TOK içeriğinde meydana gelen azalma	97
Şekil 5.24: Depolama süresince C/N oranında meydana gelen azalma.....	97
Şekil 5.25: Depolama süresince kızdırma kaybında meydana gelen azalma.....	98
Şekil 5.26: Depolama süresince enerji içeriğinde meydana gelen azalma.....	99
Şekil 5.27: Enerji içeriği için tahmin ile ölçülen değer arasındaki ilişki	103
Şekil 5.28: Yüzsese enerji azalması için tahmin ile ölçülen değer arasındaki ilişki	104

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1: İlk 48 ay süre boyunca depo gazlarının genel yüzdesel değişimi.....	14
Tablo 2.2: Depo gazlarında bulunan genel bileşenler ve depo gazlarının karakteristiği.....	16
Tablo 2.3: Deponi gazlarında görülen iz bileşenlerin genel konsantrasyonları	17
Tablo 3.1: Balyalama teknolojisi ve düzenli depolamaların karşılaştırılması	25
Tablo 3.2: Silindirik ve dikdörtgen balyaların avantaj ve dezavantajları	30
Tablo 4.1: Hazırlanacak sentetik balyalarda hedeflenen özellikler	52
Tablo 4.2: Türüne göre atıkların nem içerikleri	52
Tablo 4.3: Tipik kentsel katı atıklardaki yanabilir içeriklerin kuru ağırlık bazında analiz verileri	53
Tablo 4.4: Yakmaya uygun balyayı oluşturmaya yönelik sentetik atık karışımları	53
Tablo 4.5: Sentetik karışımların teorik olarak belirlenen nem içerikleri	54
Tablo 4.6: Sentetik karışımların hesaplanan analiz sonuçları	55
Tablo 4.7: Sentetik karışımların hesaplanan C/N oranları	58
Tablo 4.8: Sentetik karışımlar için hesaplanan kimyasal formüller.....	58
Tablo 4.9: Sentetik karışımların hesaplanan kalorifik değerleri	59
Tablo 5.1: Ön işlemsiz hazırlanmış kentsel katı atık balyalarının uzun süreli depolanması sonucu oluşan depo gazı oluşumlarının yüzdesel değişimleri.....	67
Tablo 5.2: Eleme ve ön ayrıştırma işlemleri sonrası hazırlanmış kentsel katı atık balyalarının uzun süreli depolanması sonucu oluşan depo gazı oluşumlarının yüzdesel değişimleri.....	68
Tablo 5.3: Eleme- ön ayrıştırma ve öğütme işlemleri sonrası hazırlanmış kentsel katı atık balyalarının uzun süreli depolanması sonucu oluşan depo gazı oluşumlarının yüzdesel değişimleri	68
Tablo 5.4: Ön işlemsiz atıklardan hazırlanmış balyaların analiz sonuçları	72
Tablo 5.5: Eleme ve ayrıştırma işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyaların analiz sonuçları.....	73
Tablo 5.6: Eleme, ayrıştırma ve öğütme işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyaların analiz sonuçları.....	73
Tablo 5.7: Balyalama öncesi ön ayrıştırma verimliliği	75
Tablo 5.8: Balyalama öncesi elekten ayrılan atık miktarı.....	76
Tablo 5.9: Lotlardaki balyaların analiz sonuçları	77
Tablo 5.10: Balya materyalleri ile maksimum karbondioksit oluşumları arasındaki Pearson korelasyon katsayıları.....	92
Tablo 5.11: Faklı kompozisyona sahip balyaların depolama süresince yanma özelliklerindeki değişimler	95
Tablo 5.12: Depolama öncesi özellikler ile depolama sonrası yanma özelliklerinde meydana gelen değişimlerle atık kompozisyonunun korelasyonları	100

Tablo 5.13: Depolama öncesi yanma özelliklerinin ikili korelasyonları	100
Tablo 5.14: Depolama sonrası yanma özelliklerinde meydana gelen değişimlerin ikili korelasyonları	102

SEMBOLLER

B	: Bahçe atıklarının miktarı, (%)
CO _{2max}	: Depolama süresince oluşan maksimum CO ₂ seviyesi (%)
E	: Başlangıçtaki enerji içeriği (Mj/kg)
EA	: Depolama sonunda enerji azalması (%)
G	: Gıda atıklarının miktarı, (%)
K	: Kağıt-karton atıklarının miktarı, (%)
O	: Odun atıkların miktarı, (%)
P	: Plastik atıkların miktarı, (%)
T	: Tekstil atıkların miktarı, (%)

Simgeler

ATP	: Adenozin trifosfat
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
CH ₃ COOH	: Asetik asit
CH ₄	: Metan
C ₆ H ₁₂ O ₆	: Glikoz
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂	: Hidrojen
HBr	: Hidrojen Bromür
HCl	: Hidrojen klorür
HF	: Hidrojen Florür
Hg	: Civa
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
N ₂	: Azot
NH ₃	: Amonyak
NO	: Azotmonoksit
NO ₂	: Nitrit
NO ₃	: Nitrat
NO _x	: Azotoksitler
O ₂	: Oksijen
P	: Fosfor
S	: Kükürt
SO ₂	: Kükürtdioksit
SO ₄	: Sülfat

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LDPE	: Low-Density (Düşük-Yoğunluklu) Poli Etilen
PAH	: Poli Aromatik Hidrokarbon
TÇK	: Toplam Çözünmüş Katı
THK	: Toplam Hidro Karbon
TK	: Toplam Karbon
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TOK	: Toplam Organik Karbon
UOB	: Uçucu Organik Bileşik
UV	: Ultra Viyole

BALYALANMIŞ EVSEL KATI ATIKLARIN DEPOLANMA SÜRECİNDEKİ DEĞİŞİMİNİN VE YANMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İsmail ÖZBAY

Anahtar Kelimeler : Balyalama Teknolojisi, Kentsel Katı Atık, Geçici Depolama, Yakma

Özet: Balyalama teknolojisi, kentsel katı atıkların yakma öncesi geçici depolanmasında tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemin en önemli avantajları, sızıntı suyu ve metan gazı oluşumunun düşük seviyelerde kalmasıdır. Kentsel katı atık balyalarının yakılarak bertaraf edilebilmeleri için bazı koşulları sağlamaları gerekmektedir. Yapılan bu çalışmanın esas amacı, termal bertarafa uygun balya özelliklerinin belirlenmesidir. Öncelikle, balyalama öncesi atığa uygulanacak ön işlemlerin depolama süresince oluşacak gaz oluşumuna etkileri ve balyaların yanma özellikleri incelenmiştir. Daha sonra ise, termal bertarafa uygun ideal balya kompozisyonunu belirlemek amacıyla atık malzemelerden hazırlanan sentetik balyalarda depolama süresince meydana gelen gaz gelişimleri incelenmiş, depolama öncesi ve sonrası yanma özellikleri belirlenerek, atık kompozisyonunun balyaların enerji içeriğine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, ikili korelasyon analizi ve çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılarak atık kompozisyonundaki bileşenler ile enerji içeriğindeki değişimler arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Bu ilişkilere ait regresyon modelleri oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar, balya kompozisyonu içerisindeki kolay ayrışabilen (gıda, bahçe atığı vs.) ve zor ayrışabilen (plastik, tekstil vs.) organik maddelerin oranının, balyaların termal bertaraf edilebilmesinde etkili olduğunu göstermiştir.

INVESTIGATION OF TEMPORAL VARIATION AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF BALED MUNICIPAL SOLID WASTES DURING STORAGE PERIOD

İsmail ÖZBAY

Keywords: Baling Technology, Municipal Solid Waste, Temporary Storage, Combustion.

Abstract: Baling technology is a preferred method of temporary storage for municipal solid wastes prior to incineration. Low amount of leachate production and minimum methane gas generation are the most important advantages of this method. Baled municipal solid wastes should provide certain conditions in order to be incinerated. The major aim of this study is to determine the characteristics of bales suitable for thermal utilization. First, the effects of solid waste pre-processing on the gas formation were investigated and the thermal characteristics of bales were determined. Then, several synthetic bales were constructed using waste materials in order to determine the ideal bale for thermal utilization. During the study, temporal gas variation was measured and the characteristics of waste materials prior to baling and at the end of the study were determined. Moreover, the relationship between the waste materials and the variations of energy content were evaluated using bivariate correlation analysis and multiple linear regression analysis. Regression models were developed for these relations. Results of this study showed that the ratios of the rapidly decomposable wastes (food, yard wastes, etc) and slowly decomposable wastes (plastics, textiles, etc.) are important parameters on the thermal utilization of baled municipal wastes.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Konunun Önemi ve Kapsamı

Gelişmekte olan ülkelerde, hızla artan nüfus ve insanların yaşam standartlarındaki sürekli artış katı atık oluşum miktarlarını arttırmakta ve özellikle yerel yönetimler için katı atık bertarafı sorununu gündeme getirmektedir. Yerel yönetimlerin en önemli görevlerinden biri de oluşan katı atıkların toplanması, taşınması ve bertarafıdır. Yaşamsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan ve yapısında gıda, kağıt, karton, plastik, tekstil, metal, cam, kül gibi geniş çapta çeşitlilik gösteren ve heterojen bir yapı içeren kentsel katı atıkların etkilerini en aza indirmek için entegre katı atık yönetimi zorunlu bir hale gelmektedir.

Entegre kentsel katı atık yönetimi yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanma, kompostlaştırma, yakma ve depolama gibi bir çok yönetim seçeneklerine gereksinim duymaktadır (Turan ve diğ., 2009). Yeniden kullanım, atıkların temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekliyle defalarca kullanılmasıdır. Atığın yeniden kullanımı için toplama ve temizleme dışında hiçbir özel işleme gerek duyulmamaktadır. Geri dönüşüm, atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulmasıdır. Geri kazanma ise atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenleri fiziksel, kimyasal ya da biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir (Palabıyık ve Altunbaş, 2004). Katı atık yönetiminde yer alan yeniden kullanma, geri dönüşüm ve geri kazanma yöntemleri atık depolama tesislerinin hizmet ömrünü arttırmasının yanında sınırlı maden kaynaklarının korunmasına, daha az ham madde ve enerji kullanımının gerçekleşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, etkili bir geri dönüşüm sonucu, kompost ve yakma tesislerinin verimleri ile ürün ve kül kaliteleri de artmaktadır.

Kompostlaştırma, organik esaslı katı atıkların oksijenli ortamda ayrıştırılmasıyla yüksek verimli toprak düzenleyicisinin ortaya çıkarılması işlemidir. Kompostlama, atıklar içerisindeki organik maddelerin ayıklanması, ebat küçültme, nemlendirme, havalı şartlarda kararlı hale getirme ve kullanıma hazırlama işlemlerinden oluşur. Dünya tarihi kadar eski geçmişe sahip ve az teknoloji gerektiren kompostlaştırma yöntemi özellikle park, bahçe ve mutfak atıklarının uzaklaştırılmasını tarımsal olarak verimli kılmaktadır (Palabıyık ve Altunbaş, 2004).

Atık hacminin onda bire düşürülmesine imkan veren yakma yöntemi ise giderek yaygınlaşmaktadır. Yakma tesisleri atık yakma sonucu üretilen enerjinin buhar ve/veya elektrik olarak geri kazanılmasını sağlamaktadır. Atık hacminde sağlanan büyük azalma, yüksek ilk yatırım maliyetlerine rağmen düzenli depolama tesislerinde hacmin yetersiz veya tesisin uzak olduğu durumlarda, yakma tesislerini cazip kılmaktadır.

Günümüzde evsel katı atıkların bertarafındaki en yaygın yöntem ise depolamadır. Depolama işlemi esnasında kentsel katı atıkların yapısında bulunan organik maddelerin biodegradasyonu sonucu oluşan gazlar en önemli işletme sorunlarından birisidir. Katı atık depolama sahalarından kaynaklanan metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) küresel ısınmaya neden olan en önemli gazlardır. Özellikle metan, karbondioksite göre güneş ışığını 21 kat daha fazla absorbe etme özelliğine sahip olmasının yanında havayla birleştiğinde patlayıcı bir özelliğe sahip olabilmekte ve kontrol edilmemesi durumunda çevreye çok büyük zarar verecek depo yangınlarına neden olabilmektedir (Öztürk, 2008). Kentsel katı atıkların deparanarak bertarafında karşılaşılan diğer bir sorun ise sızıntı suyu oluşumudur. Katı atık yığınlarına, belirli bir su tutma kapasitesinin üzerinde su girmesi durumunda, atıklar oluşan fazla suyu tutamayıp dışarı bırakması sonucu sızıntı suyu oluşmaktadır. Çöp içinden süzülen su, süzülme sırasında çeşitli kirletici ve parçalanma ürünlerini de bünyesine alarak yüksek organik ve inorganik kirlilik yüküne sahip olabilmektedir (Şahin ve Serin, 2008). Dolayısıyla, depolama tesisinden kaynaklanan sızıntı suları arıtılmadan alıcı ortama verildiğinde yüzeysel su kaynaklarının yanı sıra yeraltı su kaynaklarını ve toprağı da kirletebilmektedir. Kentsel katı atıkların depolanmaları süresince meydana

gelen ayrışma reaksiyonları ve biogaz oluşumu ile ilgili detaylı bilgiler Bölüm 2’de verilmiştir.

Atığın depolanması kendine özgü çevresel sorunlara (hava, su, toprak kirliliği), görsel kirliliğe ve yangın tehlikelerine neden olmaktadır. Bu sorunlarla mücadele etmek amacıyla, modern atık yönetiminde balyalama teknolojisi geliştirilmiştir. Temelde geçici bir depolama alternatifi olarak kullanılan balyalama prosesi, atıkların çevreye zarar vermeden uzun süre bekletilmesine olanak sağlamaktadır.

Balyalama teknolojisinde temel olarak, atık balya içerisine preslenir ve film tabakasıyla sarılır. Günümüzde balyalama işlemi, dikdörtgen ve dairesel olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilmektedir (Wagner ve Bilitewski, 2009).

Balya içerisinde kentsel katı atıkların depolanması, Almanya, Fransa, İsveç, İtalya, Portekiz, Lübnan ve Kore gibi bir çok ülkede uygulanmaktadır. Genel olarak bu teknoloji, yakma öncesi kentsel atıkların geçici depolanması, atıkların üretimindeki aşırı mevsimsel artış veya yakma tesisinin geçici olarak çalıştırılmaması durumlarında kullanılmaktadır. Bu gibi durumlarda atıkların oluşturacağı olumsuz çevresel etkilerin en aza indirilmesi amacıyla balyalama teknolojisi uygun bir metod olarak kullanılmaktadır. Kentsel katı atık yönetiminde balyalama teknolojisi ile ilgili detaylı bilgiler Bölüm 3’de verilmiştir.

Katı atıkların düzenli depolanmaları sırasında meydana gelen olumsuz koşulları en aza indirmek amacıyla gerçekleştirilen balyalama teknolojisiyle üretilen balyalar zaman içerisinde çok büyük alanlar kaplaması söz konusu olabilmektedir. Bu balyaların bertarafında kullanılan yöntemlerden en önemlisi yakma işlemidir. Ancak, bu balyaların yakılabilmesi için belirli ön koşulların oluşturulması gerekmektedir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Yapılan bu çalışmanın amacı, kentsel katı atık yönetimi çalışmalarında yeni bir uygulama olan balyalama teknolojisiyle oluşturulmuş kentsel katı atık balyalarının

depolanması sürecindeki değişimin ve yanma özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda genel olarak aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir:

- ◆ Balyalama teknolojisine n işlemlerin etkilerini belirlemek üzere, evsel atıklara (a) hiçbir işlem yapılmadan, (b) eleme ve n ayırma işlemleri uygulayarak ve (c) eleme, n ayırma ve öğütme işlemleri uygulayarak 3 farklı özellikte balya hazırlanmıştır. Daha sonra, hazırlanan balyalardan kompozit örnekler alınarak, laboratuvar koşullarında standart metotlar uygulanarak; su içeriği, karbon/azot (C/N) oranı, toplam organik karbon (TOK) içeriği, kalorifik değer ve pH değeri incelenerek yakma için en ideal n işlemin belirlenmiştir.
- ◆ Mevcut balyaların yakılarak bertarafa uygunlukları belirlenmiştir.
- ◆ İdeal n işlem belirlendikten sonra, sentetik atıklar kullanılarak oluşturulan balyalarda zamanla oluşan CO₂, O₂, N₂ ve CH₄ gazlarındaki değişimler belirlenmiş ve çalışma süreci sonunda yanma özellikleri incelenmiştir.

BÖLÜM 2. KENTSEL KATI ATIKLARIN AYRIŞMASI ve BİYOGAZ OLUŞUMU

Sanayinin yoğun olduğu kentlerde artan nüfus, hızlı ekonomik büyüme ve yaşam standardındaki gelişmeler evsel katı atık miktarının da artmasına neden olmaktadır (Ağdağ, 2009; Berkun ve diğ., 2005; Chen ve diğ., 2010). Türkiye'nin önemli sanayi kentlerinden biri olan Kocaeli'de, her geçen gün artan evsel katı atıkların bertarafı önemli çevre problemlerinden birisidir. Evsel katı atıkların içeriğinden dolayı, kontrolsüz bir şekilde uzaklaştırılmaları ekolojik çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmektedir (Li'ao ve diğ., 2009). Artan kentsel katı atık sorunlarının önüne geçebilmek amacıyla kentlerin entegre katı atık yönetim planlarının iyi bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Minghua ve diğ., 2009; Philippe ve Culot, 2009). Entegre katı atık yönetim sisteminin uygulaması ülke kanunları, çevre koşulları, çevre yönetimi stratejileri, enerji politikaları, ekonomik ve teknolojik açıdan yapılabirlik, halkın eğitimi ve çevresel bilinç gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Hui ve diğ., 2006). Entegre bir sistem, kaynağında azaltma, geri dönüşüm, geri kazanma, atıktan enerji eldesi, düzenli depolama ve kompostlama gibi birçok yönetim opsiyonlarına gereksinim duymaktadır (Banar ve diğ., 2009; Turan ve diğ., 2009).

2.1. Kentsel Katı Atıkların Ayrışması

Depolama, kentsel katı atıkların bertarafında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, uygun alanlar varsa güvenilir ve maliyetler açısından uygun bir yöntemdir (Chiemchaisri ve diğ., 2004).

AB direktiflerinden biri olan Düzenli Depolama Direktifi (1999/31/EC), atıkların düzenli depolanmasıyla ilgili teknik koşullarını tanımlayarak, atık depolama faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini mümkün olduğunca ortadan kaldırmayı ya da azaltmayı amaçlamakta; atıkların düzenli depolanması için yerleşim, tasarım, gözetim ve izleme ile ilgili genel koşulları belirlemektedir. Direktif, üye ülkeler için

depolanacak biyolojik olarak ayrışabilir atıkların azaltılması amacıyla, bu atıkların depolanacak miktarının, 1995 yılındaki miktarlar esas alınmak suretiyle 2006 yılında % 75, 2009 yılında % 50 ve 2016 yılında % 35 oranına indirilmesini hedeflemiştir (Erdem ve diğ., 2010) .

Kentsel katı atıkların içerisindeki biyolojik olarak ayrışabilir nitelikteki organik atıklar yeterince oksijen bulunmaması durumunda bozunarak hoş olmayan kokulara ve çöple karışmış sıvıların oluşmasına neden olmaktadır. Organik maddeler %50-70 aralığında su içeriğine sahip olup, bakteri faaliyetleri için zorunlu elementlerdir. Bu maddeler konteyner, transfer istasyonu veya taşıyıcı araçlarda bekletildiğinde biyolojik bozunma sonucu istenmeyen koku emisyonlarına ve sızıntı sularına neden olurlar. Sıcak havalarda oluşan biyolojik parçalanma reaksiyonları hızlanmaktadır (Themilis ve Kim, 2002).

Klasik depolama ile atık bertarafında temel prensip, atıkların insana ve çevreye maruziyetini minimize etmek için kontrol altına almaktır. Bu işlem, depolamadan kaynaklanan gaz emisyonlarının ve sızıntı sularının önlenmesi ile gerçekleştirilir. Nem, anaerobik mikroorganizmaların aktiviteleri için gerekli olduğundan anaerobik parçalanmanın verimliliğinde önemli bir parametredir (Igoni ve diğ., 2008). Dolayısıyla bu durum araştırmacıları klasik depolama yerine bioreaktör depolama konusunda araştırmalar yapmaya yöneltmiştir. Klasik depolamanın aksine bioreaktör depolamalarda, kontrollü koşullar altında depo gazı oluşumları maksimuma çekilmekte, yer altı sularına süzüntü sularının karışmasını minimize etmek amacıyla atık içerisinde suyun infiltre edilmesini arttıracak şekilde dizayn edilmektedir (Chiemchaisri ve diğ., 2004). Bioreaktör depolamalar, atıkların hızlı stabilizasyonu, daha fazla depolama gazı elde edilmesi, sızıntı suyu kirliliği potansiyelinin azaltılması, depolamanın hacimsel kapasitesinin hızla artırılması gibi avantajların yanında atığın degradasyonunun sağlanması için de uygun bir yöntem olarak uygulanmaktadır (Hossain ve Haque, 2009).

Katı atıkların depolanarak bekletilmeleri durumunda organik maddelerin ayrışması aerobik ve anaerobik olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir.

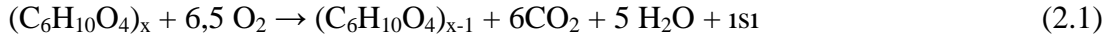
2.1.1. Kentsel katı atıkların aerobik ayrışması

Kentsel katı atıkların aerobik ayrışması, ortamda oksijenin mevcut olması durumunda organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından parçalanması işlemidir. Aerobik organizmalarla, Oksijen (O₂), “son elektron alıcı” olarak karbonlu materyallerin kendiliğinden karbondioksit (CO₂) oksitlenmesini sağlar. Bu proses adenozin trifosfat (ATP) formunda büyük bir enerji kazanımı ve hücre kütlesinde büyük bir azalma sağlar (Yılmaz ve Atalay, 2003). Aerobik ayrışma oranları hızlıdır ve stabilizasyon süresini azaltırken depolama alanlarında meydana gelen kentsel katı atıkların çökme oranlarını artırır (Öztürk ve Karali, 2009). Ortamdaki oksijen varlığı metan oluşumunu engeller.

Yeterli düzeyde oksijen, nem ve aerobik bakterilerin varlığında, organik atık içerisinde bulunan hidrokarbonlar kısmi oksidasyona maruz kalırlar. Bu işlem, koku oluşturan bileşiklerin bertarafına, CO₂ ve su buharı oluşumuna ve toprak iyileştirici olarak kullanılabilir kompost ürünü elde edilmesine neden olur. Aerobik biyodönüşüm ormanlarda yada arazilerde yüzeyin altında doğal olarak meydana gelmektedir. Aerobik ayrışmada meydana gelen reaksiyonlar ve elde edilen ürünler, katı atıkların azaltılması ve stabil hale getirilmesi amacıyla kullanılan kompostlaştırma yönteminin oluşmasına neden olmuştur. Bir çok toplumda organik atıkların depolama tesisine girmesini engellemek için kompostlama tesisi işletilmektedir (Themilis ve Kim, 2002).

Katı atık alanlarındaki aerobik prosesler oksijenin hala mevcut olduğu atıkların alana serilmesinden hemen sonra gerçekleşmeye başlar. Bu tür bir ayrışma oksijen varlığında gerçekleştiğinden dolayı, sadece atık alanının en üst katmanlarında gerçekleşmektedir. Ancak, katı atıkların içinde bulunan oksijen miktarı ve mevcut oksijenin atıklar arasındaki hareketi çok sınırlı olduğundan atıklar içinde meydana gelen biyolojik dönüşümlerin çok az bir kısmı aerobik ayrışmadan kaynaklanmaktadır (Öztürk ve Karali, 2009).

Organik atıkların aerobik biyodönüşümüyle ilgili örnek bir denklem aşağıda verilmiştir.

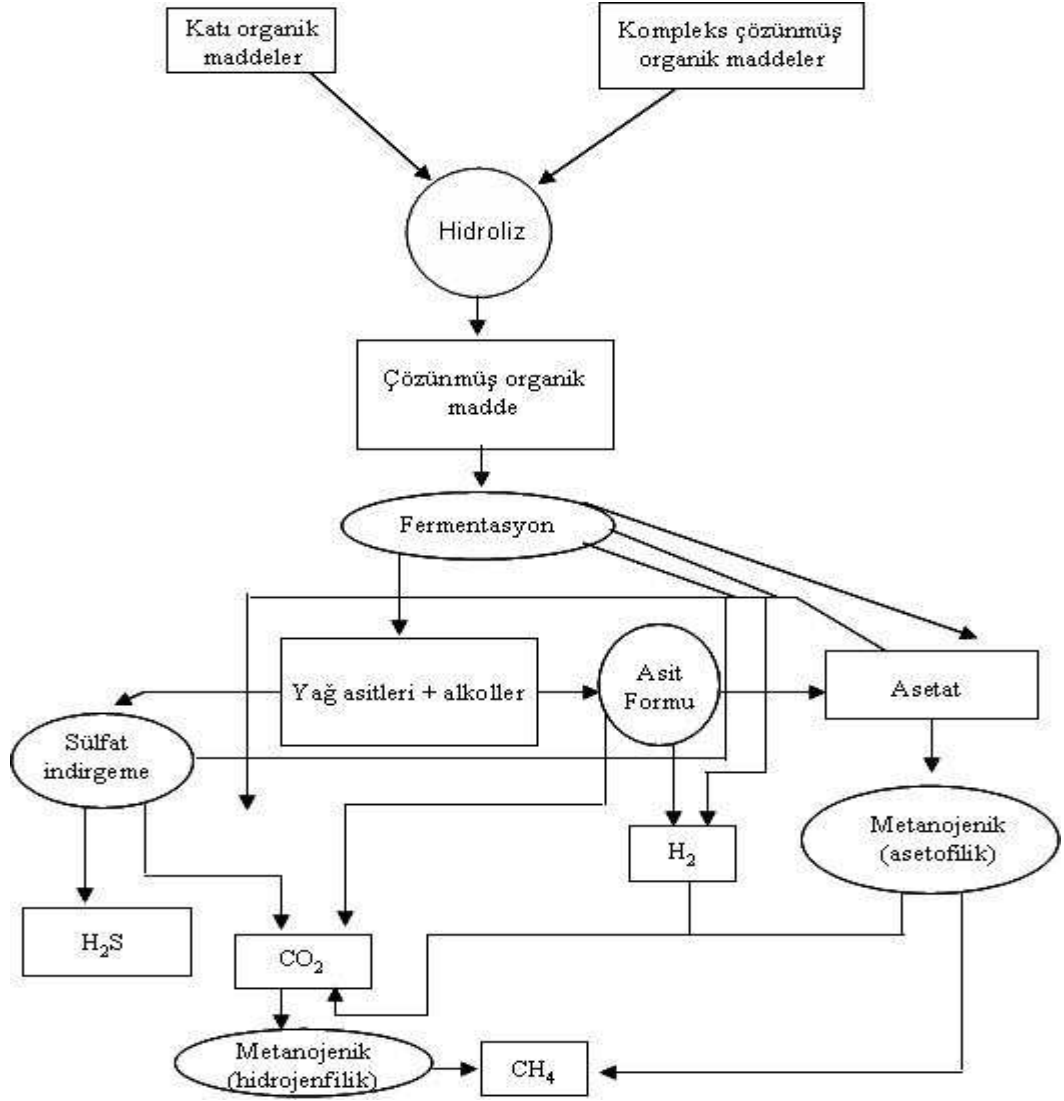


Bu dönüşüm anaerobik ayrışmanın tersine ekzotermik bir reaksiyondur. Bu denkleme göre reaksiyona girmiş organik atıktan mol başına -616 kcal ısı değer oluşmaktadır. Örneğin, glikozun ($C_6H_{12}O_6$) karbondioksit ve suya dönüşümünün ısı değeri -673 kcal/mol'dur (Themilis ve Kim, 2002). Aerobik ayrışma, anaerobik ayrışmanın aksine keskin kokulu gazlar meydana getirmez. Aerobik süreç, çoğu durumda maddeyi kütlece %50'den fazla oranda küçülterek, katı atıklarda ise %100'e daha yakın bir oranda ayrışma ile tamamlanır. Aerobik süreç ayrıca patojenlerin kontrol altında tutulmasına yardımcı olur.

2.1.2. Kentsel katı atıkların anaerobik ayrışması

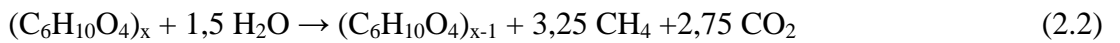
Anaerobik ayrışma, kentsel katı atığın organik kısmının oksijensiz ortamda biyolojik olarak bozunmasıdır. Anaerobik ayrışmanın birincil ürünleri CH_4 ve CO_2 'dir. Bunların dışında amonyum (NH_3), hidrojen sülfür (H_2S) ve merkaptanlar (sülfonlanmış hidrokarbonlar) da oluşmaktadır. Depolama reaktifi yeterli nem içeriğine sahip olmadığında atığın ayrışması oranı oldukça düşük olmakta veya tamamen son bulmaktadır (Themilis ve Kim, 2002).

Biyogaz üretimi, bir anaerobik arıtma prosesiyle oluştuğundan dolayı, anaerobik proseslerin temel biyokimyasını ve mikrobiyolojisini anlamak çok önemlidir. Anaerobik solunumda, nitrat (NO_3^-) ve nitrit (NO_2^-) gibi inorganik elektron akseptörleri azot (N_2) gazına indirgenir. Aynı zamanda sülfat (SO_4^{2-}) sülfide (HS^-), protonlar (H^+), H_2 gazına ve CO_2 gazı ise CH_4 'e indirgenir. Anaerobik parçalanma süresince, öncelikle nitrat indirgenmesi gerçekleşir, bunu fermantasyon takip eder, SO_4^{2-} ve H^+ indirgindikten sonra son aşamada CO_2 , CH_4 'e indirgenmektedir. (Yılmaz ve Atalay, 2003). Anaerobik parçalanma sonucunda oluşan fazların besin ve bakteril grupları aşağıdaki Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Anaerobik ayrışma reaksiyonları sonucunda oluşan fazların besin ve bakteriyel grupları (Keser, 2008).

Themelis ve Kim (2002) yaptıkları çalışmada anaerobik bozunma sonucu meydana gelen gaz oluşumunu basit bir şekilde göstermişlerdir:

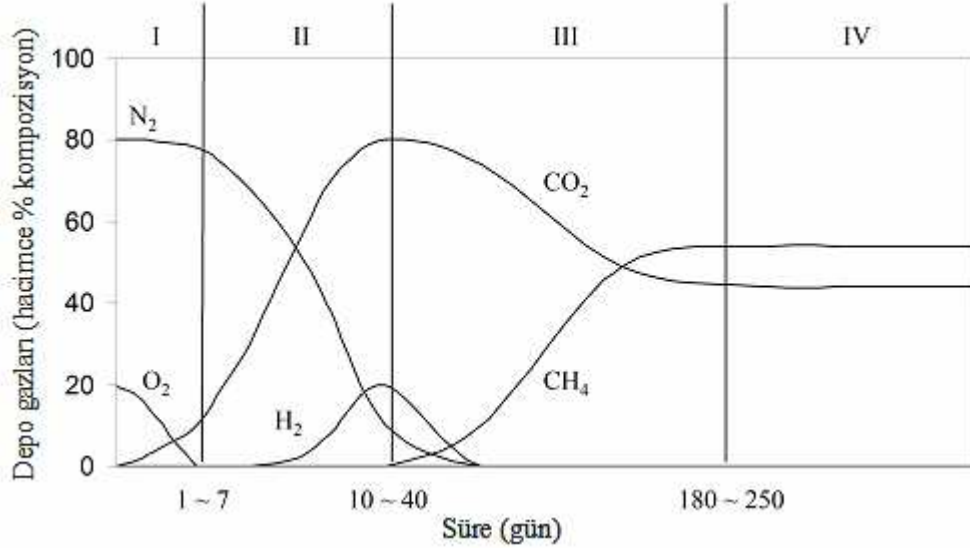


Bu denkleme göre üretilen gazın yaklaşık % 54'ü metan ve% 46'sı ise CO₂'dir. Ancak bu denklemden yazılanların dışında organik maddenin yapısında azot yada kükürt bulunması durumunda NH₃ ve H₂S gibi gazlarda oluşmaktadır. Kentsel katı atıklar depolama tesisinde depolandıklarında meydana gelecek olan anaerobik ayrışma çok yavaş ve uzun süreler alan bir süreçtir ve ayrışma hızı; nem, sıcaklık,

pH ve atığın boyutu gibi pek çok çevresel faktöre bağlı olarak değişmektedir. Deponi gazları, atık içerisindeki organik maddelerin anaerobik ayrışması sonucu ortaya çıkan bir gaz karışımıdır. Deponi gazları, hemen hemen eşit oranda metan ve karbondioksit ile çok sayıda eser miktarda uçucu organik bileşikten (UOB) meydana gelmektedir.

2.2. Deponi Gazları

Bir katı atık depolama tesisinde temel girdiler katı atık ve su, birincil çıktılar ise depo gazları ve sızıntı suyudur. Depolama tesisinde depolanan materyaller, kısmen ayrışan organik maddeleri ve depolama tesisinde biriken diğer inorganik maddeleri içerirler. Depolama gazı kontrol sistemleri, depo gazlarının atmosfere doğru istenmeyen hareketini önlemek için uygulanmaktadır. Geri kazanılan depo gazları ise enerji elde etmek amacıyla kullanılabilir yada zararlı bileşenlerin atmosfere deşarjını önlemek için kontrollü koşullar altında yakılabilir. Katı atık depolama tesislerinden kaynaklanan birincil depo gazları CH_4 ve CO_2 'dir. Bu depo gazlarının oluşumu Şekil 2.2'de gösterilen 5 ardışık safhada meydana gelmektedir. Her bir safha aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 2.2: Deponi gazı oluşum aşamaları (Farquar and Rovers, 1973)

I. Devre (Lag devresi) - Bakteri kültüründe, mikroorganizma büyümesinin çok az ya da hiç olmadığı ilk devredir. Bu devre, aerobik mikroorganizmaların yerleştiği ve atıktaki nemin birikim yaptığı bir periyottur. Birinci safhada, kentsel katı atıkların

içerisindeki organik bozunabilen maddeler, depolama tesisine yerleştirildikten sonra bakteriyel ayrışmaya başlar. Bu safhada depolama tesisinde sıkışmış havanın varlığından dolayı aerobik koşullar altında biyolojik ayrışma meydana gelir. Atıkların ayrışmasını sağlayan aerobik ve anaerobik organizmaların her ikisinin de birincil kaynağı katı atık ve toprak materyalidir.

II. Devre (Geçiş Devresi) - Bu devrede oksijen tükenir ve anaerobik koşullar gelişmeye başlar. Depolama anaerobik olduğunda, biyolojik dönüşüm reaksiyonlarında elektron akseptörü olarak kullanılan nitrat ve sülfat çoğu zaman azot gazı ve hidrojen sülfüre indirgenir. Anaerobik koşulların gelişimi oksidasyon/redüksiyon potansiyelleri ölçülerek gözlemlenebilir. Oksidasyon/redüksiyon potansiyeli sürekli azaldığında, kentsel katı atıklardaki organik materyali metan ve karbondioksit'e dönüştürmekten sorumlu mikroorganizmaların ortak üyeleri, kompleks organik materyalleri organik asitlere ve III. Devrede tanımlanan diğer ara ürünlere dönüştürdüğü üç adımlı bir proses başlar. II. Devrede eğer süzüntü oluşursa pH, organik asit oluşumu ve depo sahası içerisindeki yükselen CO₂ konsantrasyonunun etkisiyle düşmeye başlar.

III. Devre (Asit Devresi) – Bu devrede, II. Devrede başlayan bakteri aktiviteleri, organik asitlerin önemli miktarlarının ve hidrojen gazının daha düşük miktarlarının oluşumuyla ivme kazanır. Bu devredeki ilk adımda, enerji ve hücrel karbon kaynağı olarak mikroorganizmalar tarafından kullanıma uygun, bileşiklerin içerisindeki yüksek moleküllü kütle bileşenlerinin (lipid, organik polimer ve proteinler gibi) enzim-aracılı dönüşümleri (hidroliz) gerçekleşir. Bu prosesdeki ikinci adım (asidojen), asetik asit (CH₃COOH) ve düşük konsantrasyonlu fuvik asit ile diğer çoğu kompleks organik asitler gibi düşük molekül ağırlıklı ara bileşenlerin içerisinde ilk adımda oluşan bileşenlerin bakteriyel dönüşümü gerçekleşir. CO₂, III. safha süresince oluşan birincil gazdır. Düşük miktarlarda hidrojen gazı (H₂)'da oluşabilmektedir. Bu dönüşümdeki mikroorganizmalar, fakültatif ve zorunlu anaerobik bakterilerden meydana gelen, toplu halde non-metanojenik olarak tanımlanan mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizmalar literatürde çoğunlukla asidojenler yada asid oluşturucular olarak da tanımlanmaktadır (Shearer, 2001). III. Devre süresince oluşan asitlerden dolayı depolama içerisinde tutulan sıvının pH'ı

düşmektedir. Eğer oluşursa süzüntü suyunun pH'ı, depo içerisindeki artan CO₂ konsantrasyonunun etkisi ve organik asitlerin oluşumundan dolayı 5 veya daha düşük seviyelere gelmektedir. Süzüntü suyunun biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) ve iletkenliği, III. Devre süresince süzüntü içerisinde organik asitler çözüneceğinden dolayı önemli bir şekilde artmaktadır. Dolayısıyla KOI ve uçucu organik asitlerdeki artış, asit oluşum safhasının başlangıcının bir işaretidir. Bu safha süresince oluşan uçucu organik asitler, atıklardaki organik maddelerin bozunması sonucu oluşan metabolik ara ürünlerdir. Bunlar, tüketimlerinden daha fazla üretildikleri için uçucu organik asitlerin birikmesine neden olur. Dolayısıyla süzüntü suyunun pH'ı azalır ve önceden çözilemeyen metaller harekete geçer (Shearer, 2001). Ayrıca süzüntü suyundaki düşük pH'dan dolayı inorganik bileşiklerin çoğu, özellikle ağır metaller, III. Devre sürecince çözünmektedir. III. Devrede süzüntü suyu içerisinde çoğu zorunlu nitriüentler de giderilmekte ve süzüntü suyu geri dönüştürülmezse, zorunlu nitriüentler sistemden kaybolmaktadır. Eğer süzüntü suyu oluşmamışsa, III. Devre süresince oluşan dönüşüm ürünleri, su tutma kapasitesiyle tanımlanan atık tarafından tutularak, emilen bileşenler olarak depolama içerisinde kalmaktadır.

IV. Devre (Metan Fermantasyon Devresi) – Bu devrede, ikinci grup mikroorganizmalar, asit safhasındaki asit oluşturucular tarafından meydana getirilen asetik asit ve hidrojen gazını aşağıda gösterildiği şekilde daha dominant olan CH₄ ve CO₂'ye dönüştürür.



Bazı durumlarda bu organizmalar III. Devrenin sonuna doğru gelişmeye başlamaktadır. Bu dönüşümlerden sorumlu bakteriler tam anaeroblardır ve metanojenik olarak isimlendirilirler. Dolayısıyla metanojenik bakteriler, hidrojen formundaki elektronları kullanma yeteneğine sahip anaerobik organizmalarıdır (Yılmaz ve Atalay, 2003). IV. Devrede, asid fermantasyon oranı önemli bir şekilde azalmasına rağmen, metan ve asit fermantasyonlarının her ikisinde aynı zamanda

ilerlemektedir. Asit üreticiler tarafından üretilen asitler ve hidrojen gazı IV. Devrede CH_4 ve CO_2 'ye dönüştürüldüğünden dolayı, deponi içerisindeki pH 6,8 – 8 aralığındaki nötr seviyelere çıkar (Kreith, 1994). Hidroksit konsantrasyonundaki bu artış sülfatın sülfite indirgenmesiyle ikiye katlanır (Shearer, 2001). Sırasıyla, eğer oluştuysa süzüntü suyunun pH'ı artar, BOI_5 , KOI ve iletkenlik değerleri ise azalır. Yüksek pH değerlerinde az sayıda inorganik bileşik çözünür. Sülfid ve hidroksit metallerle çözünmeyen kompleksler oluşturur. Bunun sonucu süzüntüdeki metal konsantrasyonu önemli oranda azalır (Shearer, 2001).

V. Devre (Olgunlaşma Devresi) - Tüm reaksiyonlar tamamlandığında biyolojik aktivitede bir azalma olur. Bu durum olgunlaşma devresinin belirtisidir. Bu devrede, kolayca biyolojik parçalanabilir organik materyal IV. Devredeki CH_4 ve CO_2 'ye dönüştürülür (Kreith, 1994). Olgunlaşma safhasının belirtisi çok az gaz oluşumu meydana gelmesidir. Nem atıktan sürekli gittiğinden ve kolay ayrışabilir organik maddelerin çoğu bozunmaya uğradığından dolayı daha önce kullanılmayan biyolojik ayrışabilir materyalin bir kısmının dönüşümü gerçekleştirilebilecektir. Mevcut nitrütlerin çoğu bir önceki safha sırasında süzüntüyle giderilmiştir ve deponide kalan substratlar çok yavaş bir şekilde ayrışır. Olgunlaşma safhası süresince, süzüntü yüksek konsantrasyonlarda biyolojik olarak işlenmesi zor olan humik ve fulvik asit içerirler.

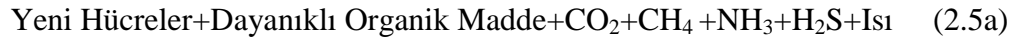
Depo gazlarının üretimindeki ayrı safhaların süresi, depolama sahasındaki organik maddelerin dağılımına, nitrütlerin mevcudiyetine, atıkların nem içeriğine, atık materyali içerisinde dolaşan nem ve başlangıç sıkışma derecesine bağlı olarak değişir. Örneğin atıkların çeşitli yüklemeleri birlikte sıkıştırılırsa, C/N oranı ve nütrient dengesi depo gazı üretmek için uygun olmayabilir. Depo gazlarının oluşumu, yeterli nem içeriği yoksa gecikebilir. Depolama tesisine yerleştirilmiş materyalin artan yoğunluğu atığın bazı kısımlarındaki nem mevcudiyetini azaltacak ve bunun sonucu bio dönüşüm oranları ve gaz üretimi azalmaktadır (Kreith, 1994). Bir depolama tesisinde bulunan birincil gazların yüzdesel dağılımının genel verileri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: İlk 48 ay süre boyunca depo gazlarının genel yüzdesel değişimi (Kreith,1994)

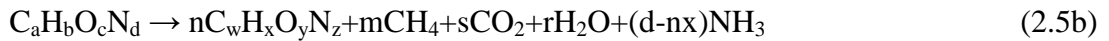
Hücre kapatıldıktan sonraki zaman aralığı (ay)	%		
	N ₂	CO ₂	CH ₄
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

Bir depolama tesisine yerleştirilmiş katı atığın organik kısmının anaerobik dönüşümü aşağıdaki denklemle açıklanabilir (Kreith, 1994):

Organik Madde+H₂O+Nitruent →



Varsayılan CH₄, CO₂ ve NH₃ üretilen birincil gazlardır. Yukarıdaki denklem aşağıda gösterildiği şekilde de ifade edilebilir:



Burada; $s=a-nw-m$ ve $r = c-ny-2s$ 'dir. $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ ve $\text{C}_w\text{H}_x\text{O}_y\text{N}_z$ terimleri sırasıyla prosesin başlangıcında ve sonunda görülen organik materyalin kompozisyonunu molar temelde temsil eder. Tamamıyla stabil edilmiş organik atığın biyolojik ayrışabilir kısmı tahmin edilebiliyorsa, denklem aşağıdaki gibi olur:



Bu denklemde verilen reaksiyondaki önemli nokta suyun varlığına gereksinim duymasındır. Katı atıklardan üretilecek toplam gaz miktarı reaksiyon

sitokiyometresinden açık bir şekilde elde edilebilir. Meydana gelen gaz oluşumundaki oranlar ve sonlanma periyodu yerel hidrolojik koşullarla önemli oranda değişecektir (Kreith, 1994). Anaerobik ayrışma süresince oluşan gazların hacmi bir çok şekilde belirlenebilir. Örneğin, kentsel katı atıklarda özel organik maddeler varsa (plastikler istisna), $C_aH_bO_cN_d$ formunda genel formülü çıkarıldıktan sonra, gazın toplam hacmi denklem 2.5c'de verilen formülle hesaplanabilir. Genellikle katı atık içerisindeki organik materyaller, hızlı bir şekilde ayrışabilenler (3 ay ile 5 yıl) ve yavaş bir şekilde ayrışabilenler (50 yıl ve üzeri) olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Kentsel katı atığın organik fonksiyonunun hızlı ayrışabilen bileşenleri, gıda atıklarını, gazete, karton ve bahçe atıklarının bir kısmını içerir. Kentsel katı atıkların organik fonksiyonunun yavaş ayrışabilen bileşenleri ise kauçuk, deri, bahçe atıklarının tahta kısımları ve ahşap içeriklidir.

Bir depolama tesisinde optimum koşullar altında hızlı ve yavaş ayrışabilen organik atıkların dönüşümünden beklenen gazın teorik miktarı sırasıyla, $0,75-0,94 \text{ kg/m}^3$ ve $0,87-1,00 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişir). Ancak organik atıkların ayrışabilir fraksiyonları atığın lignin içeriğinin derecesine bağlı olduğundan, organik maddenin hiç biri aynı oranda ayrışamaz. Çalışmalarda kentsel katı atıktan $0,06$ ve $0,25 \text{ kg/m}^3$ arasında değerlerde geniş çapta değişim oranları gözlemlenmiştir (Kreith,1994).

Bir depolama tesisindeki organik maddelerin geneli biyolojik olarak ayrışacaktır. Çünkü önceden de belirtildiği gibi ayrışma, depolama tesisindeki organik komponentlerin dağılımına, nitrüentlerin mevcudiyetine, atığın nem içeriğine, deponi içerisinde nemin dolaşımına ve başlangıçtaki sıkıştırma derecesine bağlıdır. Normal koşullar altında, bir depo tesisinde depolanan karışık organik atıkların gaz oluşumlarının ölçülmesiyle belirlenen ayrışma oranı, ilk iki yıl içerisinde en yüksek değerine ulaşır ve sonra yavaşça azalır, 25 yıl yada daha uzun periyotlarda bu durum devam eder. İyice sıkıştırılmış depo tesisinde atıklara nem ilavesi yapılmıyorsa, gömüldükten yıllarca sonra atıkları orijinal hallerinde bulmak mümkündür.

Çoğu depolama tesisindeki mevcut nem içeriği, kentsel katı atıktaki biyolojik ayrışabilir organik maddenin tamamının dönüşümünün gerçekleşmesi için yetersizdir. Kentsel katı atıktaki biodegrade olabilir organik maddenin dönüşümü

için optimum nem içeriği, % 45-60 aralığındadır. Ayrıca çoğu depolama tesisinde nemin uniform bir şekilde dağılmadığı görülmektedir. Depolama tesisindeki nem içeriği sınırlı olduğunda, gaz üretim eğimi fazla yassılaşır ve gaz üretim eğiminin zaman periyodu genişler.

Gazların çoğu hesaba katıldığında depo gazları çok büyük miktarlarda birincil gazları ve az miktarda da iz gazları içermektedir. Birincil gazlar kentsel katı atıkların biyolojik ayrışabilir organik kısımlarının ayrışması sonucu oluşmaktadır. İz gazlar ise düşük yüzdelerde oluşmasına karşın toksik olabilirler ve insan sağlığı açısından risk oluştururlar.

Depolama tesisinde bulunan gazlar, amonyak (NH_3), karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), hidrojen (H_2), hidrojen sülfür (H_2S), metan (CH_4), azot (N_2) ve oksijen (O_2) içermektedir. Depolama tesisinde bulunan gazların tipik yüzdesel dağılımları Tablo 2.2’de verilmiştir. Bu tablodan da izlenebileceği gibi CH_4 ve CO_2 , kentsel katı atıklardaki biyolojik ayrışabilir organik bileşenlerin anaerobik ayrışması sonucu oluşan birincil gazlardır.

Tablo 2.2: Deponi gazlarında bulunan genel bileşenler ve karakteristiği (Kreith,1994)

Bileşen	Kuru Bazda Değer (%)
Metan	45-60
Karbon dioksit	40-60
Azot	2-5
Oksijen	0,1-1,0
Amonyak	0,1-1,0
Sülfür, desülfür, merkaptan vs.	0-1,0
Hidrojen	0-0,2
Karbon monoksit	0-0,2
İz bileşenler	0,01-0,6
Deponi Gazı Karakteristiği	
Nem içeriği	Doygun
Özgül ağırlık (kg/m^3)	1,02-1,06
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	37,8-71,1
Üst ısıl değer (kJ/m^3)	17.655-20.480

Depolama tesislerinden kaynaklanan deponi gazı örneklerinde bulunan iz bileşenlerin konsantrasyonlarının verileri Tablo 2.3’de verilmiştir. Bulunan bileşenlerin çoğu UOB olarak sınıflandırılmaktadır.

Tablo 2.3: Deponi gazlarında görülen iz bileşenlerin genel konsantrasyonları (Rettenberg ve Stegmann,1996)

Bileşen	Konsantrasyon (mg/m³)	Bileşen	Konsantrasyon (mg/m³)
Asetik asit	< 0,06-3,4	Dikloroflorometan	0,4-14
Asetik butil ester	60	Diklorometan	0-6
Asetik ester	2,4-263	Diklorotetarfloroetan	0,4-14
Asetik propil ester	< 0,5-50	Dimetil disülfid	0,02-40
Aseton	0,27-4,1	Etanol	16-450
Benzen	0,03-15	Etil merkaptan	0-120
1-Butanol	2,3-73	Etilbenzen	0,5-236
2-Butanol	18-626	Furan	0,1-2,4
Butanon	0,078-38	Hekzan	4,04
Butirik asit	<0,02-6,8	Metanol	2,2-210
Butirik ester	<0,9-350	Metilfuran	0,06-170
Butirik propil ester	<0,1-100	Pentanal	0,8
Karbon disülfid	<0,5-22	1-Propanol	4,1-630
Karbon oksisülfid	<0,1-1,9	2-Propanol	1,2-73
Klorodiflorometan	3-28	Propilbenzen	1,5-173
Klorolforometan	0,1-110	Tetrahidrofuran	<0,5-8,8
Klorotriflorometan	0-10	Trikloroetilen	0-182
Diklorobenzen	<0,1-5,3	1,1,1trikloroetilen	0,5-4
Diklorodiflorometan	4-119	Trikloroflorometan	1-84
1,1-dikloroetan	<0,5-21	Triklorometan	0-2
Dikloroetilen	0-294	Triklorotriflorometan	1-30
1,1-dikloroetilen	19-138	Vinil Klorür	0-264
1,2-dikloroetilen	2-100	Ksilen	0,2-383

2.3. Ayrışmaya Etki Eden Faktörler

Kentsel katı atıklar depolandığında meydana gelecek aerobik ve anaerobik ayrışmanın gelişimi; kentsel katı atığın kompozisyonu, nem içeriği, partikül büyüklüğü, atığın uygulamadaki yoğunluğu ve sıkışma oranı, nitrient varlığı, tampon kapasitesi ve sıcaklık gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrışmaya etki eden faktörlerle ilgili detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Kentsel katı atığın kompozisyonu

Kentsel katı atıkların kompozisyonu, nüfus artışı, yaşam standartındaki değişimler, yasal düzenlemeler gibi faktörlere bağlı olarak sürekli değişim göstermektedir. Kentsel katı atığın kompozisyonu, ayrışma oranı ve oluşacak ürünleri etkilemektedir. Ancak ön işlemlerle atık kompozisyonu kontrol altına alınarak homojen bir atık kompozisyonu sağlanabilir (Shearer, 2001). Kentsel katı atıkların kompozisyonu, ayrışma reaksiyonlarını aşağıdaki faktörlere bağlı olarak etkilemektedir.

- Organik madde, nütriens ve nem miktarını içeren kullanılabilir substratın olup olmaması,
- Ortamda potansiyel inhibitörlerin bulunup bulunmaması,
- Sıvı veya gaz taşınım fazından tamamen izole edilmiş “Mikro Ortamların” oluşması.

Düzenli depolama alanlarında depolanan atıklar, biyolojik olarak kolay ayrışabilen gıda yada bahçe atıklarından çok, ayrışması daha zor kağıt, plastik türü atıklar içerebilmektedir. Ayrıca endüstriyel alanlardan gelen atıklar yapılarında zehirleyici unsurlar bulundurabilir. Atık kompozisyonundaki bu tür oluşumlar özellikle anaerobik ayrışma ile biogaz üretimini olumsuz etkilemektedir (Öztürk ve Karali, 2009).

2.3.2. Atığın nem içeriği

Özellikle anaerobik reaksiyonlarla gaz oluşumu ve çürümenin oluşmasında en önemli faktörlerden birisi atığın nem içeriğidir. Ortamda bulunun nem bir yandan gazın hareket etmesi için ortam hazırlarken diğer taraftan bakteri ve besinlerin atık içerisinde hareketine olanak sağlamaktadır (Öztürk ve Karali, 2009). İlave nem, metan oluşumuna, nütrient taşınımına, pH tamponlanmasına ve mikrobiyal ayrışmanın gelişmesine neden olur. Süzüntü dolaşımı nem içeriğini arttırmanın etkili bir yöntemidir. Süzüntü dolaşımının avantajlarını; nem içeriğinin kontrolü, buharlaşma ile süzüntünün azalmasının önlenmesi ve gaz oluşumunun arttırılması olarak sayabiliriz (Shearer, 2001). Gaz üretim oralarının arttırılması sonucu depolama tesisindeki biyolojik ayrışabilir organik maddelerin stabilize olması için gerekli zamanın azalacaktır (Kreith, 1994).

Belirli bir seviyeye kadar katı atıkların nem içeriğinin arttırılması metan üretim hızının ve toplam üretim veriminin artırmasına neden olmaktadır. Genel olarak nem içeriğinin % 60 seviyelerine çıkartılması metan üretim miktarını ve hızını arttırmaktadır. Ancak bu seviyeden sonra nem içeriğinin arttırılması maksimum gaz üretim hızını olumlu veya olumsuz yönde etkilememektedir. Yapılan araştırmalar biyolojik ayrışma için optimum nem aralığının yeni çöp sahaları için % 50-70 ve eski çöp sahaları için % 30-80 arasında değiştiğini göstermektedir. (Öztürk ve Karali, 2009). Katı atıkların nem içeriğinin artması, artırılması gereken aşırı miktarda sızıntı suyu oluşumuna neden olsa da, evsel nitelikli katı atıkların biyolojik olarak ayrıştırılmasında katı atık nem içeriğinin % 75 ve üzerinde olması en iyi biyolojik ayrışmayı sağlamaktadır. Katı atıkların içindeki nemin miktarı kadar ortamda düzgün olarak dağılımı da biyolojik ayrışma ve dolayısıyla gaz üretimi için önemli bir konudur. Nemin düzgün olarak dağılması % 25-50 oranında verim artışı sağlamaktadır (Öztürk ve Karali, 2009).

2.3.3. Atığın partikül büyüklüğü

Kentsel katı atığın partikül büyüklüğü, atığın biyolojik dönüşümünde etkilidir. Kentsel katı atıkların partikül boyutlarının relatif uzunluğu, ayrışmayı oldukça

geciktirir. Bu yüzden, kentsel katı atıkların ortalama partikül büyüklüğünün azaltılması zorunludur. Partiküllerle dolu bir konterneyde, yalnızca partikül boyutunun azaltılması, konteynerdeki partiküllerin toplam yüzey alanını arttırır. Bu proses işletiminde istenen bir durumdur. Çünkü, ayrışma organik materyallerin yüzeyinde meydana gelir. Kentsel katı atığın partikül büyüklüğünün azaltılması parçalama veya öğütme ile gerçekleştirilebilir (Igoni ve diğ., 2008). Partikül büyüklüğü, depolama alanındaki nemin dolaşımını da etkiler. Azalan partikül büyüklüğü daha fazla yüzeyde suyla temasa olanak sağlar. Böylece biyolojik ve kimyasal degradasyon kolaylaşır. Parçalama daha kararlı atık oluşumunu sağlar. Bu durum da eşdeğer basınç altında düzenli yerleşme ve daha iyi sıkışmaya neden olur. Atığın parçalanmasının diğer bir avantajı da günlük örtüye gereksinim duyulmamasıdır. Parçalama pahalı bir işlemdir ve bir çok depolama tesisinde uygulanmaz. Ancak ilave gaz üretimi ve artan stabilizasyon oranları uzun süreçte maliyetleri verimli hale getirebilir (Shearer, 2001).

2.3.4. Atığın yoğunluğu

Ayrışmada, uygulamadaki atığın yoğunluğu birincil öneme sahip fiziksel özelliklerden birisidir. Uygulamadaki yada depolama veya balyalanmış atıktaki yoğunluk sıkıştırma ile kontrol edilir. Depolama tesislerinde sıkıştırma, atıktan optimum 3-4 kat daha ağır ekipmanlar sürülerek gerçekleştirilir. Alan sıkıştırmalarındaki tipik yoğunluk 475 ile 830 kg/m³ aralığındadır. Balyalanmış atıklarda bu değer 890 kg/m³'e çıkarılabilir. Artan yoğunluk depolama alanının verimli kullanımını sağlar, çökmeleri ve kaplama materyaline olan ihtiyacı azaltır. Ancak katı atıkların aşırı derecede sıkıştırılması, hidrolik iletkenliği azaltırken, atıktan kanallara giden süzüntü miktarı arttırarak nem miktarının azalmasına neden olacaktır. Bu durum oluşan gazların katı atık içerisinde hareketini de zorlaştıracak, mikro ortamların oluşması ve atıkların stabilizasyonunun azalması kaçınılmaz olacaktır. Bu yüzden nem dağılımı ve ayrışma oranlarının arttırılması için sıkıştırmanın azaltılması önerilebilir (Shearer, 2001).

2.3.5. Ortamdaki nütrient varlığı

Mikroorganizmalar, aerobik ve anaerobik ayrışma için en fazla C, N, P, H ve O elementlerine ihtiyaç duyarlar. Bunların dışında az miktarda K, S, Ca, Mg ve diğer iz elementlerde gereklidir. Ortamdaki kolay ayrışabilir ve kullanılabilir besi maddelerinin ortamda çok olması halinde gaz üretim miktarı ve hızı da artmaktadır. Bunun yanında ağır metal gibi zehirli maddelerin ortama girmesiyle bakteri gelişimi inhibisyona uğradığından gaz üretimi de azalmaktadır (Öztürk ve Karali, 2009).

Karbon ve azot konsantrasyonları anaerobik ayrışma prosesinin performansını belirlemede sınırlayıcı bir faktördür. Karbon mikroorganizmalar için enerji kaynağı oluştururken, azot mikrobiyal büyümenin gelişimine yardımcı olur. Eğer azot miktarı sınırlayıcıysa, mikrobiyal popülasyon düşük kalmakta ve mevcut karbonun parçalanması uzamaktadır. Mikrobiyal gereksiniminden fazla olan azot, amonyum gazı olarak prosesten çıkmaktadır. Parçalanma proseslerindeki bakterilerin karbonu, azot dönüşüm oranından 30-35 kat daha hızlı tükettiği belirlenmiştir. Bu yüzden optimal işletim için, C/N oranı ham materyalde 30/1 olmalıdır (Igoni ve diğ., 2008).

Ortamda oluşması beklenen biyokimyasal dönüşümlerin gerçekleşebilmesi için yeterli besi maddesinin bulunması şarttır. Evsel nitelikli atıklar genel olarak etkili bir biyolojik dönüşüm için gerekli olan besi maddesi oranını sağlamaktadır. Ancak yapılan bazı çalışmalar biyolojik stabilizasyonun ileri kademelerinde fosforun genelde kısıtlı hale gelebileceğini göstermektedir (Öztürk ve Karali, 2009).

2.3.6. Tampon kapasitesi

Ayrışma reaksiyonlarında pH'ın seviyesi ve değişimi anaerobik parçalanma prosesini etkilemektedir. Ortamdaki hidrojen iyonu konsantrasyonu, aşırı asiditeden dolayı parçalanmayı inhibe ettiğinden ötürü mikrobiyal büyümede doğrudan etkiye sahiptir. Anaerobik parçalanmadaki ilgili bakteriler 6-8 pH aralığına sahiptir. Anaerobik prosesin başlangıç safhasında uçucu yağ asitlerinin oluşumu pH'ı düşürür. Ancak suda çözülmüş halde bulunan karbondioksitin hidroksit iyonuyla reaksiyonu sonucu bikarbonat oluşturmak suretiyle prosesin pH'ının nötralizasyonu sağlanır.

Dolayısıyla proses kendiliğinden nötralizasyon yada iyi bir tampon özelliğine sahiptir. Asit oluşum oranı metana dönüşüm oranını aştığında, pH'ın azalması sonucu proseste bir dengesizlik oluşur. Gaz üretimi azalır ve gazın CO₂ içeriği artar (Igoni ve diğ., 2008). Katı atıkların tamponlama özelliklerinin olması hem biyolojik stabilizasyonun hızlandırılması hem de gaz üretim hızlarının artırılması konusunda faydalı olabilmektedir. Yeterli bir tampon kapasitesine sahip olmayan katı atıklara tampon kapasitesi oluşturacak maddelerin ilavesi sahanın ve atıkların özelliklerine bağlı değişkenlere göre yapılmalıdır. Bu sebeple tampon ilavesinin sızıntı suyu geri devri esnasında veya bir enjeksiyon sistemiyle yada atıkların alanlara yerleştirilmesi sırasında yapılabileceği düşünülebilir. Bu uygulamaya bir örnek olarak katı atıklara çürütülmüş çamur ilavesi gösterilebilir (Öztürk ve Karali, 2009).

2.3.7. Sıcaklık

Düzenli depolama alanında bulunan katı atıklar içindeki mikrobiyolojik faaliyetlerin tamamı sıcaklık tarafından etkilenmektedir. Ortamdaki sıcaklık ayrışmada aktif olacak bakteri türünü belirlediği gibi gaz üretim kapasitesini de etkilemektedir. Mezofilik bakteriler 30-35 °C sıcaklık aralığında aktif iken, termofilik bakteriler ise 45-65 °C aralığında aktif olmaktadır. Termofilik bakteriler yüksek sıcaklıklardan dolayı genelde daha yüksek gaz üretim hızlarına neden olmasına karşın çoğu katı atık alanlarında ayrışmada mezofilik bakteriler hakimdir.

Katı atık alanları bakterilerin başlangıçtaki aşırı aerobik aktiviteleri nedeniyle maksimum sıcaklık seviyelerine yaklaşık 45 gün sonra ulaşırlar. Atmosferik sıcaklık değişimleri nedeniyle atık yığınlarının üst kısımlarında sıcaklık değişimleri oldukça fazla iken, orta ve alt katmanlardaki sıcaklık farklılıkları ise çok azdır.

Çöp depolama sahalarının aerobik olan 1-2 m derinlikteki üst katmanlarında sıcaklık değerleri 50-70 °C arasında değişim gösterirken 2-3 m derinlikteki alt katmanlarındaki sıcaklık değişimleri 25-40 °C arasında gerçekleşmektedir. Oksijenin tükenmesi ve ortamın aerobikten anaerobik hale gelmesine bağlı olarak katı atık katmanlarındaki sıcaklıklarda azalma meydana gelmekte ve ortalama çevre koşulları hakim olmaktadır. Dolayısıyla katı atıkların zaman zaman yerlerinin

değiştirilmesinin aerobik biyolojik ısı oluşumuna katkısı olacaktır. Ayrıca tesise yeni gelen taze atıkların aktif metanojenik stabilizasyonun gerçekleştiği alanların yanına yerleştirilmesinin istenen daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmasında faydalı olduğu görülmüştür (Öztürk ve Karali, 2009).

2.3.8. Oksidasyon-redüksiyon koşulları

Depolama alanındaki redoks potansiyeli, atık ayrışma mekanizması ile belirlenir. Genellikle yüksek redoks potansiyali (aerobik koşullar), atığın hızlı bir şekilde degradasyonuna neden olur. Ancak tedarik edilmesi gereken hava işletme maliyetlerini artırır. Ayrıca, aerobik degradasyon aşırı ısı ve oksijenden dolayı yangın oluşturma potansiyeline sahiptir.

Aerobik ve anaerobik safhayı içeren iki koşullu prosesler günümüzde birkaç araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalarda ilk adımda depolama alanına hava verilerek aerobik koşullar sabitlenir. Depolama alanındaki aerobik mikroorganizmalar hızlı bir şekilde kolay ayrışabilir organikleri metabolize eder. Kolay ayrışabilir materyaller metabolize edildiğinde hava kaynağı kapatılır ve anaerobik koşullar oluşturulur. Daha dirençli olan materyallerin yavaş bir şekilde anaerobik mekanizmayla ayrışması gerçekleşir. Bu iki adımlı proses, hem aerobik hem de anaerobik mekanizmaların avantajlarından yararlanılmasına rağmen bazı dezavantajları göz ardı edilir. Stabilizasyon oranı artmasına karşın metan üretimini arttıran asidojenik safha kısalmıştır. Bu sistemin diğer bir faydası da hala mevcut olan poli aromatik hidrokarbonlar (PAH) gibi dirençli kimyasalları anaerobik reaksiyonlarla ayrıştırılabilir. Ancak bu sistemlerde uygun ayrışma için redoks potansiyelinin en verimli kullanımı sağlayacak araştırmaların yapılması zorunludur (Shearer, 2001).

BÖLÜM 3. BALYALAMA TEKNOLOJİSİ

3.1. Balyalama Teknolojisi Çalışma Prensipleri ve Önemi

Balyalama teknolojisi, nihai bertaraf öncesi kentsel atıkların uzun süreli periyotlarda depolanması için tercih edilen bir yöntemdir (Martinez ve Gourdon, 2000). Kentsel katı atıkların nihai bertaraf öncesi ön arıtma olarak termal ve yüksek performanslı mekanik-biyolojik prosesler gerçekleştirilmektedir. Mevcut tesislerdeki işletme kapasitesindeki eksiklikler atık akımının arıtma öncesi geçici depolanmasını zorunlu kılmaktadır. Balyalama teknolojisinin tercih edilmesinde etken olan en önemli faktör, uzun süreli geçici depolamalarda çevresel riskleri en aza indirmesidir (Wagner ve Bilitewski, 2009).

Yakın zamana kadar vahşi depolama (her hangi özel bir önlem almaksızın üretim noktalarına yakın açık alanlara dökme) atık bertarafında yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntem olarak kullanılmaktaydı. Ancak günümüzde katı atıkların bertarafında kullanılan yöntem ve prosedürler, çevresel açıdan emniyetli depolama alanlarının dizaynı ve işletilmesine yönelik olmaktadır.

Depolama ile ilgili yönetmeliklerdeki temel vurgu, özellikle biyogaz ve sızıntı sularından kaynaklanan emisyonlara karşı daha fazla korumayı ortaya koymaktadır. Atıkların karakterizasyonuna da önem gösterilmiştir. Bu durum son yıllardaki Avrupa birliği direktiflerinden (atıkların depolanmasında 26/04/1999'un 1999/31/EC konsey direktifi) de görülebilmektedir (Baldasano ve diğ., 2003). Balyalama teknolojisinin önemi, gerek oluşan biogaz gerekse sızıntı emisyonları açısından atıkların uzun süreli geçici depolanmasında daha güvenilir bir teknoloji olmasıdır.

Gelişmiş ülkelerde kentsel atıkların nihai bertarafı öncesinde yeterli düzeyde bir ön arıtma yapılması şartı bulunmaktadır. Bu ön arıtma işlemleri için termal ve yüksek performanslı biyolojik prosesler gerçekleştirilmektedir. İlgili tesislerdeki

uygun işletme kapasitesindeki eksikliklerden dolayı, atık akımının bir kısmı artırlana dek geçici depolamada tutulmak zorunda kalmaktadır. Geçici depolama, depolama koşullarındaki farklı taleplere göre aşağıdaki atık çeşitlerini içermektedirler:

- Kentsel katı atık (uygun arıtma kapasitesi noksanlığından dolayı),
- Yüksek kalorifik değerli atık (yeterli termal kullanım tesislerinin eksikliğinden dolayı),
- Karışık evsel atıklar (mekanik-biyolojik arıtmayla stabil hale gelmiş ancak depolama için kriterlerin yeterli olmadığı ve bu yüzden daha fazla arıtma gerektirdiğinden dolayı).

Tablo 3.1’de Baldasano ve Gasso (2001) tarafından yapılan çalışmada elde edilen kentsel katı atık depolamasında kullanılan 2 farklı yöntemin temel çevresel etkileri açısından niceliksel durumları gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Balyalama teknolojisi ve düzenli depolamaların karşılaştırılması

Durum	Düzenli Depolama	Balyalama Teknolojisi İle Depolama
Görsel etki	**	***
Süzüntü	**	***
Koku - gaz emisyonu	**	***
Hava çıktısı	***	***
Kuşlar	**	***
Kendiliğinden tutuşma	***	***
Yoğunluk	***	***
Maddelere katkısı	**	***
İşletmede iş gücü	**	**
Karşılanma altyapısı	*	*
Hareketli makineler	***	***
Altyapı servisleri	**	**
Kapatma	**	***
Gelecekteki geri dönüşüm	**	***

***) İyi **)Orta *) Zayıf

3.2. Balyalama Teknikleri

Kentsel katı atıkların sıkıştırılmasında temel olarak iki çeşit mekanik presleme uygulanmaktadır. Bunlar tekstil, kağıt, çöp gibi materyallerin sıkıştırılması için zaten varolan mevcut sistemlerden geliştirilmiştir. Bu presleme makinaları farklı geometrik

şekle ve karakteristiğe sahip balyaları üretmek için değişik sıkıştırma teknikleri kullanılmaktadır. Dikdörtgen ve silindirik olmak üzere 2 farklı tip balya vardır (Tsagas ve diğ., 2009).

3.2.1. Dikdörtgen balya tekniği

Dikdörtgen balya tekniği, bir seri halinde çalışan iki ayırma makinesi içerir. Öncelikle pres, balyanın içerisine atığı sıkıştırır. Daha sonra bu seriyle bağlantılı ikinci makine plastik balyaları sarar. Bu sistemler atıkların taşınmasına yardımcı olan ve atık dozlarını sürekli olarak çalışan dikdörtgen otomatik prese besleyen metal taşıyıcı bir bant içerir. Otomatik preste sadece atıkların sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerde iki çeşit sıkıştırma aygıtı bulunmaktadır. Bunlar kapalı ve açık tünel tipi sıkıştırıcılardır. Her iki sıkıştırıcıda da yüksek yoğunluklara ulaşılabilen ve basınçtan dolayı salınan sıvılar, sıkıştırıcı içerisindeki delikli bir sistem vasıtasıyla tek bir noktada toplanabilmektedir. Son zamanlarda kullanılan sıkıştırıcılarda, tünelin altına yerleştirilmiş kontrollü bir drenaj sistemi de mevcuttur.

Dikdörtgen balyalama tekniğinde, teknik olarak kentsel katı atığın önceden parçalanması gerçekleştirilmez. Sıvı niceliklerin emilmesi atığın nem içeriğine bağlıdır. Baldasano ve diğ. (2003), dikdörtgen balya tekniğinin kullanıldığı iki farklı tesiste % 45 ve % 62 nem içeriğine sahip kentsel katı atıkların sıkıştırılması sonucu sırasıyla 9 ve 18 l/ton sızıntı oluştuğunu belirlemişlerdir.

Dikdörtgen balya tekniğinde ikinci aşama olan sarma işlemi öncesinde balyaların yırtılarak dağılmasını önlemek için sıkıştırılmış balyanın bağlanması gerekmektedir. Sıkıştırılmış balyaların bağlanmasında iki teknik kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, dayanıklı poliester bağlayıcıların kullanıldığı ve atık çeşidine göre çeşitli miktarda bağlayıcılar içeren otomatik bağlama sistemidir. Şekil 3.1.'de poliestrele bağlanmış kentsel katı atık balyasının görünümü verilmiştir. Diğeri ise çelik tel kullanılan otomatik sarma işlemidir. Çelik tek kullanan bağlayıcı sistemler LDPE'de delinme ve yırtılmalara neden olabilmektedir.



Şekil 3.1: Poliesterle bağlanmış dikdörtgen balya

Bağlama işlemi gerçekleştirildikten sonra düşük yoğunluklu polietilen malzeme (LDPE) ile sarma işlemi gerçekleştirilmektedir. Dikdörtgen balyalar için LDPE sarma sistemleri, özel olarak dizayn edilmiş presten balyayı alan ve farklı boyutlar için ayarlanabilir nitelikte bir mekanizmadır. Bu sarma makinası, Şekil 3.2.'den de görülebileceği gibi balyaların çarpraz şekilde birkaç tabaka sarılmasına izin vermektedir. Genellikle balyalar dikey olarak iki kez ve yatay olarak 1 kez sarılmaktadırlar. Ancak LDPE tabakasının miktarı ayarlanabilir özelliktedir ve genellikle 1 ton kentsel katı atık başına ortalama 1,5 kg LDPE kullanılmaktadır.



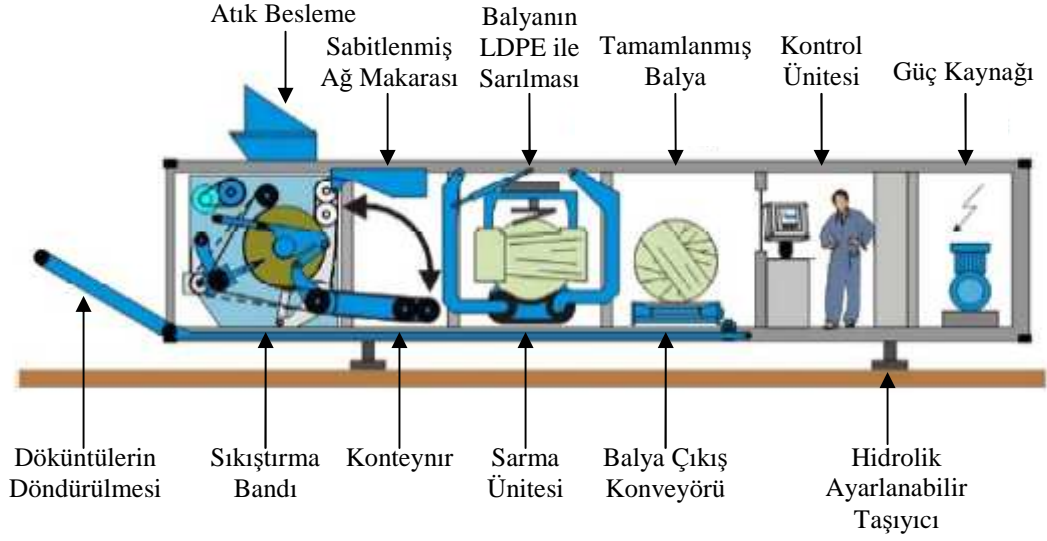
Şekil 3.2: Dikdörtgen balyaların sarma işlemi

3.2.2. Silindirik balya tekniği

Silindirik balya tekniği, dikdörtgen balya tekniğinden farklı olarak kentsel katı atıkların hem sıkıştırıldığı hemde plastikte sarıldığı tekli mekanik bir presle üretilmektedir. Silindirik balya tekniğinin çalışma prensibinde, kentsel katı atıklar sıkıştırma basıncına ulaşana dek silindirik odaya beslenir. Kentsel katı atıkların oda içerisinde zorlanması, balyanın sıkışma derecesini artırır. Karıştırıcı ve ezici mekanizmalar havanın atılmasına ve sıkıştırılmamasına neden olur. Böylece balya içerisindeki oksijen içeriği minimize edilir. Plastik ağ, pres açıldığında sıkıştırılmış materyalin genişlemesini önlemek ve balyanın şeklini ayarlamak için uygulanmaktadır. Pres açıldığında balya, sıkıştırma ünitesinden ayrılarak aynı makine içerisinde entegre halde bulunan sarma ünitesine geçer. Daha sonra LDPE malzeme ile sarılır (Şekil 3.3). Bir ton kentsel katı atık başına ortalama 2,5 kg LDPE kullanılır. Balya çıkarıldığında yeni döngü başlar. Bu tip bazı makinalarda tavsiye edilmesine rağmen materyalin önceden parçalanmasına gerek yoktur. Şekil 3.4.'de silindirik balya tekniğinin çalışma prensibi verilmektedir.



Şekil 3.3: Balyaların LDPE malzeme ile sarılması



Şekil 3.4: Silindirik balya tekniği çalışma prensibi

Kentsel katı atıkların LDPE malzeme ile sarılmasının ana sebepleri:

- Nem, yağmur suyu yada her hangi bir sıvıdan kentsel katı atıkları koruması ve atmosferik koşullardan koruyarak, kentsel katı atıkların dış ortamda depolanmasına olanak sağlaması,
- LDPE filminin iç yüzeyleri yapışkandır. Bu yüzden sarılan farklı tabakaların her birinin yapışması,
- Balya içerisine sarılmış materyalin özelliklerini korması,
- Yangın riskinin zayıf olması ve kendiliğinden tutuşma göstermemesi,
- Koku oluşumlarını oldukça azaltmasıdır.

Her iki sistemle üretilen balyalarda forklift yardımıyla kamyonlara aktararak taşınabilir ve depolama alanlarına yığılabılır. Bu balyaların açık alanlarda depolanmaları esnasında UV ışınlarının neden olduğu etkileri önlemek için üzeri kararlı polietilen malzeme ile örtülmelidir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Hazırlanan balyaların polietilen malzeme ile örtülmesi

3.2.3. Dikdörtgen ve silindirik balya tekniklerinin farklılıkları

İki sistem arasındaki temel farklılık, silindirik teknik için daha düşük olan sıkıştırma derecesidir. Yüksek oranda sıkıştırılmış dikdörtgen balya örneklerinde, bu proses, yüksek nem içerikli sıkıştırılmış materyal potansiyel sızıntı oluşumunu azalttığından sıvının dışa emilmesine neden olur. Ancak sıkıştırılma ile çıkan sıvı arıtılmak zorundadır. Silindirik teknikle üretilmiş sıvının niceliği dikdörtgen teknikle hazırlananla karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeydedir. Tablo 3.2’de Baldasano ve Gasso (2003) tarafından verilmiş dikdörtgen balyalara karşı silindirik balyaların avantaj ve dezavantajları çıkarılmıştır.

Tablo 3.2: Silindirik ve dikdörtgen balyaların avantaj ve dezavantajları

Silindirik Balya	Dikdörtgen Balya
Yuvarlak formların içerisine sıkıştırma havalandırma süreçlerinden kaçınır.	Dikdörtgen formlar içerisine sıkıştırma, tabakalarda havalandırma kanallarının oluşmasına neden olur.
<u>Dairesel sıkıştırma prosesleri</u> Yuvarlama proseslerinde hava çıkarıldığı için ve materyalle birlikte sıkışmadığından dolayı, sıkıştırılmış materyal içerisinde çukur boşluklar oluşmaz.	<u>Dikey sıkıştırma prosesleri</u>

Tablo 3.2 (Devamı): Silindirik ve dikdörtgen balyaların avantaj ve dezavantajları

Silindirik Balya	Dikdörtgen Balya
Yığın yapmak kolaydır. 9 tabakaya çıkarılabilir.	Dikdörtgen formlarından ötürü çok iyi bir şekilde yığılabılır.
Dairesel şekilleri suyun daha iyi dren olmasını sağlar.	Şekilleri yüzey alanı ile daha fazla temasa neden olur.
Sıkıştırma sıvı oluşumuna neden olmaz	Sıkıştırma sıvı oluşumuna neden olur.
Sıkıştırılmış materyalin nem içeriği sabittir.	Sıkıştırılmış materyalin nem içeriği azalır.
Davranışlarıyla ilgili bağımsız çalışmalar mevcuttur.	Mevcut çalışmalarını oldukça sınırlıdır.
Birkaç depolama tesisinde kullanılmaktadır	Birkaç depolama tesisinde kullanılmaktadır
Taşınabilir ve sabit ünitelerdir.	Sabit ünitelerdir.
Daha yoğun dizaynlardır.	
Balyalama ve plastik sarma işlemi, tek bir makinede bütünleşik bir haldedir.	Balyalama ve plastik sarma işlemi ardışık olarak iki farklı makine tarafından gerçekleştirilmektedir.
Kapasitesi 12-15 t atık/saat	En büyük kapasitesi 36-40 t atık/saat ve 28-32 atık/saat
Materyalin tutulmasını sağlamak için plastik bir ağ kullanılmalıdır.	Materyalin tutulması için bir bant kullanılması gereklidir. Bantlar plastik yada metalden yapılabilir.
Alan indeksi yaklaşık 2,5 t/m ²	Alan indeksi yaklaşık 4 t/m ²

3.3. Balyalama Teknolojisinin Performansı ve Çevresel Etkileri

Sarılmış balyaların davranışları klasik depolama yada aerobik (kompostlama) veya anaerobik fermantasyon gibi proses temelli kentsel katı atık giderimindeki oluşumlara göre farklılık göstermektedir. Bu kısımda sarılmış balyaların kısaca biyolojik ve fiziksel davranışları ve çevresel etkileri hakkında açıklama yapılacaktır.

Kentsel katı atıkların sarılmış balyalarla depolanmasıyla ilgili sınırlı sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmaların çoğu sarılmış balyaların biyolojik davranışları hakkındadır. Bu konu ile ilgili ilk çalışmalar Tomatton ve diğ. (1995) ile Hogland ve diğ. (2001) gerçekleştirilmiştir. Bu konuda ilk doktora tezi de Lyon, Fransa'da Martinez tarafından yazılmıştır. Martinez ve Gourdon (1999), kentsel katı atıkların davranışında balyalamanın etkisini incelemiş ve pH'nın biodegradasyondaki rolü hakkında laboratuvar çalışmaları gerçekleştirmiştir.

Martinez ve Gourdon (2000) uzun süreli periyotlarla (27-34 ay) balyalarda yaptıkları deneyleri raporlamışlardır. Yapılan tüm çalışmalar geniş çapta silindirik balyalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hogland ve diğ. (2000, 2001), eğer balyalar kendiliğinden tutuşma eğilimi sergilerse, gözlemlemek için 8 balyadan (6 silindirik ve 2 dikdörtgen) yayılan gaz emisyonlarında kompozisyon, yapısal bütünlük değişimleri ve sıcaklık etkileri üzerine çalışmış ve yakma testleri gerçekleştirmiştir. Fadel ve diğ. (2002), balyalanmış kentsel katı atıklardan kaynaklanan sızıntı sularının kelitesindeki değişimler üzerine incelemeler gerçekleştirmiştir. Wagner ve Bilitewski (2009), balyalanmış kentsel katı atıkların depolandığı tesislerin emniyetli bir şekilde işletilmesi için gerekli koşulları incelemiştir. Baldasano ve diğerleri (2003) ise balyalama teknolojisi ve konvansiyonel sistem ile depolamanın çevresel performans ve işletme maliyeti açısından değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Nammari ve diğ. (2004, 2007a, 2007b), balyalanmış kentsel katı atıkların kontrollü yakılması sonucu oluşan emisyonları araştırmışlardır. Balyalama teknolojisi ile ilgili yapılan bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki kısımlarda detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.3.1. Balyalama teknolojisi ile klasik olarak depolanan kentsel katı atıkların maliyet analizlerinin karşılaştırılması

Baldasano ve diğ. (2003) tarafından yapılan çalışmada, farklı balyalama teknolojilerinin (silindirik ve dikdörtgen) kullanıldığı 2 depolama alanı ile balyalamanın kullanılmadığı klasik depolamanın karşılaştırmalı maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Balyalama teknolojisi ile klasik sistemle depolamadaki işletme maliyetlerinin karşılaştırılması için temel dizayn ve operasyon parametrelerini içeren maliyet modeli geliştirilmiştir. Modelden elde edilen sonuçlar, 1991/31 no'lu avrupa direktiflerinin tüm gerekliliklerini sağlayan farklı uygulama seneryoları altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmaya göre, dikdörtgen balyalamanın gerçekleştirildiği depolama tesisi, klasik depolama ile karşılaştırıldığında ekonomik açıdan rekabetçi bir seçenek olduğu görülmüştür. Balyaların yüksek yoğunluğundan dolayı dikdörtgen balyalar kullanıldığında atık düzenleme sahası kapasite artışı, yöntemin artan işletme ve bakım maliyetlerini dengelemektedir. Silindirik balyaların kullanıldığı depolama tesislerinde balya

içerisindeki yoğunluk azaldığından, balyaların silindirik geometrisi, depolama tesisindeki boşlukların etkili bir şekilde kullanımına izin vermediğinden ve mekanizmanın işleme kapasitesi düşük olduğundan dolayı iyi bir ücretlendirme gerçekleştirilemediği görülmüştür. Maliyet modeline göre 20 m depolama alanı derinliği, 15 yıllık işletme koşulları ve 100.000 t/yıl atık için dikdörtgen, silindirik balyalı ve klasik depolama tesislerinin ton başına birim maliyet sonuçları sırasıyla yaklaşık olarak 32, 44 ve 32 Avro olarak belirlendiği görülmüştür.

3.3.2. Balyalanmış kentsel katı atıklardan kaynaklanan sızıntı sularının kalitesindeki değişimler

Depolama alanı sızıntı karakterizasyonları, etkili bir yönetim stratejisi ya da arıtma prosesine ilişkin saptamalarda kritik bir faktördür. Ancak atık kompozisyonu ve depolama işlemleri gibi etkileyici faktörlerden dolayı sızıntının kalitesini kestirmek oldukça zordur.

Sızıntı suları, atığın nem içeriğinin alan kapasitesini aşması durumunda oluşmaktadır. Bu durum maksimum nemin aşağı doğru sızmanın gerçekleşmediği gözenekli bir ortamda tutulması olarak da tanımlanabilir. Nemin atık içerisinde tutulması öncelikli olarak, kapiler basınca ve yüzey geriliminin tutma kuvvetine bağlıdır. Yerçekimi kuvveti, nemin tutulma kuvvetini aştığında süzülme işlemi meydana gelmektedir. Sızıntı suyu oluşumu bir çok faktöre bağlıdır. Yağış miktarı, kar erimesi, yeraltı suyu karışması, başlangıç nem içeriği, sulama, geri dönüşüm, sıvı atıkların yeniden uzaklaştırılması ve atık ayrışması gibi depolamanın nemini doğrudan etkileyen faktörler ve atığın tazeliği, ön arıtma işlemleri, sıkıştırma, geçirgenlik, partikül büyüklüğü, yoğunluk, çökme, bitki örtüsü, gaz ve sıcaklık oluşumları ve taşınım gibi depolama içerisindeki süzüntü veya nem dağılımını etkileyen faktörler olarak sınıflandırılabilir. Artan nem içeriği sızıntı suyu oluşumunda temel faktör olmasına karşın, artan biodegradasyon prosesleriyle de yakından ilişkilidir.

Fadel ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışmada, sızıntı oluşum mekanizmaları ve sızıntı kalitesini belirleyen indikatörler incelenmiştir. Ayrıca yüksek organik ve nem

içeriğine sahip ayrıştırılmış ve balyalanmış kentsel katı atıklardan kaynaklanan sızıntı sularının kalitesinin değişimleri izlenmiştir. Günde 1.800 ton'dan fazla atığın toplandığı depolama tesisinde 3 ayrı lotta depolanan kentsel katı atık balyalarından kaynaklanan sızıntı suyu kalitesini belirlemek amacıyla, atık ve sızıntı oluşum oranları izlenerek 18 aylık periyot boyunca sızıntı suları toplanan örneklerde kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Sızıntı sularının kirlilik seviyelerini belirlemek amacıyla pH, KOİ, TOK, TÇK, klorür, sülfat, ortofosfat, nitrat, amonyum azotu, sertlik ve ağır metalleri içeren birkaç parametrenin değişimi izlenmiştir. Yapılan çalışmaya göre sızıntı sularının kimyasal konsantrasyonları depolama alanı içerisindeki biyolojik aktivite ile ilgilidir. Çalışma sonucunda atıkların ön ayrıştırma ve balyalanması atık stabilizasyonunu engellediği ve yüksek organik ve nem içerikleri, özellikle biyodegradasyon prosesleri gerçekleştiğinde oldukça güçlü sızıntı suyu oluşumuna neden olduğu görülmüştür. Bu durum süzüntü arıtma tesislerini de etkileyebilmektedir.

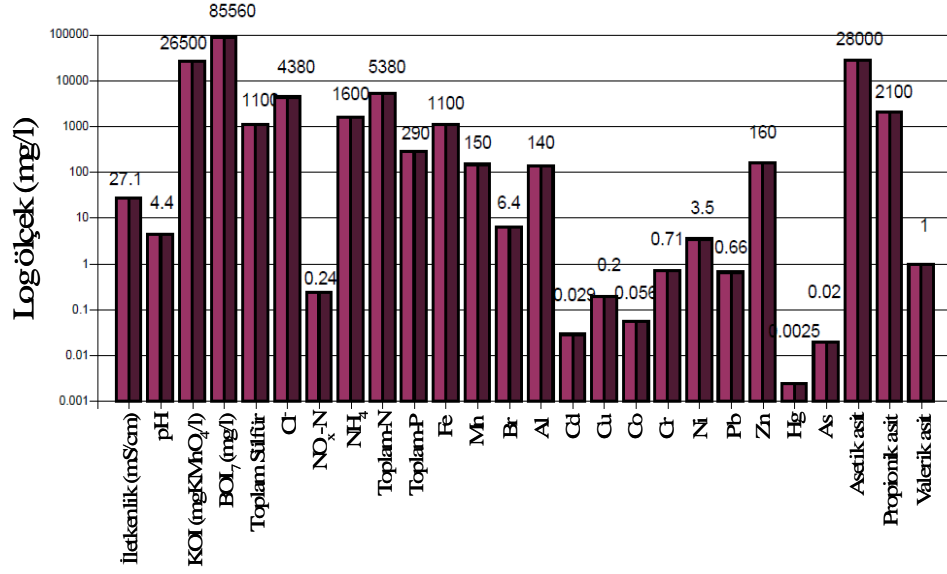
Yapılan çalışmada balyalama prosesi, atık yoğunluğunu 0,40-0,55 t/m³'ten 0,6-0,8 t/m³'e çıkardığı görülmektedir. Balyalama işlemi süresince sıkıştırma ile atık nem içeriğinin bir kısmı giderilse de, ön ayırma işlemi ile organik gıda atıklarının büyük bir kısmı giderilmediğinden % 55-60'da kalmaktadır. Aerobik solunum süresince katı subsratlardaki depolimerizasyon ve hidroliz reaksiyonları da balyalanmış atığın nem içeriğini artıracaktır. Depolama alanındaki yerleştirme ve kendiliğinden sıkışma sonrası, alan kapasitesi % 40'dan biraz daha aşağıya düşebilmesine rağmen balyalanmış atığın yoğunluğu 0,9 t/m³'e ulaşabilir. Dolayısıyla bu durumda önemli miktarlarda süzüntü salınımına neden olacaktır. Balyalama işleminin sızıntı oluşumunda neden olduğu etkiler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Balyalanmış atıklar beklenenden daha erken sızıntı oluşturmaya başladığından dolayı balyalama atıkların su tutma kapasitesini azaltır.
- Balyalanmış atıklardan kaynaklanan süzüntüler, balyalanmış hücrelerden çıkan yüksek süzüntü hacimlerinin konsantrasyonlarıyla belirlendiğinde daha düşük kirliliğe sahip olduğu görülmektedir.

- Balyalanmış atığın doygunluğu, balyayla onu çevreleyen kanallar arasındaki nem ve kimyasal değişimin gelişimine bağlı olarak süzüntüdeki kirlilik konsantrasyonunu artırmaktadır.
- Balyalama öncesi atıkların parçalanması, parçalanmadan balyalanmış atıklarla karşılaştırıldığında kirleticilerin süzülmesini azaltır. Bu beklenmedik sonuç, balyalama öncesi atıkların parçalanması sonucu daha az gereksiz boşlukların oluşmasıyla ve balyanın yırtılma ve delinme direncinin gelişimiyle açıklanabilir.
- Balyalama sisteminde, balya içerisinde daha uzun biyolojik arıtma süresinden dolayı kümülatif organik süzüntülerin (KOI; BOI) azalması beklenmektedir. Ancak, biyolojik aktivitelerden dolayı kirleticilerin (ağır metal, klorür gibi) kümülatif süzüntüsünün değişmeden kalması beklenilmektedir.
- Balyalama prosesleri, nem akışının azalması, nitrientlerin engellenmesi ve biokütle değişimlerinden dolayı biodegradasyonu genellikle yavaşlatabilir.

Marques (2000) yaptığı çalışmada balyalanmış kentsel katı atıkların depolandığı bölgelerdeki şiddetli yağmur suları ile kompost tesisi, trafiğin yoğun olduğu bölgeler, sanayi bölgeleri, yerleşim yerleri gibi bölgelerde oluşan yağmur sularını karşılaştırmış ve önemli düzeyde bir kirlilik oluşturmadığını göstermiştir. Balyalar sıkıştırılarak sarıldığından dolayı çok düşük miktarlarda süzüntü oluşumu söz konusudur.

Martinez ve Gourdon (2000) tarafından yapılan çalışmalarda balyalanmış kentsel katı atıklardan kaynaklanan süzüntü sularında, koku oluşumunun temel kaynağı olan yağ asit konsantrasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Asitlerdeki bu yüksek konsantrasyon pH'ı düşürürken, bunun sonucu metan oluşturan bakterilerin aktivitesini azaltmış ve yağ asitlerinin çürümesi sonucu CO₂ oluşumu gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan balyaların asidik karakterde olduğunu söylemek mümkündür. Şekil 3.6'da balyalanmış kentsel katı atıklardan kaynaklanan sızıntı sularının karakteristiği verilmiştir.



Şekil 3.6: Balyalanmış atıklardan kaynaklanan süzüntü sularının karakterizasyonu (pH ve iletkenlik hariç birimler mg/l' dir.)

Elde edilen sonuçlar, depolanan balyalanmış kentsel katı atıkların davranışları hakkında izlenim elde edilmesine yardımcı olacaktır. Ancak sızıntı suyunun karakteristiği atık kompozisyonu ve başlangıç nem içeriğine bağlı olmaktadır. Dolayısıyla başlangıç nem içeriği ve atık kompozisyonundaki farklılıklardan dolayı, elde edilen sonuçlarla saha koşulları arasında tam bir ilişki kurulması mümkün değildir. Örneğin, atıklar parçalanmadan hazırlandığında, düşük biyolojik ayrışmadan dolayı kirlilik konsantrasyonları düşük sızıntı suyu oluşması beklenir. Ancak eğer atık kompozisyonu yüksek kağıt içeriğine sahipse ve nem içeriği alan kapasitesini aşmıyorsa sızıntı suları balya içerisinde infiltre olur ve balyalamadan kaynaklı bir sızıntı oluşmaz.

3.3.3. Balyalanmış kentsel katı atıkların biyolojik davranışları

Balyalanmış kentsel katı atıkların davranışları klasik depolama, aerobik (kompostlama) veya anaerobik fermantasyon gibi proses temelli kentsel katı atık giderimindeki oluşumlara göre farklılık göstermektedir. Hoş olmayan kokular, toprak, su ve hava kirliliği problemlerinden, patlama ve yangın tehlikelerinden kaçınmak için depolanan atıkların biyolojik aktivitesinin kontrolü ve karakterizasyonu çok önemlidir. Balyalanmış kentsel katı atıkların biyolojik davranışları hakkında geniş çapta çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Martinez ve Gourdon (2000), balyalanmış evsel atıkların uzun süreli davranışlarını izlemek amacıyla laboratuvar ölçekli (yaklaşık 15 litre) ve endüstriyel ölçütlerde (yaklaşık 1m³) gerçek balyalanmış atıklar kullanılarak araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Lyon Nord Yakma Tesisinde gerçekleştirilen araştırma da, gerçek evsel atıklardaki kağıt, karton, plastik, iyi ve kolay biyolojik ayrışabilir organik madde fraksiyonları, sentetik ve inert yapıdaki cam fraksiyonlarla karıştırılmıştır. Karışımların nem içerikleri ve organik madde içerikleri Fransa'daki evsel atıklar için verilen (kolay parçalanabilir organik maddenin ortalama içeriği ıslak ağırlık olarak % 28,8 ve nem içeriği % 25 ile 45 aralığındadır) yüksek ve düşük limitlerdeki genel miktarlara göre belirlenerek araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda, elde edilen biyogaz hacminin teorik olarak beklenen üretim miktarından oldukça az olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, organikmaddenin anaerobik ayrışmasının belirtileri gerçekleştirilen deneysel koşullar altında ihmal edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Yapılan sentetik deneysel çalışmalarda, atık karışımlarının geçici olarak depolanmasında kullanılan hava geçirimsiz şekilde sarılmış balyaların biyolojik ayrışmayı engellediği ve biyolojik aktivitelerden ötürü zararlı etkileri de oldukça sınırladığı görülmektedir. Diğer taraftan, balyalanmış atıklardaki ayrışmanın, araştırılan limitlerdeki nem ve organik madde içeriğine bağlı olmadığını ve sıkıştırmanın anaerobik ayrışmasına önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Martinez ve Gourdon (2000) balyalama tesislerine gelen kentsel atıklarla da çalışmalar gerçekleştirmiştir. Gerçek balyalarda yapılan çalışmalarda, taze balyalarda inkubasyondan 8 ay sonra, eski balyada ise 20 aydan sonra biogaz içerisinde metan belirlenememiştir. Ayrıca, eski balyada yeni balyaya göre oksijen içeriği yüksek CO₂ içeriği ise düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, eski balyaların plastik sargısının deforme olması sonucu daha iyi durumdaki taze balyaya göre daha fazla hava girişine izin vermesiyle açıklanabilir. Eski balyadaki biogaz, dışarıdan hava girişiyle seyrelmekte ve taze balya anaerobik koşullar altında olmasına karşın, eski balya gerçekte aerobik koşullar altında olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalar, eski balyada dış hava sıcaklığı veya yüzeye yakın bölge ile merkezi bölge arasında önemli sıcaklık farklılığı (5-15 °C) gözlenmiştir. Bu sıcaklık eğilimlerinin taze balyalarda ise oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Wagner ve Bilitevski (2009) kentsel katı atıkların uzun süreli depolanmalarıyla ilgili gerçekleştirdikleri bir çalışmada, balyalama işlemi sonrası hemen aerobik parçalanmanın başladığını ve balya içerisindeki CO₂ ve sıcaklık konsantrasyonunun ikisinde hızla artarak, oksijen içeriğinin keskin bir şekilde düştüğünü belirtmişlerdir. Dolayısıyla balya içerisindeki oksijenin tamamı tükeninceye kadar aerobik parçalanma devam etmekte ve birkaç gün sonra aerobik parçalanma sona ermektedir. Farklı depolama tesislerinde değişik araştırmacılar tarafından yapılan ölçümler, sıcaklığın 60 °C'nin üzerine çıkamaması parçalanmayı inhibe ettiğini göstermektedir. Balyalama ile yapılan çalışmalar açık bir şekilde bir kaç gün içerisinde aerobik parçalanmanın durduğunu ve genellikle çeşitli nedenlerle anaerobik parçalanmanın gerçekleşmediğini göstermektedir. Anaerobik parçalanmanın gerçekleşmeme nedenleri aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- Sarılmış balya içerisinde meydana gelen ortamın mikroorganizmaların gelişimi için asidik olması,
- Termal kullanım için kullanılacak atıkta çok düşük su içeriği olabilmesi,
- Kağıt ve kartondaki ana bileşenler selüloz ve ağaçtaki lignin olduğundan dolayı biyolojik olarak parçalanabilir karbon içeriği, anaerobik parçalanma için yeterli olmaması,
- C/N oranı geniş bir aralığa sahip olması,
- Balyalanmış materyal içerisinde nitrüent eksikliği sonucu mikroorganizma aktivitesinin engellenmesi,
- Anaerobik parçalanmanın, aerobik parçalanmaya göre daha fazla su ve nitrüent içeriğine gereksinim duyması olarak sayılabilir.

Balyalanmış kentsel katı atıkların davranışlarıyla ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçları özetlenecek olursa;

- Kentsel katı atık balyaları LDPE malzeme ile sarıldığından dolayı, dışarıdan oksijen ve su girişi önlenmiş olmaktadır. Dolayısıyla süzüntü suyu oluşturmamaktadır.

- Öncelikle, balya içerisindeki oksijenin hızla tükenmesine yol açarak oldukça az miktarda kalmasına neden olan hızlı bir şekilde aerobik fermantasyon gerçekleşmektedir. Bu işlemin gerçekleşmesi sonucunda da CO₂ üretimi meydana gelmektedir. Balya içerisinde mevcut oksijen miktarına bağlı olarak CO₂ üretimi birkaç gün gerçekleşmektedir. CO₂ miktarı yaklaşık % 30 maksimum seviyesine ulaştıktan sonra, % 20-25 civarında sabit kalmaktadır.
- Bu aerobik fermantasyon prosesine bağlı olarak ilk birkaç gün süresince sarılmış balya içerisindeki sıcaklık birkaç derece artmaktadır. Bu sıcaklık artışı, yüksek nem içeriğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Yüksek nem içeriği belli miktarda suyun buharlaşmasına neden olur. Bu durum su buharı şeklinde LDPE'den dışarıya kaçışlara neden olabilir. Kendiliğinden tutuşmada mümkün görülmemektedir.
- Oksijen yaklaşık olarak tükenme noktasına geldiğinde, normal olarak aerobik safha durarak anaerobik safha başlamalıdır ancak metan oluşumu çok düşük seviyededir. Martinez ve Gourdon (1999) bildirdiği gibi mevcut koşullar altında, ortamdaki fakultatif bakteriler tarafından açığa çıkarılan karboksilik asit, düşük bakiye oksijen içeriğinden dolayı aktiviteleri inhibe olmuş asetojenik yada metanojenik bakteriler tarafından indirgenmemektedir.
- Başlangıç periyodundan sonra plastikte sarılmış balya içerisindeki sıcaklık değişimleri dış ortamdaki sıcaklık değişimleriyle zorunlu olarak korelasyon (uyumluluk) göstermektedir.
- Yapılan çalışmalar depolamadan birkaç hafta sonra alınan pH ölçümlerinin hafif asidik sonuçlar (5-6) verdiğini göstermektedir. Bu durumda ayrışmanın ilk safhası süresince organik asitlerin oluştuğunu göstermektedir.
- Yapılan çalışmaların çoğunda balyalardan çıkan gazların emisyon kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Organik bileşikler saptanamamış ve biogaz emisyonlarının da çok düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir.

- Sarılmış balyanın delinmesi yada yırtılması durumunda O₂ içeriği artarken CO₂ içeriği azalmaktadır. Bu durumun nedeni, LDPE tabakasının zamanla deformasyonunun balya içerisine hava girişi sağlayarak aerobik ayrışmasına sebep olmasıdır.

3.3.4. Balyalanmış kentsel katı atıkların yanmasından kaynaklanan emisyonlar

Konu ile ilgili çalışmalar, enerji elde etmek amacıyla yakıt olarak kullanılması düşünülen kentsel katı atıkların balyalanarak depolanmasının, her hangi bir tutuşma riski göstermediğinden dolayı uygun bir depolama yöntemi olduğunu göstermektedir. Balyalanmış kentsel katı atıkların enerji elde etmek amacıyla yakılması sonucu alıcı ortamı olumsuz yönde etkileyecek emisyonlar oluşmaktadır.

Nammari ve diğ. (2004) tarafından balyalanmış kentsel katı atıkların kontrollü yakılması sonucu oluşan emisyonlar ayrıntılarıyla incelenmiştir. Bu çalışmada, balyalanmış kentsel katı atıkların yanma emisyonlarının seviyelerini belirlemek amacıyla, yanma ürünleri olarak; O₂, CO₂, CO, SO₂, NO, NO_x, toplam hidrokarbon (THK) ve baca gazı sıcaklığı incelenmiştir. Duman içerisindeki is partikülleri toplanarak, Hg, Cd, HCl, HF, HBr, NH₃, poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), dioksin ve furan analizleri ve dumandaki metal konsantrasyonları da araştırılmıştır.

Nammari ve diğ. (2007) balyalanmış kentsel katı atıkların yanması sonucu oluşan kirliliği belirlemek bir yakma düzeneği kurarak 30 m³'lük konteynerde balyaları yakmışlardır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ağır metal konsantrasyonları, Pb ve Cd dışında tehlikeli atık yakma tesisleri için verilen Avrupa Birliği limit değerlerinin altında olduğu görülmektedir. Gaz emisyonları açısından da HCl hariç diğer gazların limit değerlerin altında olduğu görülmüştür. Yanma işlemi sonucu oluşan PAH'ın toplam konsantrasyonu 3,04 µg/Nm³ bulunurken, naftalin konsantrasyonu 0,82 µg/Nm³ belirlenmiştir. Bu değerler literatürdeki depolama yangınlarındaki sonuçlarla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Yine yakma sonucu oluşan dioksin ve furan değerlerinin de 0,1 ng I-TE/Nm³ AB limit değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 4. MALZEME ve YÖNTEM

4.1. Araştırma Alanı

Bu çalışmada yapılan tüm araştırmalar Kocaeli'nin Gebze ilçesinde faaliyet gösteren ve İzmit Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme A.Ş.(İZAYDAŞ) tarafından işletilen Gebze Kentsel Katı Atık Balyalama Tesisi'nde gerçekleştirilmiştir. Kocaeli'nde 2009 yılı verilerine göre yaklaşık 500.000 ton/yıl evsel atık oluşmaktadır. Evsel katı atıklar yine İZAYDAŞ tarafından işletilmekte olan Dilovası ve Solaklar Düzenli Depolama Tesislerinde yönetmeliklere uygun bir şekilde depolanarak bertaraf edilmektedir. Dilovası Depolama Tesisi 500.000 m³ kapasiteli tek lottan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Solaklar Düzenli Depolama Tesisi ise yaklaşık 3.000.000 m³ kapasiteli olup toplam yedi lottan oluşmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Dilovası düzenli depolama tesisinin genel görünümü



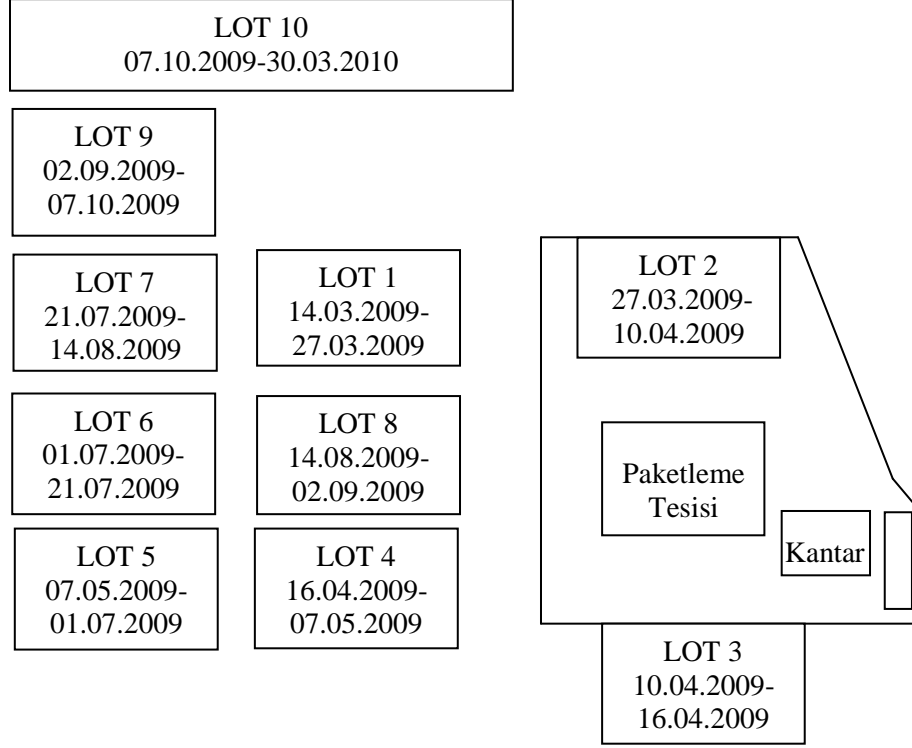
Şekil 4.2: Solaklar düzenli depolama tesisinin genel görünümü

Yaklaşık 140.000 m² 'lik alanda kurulu bulunan Gebze Kentsel Katı Atık Balyalama Tesisinin genel görünümü Şekil 4.3'de verilmiştir. Balyalama tesisinde Mart 2009 - Mart 2010 tarihleri arasında kentsel katı atıkların balyalanarak depolanması gerçekleştirilmiştir. Bir yıllık bu süreçte tesise gelen yaklaşık 171.000 ton kentsel katı atık balyalanarak depolanmıştır. Yapılan bu uygulama sonucu 95.832 adet balya oluşturulmuştur.



Şekil 4.3: Gebze kentsel katı atık balyalama tesisinin genel görünümü

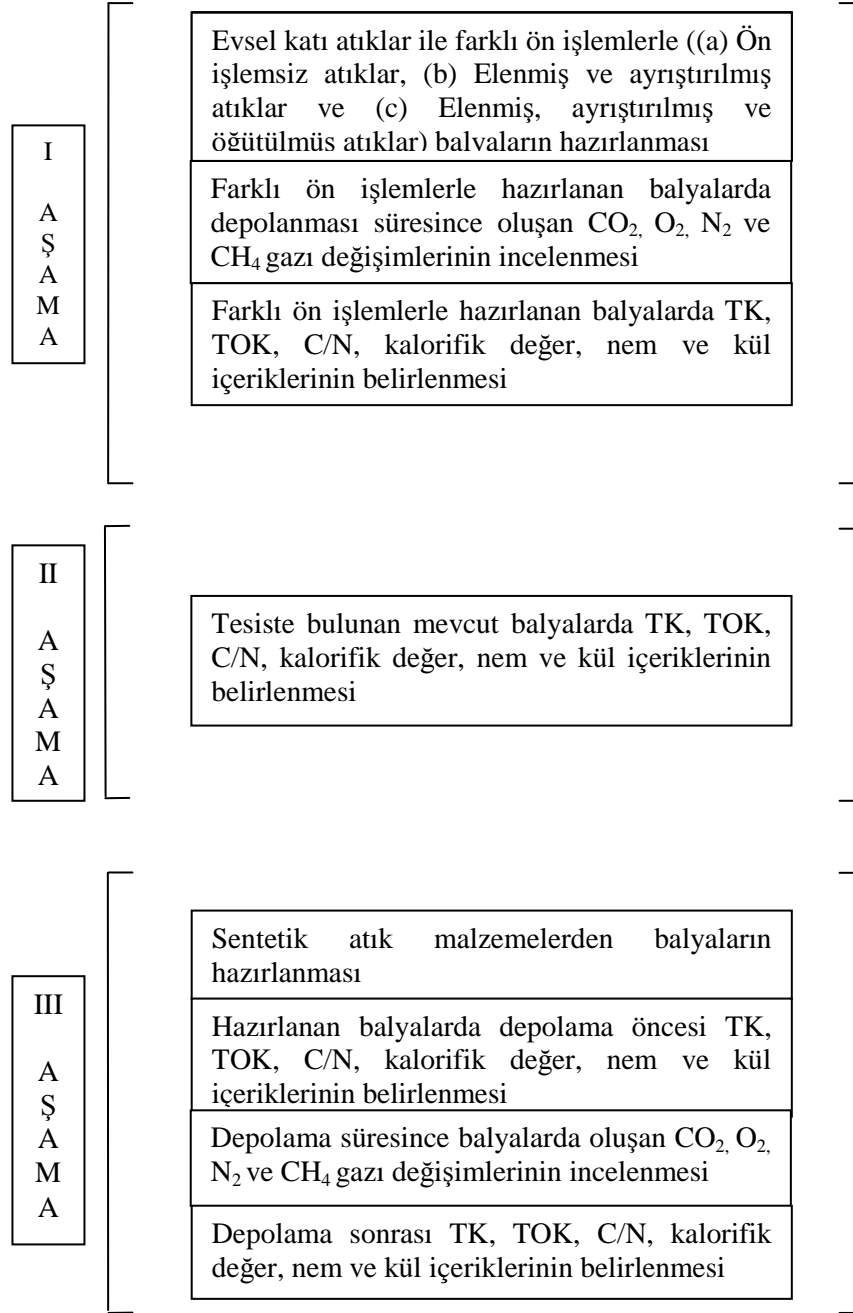
Oluşturulan kentsel katı atık balyaları 10 ayrı lotta depolanmıştır. Depolama tesisindeki balyalamış kentsel katı atık lotlarının genel görünümü Şekil 4.4'de verilmiştir. Lotlardaki tarihler, bu alanlardaki balyaların hangi tarihler arasında oluşturulduğunu göstermektedir.



Şekil 4.4: Balyalanmış kentsel katı atık depolama lotlarının genel görünümü

4.2. Araştırma Yöntemi

Araştırma çalışması mevcut ve sentetik olarak hazırlanan balyalarla yapılan çalışmaları içermektedir. Yapılan çalışmalar, 3 aşamadan oluşmaktadır (Şekil 4.5). Birinci aşamada, mevcut kentsel katı atıklarla balyalama işlemi gerçekleştirilmiş ve balyalamada ön işlemlerin etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada ise tesiste mevcut bulunan kentsel katı atık balyalarının toplam karbon (TK), toplam organik karbon (TOK), kalorifik değer gibi yanma özelliklerinin yanında C/N oranı, nem ve kül içerikleri de belirlenerek yakılarak bertarafa uygunlukları araştırılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise kompozisyonu bilinen sentetik balyalar hazırlanarak, atık kompozisyonun balyalama süresince oluşan gaz gelişimine ve yanma özelliklerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.5: Çalışma yöntemi

4.3. Ön İşlemlerin Balyalanmış Kentsel Katı Atıklara Etkisinin Belirlenmesi (I. Aşama)

Balyalama teknolojisine ön işlemlerin etkilerini belirlemek üzere, evsel atıklara (a) hiçbir işlem yapılmadan, (b) eleme ve ön ayırma işlemleri uygulayarak ve (c) eleme, ön ayırma ve öğütme işlemleri uygulayarak 3 farklı özellikte toplam 9 adet balya hazırlanmıştır.

4.3.1. Balyaların hazırlanması

Ön işlemsiz balyaları hazırlamak için, Şekil 4.6’da gösterildiği gibi taşıyıcı kamyonlarla getirilen ham kentsel katı atıklar by-pass ünitesinden taşıyıcı banda verilerek eleme, ayrıştırma ve öğütme işlemine tabi tutulmadan, doğrudan balyalama makinesine aktarılmıştır.



Şekil 4.6: By-pass ünitesinden kentsel katı atıkların beslenmesi

Atıklara eleme ve ayrıştırma işlemi uygulandıktan sonra balya hazırlamak amacıyla, kentsel katı atıklar başlangıç bandına Şekil 4.7’de gösterildiği gibi verilmiştir.



Şekil 4.7: Atıkların banta beslenmesi

Bantta ilerleyen kentsel katı atıklar öncelikle elekten geçerek, bünyelerindeki kum, çakıl gibi ince materyal ayrılır. Yapılan çalışmada 7 m boyunda ve 2,4 m çapında Şekil 4.8’de gösterilen elek kullanılmıştır. Bu elek sayesinde 50 mm’den küçük parçacıkların ayrılması sağlanmıştır.



Şekil 4.8: Atıkların elekten geçmesi

Elekten geçen kentsel katı atıklar bant üzerinde ilerlerken Şekil 4.9’da gösterildiği gibi kağıt, cam, plastik, metal türü geri kazanılabilir materyallerin ayrıştırılması gerçekleştirilmiştir. Ayrılmış malzemelerin görünümü Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.9: Ayrıştırma işleminin gerçekleştirilmesi



Şekil 4.10: Ayrıştırılmış malzemelerin görünümü

Eleme, ayrıştırma ve öğütme işlemine tabi tutulan atıklardan hazırlanan balyalama işleminde ise, atıklar ayrıştırma işleminden sonra bir parçalayıcı yardımıyla öğütülme işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Elenmiş ve ayrıştırılmış kentsel katı atıkların öğütücüye aktarılması

Farklı ön işlemlere tabi tutulmuş kentsel katı atıklar balyalama makinasının silindirik besleme odasına aktarıldıktan sonra Şekil 4.12’de gösterildiği gibi LDPE malzeme ile sarılarak toplam 9 adet balya oluşturulmuştur.



Şekil 4.12: Kentsel katı atıkların balyalama makinasında sarılması

4.3.2. Depo gazlarının ölçülmesi

Farklı ön işlemlerle oluşturulan balyaların 7 aylık süre ile depolanmaları esnasında meydana gelen metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), oksijen (O_2) ve azot (N_2) gazlarının yüzdesel değişimleri Gas Data LMSxi G3 cihazıyla ölçülmüştür. Oluşturulan balyalar yaklaşık 120 cm çapında ve 120 cm uzunluğundadır. Gaz ölçümleri Şekil 4.13’de gösterildiği gibi balyanın orta merkezinden 60 ± 5 cm girilerek prob vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.13: Balyalarda gaz ölçümlerinin gerçekleştirilmesi

4.3.3. Balyalarda örneklemelerin yapılması

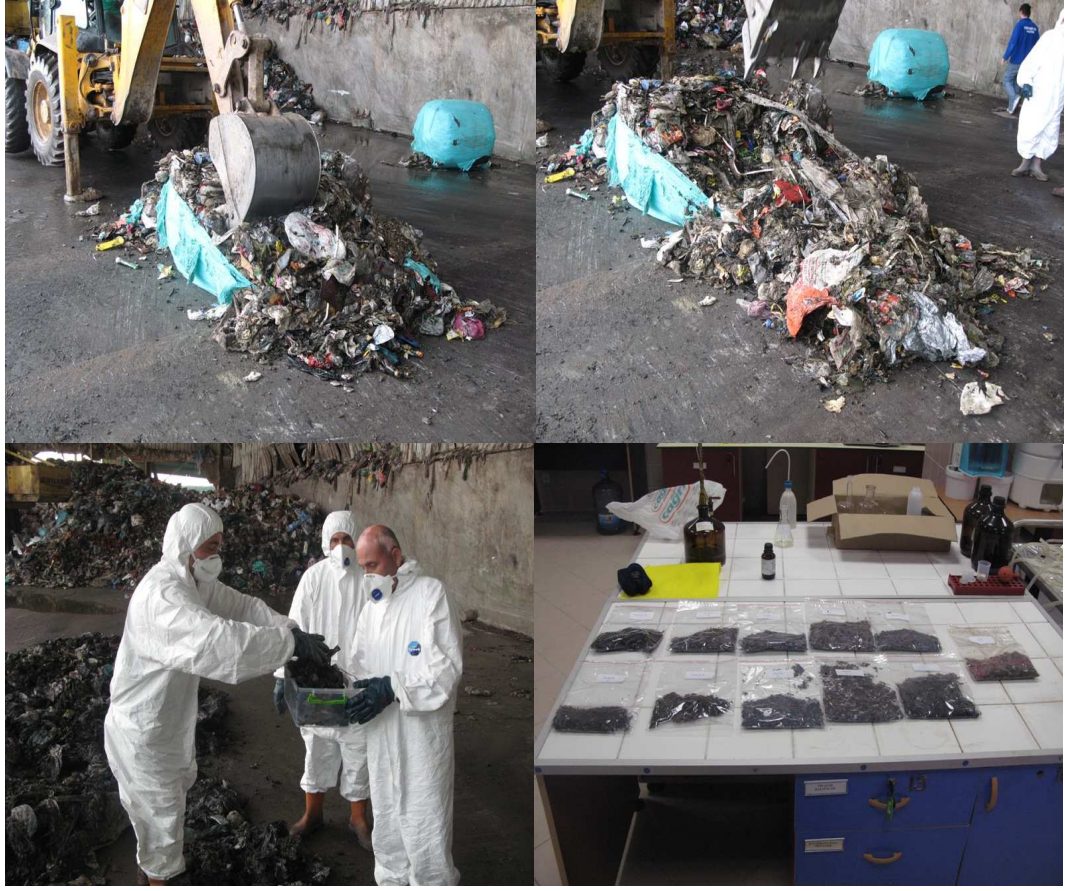
Depolama süreci tamamlandıktan sonra balyalar Şekil 4.14’de gösterildiği gibi açılarak, katı atık örneklemeleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14: Kentsel katı atık balyalarının açılması

Örnekleme işleminde açılan balyalar Şekil 4.15’de gösterildiği gibi geniş bir alana serilmiştir. Serilen atık dört parçaya bölünerek 2 çaprazdaki kısım alınıp, diğer kısımlar atılmıştır. Alınan kısımlar tekrar karıştırılarak aynı işlem iki defa daha gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kalan örneklerden yaklaşık 2 kg’lık üç adet örnek alınarak laboratuvara götürülmüştür. Laboratuvarda da benzer şekilde azaltılan örnekler öğütülerek 50 gr’lık numuneler hazırlanmıştır.

Farklı ön işlemlerle hazırlanmış kentsel katı atık balyalarından alınan örneklerde toplam karbon (TK), toplam organik karbon (TOK), toplam kjeldahl azotu (TKN), nem ve kalorifik değer parametrelerinin analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.15: Balyalardan katı atık örneklemelerinin yapılması

4.4. Mevcut Kentsel Katı Atık Balyalarının Yanabilirliğinin İncelenmesi (II. Aşama)

Bu çalışmada tesiste mevcut balyalarının yanabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan kentsel katı atık balyaları Şekil 4.3’de gösterildiği gibi 10 ayrı lotta depolanmıştır. Lotlar balyaların üretim tarihlerine göre sıralanmıştır. Buna göre 1. lottaki balyalar en eski balyaları, 10. lot ise en son üretilen balyaları ifade etmektedir. Her lotun farklı noktalarından 3 farklı balya alınmış ve toplam 30 balya incelenmiştir (Şekil 4.16).

Alınan balyalar açılarak Şekil 4.15’de gösterildiği gibi katı atık örnekleme gerçekleştirilmiştir. Alınan bu örneklerde TOK, TKN, C/N oranı, nem içeriği, kızdırma kaybı, kalorifik değer ve pH parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 4.16: Lotlardan örnekleme yapılması

4.5. Balya Kompozisyonunun Depolama Süresince Gaz Oluşumlarına ve Yanma Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi (III. Aşama)

Kentsel katı atıklar, yaşamsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan ve yapısında gıda, kağıt, karton, plastik, tekstil, metal, cam, kül gibi geniş çapta çeşitlilik gösteren ve heterojen bir yapı içiren atıklardır. Dolayısıyla atık kompozisyonunun balyaların gaz oluşumlarına ve yanma özelliklerine etkisini belirlemek için balyaların içerisinde bulunan bu komponentlerin literatürde verilmiş olan yanma özelliklerinden yararlanarak farklı sentetik karışımlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu balyalarda depolama öncesi balyaların hazırlanması sırasında ve geçici depolama sonrası örnekleme yapılarak TK, TOK, TKN, nem içeriği, kızdırma kaybı ve kalorifik değer parametreleri açısından meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Ayrıca 10 ay boyunca depolanan balyalarda O_2 , CO_2 , N_2 ve CH_4 gelişimleri izlenmiştir.

4.5.1. Sentetik balyaların kompozisyonunun teorik olarak belirlenmesi

Atık kompozisyonunun balyaların gaz oluşumlarına ve yanma özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla su içeriği, C/N oranı ve kalorifik değerlerine göre 9 adet sentetik atık karışımı belirlenmiş ve sentetik balyalar hazırlanmıştır. Hazırlanan balyalarda hedeflenen özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Hazırlanacak sentetik balyalarda hedeflenen özellikler

Balya No	Hedeflenen Değer		
	Su İçeriği (%)	C/N Oranı	Kalorifik Değer (kJ/kg)
1	32	30	14.500
2	36	45	13.500
3	28	22	16.000
4	15	92	19.000
5	30	58	15.000
6	45	30	11.000
7	54	26	9.000
8	32	45	15.000
9	18	47	18.000

İstenilen özelliklerde sentetik balyaların belirlenmesi için kentsel katı atıkların yapısındaki temel komponentler gıda, kağıt, karton, plastik, tekstil, bahçe atıkları, odun, cam ve metal olmak üzere 9 gruba ayrılmıştır. Nem içeriklerinin belirlenmesinde Tablo 4.2’de verilen değerler esas alınmıştır (Tchobanoglous ve diğ.,1993).

Tablo 4.2: Türüne göre atıkların nem içerikleri

Atık Malzeme	Su İçeriği (%)
Gıda atıkları	70
Kağıt	6
Karton	5
Plastik	2
Tekstil	10
Bahçe Atıkları	60
Odun	20
Cam	2
Metal	3

C/N oranı ve kalorifik değerlerin teorik olarak belirlenmesinde kullanılan C, H, O, N, S ve kül kabul değerleri ise Tablo 4.3’de sunulmuştur (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Tablo 4.3: Tipik kentsel katı atıklardaki yanabilir içeriklerin kuru ağırlık bazında analiz verileri

Madde	C	H	O	N	S	Kül
Gıda	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0
Kağıt	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0
Karton	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0
Plastik	60,0	7,2	22,8	0	0	10,0
Tekstil	55,0	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Bahçe Atıkları	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	4,5
Odun	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1	1,5
Cam	0,5	0,1	0,4	0,1	0	98,9
Metaller	4,5	0,6	4,3	0,1	0	90,5

Tablo 4.3'den yararlanılarak, yakmaya uygun balyayı oluşturmaya yönelik sentetik atık karışımları Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4: Yakmaya uygun balyayı oluşturmaya yönelik sentetik atık karışımları

Balya No	Atık Malzeme Miktarı (%)								
	Gıda	Kağıt	Karton	Plastik	Tekstil	Bahçe atıkları	Odun	Cam	Metal
1	30	5	10	17	17	11	10	-	-
2	40	5	10	18	6	6	15	-	-
3	30	4	5	19	30	4	-	3	5
4	15	10	25	37	6	-	7	-	-
5	37	10	15	24	6	-	8	-	-
6	59	6	7	9	10	-	9	-	-
7	75	5	9	5	6	-	-	-	-
8	40	8	10	25	10	-	7	-	-
9	20	17	15	30	16	-	2	-	-

Sentetik balyaların nem içeriklerinin teorik olarak belirlenmesinde, Tablo 4.2'de verilen değerler kullanılarak, denklem 4.1'deki formül kullanılmıştır. Balyalarda kullanılan materyaller için hesaplanan nem içerikleri Tablo 4.5'de sunulmuştur.

$$\text{Nem içeriği (\%)} = \frac{\text{Toplam Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}}{100} \times 100 \quad (4.1)$$

Materyal	Balya No																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	YA ¹	KA ²	Y A	KA	YA	KA	YA	KA	YA	KA	YA	KA	YA	KA	YA	KA	YA	KA
Gıda	30	9	40	12	30	9	15	4,5	37	11,1	59	17,7	75	22,5	40	12	20	6
Kağıt	5	4,7	5	4,7	4	3,8	10	9,4	10	9,4	6	5,6	5	4,7	8	7,5	17	16
Karton	10	9,5	10	9,5	5	4,8	25	23,8	15	14,3	7	6,7	9	8,6	10	9,5	15	14,3
Plastik	17	16,7	18	17,6	19	18,6	37	36,3	24	23,5	9	8,8	5	4,9	25	24,5	30	29,4
Tekstil	17	15,3	6	5,4	30	27	6	5,4	6	5,4	10	9	6	5,4	10	9	16	14,4
Bahçe	11	4,4	6	2,4	4	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Odun	10	8	15	12	-	-	7	5,6	8	6,4	9	7,2	-	-	7	5,6	2	1,6
Cam	-	-	-	-	3	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metal	-	-	-	-	5	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Toplam	100	67,6	100	63,6	100	72,5	100	84,9	100	70,1	100	55	100	46,1	100	68,1	100	81,6
Su İçeriği (%)	32,4		36,4		27,5		15,1		29,9		45		53,9		31,9		18,4	

Tablo 4.5: Sentetik karışımların teorik olarak belirlenen nem içerikleri

1) AY : Yaş Ağırlık (%)

2) KA : Kuru Ağırlık (%)

Sentetik karışımların C,H, O, N, S ve kül analizlerinin teorik olarak belirlenmesinde Tablo 4.3’de verilen değerler kullanılmıştır. Sentetik kentsel katı atık balyaları için hesaplanan analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 4.21’de ayrıntılarıyla verilmiştir.

Tablo 4.6: Sentetik karışımların hesaplanan analiz sonuçları

BALYA 1								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	Kompozisyon (%)					
			C	H	O	N	S	Kül
Gıda	30	9	4,32	0,58	3,38	0,23	0,04	0,45
Kağıt	5	4,7	2,04	0,28	2,07	0,01	0,01	0,28
Karton	10	9,5	4,18	0,56	4,24	0,03	0,02	0,48
Plastik	17	16,7	10,00	1,20	3,80	0	0	1,67
Tekstil	17	15,3	8,42	1,01	4,77	0,70	0,02	0,38
Bahçe	11	4,4	2,10	0,26	1,67	0,15	0,01	0,20
Odun	10	8	3,96	0,48	3,42	0,02	0,01	0,12
TOPLAM	100	67,6	35,02	4,37+3,6	23,35+28,84	1,15	0,11	3,57
BALYA 2								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	C	H	O	N	S	Kül
Gıda	40	12	5,76	0,77	4,51	0,31	0,05	0,60
Kağıt	5	4,7	2,04	0,28	2,07	0,01	0,01	0,28
Karton	10	9,5	4,18	0,56	4,24	0,03	0,02	0,48
Plastik	18	17,6	10,58	1,27	4,02	0	0	1,76
Tekstil	6	5,4	2,97	0,36	1,68	0,25	0,01	0,14
Bahçe	6	2,4	1,15	0,14	0,91	0,08	0,01	0,11
Odun	15	12	5,94	0,72	5,12	0,02	0,01	0,18
TOPLAM	100	63,6	32,63	4,10+4,04	22,56+32,32	0,71	0,10	3,54
BALYA 3								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	C	H	O	N	S	Kül
Gıda	30	9	4,32	0,58	3,38	0,23	0,04	0,45
Kağıt	4	3,8	1,64	0,23	1,65	0,01	0,01	0,23
Karton	5	4,8	2,09	0,28	2,12	0,01	0,01	0,24
Plastik	19	18,6	11,17	1,34	4,25	0	0	1,86
Tekstil	30	27	14,85	1,78	8,42	1,24	0,04	0,68
Bahçe	4	1,6	0,76	0,10	0,61	0,05	0,00	0,07
Cam	3	2,9	0,01	0,00	0,01	0	0	2,91
Metal	5	4,9	0,22	0,03	0,21	0	0	4,39
TOPLAM	100	72,5	35,07	4,33+3,05	20,65+24,43	1,56	0,10	10,82

Tablo 4.6 (Devamı): Sentetik karışımların hesaplanan analiz sonuçları

BALYA 4								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	Kompoziasyon (%)					
			C	H	O	N	S	Kül
Gıda	15	4,5	2,16	0,29	1,69	0,12	0,02	0,23
Kağıt	10	9,4	4,09	0,56	4,14	0,03	0,02	0,56
Karton	25	23,8	10,45	1,40	10,59	0,07	0,05	1,19
Plastik	37	36,3	21,76	2,61	8,27	0	0	3,63
Tekstil	6	5,4	2,97	0,36	1,68	0,25	0,01	0,14
Odun	7	5,6	2,77	0,34	2,39	0,01	0,01	0,08
TOPLAM	100	84,9	44,20	5,56+1,68	28,76+13,41	0,48	0,10	5,82
BALYA 5								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	C	H	O	N	S	Kül
Gıda	37	11,1	5,33	0,71	4,17	0,29	0,04	0,56
Kağıt	10	9,4	4,09	0,56	4,14	0,03	0,02	0,56
Karton	15	14,3	6,27	0,84	6,36	0,04	0,03	0,71
Plastik	24	23,5	14,11	1,69	5,36	0	0	2,35
Tekstil	6	5,4	0	0	0	0	0	0
Odun	8	6,4	3,17	0,38	2,73	0,01	0,01	0,10
TOPLAM	100	70,1	35,94	4,55+3,33	24,45+26,60	0,62	0,11	4,41
BALYA 6								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	C	H	O	N	S	Kül
Gıda	59	17,7	8,50	1,13	6,66	0,46	0,07	0,89
Kağıt	6	5,6	2,45	0,34	2,48	0,02	0,01	0,34
Karton	7	6,7	2,93	0,39	2,97	0,02	0,01	0,33
Plastik	9	8,8	5,29	0,64	2,01	0	0	0,88
Tekstil	10	9,0	4,95	0,59	2,81	0,41	0,01	0,23
Odun	9	7,2	3,56	0,43	3,07	0,01	0,01	0,11
TOPLAM	100	55	27,68	3,52+5,0	20,00+39,99	0,93	0,12	2,77

Tablo 4.6. (Devamı): Sentetik karışımların hesaplanan analiz sonuçları

BALYA 7								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	Kompoziasyon (%)					
			C	H	O	N	S	Kül
Gıda	75	22,5	10,80	1,44	8,46	0,59	0,09	1,13
Kağıt	5	4,7	2,04	0,28	2,07	0,01	0,01	0,28
Karton	9	8,6	3,76	0,50	3,81	0,03	0,02	0,43
Plastik	5	4,9	2,94	0,35	1,12	0	0	0,49
Tekstil	6	5,4	2,97	0,36	1,68	0,25	0,01	0,14
TOPLAM	100	46,1	22,52	2,94+5,99	17,14+47,96	0,87	0,12	2,46
BALYA 8								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	C	H	O	N	S	Kül
Gıda	40	12	5,76	0,77	4,51	0,31	0,05	0,60
Kağıt	8	7,5	3,27	0,45	3,31	0,02	0,02	0,45
Karton	10	9,5	4,18	0,56	4,24	0,03	0,02	0,48
Plastik	25	24,5	14,70	1,76	5,59	0	0	2,45
Tekstil	10	9	4,95	0,59	2,81	0,41	0,01	0,23
Odun	7	5,6	2,77	0,34	2,39	0,01	0,01	0,08
TOPLAM	100	68,1	35,63	4,47+3,54	22,84+28,34	0,79	0,10	4,29
BALYA 9								
Materyal	Yaş Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	C	H	O	N	S	Kül
Gıda	20	6	2,88	0,38	2,26	0,16	0,02	0,30
Kağıt	17	16	6,95	0,96	7,03	0,05	0,03	0,96
Karton	15	14,3	6,27	0,84	6,36	0,04	0,03	0,71
Plastik	30	29,4	17,64	2,12	6,70	0	0	2,94
Tekstil	16	14,4	7,92	0,95	4,49	0,66	0,02	0,36
Odun	2	1,6	0,79	0,10	0,68	0	0	0,02
TOPLAM	100	81,6	42,45	5,35+2,04	27,52+16,33	0,91	0,11	5,30

Yukarıda hesaplamalara sudan gelen hidrojen ve oksijen sırasıyla denklem 4.2 ve 4.3’de verilen formüle göre hesaplanarak eklenmiştir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

$$\text{Sudan Gelen Hidrojen} = \frac{\text{Toplam Su İçeriği}}{\text{Suyun Molekül Ağırlığı}} \times \text{Hidrojenin molekül ağırlığı} \quad (4.2)$$

$$\text{Sudan Gelen Oksijen} = \frac{\text{Toplam Su içeriği}}{\text{Suyum Molekül Ağırlığı}} \times \text{Oksijenin molekül ağırlığı} \quad (4.3)$$

Elde edilen ultimate analiz sonuçlarındaki karbon ve azot değerleri kullanılarak elde edilen teorik C/N oranları Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Sentetik karışımların hesaplanan C/N oranları

Balya No	C/N
1	31
2	46
3	23
4	92
5	58
6	30
7	26
8	45
9	47

Sentetik karışımların kalorifik değerlerinin teorik olarak belirlenebilmesi için öncelikle karışımların kimyasal formülü belirlenmiştir (Tablo 4.8).

Tablo 4.8: Sentetik karışımlar için hesaplanan kimyasal formüller

Balya No	Kimyasal Formül
1	$C_{861}H_{2333}O_{964}N_{24}S$
2	$C_{840}H_{2493}O_{1061}N_{16}S$
3	$C_{952}H_{2385}O_{919}N_{36}S$
4	$C_{1204}H_{2344}O_{863}N_{11}S$
5	$C_{904}H_{2354}O_{963}N_{13}S$
6	$C_{637}H_{2332}O_{1036}N_{18}S$
7	$C_{483}H_{2276}O_{1047}N_{16}S$
8	$C_{941}H_{2517}O_{1014}N_{18}S$
9	$C_{1053}H_{2179}O_{816}N_{19}S$

Sentetik karışımın kalorifik değeri teorik olarak belirlenen elementlerin ağırlık yüzdelerinden yararlanılarak denklem 4.4'de verilen formüle (Tchobanoglous ve diğ.,1993) göre belirlenmiş ve Tablo 4.9'da sunulmuştur.

$$Hh(\text{Btu/lb}) = 145 C + 610 \times (H - O/8) + 10 N + 40 S \quad (4.4)$$

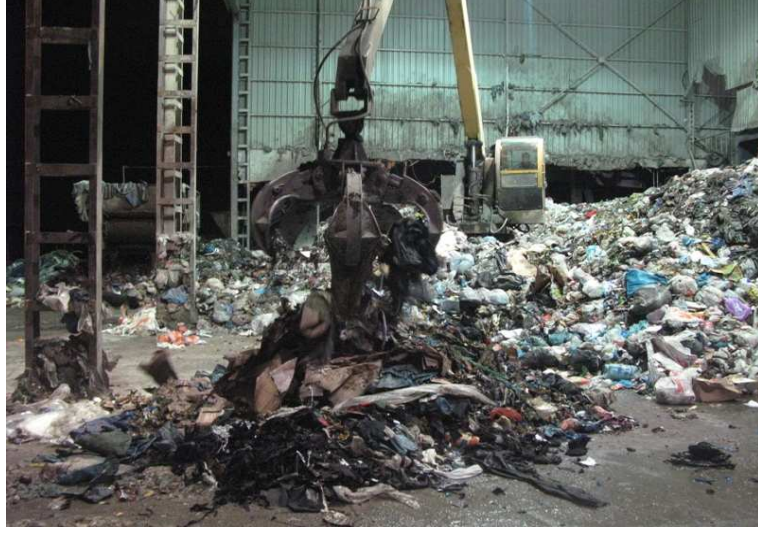
Tablo 4.9: Sentetik karışımların hesaplanan kalorifik değerleri

Balya No	Kalorifik Değer	
	(Btu/lb)	(kj/kg)
1	6.200	14.500
2	5.700	13.300
3	6.900	16.100
4	8.100	18.800
5	6.400	15.000
6	4.800	11.000
7	3.900	9.000
8	6.400	15.00
9	7.800	18.000

4.5.2. Sentetik Balyaların Hazırlanması

Balyaların hazırlanmasında kullanılan kağıt-karton, plastik, cam ve metal atıkları için balyalama tesisinin ayrıştırma tesisinde biriken atıklar kullanılmıştır. Gıda atıkları için hallerden toplanan sebze ve meyve artıkları, park-bahçe atığı olarak ise Kocaeli Park Bahçeler Müdürlüğü tarafından toplanan yaprak türü atıklar, tekstil atığı olarak tekstik endüstrisinden kaynaklanan kumaş kırpıntıları ve odun atığı olarak ise talaş kullanılmıştır.

Tablo 4.4'de verilen materyallerin karışım yüzdelerinden yararlanılarak Şekil 4.17'de gösterildiği gibi balya karışımları oluşturulmuştur.



Şekil 4.17: Balya karışımlarının oluşturulması

Oluşturulan balya karışımları daha sonra by-pass ünitesinden bant sistemine verilerek doğrudan balyalama makinasına beslenmiştir (Şekil 4.18).



Şekil.4.18: Atık karışımının balyalama makinesine beslenmesi

Balyalama makinasına gönderilen atık karışımları plastik ağ ile bağlama ve LDPE malzeme ile sarma sonrası üstü örtülerek depolanmıştır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: Sentetik balyaların hazırlanması

4.5.3. Sentetik balyalarda gaz ölçümlerinin ve örnekleme işlemlerinin yapılması

Depolama süresince sentetik balyalardaki O_2 , CO_2 , N_2 ve CH_4 gazlarının ölçümü Bölüm 4.3.2’de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

Balyalanmış kentsel katı atıkların depolanmaları süresince TK, TOK, TKN, nem içeriği, kızıdırma kaybı ve kalorifik değer parametrelerinde meydana gelen değişimlere atık kompozisyonunun etkisinin belirlenmesi için balyaların hazırlanması öncesi ve depolama sonrası balyalar açılarak örnekleme işlemleri yapılmıştır (Şekil 4.20). Alınan örneklerde kullanılan materyallerin yüzdelere göre 50 gr’lık örnekler oluşturularak laboratuvarında analizler gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama işlemleri Bölüm 4.3.3’de belirtilmiştir.



Şekil 4.20: Depolama sonrası balyaların açılması ve örnekleme

4.6. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılmasında İstatistiksel Yöntemler

Kentsel katı atıkların balyalanarak depolanması sırasında meydana gelen ayrışma reaksiyonlarında birincil gaz CO_2 'dir. CH_4 oluşumları ise klasik depolamalarla kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır. Bu nedenle ayrışma reaksiyonlarıyla atık kompozisyonun istatistiksel değerlendirilmesi, oluşan maksimum CO_2 oluşumlarına göre belirlenmiştir. Balya içeriklerinin depolama süresince oluşan maksimum CO_2 seviyeleri ve yanabilirlik üzerindeki etkileri ikili korelasyon analizleri ile belirlenirken bu ilişkiler için geliştirilen regresyon denklemleri ile söz konusu ilişkileri açıklayan doğrusal modeller elde edilmiştir. Çalışmada korelasyon ve regresyon analizleri için SPSS 17 istatistik programı kullanılmıştır. İstatistiksel yöntemler hakkında ayrıntılı bilgiler aşağıda sunulmaktadır.

4.6.1. İkili korelasyon analizi

İkili korelasyon analizi seçilen iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü diğer değişkenlerin etkileri ihmal ederek açıklamakta kullanılan yaygın bir istatistik yöntemidir. İkili korelasyon analizi, bir regresyon denlemindeki Y bağımlı değişkeni ile X_1, X_2, \dots, X_n bağımsız değişkenleri arasındaki ilişkileri ayrı ayrı belirleme imkanı sağlamaktadır.

Değişkenler arasındaki ilişkiler korelasyon katsayısı (r) ile tayin edilir. r değerine hesaplamak amacıyla geliştirilen çeşitli yöntemler arasında Pearson yöntemi iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü (pozitif ya da negatif) belirlemede yaygın olarak kullanılır (Ahlgren ve diğ., 2003). Pearson korelasyon katsayısı denklem 4.5 ile hesaplanmaktadır.

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (4.5)$$

Burada X ve Y değişken parametreleri temsil ederken; \bar{X} ve \bar{Y} , değişkenlerin ortalamalarını ifade etmektedir.

4.6.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

Çoklu doğrusal regresyon analizi bağımlı bir değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkileri ifade etmekte kullanılmaktadır. Regresyona dayalı model uygulamaları Çevre Mühendisliği'nde çeşitli alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Hava kirliliği ile ilgili çalışmalarda, Shi ve Harrison (1997) atmosferdeki NO ve NO_x konsantrasyonlarının modellenmesinde, Demirci ve Cuhadaroğlu (2000) hava kirliliği ile rüzgar sirkülasyonunun istatistiksel analizinde, Sousa ve diğ. (2007) ise ozon konsantrasyonlarının tahmininde regresyon analizinden yararlanmışlardır. Katı atıklarla ilgili çalışmalarda, Qudais ve Qdais (2000) kentsel katı atıkların enerji içeriklerinin tahmininde, Chang ve diğ. (2007) kentsel katı atıkların alt ısı değerlerinin modellenmesinde, Gunaseelan (2007) sebze meyvelerin metan oluşturma potansiyellerinin belirlenmesinde regresyon modellerini kullanmışlardır. Çevre Mühendisliği'nde bir başka uygulama alanı olan su

kirliliğinde ise, Golfopoulos ve Arhonditsis (2002) ham su karakteristiğinden içme sularındaki trihalometan konsantrasyonlarının değerlendirilmesinde, Gunter ve diğ. (2005) yerel su kalitesiyle ilgili düzenlemelerde regresyon modelinden yararlanmışlardır. Risk değerlendirmesi ile regresyon uygulamalarına ise Carlon ve diğ. (2004) tarafından gerçekleştirilen su ve topraktaki ağır metal konsantrasyonları üzerindeki çalışma örnek olarak gösterilebilir. Bu uygulamalarda bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki geliştirilen regresyon denklemi ile ifade edilmektedir (Andric ve diğ., 2009).

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + \varepsilon \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da, b_i regresyon katsayılarını ifade ederken, x_i bağımlı değişkeni açıklayan parametreleri, ε ise stokastik (rastlantısal) regresyon hatasını temsil etmektedir.

4.7. Çalışmada Gerçekleştirilen Analizler

Bu çalışmada yanabilirlikte önemli parametrelerden olan karbon ve azot içeriğini belirlemek için toplam karbon (TK), toplam organik karbon (TOK) ve toplam kjeldahl azotu (TKN) parametreleri belirlenmiştir. Biyolojik dönüşüme (kompostlama) uygunluğunu incelemek amacıyla bu parametrelerden yararlanarak C/N oranı hesaplanmıştır. Yakmayı önemli oranda etkileyen nem içeriği ve yakma sonrası oluşan külü belirlemek için kızdırma kaybı analizleri gerçekleştirilmiştir. Balya içerisinde oluşan mikrobiyolojik davranışları kavrayabilmek için pH parametresi de gözlenmiştir. Ancak yanabilirlikte en önemli faktör enerji içeriği olduğundan dolayı, balyalanmış kentsel katı atıkların enerji içeriğini belirlemek içinde kalorimetre testleri gerçekleştirilmiştir.

TK ve TOK analizlerinin yapılışında, Şubat 2003 tarihli TS 12089 EN 13137 no'lu "Atık Çamur ve Sedimentlerde Toplam Organik Karbon Tayini" nde verilen yöntem uygulanmıştır. Organik karbon, çamurlarda ve sedimentlerde olduğu gibi atıklarda da değişik hallerde bulunur. Muhtemel organik karbon bileşiklerinin çeşitliliğinden

dolayı doğal ve antropojenik kaynaklı her bir organik bileşenin ayrı ayrı miktarının hesaplanması mümkün olmadığından toplam organik karbon şeklinde analizler gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, TK ve TOK parametreleri ayırma yöntemiyle belirlenmiştir. Uygulanan bu yöntemde, her bir kilogram kuru maddede 1 g'dan (% 0,1) daha fazla karbon ihtiva eden kurutulmamış atık numunelerindeki TK ve İK sonuçları arasındaki farktan TOK elde edilmiştir. TOK ve TK analizleri, Shumadzu marka TOC-V_{CPH} model cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Katı örnekleme için SSM 5000 A cihazı kullanılmıştır.

Azot içeriğinin belirlenmesi C/N içeriğinin hesaplanması açısından önemli olmaktadır. Yapılan çalışmada atıkların azot içeriğini belirlemek için Şubat 2003 tarihli TS EN 13342 no'lu "Çamurların Özellikleri- Kjeldahl Azotunun Tayini" nde verilen yöntem uygulanmıştır. Bu standart ile kentsel katı atıklardaki kjeldahl azotunu belirlemek için öncelikle bakırın katolizör olarak bulunduğu bir ortamda parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Belirlenen kjeldahl azotu, kentsel katı atıkların parçalanması işlemiyle amonyum sülfata dönüştürülen organik azot bileşiklerinden meydana gelen inorganik amonyak bileşikleri içerisindeki ve serbest amonyak içerisindeki azot toplamını ifade etmektedir. Azot analizinde FOSS marka Kjeltech 2200 model damıtma cihazı kullanılmıştır.

Kentsel katı atıklardaki nem içeriğinin belirlenmesinde Nisan 2002 tarihli TSE EN 12280 "Çamurların Karakterizasyonu – Kuru Kalıntı ve Su Muhtevası Tayini"nde verilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle belirlenen su içeriği, kentsel atıkta bulunan su kütlelerinin numune kütlelerine oranıdır. Tanımlanmış şartlar altında belirlenen kurutma işleminden sonra meydana gelen kütle kaybı ile nem içeriği belirlenir. Nem tayininde 105 °C'ye ayarlanmış Binder marka etüv kullanılmıştır.

Kentsel katı atıkların kızdırma kaybı testleri, Mart 2003 tarihli TS EN 12879 no'lu "Çamurların Özellikleri – Kuru Kütleinin Kızdırma Kaybının Tayini"nde verilen prosedürlere göre gerçekleştirilmiştir. Kızdırma kaybı, belirli şartlar altında katı atığın kuru kütlelerinin kızdırılması sonucunda, gaz olarak açığa çıkan maddelerin kütleleridir. Kızdırmadan sonra arta kalan kısım ise kızdırma kalıntısı (kül) olarak ifade edilebilir. Her ikisi de yüzde olarak belirlenmiştir.

Katı atıklarda pH analizinin gerçekleştirilmesi için öncelikle Mayıs 1991 tarihli TS 9394’de verilen ‘‘Katı Atıkların Su İle alkalanarak Ekstraksiyon Metodu’’ gerçekleştirilmiştir. pH analizlerinin belirlenmesinde Thermo marka Orion 3 model laboratuvar tipi pH metre kullanılmıştır.

Kentsel katı atıkların kalorifik değerinin belirlenmesinde Kasım 2006 tarihli TS ISO 1928’de anlatılan ‘‘Katı Mineral Yakıtlar- Bombalı kalorimetrik metot ile st ısı değerinin tayini ve alt ısı değerinin hesaplanması’’ standardında verilen prosedürler uygulanmıştır. Kalorimetre deneyleri IKA iC-7000 model kalorimetre cihazı kullanılarak yapılmıştır.

BÖLÜM 5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Kentsel katı atıkların geçici depolanmasında kullanılan balyalama teknolojisi ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

5.1. Ön İşlemlerin Balyalanmış Kentsel Katı Atıklara Etkisi (I. Aşama)

Ön işlemlerin balyalanmış kentsel katı atıklara etkisinin belirlenmesi için (a) ön işlemsiz ham kentsel katı atıklarla balyalama (b) eleme ve ayrıştırma ön işlemi sonrası ve (c) eleme-ayrıştırma ve öğütme ön işlemleri sonrası balyalama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Farklı ön işlemlerin her birinden 3'er adet balya hazırlanarak 7 ay depolanmaları süresince karbondioksit (CO₂), oksijen (O₂), azot (N₂) ve metan (CH₄) gazlarında meydana gelen oluşumları izlenmiştir. Belirlenen gazların yüzdesel değişimleri ve standart sapmaları Tablo 5.1, 5.2 ve 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Ön işlemsiz hazırlanmış kentsel katı atık balyalarının uzun süreli depolanması sonucu oluşan deponi gazı oluşumlarının yüzdesel değişimleri

Gün	Parametre (%)							
	CO ₂		O ₂		N ₂		CH ₄	
	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma
0	2,8	1,4	17,5	1,0	79	1,5	0	0
36	35	8,2	1,8	1,0	61	7,8	1,8	0,5
56	30	7,8	0,4	0,3	67	9,5	2,3	1,8
81	17	3,6	2,8	2,6	80	2,5	0,5	0,3
101	18	3,5	0,3	0,2	79	1,7	2,5	1,9
156	17	1,0	4,0	2,5	78	2,9	0,6	0,7
178	16	1,0	2,3	0,6	80	1,5	2,0	1,7
184	18	2,0	4,0	2,6	59	12,5	18,5	13,3
197	13	4,6	7,2	1,4	78	6,0	1,8	1,6
210	19	1,7	2,4	1,2	70	9,1	8,2	8,6

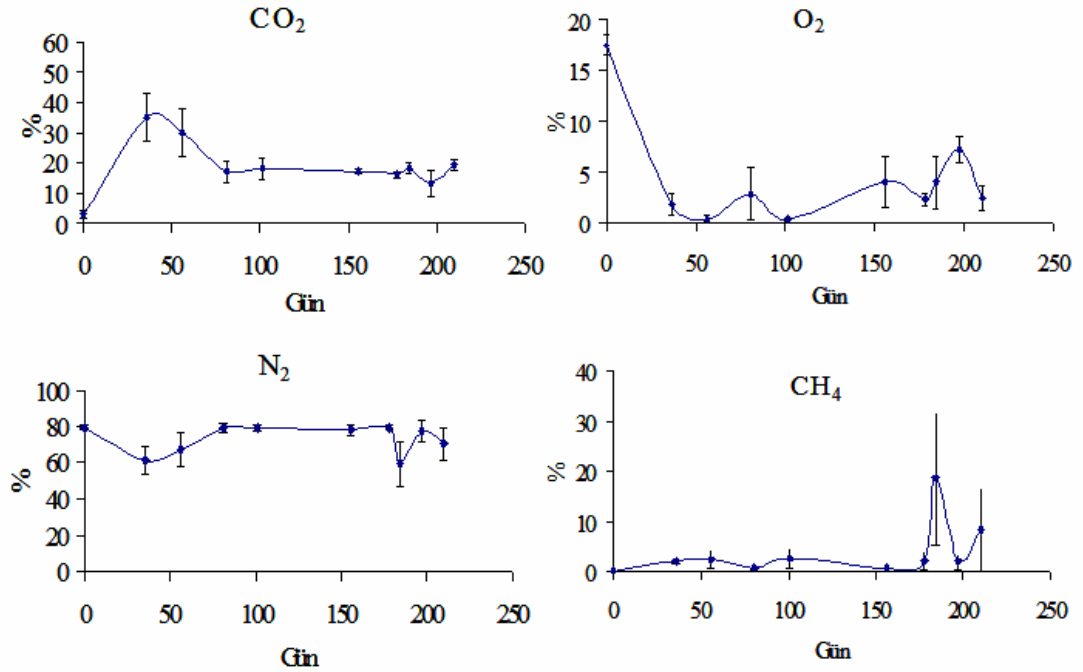
Tablo 5.2: Eleme ve ön ayrıştırma işlemleri sonrası hazırlanmış kentsel katı atık balyalarının uzun süreli depolanması sonucu oluşan deponi gazı oluşumlarının yüzdesel değişimleri

Gün	Parametre (%)							
	CO ₂		O ₂		N ₂		CH ₄	
	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma
0	3,1	1,8	13,4	1,5	83	0,6	0	0,1
36	33	5,6	7,1	3,2	59	9,5	1,0	1,2
56	17	3,0	6,0	3,5	77	5,8	0,4	0,2
81	16	2,6	3,8	1,2	79	3,8	0,7	0,8
101	19	3,6	1,6	0,9	75	3,5	4,8	6,4
156	18	2,6	2,2	2,4	79	4,5	0,4	0,3
178	27	7,2	3,0	0,7	54	13,5	16	10,0
184	20	4,6	3,3	2,2	61	11,5	15,5	12,6
197	23	3,5	3,9	1,1	41	5,0	32,5	8,5
210	27	7,0	0,5	0,9	55	8,7	17,5	13,8

Tablo 5.3: Eleme- ön ayrıştırma ve öğütme işlemleri sonrası hazırlanmış kentsel katı atık balyalarının uzun süreli depolanması sonucu oluşan deponi gazı oluşumlarının yüzdesel değişimleri

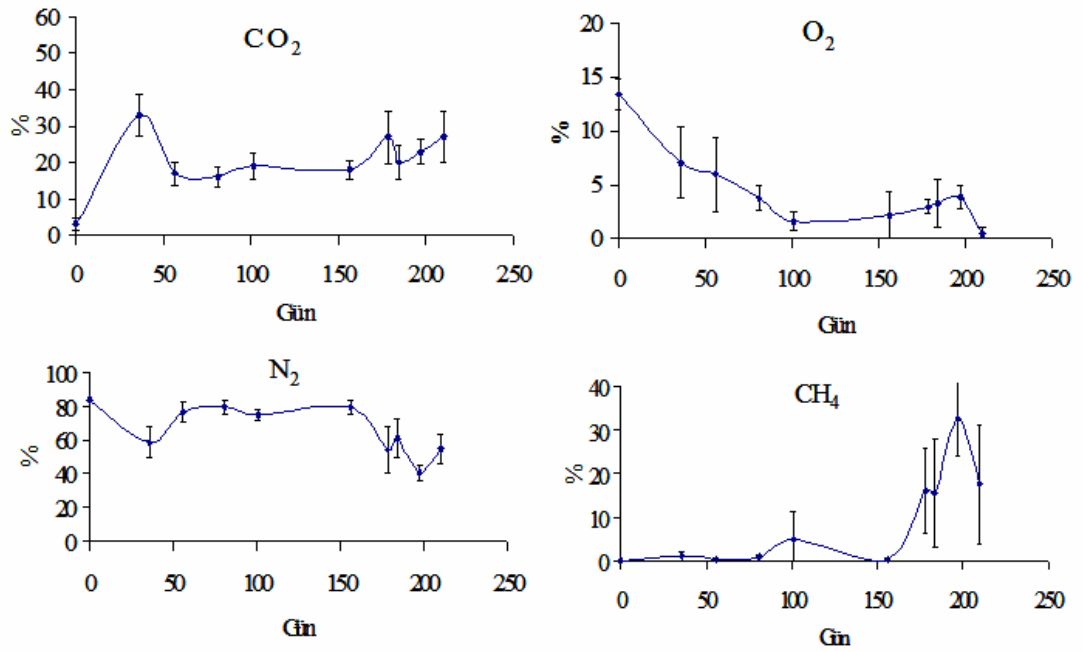
Gün	Parametre (%)							
	CO ₂		O ₂		N ₂		CH ₄	
	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma	Ort.	Std. Sapma
0	3	1,7	15,5	2,5	81	1,2	0	0
36	49	7,5	1,2	0,7	50	7,6	0,1	0,1
56	39	6,6	2,9	0,7	56	7,1	1,6	1,2
81	21	4,7	2,2	1,3	74	4,5	2,3	0,7
101	26	8,5	0,2	0,1	70	9,3	3,4	1,5
156	15	5,0	3,5	2,5	77	2,5	4,2	0,7
178	19	4,6	1,5	0,9	69	4,0	10	2,9
184	23	5,6	0,0	0,1	63	7,2	14	4,4
197	20	6,2	4,8	1,6	59	5,8	16	2,3
210	27	8,2	0,7	0,4	45	5,0	27	13,3

Ön işlemsiz hazırlanan kentsel katı atık balyalarının depolanmaları süresince CO₂, O₂, N₂ ve CH₄ gazlarının gelişimi Şekil 5.1’de verilmiştir. CO₂ gelişimi depolamanın ilk bir ayında artarak % 35 seviyelerine kadar yükselmiş, depolamanın üçüncü ayından sonra ise % 18 seviyelerinde kararlı hale gelmiştir. Depolama süresince balyadaki O₂ hızla tükenerek % 5’in altına düşmüş ancak zaman içerisinde hava alma durumunda gözlenmiştir. N₂ gazı ise CO₂ ile ters orantılı bir şekilde aerobik ayrışmanın yoğun olduğu başlangıç döneminde azalma eğilimindeyken, ayrışmanın kararlı hale geldiği üçüncü aydan sonra % 79 seviyelerinde ilerlemiştir. CH₄ oluşumu ise depolama süresince %20’nin altında kalmıştır.



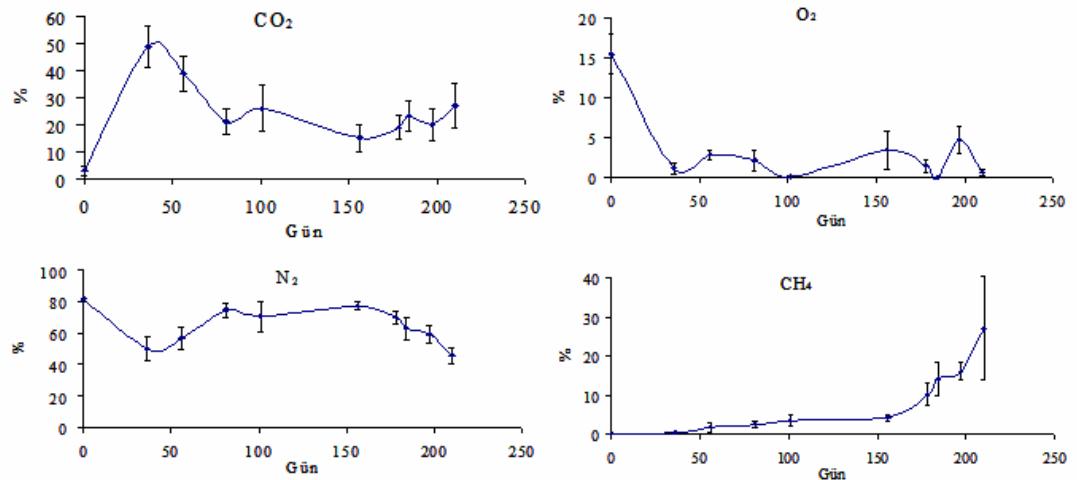
Şekil 5.1: Ön işlemsiz atıklardan hazırlanan balyalardaki gaz gelişimi

Eleme ve ön ayrıştırma işlemleri sonrası hazırlanan kentsel katı atık balyalarının depolanmaları süresince CO₂, O₂, N₂ ve CH₄ gazlarının gelişimi Şekil 5.2’de verilmiştir. Aerobik ayrışmanın yoğun olduğu ilk aylarda CO₂ hızla artarak % 35 seviyelerine kadar yükselirken, N₂ azalarak % 50 seviyelerine gerilemiştir. O₂ gelişimi incelendiğinde ise yaklaşık 2 ay boyunca % 5’in üzerinde olduğu görülmüştür. Daha sonraki süreçte oluşan havasız koşullarda % 30 seviyelerinde CH₄ oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 5.2: Eleme ve ön ayrıştırma işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyalardaki gaz gelişimi

Eleme, ön ayrıştırma ve öğütme işlemleri sonrası hazırlanan kentsel katı atık balyalarının depolanmaları süresince CO₂, O₂, N₂ ve CH₄ gazlarının gelişimi Şekil 5.3'de verilmiştir. CO₂ gelişimi depolamanın ilk bir ayında artarak % 50 seviyelerine kadar yükselirken, depolamanın üçüncü ayından sonra ise % 25 seviyelerinde kararlı hale gelmiştir. Depolama süresince balyadaki O₂ hızla tükenerek depolama süresince % 5'in altında kaldığı gözlenmiştir. N₂ gazının ise CH₄ oluşumunun % 30 seviyelerde olduğu dönemde % 45 seviyelerine düştüğü görülmüştür.



Şekil 5.3: Eleme, ön ayrıştırma ve öğütme işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyalardaki gaz gelişimi

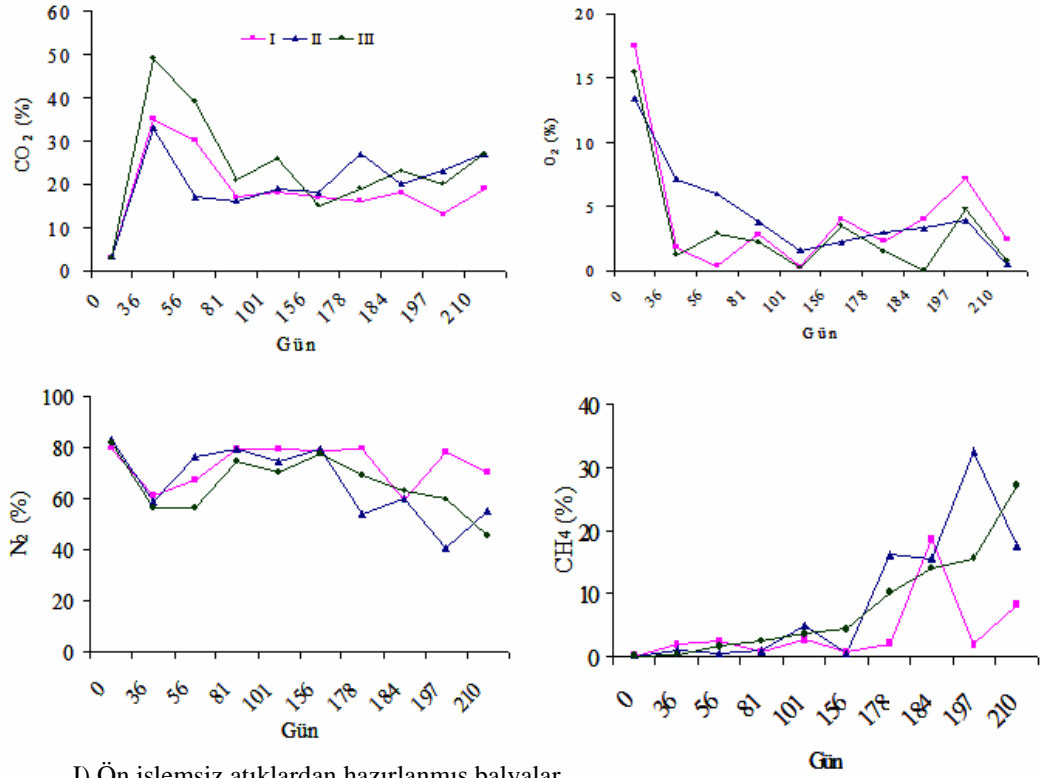
Ön işlemsiz, eleme-ayırıştırma, eleme-ayırıştırma-öğütme işlemleri sonrası hazırlanan balyalarda CO₂, O₂, N₂ ve CH₄ gazlarında meydana gelen değişimlerin karşılaştırmalı değerlendirmesi Şekil 5.4’de verilmiştir. Tüm balyalarda depolamanın ilk ayında aerobik ayrışmanın etkisiyle CO₂ gazı oluşumu artış göstermiştir. CO₂ oluşumu, eleme-ön ayırıştırma-öğütme işlemi sonrası hazırlanan balyalarda ön işlemsiz ve eleme-ön ayırıştırma işlemi yapılan balyalara göre daha yüksek olmuştur. Bu durum atıkların öğütülmesi sonucu azalan partikül boyutunun daha fazla yüzeyde suyla temas etmesinden kaynaklanmıştır. Böylece biyolojik ayrışmanın hızlanmasıyla CO₂ oluşumu artmıştır.

Balyalardaki O₂ içeriği incelendiğinde, eleme-ön ayırıştırma sonrasında hazırlanan balyalarda diğerlerine göre daha uzun süreçte düşüş meydana gelmiştir. Bu durumun ön işlem yapılmamış ve öğütülmüş atıklarda daha az hava girebilecek boşlukların oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Metan oluşumlarını incelediğimizde ise üç farklı ön işlemle hazırlanan balyada da düşük seviyelerde kaldığı görülmüştür. İdeal anaerobik koşullardaki depolamada N₂ gazı yüzdesi metan oluşum safhasında azalmakta ve % 20 seviyelerine kadar düşmektedir. N₂ ve CH₄ gazındaki mevcut değişimler balyalanarak gerçekleştirilen depolamalarda aerobik ayrışmanın olduğunu göstermiştir.

Yapılan çalışmada ön işlemsiz, eleme-ön ayırıştırma ve eleme-ön ayırıştırma-öğütme işlemleri uygulanmış balyalarda oluşan CO₂, O₂, N₂ ve CH₄ gazlarında süreç boyunca benzer eğilimler gözlemlenmiştir.

Üç farklı ön işlemle hazırlanmış kentsel katı atık balyalarının depolanmaları süresince meydana gelen gaz oluşumları izlendikten sonra balyalar açılarak katı atık örnekleri alınmıştır. Daha sonra katı atık örneklerinde TK, TOK, TKN, nem, pH ve kalorifik değer parametreleri incelenmiştir. Ön işlemsiz, eleme-ayırıştırma ve eleme-ayırıştırma-öğütme işlemleri sonrası hazırlanan balyalardan alınan örneklerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.4, 5.5 ve 5.6’da verilmiştir.



- I) Ön işlemsiz atıklardan hazırlanmış balyalar
 II) Eleme ve ayrıştırma işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyalar
 III) Eleme, ayrıştırma ve öğütme işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyalar

Şekil 5.4: Farklı ön işlemler uygulanmış atıklardan hazırlanmış balyaların gaz oluşumlarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi

Tablo 5.4: Ön işlemsiz atıklardan hazırlanmış balyaların analiz sonuçları

Parametre	Birim	Balyalanmış Örnekler			
		I	II	III	Ort.
TOK	g/kg	175	168	207	183
TK	g/kg	184	180	217	194
TKN	g/kg	5,2	9,7	4,3	6,4
Nem	%	52	46	33	44
pH	-	6,9	6,8	6,9	6,8
Kalorifik Değer	kJ/kg	4.053	10.057	4.717	6.276

Tablo 5.5: Eleme ve ayrıştırma işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyaların analiz sonuçları

Parametre	Birim	Balyalanmış Örnekler			
		I	II	III	Ort.
TOK	g/kg	187	152	192	177
TK	g/kg	194	155	196	182
TKN	g/kg	4,6	3,8	15,4	7,9
Nem	%	73	57	58	63
pH	-	6,2	6,6	5,6	6,2
Kalorifik Değer	kJ/kg	5.998	6.841	6.994	6.611

Tablo 5.6: Eleme, ayrıştırma ve öğütme işlemleri uygulanmış atıklardan hazırlanan balyaların analiz sonuçları

Parametre	Birim	Balyalanmış Örnekler			
		I	II	III	Ort.
TOK	g/kg	155	192	179	175
TK	g/kg	161	196	183	180
TKN	g/kg	6,6	6,4	6,2	6,4
Nem	%	62	55	65	61
pH	-	6,6	5,2	6,1	6,0
Kalorifik Değer	kJ/kg	5.202	4.836	7.598	5.879

Farklı ön işlemlerle hazırlanmış kentsel katı atık balyalarının TOK, TK, TKN ve kalorifik değer parametreleri açısından karşılaştırmalı değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde, TK içeriğinin 180-194 g/kg aralığında olduğu belirlenmiştir. Mevcut karbonunda % 95'den fazlasının mikroorganizmalar tarafından parçalanabilir organik kökenli bileşikler olduğu görülmüştür. Ancak gaz

oluşumlarına bakıldığında CH₄ oluşumlarının düşük kalması, sistemde havalı ayrışmanın aktif olduğunu göstermektedir. Balyaların termal bertarafında yüksek biodegrade olabilir karbon içeriği depolama süresince meydana gelecek ayrışma reaksiyonları sonucu enerji içeriğinde azalmaya neden olabileceği için istenmeyen bir durumdur.

Ön işlemsiz, eleme-ayırıştırma sonrası, eleme-ayırıştırma-öğütme sonrası hazırlanan balyalardaki ortalama C/N oranları sırasıyla 30, 23 ve 28 olarak belirlenmiştir. Bu oranlar farklı ön işlemlerle hazırlanan balyaların tamamının biyolojik ayrışma için ideal C/N oranlarına sahip olduğunu göstermektedir.

Atıkların ayrışmasında sınırlayıcı faktör olan nem içeriğine bakıldığında ise ortalama % 44-63 aralığında olduğu görülmektedir. Bu durum balyaların depolanmaları süresince nem içeriğinde önemli bir azalma olmadığı ve mevcut nemin balya içerisinde tutulduğunu göstermektedir. Ayrıca ön işlemsiz balyalarda nem içeriği diğer ön işlemlerle hazırlanan balyalardan düşük bulunmuştur. Bu durumun ayrıştırma yapılmadığından dolayı balyaya nem içeriği düşük atıkların biraz daha fazla girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Balyalardaki pH değerlerini incelediğimizde hafif asidik karakterde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun balyaların depolanmaları sırasında meydana gelen ayrışma reaksiyonları sonucu oluşan organik asit formlarından kaynaklandığını söylemek mümkündür.

Balyaların termal bertarafı için enerji potansiyellerinin belirlenmesi gerekmektedir. Atığın enerji potansiyelini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biri kalorifik değerdir. Kentsel katı atıkların ortalama kalorifik değerleri 3.000 - 10.000 kJ/kg aralığında değişim göstermektedir (Ruth, 1998; Kathirvale ve diğ., 2003). Kentsel katı atıkların termal bertarafının gerçekleştirilebilmesi için enerji içeriğinin 5.000 kJ/kg'dan büyük olması gerekmektedir. Farklı ön işlemlerle hazırlanan balyaların enerji içeriklerine bakıldığında ortalama 5.800-6.600 kJ/kg aralığında değişim göstermektedir. Bu durum mevcut balyaların yakılarak bertarafının mümkün olduğunu göstermektedir.

Yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar, uygulanan ön işlemlerin balyanın yanma özelliklerinde önemli değişimlere neden olmadığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar tesiste uygulanan ön işlemlerin verimliliğiyle doğrudan ilişkilidir. Uygulanan ön ayrıştırma işlemlerinin verimliliğini belirlemek için tesise gelen atıkların karakterizasyon verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanının ambalaj atık karakterizasyonu % 23 olarak bulunmuştur. Çalışma süresince tesise gelen atık miktarı, ayrıştırılan ambalaj miktarı ve ayrıştırma verimliliği Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7: Balyalama öncesi ön ayrıştırma verimliliği

Ay	Tesise Gelen Atık Miktarı (ton)	Atık İçerisindeki Ambalaj Miktarı (ton)	Ayrıştırılan Ambalaj Miktarı (ton)	Ayrıştırma Verimliliği (%)
Mart	7.113	1.636	7	0,4
Nisan	8.987	2.067	85	4,1
Mayıs	14.800	3.404	114	3,3
Haziran	15.644	3.598	134	3,7
Temmuz	15.538	3.573	138	3,9
Ağustos	15.923	3.662	229	6,3
Eylül	15.536	3.573	164	4,6
Ekim	15.176	3.490	186	5,3
Kasım	15.383	3.538	89	2,5
Aralık	16.450	3.784	108	2,9
Ocak	15.666	3.603	96	2,7
Şubat	14.862	3.418	134	3,9
TOPLAM	171.078	39.346	1.484	3,8 (Ort)

Çalışma süresi boyunca uygulanan ön ayrıştırma işleminin ortalama verimliliği % 3,8 olarak belirlenmiştir. Ön ayrıştırma işleminin balyaların özelliklerinde düşük etki göstermesi uygulama verimliliğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Eleme işleminin verimliliğini belirlemek için ise 15 gün süreyle işlenen atık ile elekten toplanan atık kaydedilerek elekten ayrılan atık miktarı belirlenmiştir. Elekten ayrılan atık miktarlarıyla ilgili elde edilen veriler Tablo 5.8’de verilmiştir. Bu verilerde görülebileceği gibi işlenen atığın ortalama %7’si elekten ayrılmıştır.

Tablo 5.8: Balyalama öncesi eleklerle ayrılan atık miktarı

Gün	İşlenen Atık Miktarı (ton)	Elek Altında Toplanan Atık Miktarı (ton)	Eleklerle Ayrılan Atık (%)
1	663	51	7,7
2	519	44	8,5
3	589	24	4,6
4	575	28	4,9
5	635	44	6,9
6	339	33	9,7
7	378	11	2,9
8	511	28	5,5
9	341	21	6,2
10	463	13	2,8
11	527	41	7,8
12	449	82	18,3
13	573	16	2,3
14	574	54	9,4
15	437	51	11,7
TOPLAM	7.573	541	7,1 (Ort)

Elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa, tüm balyalarda depolama süresince havalı ayrışma gerçekleşmektedir. Diğer taraftan, farklı ön işlemlerle hazırlanan balyaların kalorifik değerlerinin 5.800-6.600 kJ/kg aralığında olduğu görülmüştür. Bu kalorifik değer, bu balyaların termal yöntemlerle bertaraf için uygun olduğunu göstermektedir. Tesiste uygulanan elekten geçirme ve ayrıştırma ön işlemlerinin verimliliklerinin düşük olması balyaların TOK, TK, TKN ve kalorifik değer parametrelerinin birbirine çok yakın çıkmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, incelenen tesiste gerçekleştirilen ön işlemler yüksek verimle gerçekleştirilemediğinden balyaların biyolojik davranışlarında ve yanma özelliklerinde önemli bir etki göstermemektedir.

5.2. Mevcut Kentsel Katı Atık Balyalarının Yanabilirliğinin İncelenmesi (II. Aşama)

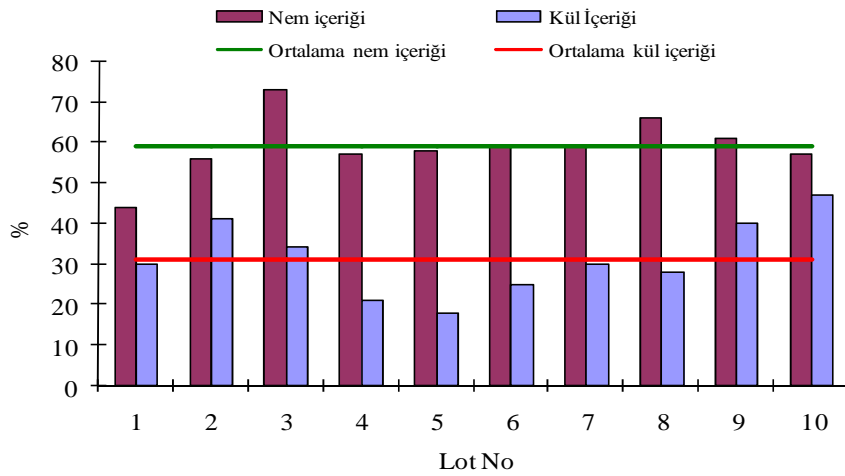
Çalışmanın bu kısmında İZAYDAŞ tarafından işletilen Kentsel Katı Atık Balyalama Tesisi'nde Mart 2009-Mart 2010 süresince üretilen kentsel katı atık balyalarının yanabilirliği incelenmiştir. Bir yıllık süreçte 10 ayrı lotta depolanan kentsel katı atık balyalarından alınan örneklerde toplam organik karbon (TOK), toplam kjeldahl azotu

(TKN), C/N oranı, nem içeriği, kül içeriği, kalorifik değer ve pH analizleri gerçekleştirilmiştir. Her lottan üç ayrı balya seçilerek yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Tablo 5.9’da sunulmuştur. Balyaların alındığı lotları gösteren yerleşim planı Şekil 4.3’de verilmiştir.

Tablo 5.9: Lotlardaki balyaların analiz sonuçları

Lot	Balya No	TOK (g/kg)	TKN (g/kg)	C/N	Nem İçeriği (%)	Kızdırma Kaybı (%)	Kalorifik Değer (kJ/kg)	pH
1	I	175	5,1	35	52	69	4.050	6,9
	II	168	6,9	26	46	66	4.700	6,8
	III	207	7,3	30	33	76	10.050	6,9
	Ort.	183	6,4	30	44	70	6.270	6,8
2	I	183	3,8	51	54	58	6.575	6,9
	II	174	4,1	43	58	60	5.900	6,6
	III	180	4,1	47	56	61	9.450	7,6
	Ort.	179	4,0	47	56	59	7.300	7,0
3	I	157	3,3	48	71	72	5.450	6,9
	II	236	6,2	39	85	55	6.850	6,6
	III	167	4,3	40	63	70	5.700	5,2
	Ort.	187	4,6	42	73	66	6.000	6,2
4	I	176	4,5	39	62	86	7.900	7,0
	II	137	3,8	37	56	70	5.650	6,7
	III	145	3,2	46	53	82	6.950	6,2
	Ort.	152	3,8	41	57	79	6.850	6,6
5	I	144	10,6	14	57	78	5.900	5,2
	II	255	19,4	13	64	83	8.550	6,2
	III	178	16,4	11	53	85	6.550	5,5
	Ort.	192	15,4	13	58	82	7.000	5,6
6	I	226	5,5	42	51	69	8.450	6,6
	II	184	4,3	44	63	75	4.500	6,5
	III	198	5,6	38	62	82	6.900	5,8
	Ort.	203	5,1	41	59	75	6.600	6,3
7	I	202	7,2	29	59	66	8.250	6,8
	II	144	3,8	38	55	68	6.200	6,6
	III	185	3,1	61	62	76	7.000	6,9
	Ort.	177	4,7	43	59	70	7.150	6,8
8	I	185	3,1	61	68	76	7.000	6,9
	II	159	5,2	31	65	73	6.450	6,5
	III	146	4,0	37	66	68	4.700	6,8
	Ort.	163	4,1	43	66	72	6.050	6,8
9	I	155	6,6	25	62	60	5.200	6,6
	II	192	6,4	31	55	50	4.850	5,2
	III	179	6,2	30	65	70	7.600	6,1
	Ort.	175	6,4	28	61	60	5.900	6,0
10	I	180	5,1	36	62	56	11.950	6,9
	II	150	4,5	34	52	45	4.200	7,1
	III	143	3,7	40	58	57	1.250	6,7
	Ort.	157	4,4	37	57	53	5.800	6,9

Nem ve kül içeriği, kentsel katı atığın yanma niteliğinde ve net kalorifik değerinde önemli bir etkiye sahiptir (Liang ve diğ., 2008). Kentsel katı atıktaki yüksek nem içeriği, enerji geri kazanım verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır (Zhang ve diğ., 2009). 10 ayrı lottan alınan balyalanmış kentsel katı atık örneklerindeki nem ve kül içerikleri sırasıyla % 44 - 73 ile % 18 – 41 aralığında değişim göstermektedir. Şekil 5.5’den de görülebileceği gibi farklı lotlardan alınan balyalanmış kentsel katı atık yüksek nem (ortalama %59) ve kül (ortalama %31) içeriğine sahiptir.



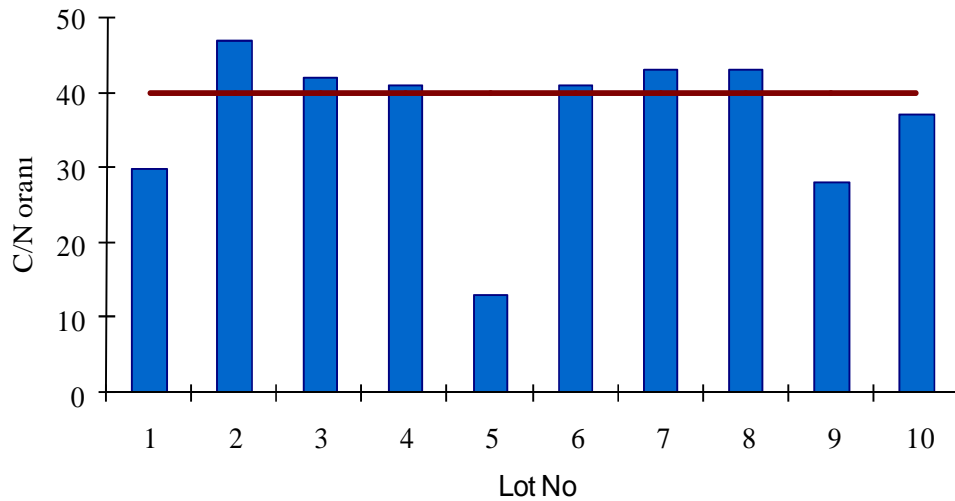
Şekil 5.5: Farklı lotlarda depolanan balyalanmış kentsel katı atıkların nem ve kül içerikleri

Atıktaki kül içeriği arttıkça yanma zorlaşır, ısıl değer düşer ve kül atma masrafları artar. Ayrıca yakıttaki kül oranlarının artması birim enerji başına (kwh) daha fazla yakıt tüketimine neden olacaktır (Elevli ve Demirci, 2004).

Yanma ile ilgili yapılan araştırmalar, yakıt içerisindeki yüksek nem içeriğinin yüksek oranda buharlaşmaya neden olduğunu göstermektedir. Yakıttaki nem içeriği ile genel yanma oranları ters orantılıdır. Bunun nedeni, nem buharlaşmasının sıcaklığın büyük oranda tükenmesine neden olması ve yakma prosesi boyunca buharlaşma süresinin gittikçe uzamasıdır. Bu durum tutuşmanın gecikmesine ve düşük kimyasal reaksiyon oranlarına neden olmaktadır. Ayrıca, nem içeriğinin artması atığın ısıl değerinin düşmesine ve ısı transferine olan direncin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de yanma hızı azalmaktadır (Liang ve diğ., 2008). Bu yüzden kentsel katı atığın yanma karakteristiğinin artırılması için atığın nem içeriği azaltılmalıdır.

Muthuraman ve diğ. (2010) kentsel katı atıkların nem içeriklerini azaltmaya yönelik hidrotermal arıtma yöntemleri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda kentsel katı atığın kuruma performansını geliştirerek 48 saat içerisinde nem içeriği % 33'den % 11.6'ya düşürülmüştür. Bir başka araştırmada da biyolojik kurutma yöntemleriyle nem içeriğini azaltmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Biyolojik kurutma yöntemiyle nem içeriği % 68'den % 51'e düşerken, atığın alt ısıl değeri 3.560 kJ/kg'dan 8.590 kJ/kg'a çıktığını göstermişlerdir (Zhang ve diğ., 2009). Dolayısıyla mevcut kentsel katı atık balyalarının yanma karakteristiğini arttırmak için benzer yöntemler göz önünde bulundurulmalıdır.

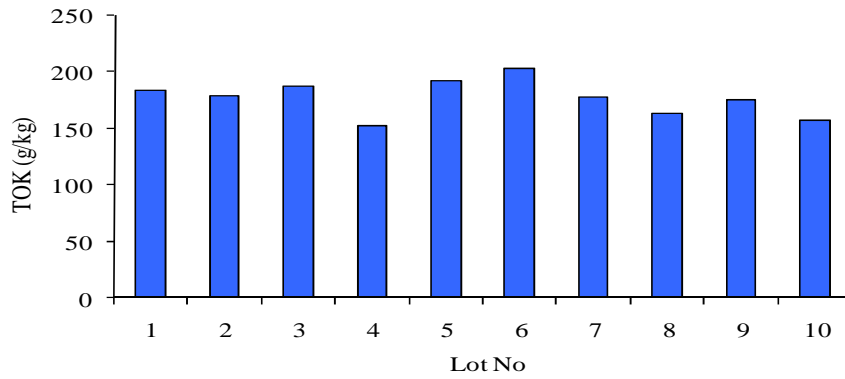
C/N oranı, kentsel katı atığın aktif ayrışmanın gerçekleşmesi için yeterli mikroorganizma popülasyonunu desteleyecek azot miktarına sahip olup olmadığını gösteren önemli parametrelerden biridir. Kentsel atıkların biyolojik parçalanması ile ilgili yapılan çalışmalarda, mikroorganizmaların genel olarak 30:1 C/N oranına ihtiyaç duyduğu belirtilmektedir (Igoni ve diğ., 2007). Şekil 5.6'da 10 farklı lotta depolanan kentsel katı atık balyalarının ortalama C/N oranları verilmiştir.



Şekil 5.6: Farklı lotlarda depolanan kentsel katı atık balyalarının C/N oranları

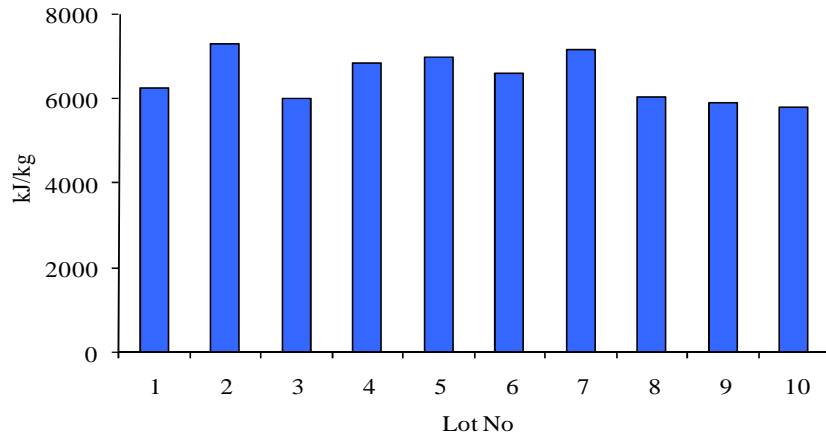
Depolanan kentsel katı atık balyalarının depolanmaları süresince daha düşük oranda ayrışması için C/N oranının 40:1 değerinin üzerinde olması sağlanmalıdır (Wagner ve Bilitewski, 2009). Lotların ortalama C/N oranlarına bakıldığında bu koşul 1, 5, 9 ve 10 nolu lotlar dışında diğer lotlardaki balyalarda sağlandığı görülmektedir.

Farklı lotlarda depolanan balyaların ortalama TOK değerleri Şekil 5.7’de verilmiştir. Kaymakçı ve Didari (2000) kömür özellikleri ile kendiliğinden yanma özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiŐlerdir. Regresyon analizi ile gerçekleştirilen bu çalışma sonucu karbonun kendiliğinden yanmayı etkileyen en önemli özelliklerden bir olduğunu belirlemişlerdir. Lotlardaki balyaların ortalama TOK değerleri 152 –203 g/kg arasında değişim göstermektedir. Patumsawad ve Cliffe (2002) karbon yanma verimliliğine ile nem içeriğinin etkisini incelemiŐlerdir. Yapılan bu çalışmada nem içeriği % 20’den yüksek olan kentsel katı atıklarda, yatak sıcaklığı 600 °C’nin altında kaldığından baŐarılı bir yakmanın gerçekleŐtirilemedięini belirlemişlerdir. Atığın nem içeriği azaltıldığı takdirde karbon yanma verimliliği de yükselecektir. Bu nedenle balyaların yanabilirliğinin arttırılması için balya içerisindeki nem içeriği yüksek gıda atıkları oranının azaltılıp, plastik, karton türü atık oranlarının arttırılması sağlanabilir.



Şekil 5.7: Farklı lotlarda depolanan kentsel katı atık balyalarının TOK değerleri

Kalorifik değer, bir yakma tesisinde kentsel katı atıkların organik bileşenlerinin yanması sonucu açığa çıkan enerji olarak tanımlanır ve kentsel katı atığın enerji içeriğini göstermede kullanılır (Chang ve diğ., 2007). İncelenen farklı lotlardaki kentsel katı atıkların kalorifik değerleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Balyaların ortalama kalorifik değerleri 5.800 ile 7.300 kJ/kg aralığında değişim göstermektedir. İlave yakıt kullanmaksızın bir yakma tesisinde enerji elde etmek için atığın kalorifik değerinin en az 8.000 kJ/kg aralığında olması tavsiye edilmektedir (Kaçar, 1999). Çalışmadan elde edilen sonuçlar depolama alanında bulunan mevcut balyaların gerekli koşulları sağlayamadığı ve yakmadan enerji geri kazanımı için ilave yakıt desteğine ihtiyaç duyulacağını göstermektedir.



Şekil 5.8: Farklı lotlarda depolanan kentsel katı atık balyalarının kalorifik değerleri

Bir yıl boyunca farklı lotlarda depolanan kentsel katı atık balyalarının yanma karakteristiğini özetleyecek olursak, incelenen balyaların yüksek nem içeriğine (>50%) sahip olduğu ve ilave yakıtızsız enerji geri kazanımı sağlayacak şekilde yakmaya uygun enerji içeriğine (<8.000 kJ/kg) sahip olmadığı görülmüştür. Yüksek nem içeriği hidrotermal yöntemler yada biyolojik kurutma gibi teknolojilerden yararlanılarak düşürülebilir. Balyaların nem içeriğinin yüksek olması yapısındaki gıda atığı oranlarının yüksek olmasından da kaynaklanabilmektedir. Dolayısıyla balyalar hazırlanmadan önce gıda içeriği azaltılıp, plastik-karton gibi yanabilir atık miktarı artırılırsa nem içeriği düşürülerek, kalorifik değerleri uygun seviyelere getirilebilir.

5.3. Balya Kompozisyonunun Depolama Süresince Gaz Oluşumlarına ve Yanma Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi (III. Aşama)

Termal bertarafa uygun balyalanmış kentsel katı atık kompozisyonun belirlenmesine yönelik çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir:

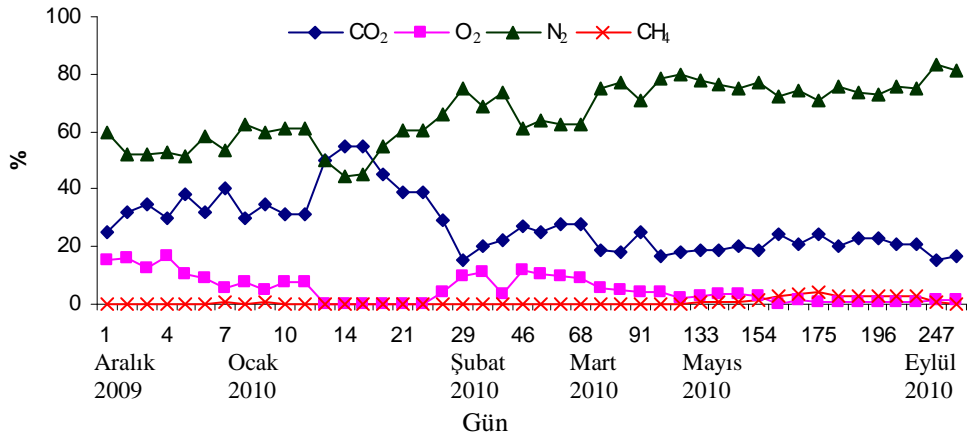
- Balyalanmış kentsel katı atıkların uzun süreli depolanmaları süresince atık kompozisyonunun gaz oluşumlarına etkisinin incelenmesi,
- Depolama işlemi sonucunda farklı içeriklere sahip kentsel katı atık balyalarının TOK, TK, TKN, nem içeriği, kızdırma kaybı ve kalorifik değer parametrelerindeki değişimlerin belirlenmesidir.

Çalışmada 9 farklı kompozisyona sahip sentetik balyalar hazırlanmıştır. Bu balyalar gıda, kağıt-karton, plastik, tekstil, bahçe atıkları, odun, cam ve metal atıklarının farklı oranlarda karışımlarını içermektedir. Karışım oranları literatür veriler ışığında atıkların yanma özelliklerinden yararlanarak hesaplanmıştır. Karışım oranlarının belirlenmesiyle ilgili bilgiler Bölüm 4’de detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

5.3.1. Balyalardaki atık kompozisyonunun gaz oluşumlarına etkisi

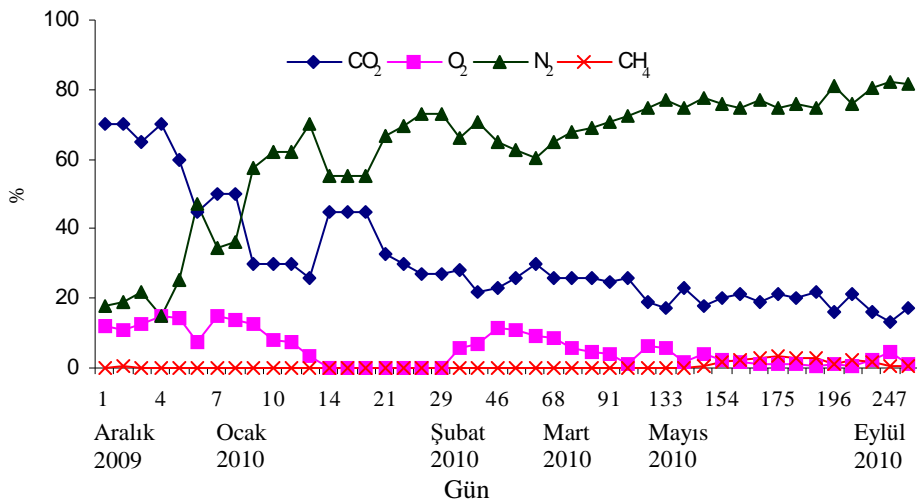
Balyalardaki atık kompozisyonunun gaz oluşumlarına etkisini belirlemek için sentetik olarak hazırlanmış balyaların 10 aylık süreçte depolanmaları süresince oluşan depo gazı oluşumları izlenmiştir. Hazırlanışı Bölüm 4’de detaylı olarak anlatılan balyaların kompozisyonu Tablo 4.6’da verilmiştir. Hazırlanan sentetik balyaların 25.12.2009-25.10.2010 tarihleri arasında depolanmaları süresince meydana gelen gaz oluşumlarının değişimleri izlenmiştir. Yaklaşık 10 aylık süreçte karbondioksit (CO₂), oksijen (O₂), azot (N₂) ve metan (CH₄) gazlarının yüzdesel değişimleri izlenerek balyalanmış atıkların biyolojik aktivitesi gözlenmiştir. Araştırma süresince gerçekleştirilen gaz ölçümlerinin sonuçları ekte verilmiştir.

10 aylık depolama süreci boyunca depo gazı gelişimi Şekil 5.9’da verilen balya 1, % 30 gıda, % 15 kağıt-karton, % 17 plastik, % 17 tekstil, % 11 bahçe ve % 10 odun atıklarının karışımlarından oluşmaktadır. Depolama süresince oksijen içeriği 2 haftalık bir süreç içerisinde tükenirken, CO₂ içeriği % 55 seviyelerine kadar yükselmiştir. Azot oluşumu ise başlangıçta % 50-60 aralığındayken biyolojik reaksiyonların stabil hale geldiği noktada % 75-85 seviyelerine yükseldiği görülmektedir. Reaksiyonların stabil olduğu noktada CO₂ içeriği ise %15-20 aralığında değiştiği görülmüştür. Anaerobik reaksiyonların göstergesi olan CH₄ gelişimine bakıldığında, en yüksek seviyeye yaklaşık 6 aylık bir depolama sonucunda yaklaşık % 4 olarak ulaştığı görülmüştür. Bu düşük değer depolama süresince havalı ayrışmanın gerçekleştiğini göstermektedir.



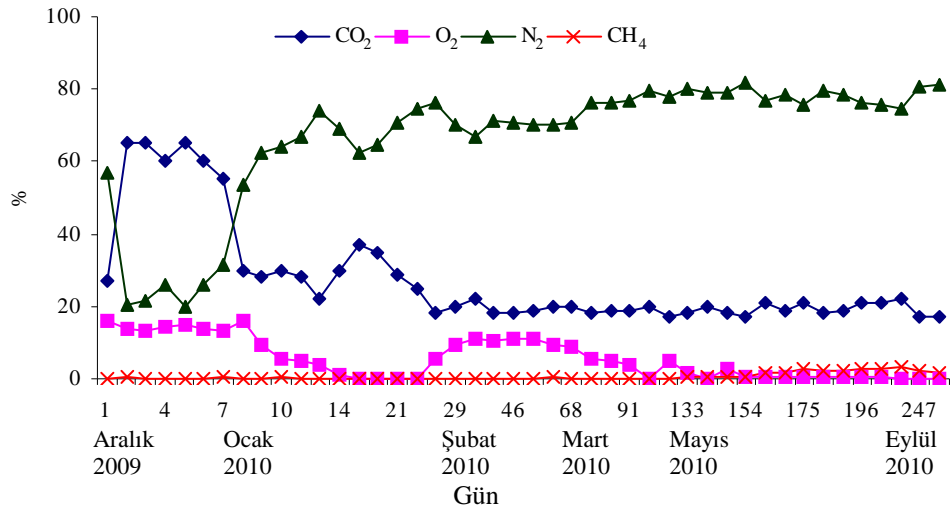
Şekil 5.9: Balya 1'de oluşan gazların zamansal değişimi

Şekil 5.10'da % 40 gıda, %15-kağıt karton, % 18 plastik, % 6 tekstil, % 6 bahçe ve % 15 odun atıklarının karışımından oluşturulmuş Balya 2'nin 10 aylık depolama süresince meydana gelen depo gazları ölçüm sonuçları verilmiştir. Balya 1'dekine benzer bir şekilde oksijen içeriği 2 haftalık bir süreç içerisinde tükenirken, CO₂ içeriği ilk birkaç gün % 70 seviyelerinde ilerlerken zamanla azalarak, degradasyonun durağan hale geldiği noktada %13-17 aralığında kaldığı görülmüştür. Başlangıçtaki biyolojik reaksiyonlar sonucu oluşan yüksek CO₂ yüzdesi, N₂ yüzdesinin düşük olmasına neden olmuş biyolojik reaksiyonların yavaşlamasıyla % 80-82 aralığında sabitlediği görülmüştür. CH₄ oluşum yüzdesine bakıldığında en yüksek değer yaklaşık 6 aylık depolama süresi sonunda yaklaşık % 3 olarak belirlenmiştir.



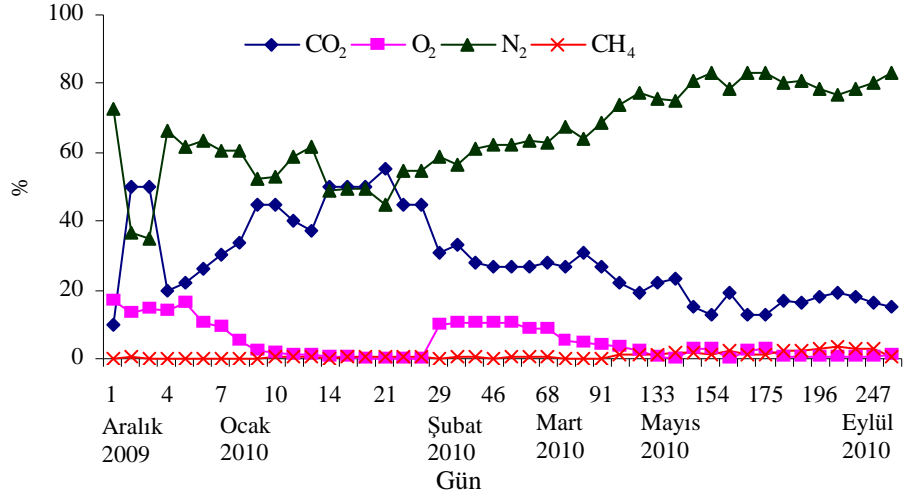
Şekil 5.10: Balya 2'de oluşan gazların zamansal değişimi

% 30 gıda, %9 kağıt karton, % 19 plastik, % 30 tekstil, % 4 bahçe, % 3 cam ve % 5 metal atıklarının karışımından oluşturulmuş olan Balya 3'ün 10 aylık depolama süresince meydana gelen depo gazları ölçüm sonuçları Şekil 5.11'de verilmiştir. Balya 3'de CO₂ gazı aerobik bozunmanın aktif olduğu ilk günlerde % 65 seviyelerine kadar yükselmekte depolamanın kararlı hale geldiği 10 aylık depolamanın sonunda ise % 17-22 aralığında sabitlendiği görülmektedir. Balya içerisindeki oksijenin 2 haftada tükendiği ancak bazı dönemlerde balyanın hava alarak oksijen içeriğinin arttığı görülmüştür. N₂ gelişimine baktığımızda, CO₂ yüzdesinin % 65'lerde olduğu başlangıç aşamasında % 20 seviyelerindeyken, ayrışmanın yavaşladığı 10 ay sonunda %80 seviyelerinde sabitlendiği görülmüştür. CH₄ oluşumuna bakıldığında en yüksek seviye yaklaşık % 3 olarak görülmüştür.



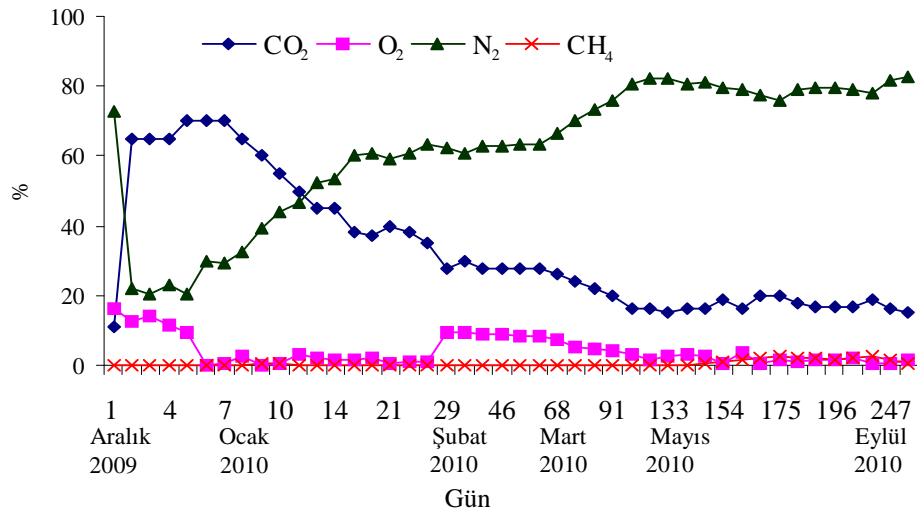
Şekil 5.11: Balya 3'de oluşan gazların zamansal değişimi

% 15 gıda, % 35 kağıt-karton, % 37 plastik, % 6 tekstil ve % 7 odun atıklarının karışımından oluşturulmuş olan Balya 4'ün 10 aylık depolama süresince meydana gelen depo gazları ölçüm sonuçları Şekil 5.12'de verilmiştir. Balya 4'deki CO₂ gelişimi, ayrışmanın başlangıcında % 50 düzeylerindeyken, 10 aylık süreç sonunda % 15-19 düzeylerinde sabit kalmıştır. Balya içerisindeki oksijenin 10 gün içerisinde tükendiği ancak daha sonraki süreçte zaman zaman arttığı görülmüştür. Balya 4'ün başlangıçta % 34'lerde olan N₂ içeriği bozunmanın yavaşladığı süreçte %78-83 düzeylerinde ilerlediği belirlenmiştir. CH₄ oluşumuna bakıldığında en yüksek seviye yaklaşık % 3 olarak izlenmiştir.



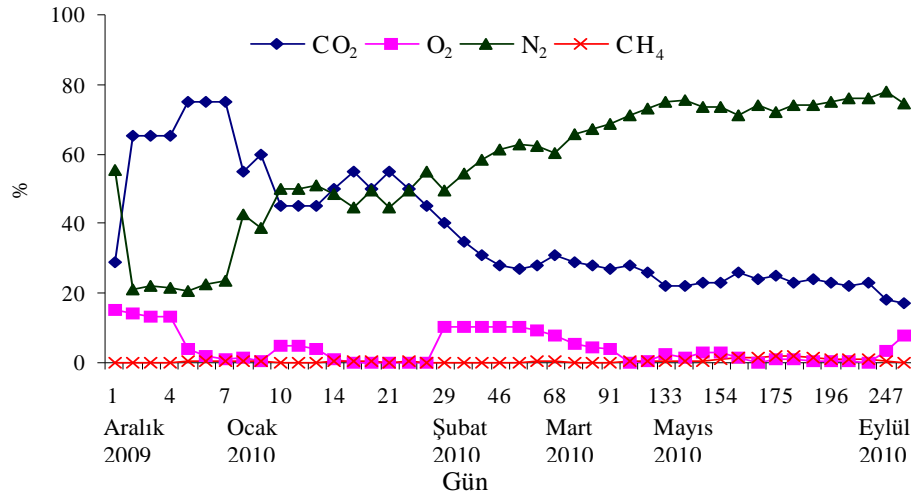
Şekil 5.12: Balya 4’de oluşan gazların zamansal değişimi

% 37 gıda, % 25 kağıt-karton, % 24 plastik, %6 tekstil ve % 10 odun atıklarının karışımını içeren Balya 5’in 10 aylık depolama süresince meydana gelen gaz gelişimi Şekil 5.13’de verilmiştir. CO₂ gelişimi depolamanın başlangıcında % 70 seviyelerine kadar çıkarken ayrışmanın kararlı olduğu aşamada % 15-19 seviyelerinde sabitlendiği görülmüştür. Diğer balyalarda olduğu gibi oksijen seviyesi 2 haftalık bir süreçte hızla tükenirken, belli periyotlarda balyanın hava alması sonucu arttığı belirlenmiştir. N₂ gazı, CO₂ oluşumunun yüksek olduğu ilk safhalarda % 20 civarlarında iken, bozunmanın yavaşladığı 10 aylık süreç sonunda % 77-83 aralığında ilerlemektedir. CH₄ oluşumuna bakıldığında, en yüksek seviye % 3 ile Ağustos ayında gözlenmiştir.



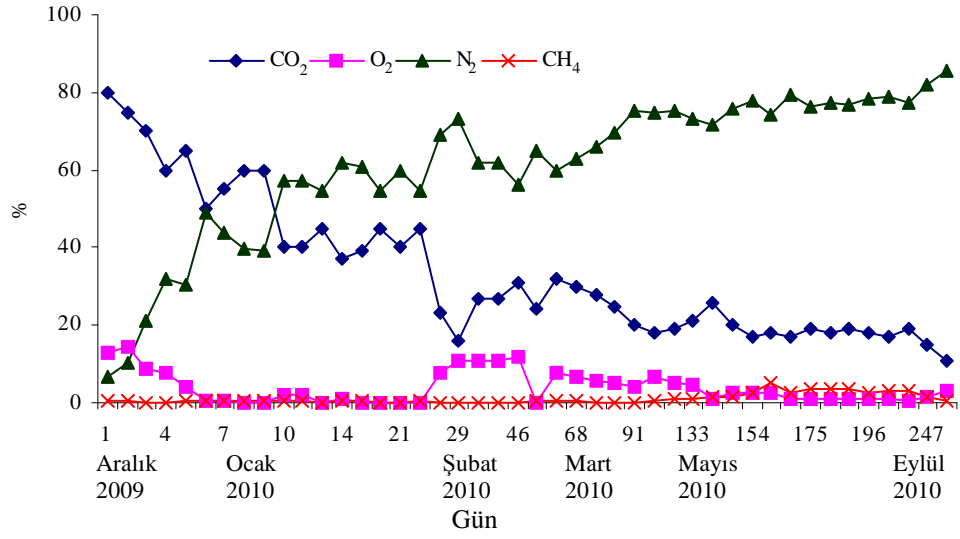
Şekil 5.13: Balya 5’de oluşan gazların zamansal değişimi

Balya 6, % 59 gıda, % 13 kağıt-karton, % 9 plastik, % 10 tekstil ve % 9 odun atıklarının karışımından oluşmakta olup, depolanması süresince meydana gelen depo gazı değişimleri Şekil 5.14’de verilmiştir. Balya 6’da CO₂ gelişimi, aerobik ayrışmanın aktif olduğu ilk safhada % 75’lere kadar yükselmekte, 10 aylık depolamanın sonunda % 17-23 aralığında ilerlediği görülmektedir. Oksijen içeriği hızlı bir şekilde 1 haftada tükenmekte, Ocak ayında iklim koşullarından ötürü hava alarak oksijen seviyesinde artışlar görülmüştür. Depolama süresince N₂ gelişimi, depolamanın başlangıcında yaklaşık % 20 seviyelerindeyken, ayrışmanın yavaşladığı son dönemde yaklaşık % 75 civarlarındadır. CH₄ oluşumu ise en yüksek seviyeye yaklaşık % 1’le Haziran ayında ulaşmıştır.



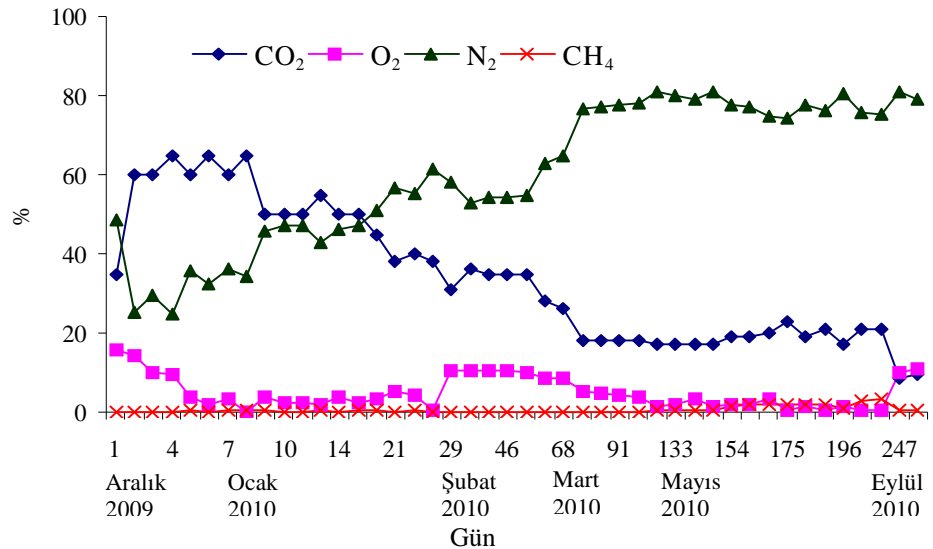
Şekil 5.14: Balya 6’da oluşan gazların zamansal değişimi

% 75 gıda, %14 kağıt-karton, % 5 plastik ve % 6 tekstil atıklarının karışımından oluşan Balya 7’nin 10 aylık depolama süresince gaz oluşumlarındaki değişimler Şekil 5.15’de verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere, CO₂ depolamanın ilk sürecinde % 80 seviyelerinde iken, 5 aydan sonra % 11-20 aralığında değişim göstermektedir. Oksijen içeriği bir hafta içerisinde hızla tükenmekte ancak zaman zaman balyanın hava aldığı belirlenmiştir. Azot içeriği aerobik ayrışmanın gerçekleştiği ilk haftalarda % 6-30 aralığındayken, 3 aylık depolamadan sonra % 71-85 aralığında ilerlediği görülmüştür. CH₄ oluşumu en yüksek değerine yaklaşık % 4 ile depolamanın 5. ayında ulaşmıştır.



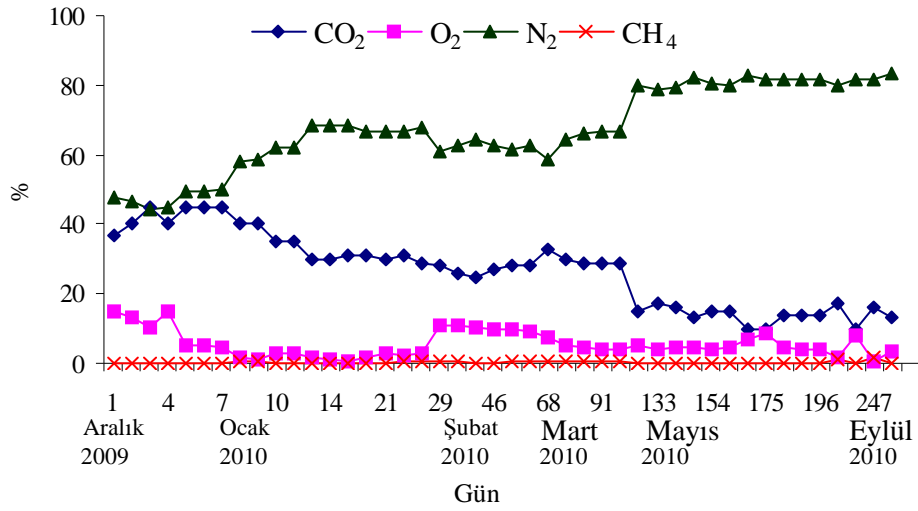
Şekil 5.15: Balya 7'de oluşan gazların zamansal değişimi

% 40 gıda, %18 kağıt-karton, % 25 plastik, % 10 tekstil ve % 7 odun atıklarının karışımından oluşturulmuş Balya 8'in 10 aylık depolama süresince meydana gelen depo gazları ölçüm sonuçları Şekil 5.16'da verilmiştir. CO₂ gelişimi, aerobik ayrışmanın gerçekleştiği ilk safhada % 60-65'lere kadar yükselmekte, 10 aylık depolamanın sonunda % 8-9 aralığına düştüğü görülmektedir. Oksijen içeriği hızlı bir şekilde tükenmekte ancak zaman zaman balyanın hava olarak oksijen içeriğinde artışlara neden olduğu gözlenmiştir. Depolama süresince N₂ gelişimi, depolamanın başlangıcında yaklaşık % 25 seviyelerindeyken, ayrışmanın yavaşladığı son dönemde yaklaşık % 80 civarlarındadır. Metan oluşumu ise en yüksek % 3 seviyesine Ağustos ayında ulaşmıştır.



Şekil 5.16: Balya 8'de oluşan gazların zamansal değişimi

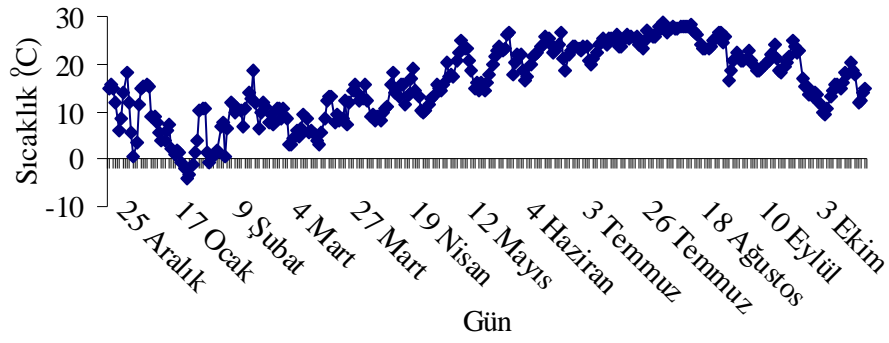
Balya 9, % 20 gıda, % 32 kağıt-karton, % 30 plastik, % 16 tekstil ve % 2 odun atıklarının karışımından oluşmaktadır. Balya 9'un 10 aylık depolanması süresince meydana gelen depo gazı değişimleri Şekil 5.17'de verilmiştir. CO₂ gelişimi depolamanın başlangıcında % 45 seviyelerine kadar çıkarken ayrışmanın kararlı olduğu aşamada % 13-17 seviyelerinde sabitlendiği görülmüştür. Oksijen seviyesi 2 haftalık bir süreçte tükenirken, belli periyotlarda balyanın hava alması sonucu arttığı belirlenmiştir. N₂ gazı, CO₂ oluşumunun yüksek olduğu ilk safhalarda yaklaşık % 45 civarlarında iken, bozunmanın yavaşladığı 10 aylık süreç sonunda % 79-83 aralığında ilerlemektedir. CH₄ oluşumuna bakıldığında en yüksek seviye yaklaşık % 2 olarak izlenmiştir.



Şekil 5.17: Balya 9'da oluşan gazların zamansal değişimi

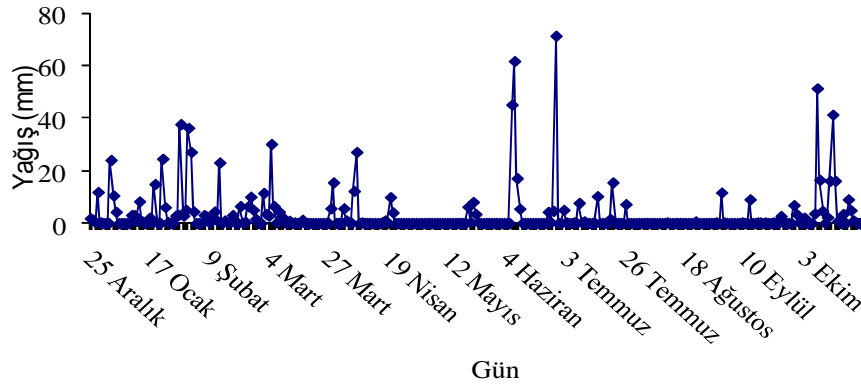
5.3.2. Balyalardaki gaz oluşumlarının karşılaştırmalı değerlendirmesi

Balyalarda meydana gelen gaz oluşumlarında ortamdaki meteorolojik faktörlerde etkili olabilmektedir. Bu yüzden karşılaştırmalı değerlendirmelere geçmeden önce ortamdaki meteorolojik koşullarında incelenmesi faydalı olacaktır. Depolama işlemi süresince ortalama hava sıcaklığı ve yağış miktarlarının günlük gelişimleri sırasıyla Şekil 5.18 ve 5.19'da verilmiştir. Meteorolojik verilerin tümü, Devlet Meteoroloji Müdürlüğü tarafından Gebze istasyonunda günlük olarak ölçülen değerlerdir.



Şekil 5.18: Depolama süresince dış ortam sıcaklık değişimi

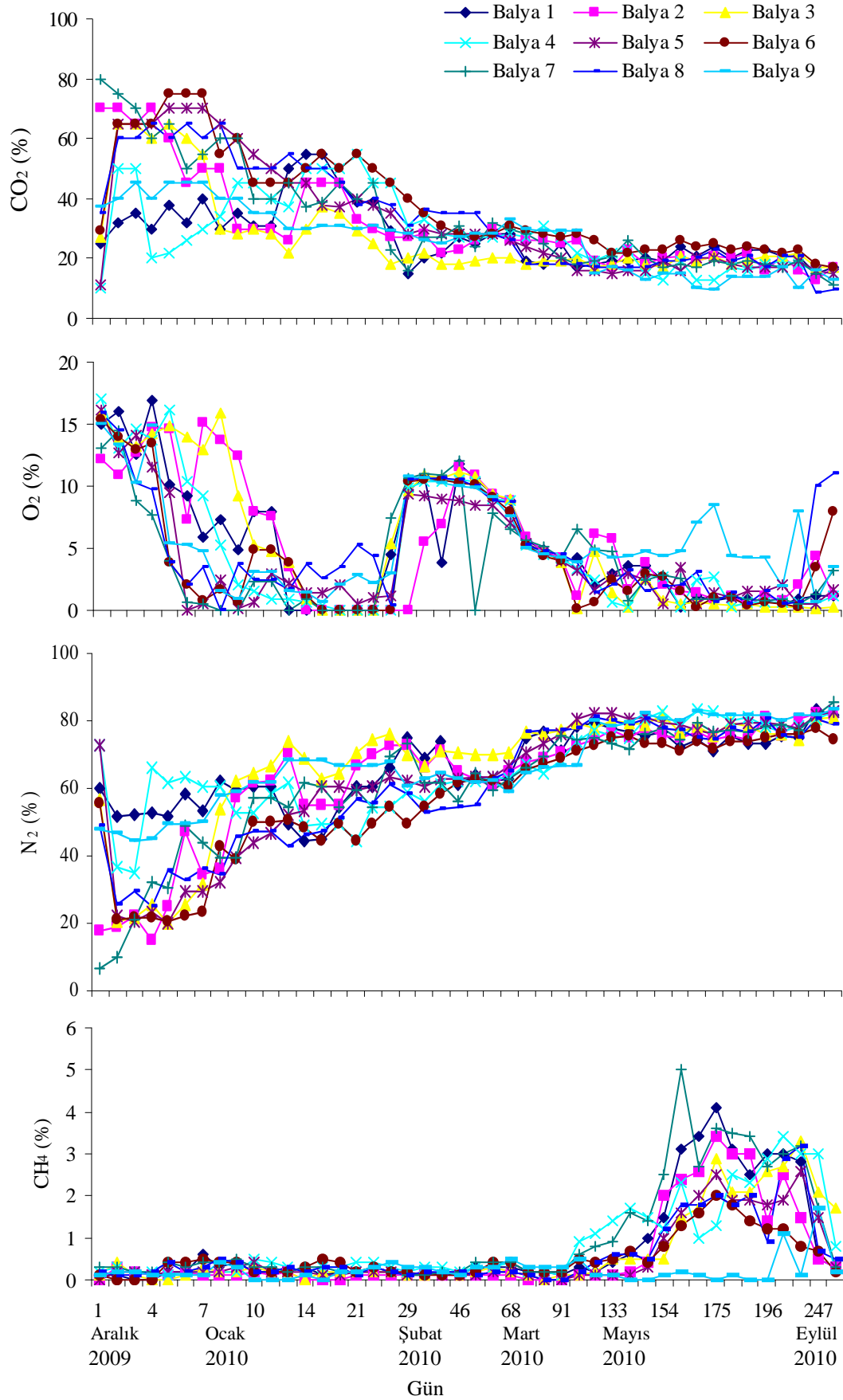
Balyaların depolanmasına Aralık ayında başlanmış ve ilk 20 günlük süreçte ortam sıcaklığının 0,4-18,2 °C arasında değişim gösterdiği ve ortalama sıcaklığının 11 °C olduğu belirlenmiştir. Depolamanın yaklaşık 90. gününden sonra ortam sıcaklığında yükselme eğilimi başlamış ve yaz döneminde 20 °C'nin üzerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 5.19: Depolama süresince ortamdaki yağış miktarı

Depolama süresince kaydedilen yağış miktarları incelendiğinde, yağışlı gün sayısının en fazla olduğu dönemin Ocak ve Şubat aylarına geldiği görülmektedir. Ortamda meydana gelen günlük ortalama rüzgar hızları 0,8-6,2 m/sn düşük aralıklarda değişim göstermiştir. Ancak gün içerisinde anlıkta olsa rüzgar hızının daha yüksek seviyelere çıktığı dönemlerinde olduğu belirlenmiştir.

Farklı kompozisyona sahip balyalarda 10 ay boyunca gerçekleştirilen depolama işlemi süresince meydana gelen CO₂, O₂, N₂ ve CH₄ gazlarının yüzdesel değişimlerinin görünümü Şekil 5.20'de verilmiştir. Balyaların gaz oluşumlarıyla ilgili karşılaştırmalı değerlendirmeler aşağıda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.20: Balyalardaki deponi gazı oluşumlarının zamansal gelişimi

Aerobik ayrışmanın gerçekleştiği ilk haftalarda organik atıkların parçalanması sonucu CO₂ hızlı bir artış göstermekte bir aylık depolama süreci sonunda ise kararlı bir hale gelmektedir. Dolayısıyla CO₂ oluşumunda kolay bozunabilir gıda atıklarının miktarı ve kolay bozunamayan plastik atıklarının miktarı önemli rol oynamaktadır. Buradan yola çıkarak atık kompozisyonunun CO₂ oluşumuna etkisine bakıldığında, gıda içeriği yüksek (>%55) olan Balya 6 ve Balya 7’de CO₂ yükselişi sırasıyla % 75 ve % 80 olduğu gözlenmiştir. Gıda içeriği daha az (% 35-40) olan Balya 2, Balya 5 ve Balya 8 ’de ise CO₂ yükselişi sırasıyla % 70, 70, 65 olarak belirlenmiştir. % 30 gıda içeriğine sahip Balya 1 ve Balya 3’de ise % 55 ve % 65 olduğu görülmüştür. Gıda içeriği düşük olan(< %20) Balya 4 ve Balya 9’da ise sırasıyla %50 ve % 45 CO₂ oluşumu gözlenmiştir. Plastik atık içeriklerinin etkisine bakıldığında ise aynı gıda içeriğine sahip olmasına karşın daha düşük CO₂ oluşumunun kolay bozunamayan plastik atık miktarlarının fazla olmasından kaynaklandığı açık bir şekilde görülmektedir. Sonuç olarak, depolama süresince meydana gelen CO₂ oluşumu gıda içeriğinin artmasıyla artış göstermekte, kolay bozunabilir organik atıkların parçalanması sonrası ise düşerek sabit bir seviyede ilerlediği görülmektedir.

Balyalardaki O₂ hızlı bir şekilde tükenme eğilimindedir. Özellikle depolama süresince gıda içeriği yüksek olan balyalarda oksijen yaklaşık 5 gün içerisinde % 5’in altına düşerken, diğer balyalarda yaklaşık 10-14 gün arasında oksijen tüketimi gerçekleşmiştir. Ancak depolamanın yaklaşık 1 aylık sürecinin sonunda balyaların oksijen miktarında artış gözlenmiştir. Bu oksijen artışının, balyanın zaman içerisinde deforme olması ve yağış, rüzgar gibi meteorolojik faktörlerin etkisi altında kalabilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Balyaların oksijen içeriğinin artış gösterdiği bu dönem, ortam sıcaklıklarının düşük, yağışlı gün sayısının en fazla olduğu döneme gelmesi bu durumu desteklemektedir. Ayrıca 28 Ocak 2010 tarihinde gün içerisindeki maksimum rüzgar hızının 18,4 m/sn ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla Ocak ayında meydana gelen balya içerisindeki oksijen yüzdesindeki artışta şiddetli rüzgar akımlarının da etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Oksijen içeriğindeki bu artış ve azalmalar, ayrışmanın daha çok aerobik koşullarda gerçekleşmesine neden olmuştur.

N₂ yüzdesi ayrışmanın başlangıcında CO₂ gazıyla ters orantılı bir şekilde azalma göstermekte, ayrışmanın kararlı hale geldiğinde tüm balyalarda % 80 seviyelerinde sabitlemektedir. CH₄ oluşumu ise tüm balyalarda yaklaşık 120 gün boyunca %1'in altında kalırken, depolama süresince % 5'in üzerine çıkamamıştır. İdeal anaerobik koşullardaki depolamalarda N₂ gazı yüzdesi metan oluşum safhasında azalarak % 20 seviyelerine kadar düşmektedir. Elde edilen veriler depolama süresince havalı bir ayrışmanın gerçekleştiğini net bir şekilde göstermektedir.

5.3.3. Balya kompozisyonunun depo gazı oluşumuna etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi

Kentsel katı atıklar yapısında gıda, kağıt-karton, plastik, tekstil, odun, metal, cam ve bahçe atıkları gibi çok çeşitli materyalleri içeren heterojen karışımlardır. Balya kompozisyonunun depo gazı oluşumlarına etkisini belirlemek için hazırlanan balyalarda depolama süresince oluşan gaz oluşumları önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır. Yapılan bu çalışmalar balyaların depolanması süresince oluşan birincil depo gazının CO₂ olduğu görülmektedir. Dolayısıyla atık kompozisyonunun gaz oluşumlarına etkisini belirlemek için degradasyon süresince oluşan maksimum CO₂ oluşumlarıyla atık kompozisyonundaki materyallerin ikili korelasyonları gerçekleştirilmiştir. Yapılan istatistiksel çalışmalarda degradasyon prosesinde etkili olmadığından cam ve metal bileşenleri dahil edilmemiştir. Bu ilişkileri açıklayan Pearson korelasyon katsayıları Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10: Balya materyalleri ile maksimum karbondioksit oluşumları arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

Materyal	Maksimum CO ₂ Miktarıyla İlişki
Gıda	0,89
Kağıt-karton	-0,69
Plastik	-0,80
Tekstil	-0,28
Bahçe atıkları	-0,15
Odun (Talaş)	0,05

Tablo 5.10'da, gıda atıkları ile CO₂ oluşumu arasında yüksek bir korelasyon görülmektedir. Bu durum gıda atıklarındaki katı maddenin yaklaşık % 90'ının yüksek uçucu karaktere sahip olmasından dolayı hızlı biodegrade olabilir özellikte olmasıyla açıklanabilir (Selvam ve diğ., 2010).

Özel yada karışık plastiklerin ayrışması ile ilgili kinetik çalışmalar, plastik atıkların farklı ve yüksek sıcaklıklara bağlı ayrışma oranındaki değişimlerini ortaya koymaktadır (Ali ve Siddiqui, 2005). Yapılan çalışmalar plastik atıkların çevresel degradasyona dirençli olduğunu göstermektedir (Buekens ve Huang, 1998). Plastik oluşumu ile CO₂ oluşumu arasındaki negatif ilişki ($R^2 = -0,80$) plastik atıkların zor biodegrade olabilir karakteristiğiyle açıklanabilir.

Kağıt ve karton, kentsel katı atıkları biodegradeolabilir kısmı oluşturmaktadır. Kağıt ve kartonun yapısındaki hemiselüloz ve selüloz kentsel katı atıklardaki temel biodegradeolabilir fraksiyonlar olarak bilinmesine karşın, kağıdın kompozisyonundaki lignin, selülozun biyolojik degradasyonunu azaltmaktadır (Pommier ve diğ., 2010). Kağıt atıkları ile CO₂ oluşumu arasındaki negatif korelasyon lignin içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tekstil atıkları, pamuk, yün, ipek, naylon, olefin ve poliester gibi doğal ve sentetik elyafların bir karışımı olarak bilinmektedir. Tekstil atıklarının biyolojik degradasyonu, bu karışımların miktarına bağlıdır (Ryu ve diğ., 2007). Örneğin pamuk genel olarak % 88-96 selüloz karışımıdır ve kolay degrade olabilirken, poliester miktarı fazlaysa zor degradasyon gerçekleşir (Miranda ve diğ., 2007). Bu çalışmada tekstil atıkları ile CO₂ oluşumu arasında düşük negatif korelasyon görülmüştür.

Odun kütlelerinin bir ön arıtma yapılmaksızın anaerobik parçalanması, teknik olarak uygun görülmemektedir. Çünkü odunun anaerobik biodegrade olabilirliğine etki eden bir çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlere, düşük nem içeriği, lignin, selüloz ve hemiselüloz içeriği, yapısal ve yapısal olmayan karbonhidratların oranı, selülozun kristallenmesi, lignin ve karbonhidratlar arasındaki ilişkinin derecesi, partikül büyüklüğü, odun-kabuk oranı ve toksik bileşenler örnek gösterilebilir. Özellikle

lignin içeriği odun çeşitlerinde anaerobik degradasyonu düşürmektedir (Guneseelan,1997). Bu çalışmada odun çeşitliliğini ifade etmek için talaş kullanılmıştır ve CO₂ oluşumuyla düşük bir korelasyona sahip olduğu gözlenmiştir.

İkili korelasyon sonrası regresyon denkleminin çıkarılması amacıyla çoklu lineer regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Çoklu lineer regresyon analizi, CO₂ oluşum oranıyla balya kompozisyonundaki materyaller arasındaki ilişkinin doğrusal bir denklemle ifade etmek amacıyla uygulanmıştır. Buradaki asıl amaç ayrışma süresince oluşacak maksimum CO₂ miktarlarının belirlenebilmesidir. Bu model, gıda (G), kağıt-karton (K), plastik (P), tekstil (T), bahçe atıkları (B) ve odundan (O) oluşan 6 grubun 9 farklı değeriyle gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla n=6x9=54 değişken kullanılmıştır. Maksimum CO₂ oluşumlarını açıklayan regresyon denklemi aşağıda verilmiştir.

$$CO_{2max} = 329.736 - 2.305G - 2.979K + 2.783P - 3.449T - 3.107B - 2.146O \quad (5.1)$$

Burada;

CO_{2max} : Depolama süresince oluşan maksimum CO₂ seviyesi (%)

G : Gıda atıklarının miktarı (%)

K : Kağıt-karton atıklarının miktarı (%)

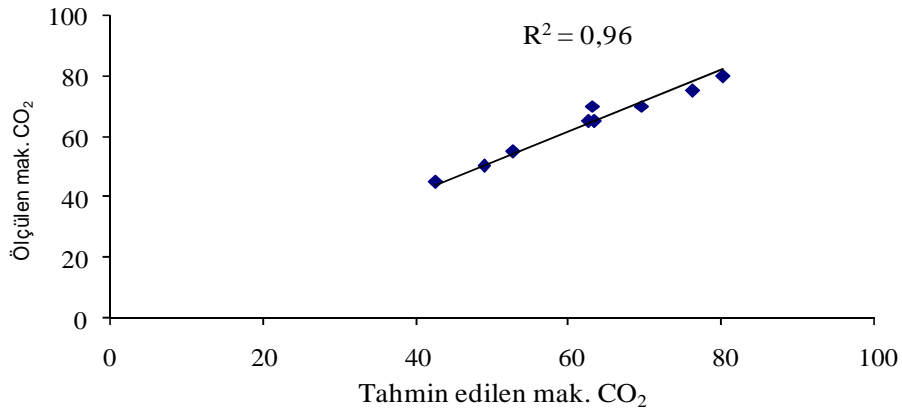
P : Plastik atıkların miktarı (%)

T : Tekstil atıkların miktarı (%)

B : Bahçe atıklarının miktarı (%)

O : Odun atıkların miktarı (%)

Ölçülen değerlerle regresyon analizine göre tahmin edilen maksimum CO₂ değerler arasındaki ilişki Şekil 5.21’de verilmiştir. İlişkiye ait korelasyon katsayısı 0,96 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.21: Maksimum CO₂ oluşumu için tahmin ile ölçülen değer arasındaki ilişki

5.3.4. Atık kompozisyonunun balyaların yanma özelliklerine etkisi

Atık kompozisyonunun enerji içeriğine etkisini belirlemek amacıyla, farklı içeriğe sahip 9 balyanın depolama öncesinde ve sonrasında TK, TOK, TKN, nem içeriği, kızdırma kaybı ve kalorifik değer analizleri gerçekleştirilmiştir. Depolama öncesi ve sonrasında yapılan örneklemelerden elde edilen analiz sonuçları Tablo 5.11’de verilmiştir.

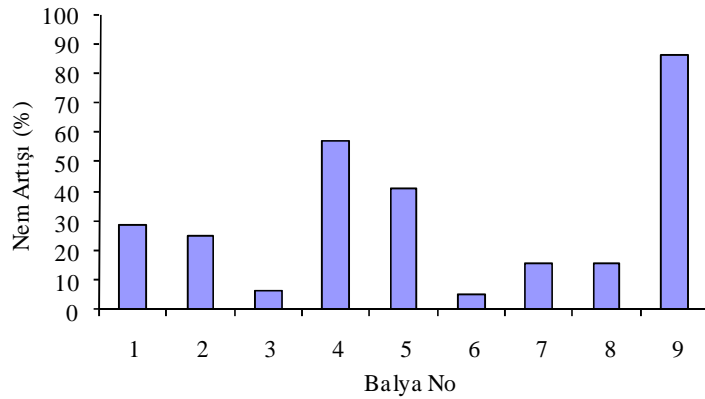
Tablo 5.11: Farklı kompozisyona sahip balyaların depolama süresince yanma karakteristiğindeki değişimler

Balya No	TOK (g/kg)		TK (g/kg)		TKN (g/kg)		Nem İçeriği (%)		Kızdırma Kaybı (%)		Kalorifik Değer (kJ/kg)	
	DÖ	DS	DÖ	DS	DÖ	DS	DÖ	DS	DÖ	DS	DÖ	DS
1	425	298	429	301	14,6	11,8	31	40	91	87	15.400	13.200
2	391	313	393	315	7,9	6,5	39	49	90	86	15.000	12.300
3	453	346	456	349	23,1	21,9	38	40	93	90	20.000	17.400
4	476	439	543	506	6,3	6,0	22	35	90	86	25.500	18.200
5	468	328	478	332	8,6	8,0	35	49	90	86	15.600	12.000
6	296	211	299	213	10,3	9,8	66	69	90	87	11.800	6000
7	248	162	249	164	9,4	7,7	56	65	89	86	7.900	2.700
8	456	372	460	376	10,5	8,8	42	48	90	86	16.100	12.300
9	497	378	498	380	11,0	9,4	18	34	91	87	22.100	16.100

DÖ : Depolama Öncesi Balyaların Hazırlanması Sırasında Alınan Örnek

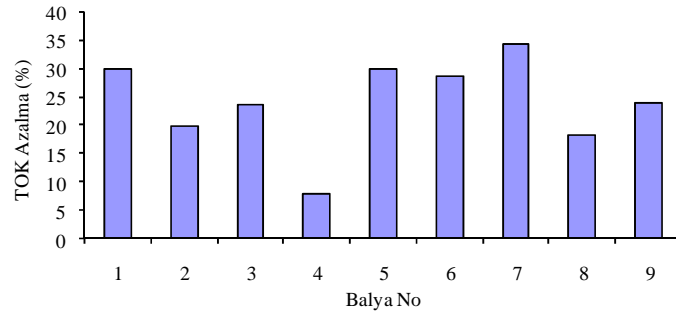
DS : Depolama Sonrasında Açılan Balyalardan Alınan Örnek

Kentsel katı atıkların yanma karakteristiğinde ve net kalorifik değerinde önemli etkiye sahip parametrelerden birisi atığın nem içeriğidir (Patumsawad ve Cliffe, 2002). Nem içeriğinin yakmaya etkisi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Suksankraisorn ve diğ. (2010), yakıtın nem içeriğinin %40'dan %60'a çıktığında, yatak sıcaklığının oldukça düştüğünü ve bunun sonucu yanma oranlarının da azaldığını belirtmişlerdir. Kentsel katı atıklardaki yüksek nem içeriği, enerji geri kazanım verimliliğini azaltırken, yararlı kullanım amacıyla mekanik ayrıştırmayı da olumsuz etkilemektedir (Zhang ve Diğ., 2008). Yakıt içerisindeki yüksek nem, yüksek buharlaşma oranlarına neden olmakta ve kavruarak yanmayı şiddetlendirmesine karşın, genel yanma oranları yakıtın nem içeriğiyle ters orantılıdır. Çünkü nemin buharlaşması, sıcaklığın büyük oranda tükenmesine ve yakma prosesi boyunca buharlaşma süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bu durum tutuşmanın gecikmesine, kimyasal reaksiyon oranlarının düşmesineen den olurken, nem içeriğinin artması materyalin ısıl değerinin azalmasına ve ısı transferine karşı direncin artmasına neden olur. Bunun sonucu da yanma hızı azalır (Liang ve diğ., 2008). Dolayısıyla, atıkların yanma karakteristiğinin artırılması için nem içeriğinin düşük tutulması gerekir. Farklı kompozisyona sahip balyaların depolanmaları süresince nem içeriğinde meydana gelen artış Şekil 5.22'de verilmiştir. Depolama süreci sonrasında tüm balyalarda nem içeriğinin arttığı görülmektedir. Nemdeki artışının özellikle Balya 9, 4 ve 5 gibi kağıt-karton içeriği yüksek olan balyalarda daha fazla olması, yağışlı dönemlerde balya içerisine sızan suyun bu bileşenler tarafından tutulmasının neden olduğu göstermektedir.



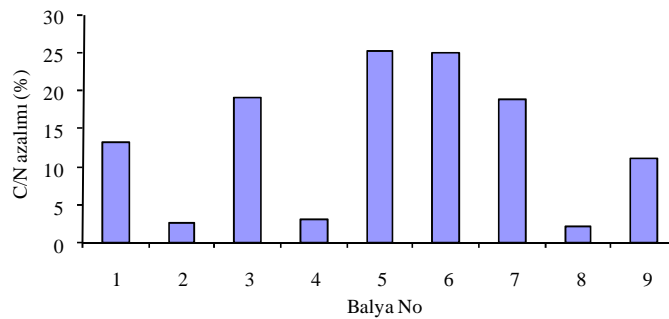
Şekil 5.22: Depolama süresince nem içeriğinde meydana gelen artış

C/N oranı ise atıkların depolanma süreçlerinde biyolojik parçalanma prosesinin performansını belirlemede kullanılan bir parametredir. Buradaki karbon mikroorganizmalar için bir enerji kaynağıken, azot mikrobiyal büyümenin geliştirilmesi için gereklidir. Özellikle anaerobik degradasyonda optimum C/N oranı 30:1'dir. Bu tür degradasyonda sınırlayıcı faktör azottur (İgoni ve diğ., 2008). Dolayısıyla kentsel atıkların termal bertarafı isteniyorsa, degradasyonu önlemek için C/N oranı 40:1'in üzerinde olması sağlanmalıdır (Wagner and Bilitewski, 2009). Yapılan çalışmada TOK ve C/N oranında depolama süresince meydana gelen azalmalar Şekil 5.23 ve 5.24'de verilmiştir.



Şekil 5.23: Depolama süresince TOK içeriğinde meydana gelen azalma

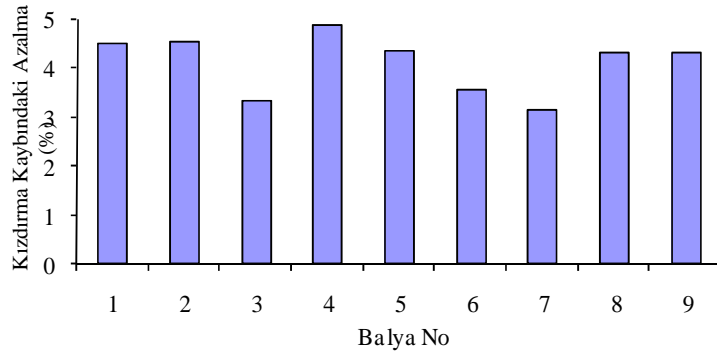
Depolama süresince biyolojik degradasyon reaksiyonları sonucu TOK değerlerinde meydana gelen azalma gıda içeriği % 15 olan balya 4'de yaklaşık % 8 iken, içeriği % 75 olan Balya 7'de % 34 olduğu görülmektedir. Bu durum depolama süresince meydana gelen ayrışma reaksiyonları sonucu gıda içeriği yüksek olan atıklarda TOK içeriğinin daha fazla azaldığını göstermektedir.



Şekil 5.24: Depolama süresince C/N oranında meydana gelen azalma

Yapılan çalışma sonucunda, C/N oranı depolama öncesi ve sonrası 2,4,5,8 ve 9 no'lu balyaların 40:1'in üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 5.25'den de görülebileceği gibi başlangıçtaki atık kompozisyonunda C/N oranı 40'ın üzerinde tutulan 2,4 ve 8 no'lu balyalardaki C/N oranındaki düşüş %5'in altında kalmaktadır. Depolama süresince azot içeriğindeki düşüş tüm balyalarda %20'nin altında olmuştur. Bu durum ayrışmada azotlu bileşenlerden daha çok karbonlu bileşenlerin parçalandığını göstermektedir.

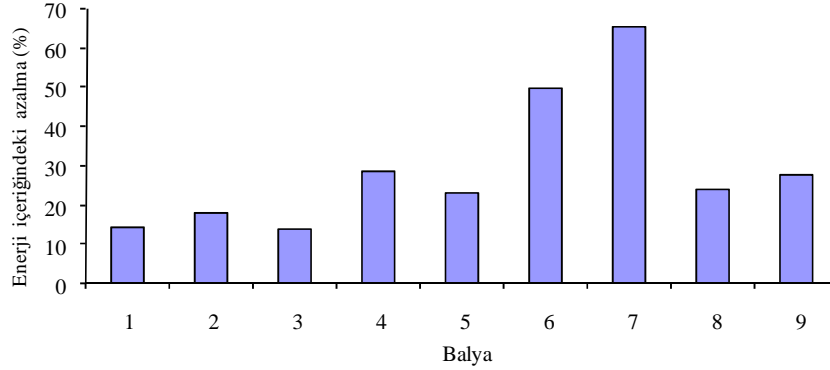
Yakmada önemli parametrelerden birisi de kül içeriğidir. Atığın kül içeriği arttıkça, yanıcı madde miktarı azalmakta, buna bağlı olarak da yanma verimi düşmektedir. Yapılan çalışmada kül içeriği kızdırma kaybı analizi ile belirlenmiştir. Kızdırma kaybı sonucu kalan miktar kül içeriğini vermektedir. Şekil 5.25'de depolama süreci sonrasında kızdırma kaybında meydana gelen azalma verilmiştir. Depolama süresince kızdırma kaybındaki azalma %5'in altında olmaktadır. Depolama sonrası balyaların kül içerikleri %10-15 arasında değişim göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar depolama süresince meydana gelen bozunma reaksiyonlarının kül içeriğinde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.25: Depolama süresince kızdırma kaybında meydana gelen azalma

Kentsel katı atıkların yakılarak bertaraf edilebilirliğinin incelenmesinde en önemli parametre atığın enerji içeriğidir. Kentsel katı atıkların enerji içerikleri kalorifik değer parametresi ile belirlenmektedir. Kalorifik değer, materyalin birim kütlelerinin tamamı yakıldığında yayılan ısı biriminin miktarı olarak tanımlanır (Qudais ve Qdais, 2000). Kentsel katı atık balyalarının depolanmaları süresince enerji içeriğinde meydana gelen azalma Şekil 5.26'da verilmektedir. En yüksek enerji kaybı gıda içeriği yüksek olan 6 ve 7 no'lu balyalarda görülmüştür. Bu sonucun, kolay

bozunabilir organik madde içeriği yüksek olan balyalarda meydana gelen biyolojik ayrışma reaksiyonlarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.26: Depolama süresince enerji içeriğinde meydana gelen azalma

5.3.4.1. Atık kompozisyonunun balyaların yakılarak bertarafına etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi

Gıda, kağıt-karton, plastik, tekstil, bahçe atıkları, odun, cam ve metal gibi atıkların farklı oranlarda karışımlarıyla hazırlanan balyaların uzun süre depolanmaları süresince yanma özelliklerinde meydana gelen değişimler yukarıda ayrıntılarıyla anlatılmıştır. Bu bölümde meydana gelen değişimlerin istatistik olarak değerlendirilebilmesi için depolama öncesi yanma özellikleri ve depolama sonrası meydana gelen değişimler ile atık kompozisyonu arasındaki ikili korelasyonlar incelenmiştir. Bunun yanında depolama öncesi yanma özelliklerinin (enerji içeriği, nem içeriği, toplam karbon, toplam kjeldahl azotu, kül içeriği) kendi aralarındaki ikili korelasyonları ile depolama sonrası yanma özelliklerindeki değişimlerin kendi aralarındaki ikili korelasyonları belirlenmiştir.

Yapılan istatistiksel çalışmalarda cam ve metal bileşenleri dahil edilmemiştir. Atık kompozisyonunun depolama öncesi yanma özelliklerine etkisi ile depolama sonrası meydana gelen yanma özelliklerindeki değişimlere etkisini açıklayan Pearson korelasyon katsayıları Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.12: Depolama öncesi özellikler ile depolama sonrası yanma özelliklerinde meydana gelen değişimlerle atık kompozisyonunun korelasyonları

Materyal	Depolama Öncesi					Depolama Sonrası			
	Enerji İçeriği	Nem İçeriği	Toplam Karbon	TKN	Kül İçeriği	Nem İçeriği Artışı	TOK Azalma	C/N Azalma	Enerji İçeriği Azalma
Gıda	-0,94	0,91	-0,95	-0,13	0,47	-0,64	0,66	0,45	0,79
Kağıt-Karton	0,67	-0,71	0,67	-0,56	0,37	0,90	-0,52	-0,33	-0,09
Plastik	0,92	-0,85	0,95	-0,20	-0,11	0,72	-0,78	-0,56	-0,56
Tekstil	0,31	-0,18	0,21	0,96	-0,92	-0,14	0,09	-0,19	-0,45
Bahçe	-0,06	-0,18	0,01	0,40	-0,50	-0,20	0,15	-0,15	-0,54
Odun	-0,09	0,02	0,05	-0,45	0,13	0,09	-0,22	-0,32	-0,34

Depolama öncesi oluşturulan balyaların kompozisyonunun yanma özellikleriyle ikili korelasyonlarına bakıldığında, enerji, nem ve karbon içeriğinde en önemli faktörün balyadaki gıda ve plastik içerikleri olduğu görülmektedir. Tablo 5.12’den de görülebileceği gibi gıda atığı miktarı kalorifik değerde % 94 negatif etki gösterirken, plastik atık miktarı % 92 pozitif yönde bir etkiye neden olmaktadır. Toplam karbon içeriğinde ise gıda atıkları % 95 negatif etkiye sahipken, plastik atıkları %95 pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Balyanın nem içeriğinin artmasında gıda atıkları % 90 etkili olurken, nem içeriği ile plastik atık arasında %85 negatif ilişki görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar yanma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan enerji, karbon ve nem içeriği gibi parametrelerinde kendi aralarında bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Yanma özelliklerinin birbirleriyle olan korelasyonları Tablo 5.13’de verilmektedir. Buradan da görülebileceği gibi, yakma ile bertarafın değerlendirilmesinde en önemli parametre olan enerji içeriğine etki eden önemli parametrelerin atığın karbon içeriği ve nem içeriği olduğu görülmüştür. Depolama öncesi enerji içeriğinde, nem içeriği negatif yönde % 83 etkili olurken, balyanın karbon içeriği pozitif yönde % 91 etkili olmaktadır.

Tablo 5.13: Depolama öncesi yanma özelliklerinin ikili korelasyonları

	Enerji İçeriği	Nem İçeriği	TK	TKN	Kül İçeriği
Enerji İçeriği	1	-0,83	0,91	-0,40	0,10
Nem İçeriği		1	-0,88	0,23	0,01
TK			1	-0,35	0,04
TKN				1	-0,89
Kül İçeriği					1

Gıda ve plastik atıkların özelliklerine baktığımızda, gıda atıkları yüksek nem içeriği ve düşük kalorifik değere sahipken, plastik atıkları ise düşük nem içeriği ve yüksek kolorifik değere sahip atıklardır. Nem içeriğinin enerji içeriğindeki % 83'lük negatif etkisi, nem içeriğini önemli oranda belirleyen gıda ve plastik atıklarının balya içerisindeki miktarlarıyla enerji içeriğindeki ikili korelasyonların % 90'ın üzerinde olmasına neden olmuştur.

Bu balyaların yakma ile bertarafı düşünüldüğünde, kül içerikleri de önemli etkenlerden birisi olmaktadır. Kül içeriği ile atık kompozisyonu arasındaki ikili korelasyonlara bakıldığında negatif yönde etkiyi % 92 ile tekstil atıkları gösterirken, pozitif etkiyi % 47 ile gıda atıkları göstermiştir. Aynı şekilde azot içeriğinin artmasında en önemli etkenin % 96 pozitif ilişki ile tekstil atıkları olduğu görülmüştür.

Depolama süreci sonrasında hazırlanan balyaların yanma özelliklerinde degradasyon reaksiyonları sonucu bir takım değişimler meydana gelmiştir. Yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı gibi nem içerikleri artarken, TOK, C/N oranı ve enerji içeriğinde azalmalar meydana gelmiştir. Meydana gelen bu değişimlerin atık kompozisyonu ile olan ikili korelasyonları Tablo 5.19'da görülmektedir. Nem içeriğindeki artışla, en yüksek pozitif korelasyon yaklaşık % 90 ile kağıt-karton içeriği arasındaki görülmüştür. Bunun nedeni kağıt-kartonun nem tutma kapasitesinin yüksek olmasından ve yağışlarla balya içerisine sızan sıvının daha fazla tutulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Depolama sürecinde meydana gelen biyolojik degradasyon reaksiyonlarıyla organik maddelerin oksitlenmesi sonucu balyaların toplam organik karbon içeriğinde azalma meydana gelmektedir. Meydana gelen bu azalmada atık kompozisyonunun etkisi ikili korelasyon ile incelendiğinde, yaklaşık % 66 korelasyona sahip olan gıda atıklarından kaynaklandığı görülmektedir. Organik karbon azalmasında negatif yönde etkinin ise yaklaşık % 78 ile plastik atıklarından kaynaklandığı görülmektedir. Bu oluşumların nedeni ise gıda atıklarının kolay bozunurken, plastik atıklarının daha zor bozunmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu durumu C/N oranındaki azalmayla atık kompozisyonu arasındaki ikili korelasyonlarda doğrulamaktadır. C/N

oranındaki azalma ile gıda atıkları arasında % 45 pozitif korelasyon varken, plastik atıkları arasında negatif % 56 etki görülmüştür. Bu sonuçlar aynı zamanda degradasyonun daha çok karbonlu maddelerden kaynaklandığını, degradasyonunun fazla olduğu gıda atığı yüksek balyalarda karbonlu maddelerin azalması sonucu C/N oranında azaldığı ortaya çıkmaktadır.

Enerji içeriğindeki azalma ile atık kompozisyonunun ikili korelasyonları incelendiğinde, enerji içeriğindeki azalma ile gıda atıkları miktarı arasında %79 pozitif korelasyon görülmektedir. Negatif yöndeki korelasyon ise en fazla % 56 ile plastik atıkları arasında görülmektedir. Bu durum depolama süresince enerji içeriğindeki azalmanın minimumda tutulabilmesi için gıda atıkları azaltılırken, plastik türü atıkların arttırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Depolama süresince meydana gelen değişimlerin birbirleriyle olan korelasyonları Tablo 5.14'de verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi, depolama süresince balyaların enerji içeriğinde meydana gelen azalmada, karbon içeriğindeki ve buna bağlı olarak C/N oranındaki azalma etkin olurken, nemdeki artışın enerjideki azalma ile negatif bir korelasyon gösterdiği görülmüştür.

Tablo 5.14: Depolama sonrası yanma özelliklerinde meydana gelen değişimlerin ikili korelasyonları

	Nem Artış	TOK Azalma	C/N Azalma	Enerji Azalma
Nem Artış	1	-0,32	-0,29	-0,19
TOK Azalma		1	0,76	0,41
C/N Azalma			1	0,37
Enerji Azalma				1

İkili korelasyon sonrası depolama öncesi enerji içerikleri ve depolama sonrası enerji içeriğindeki azalma ile balya kompozisyonundaki materyaller arasındaki ilişkileri doğrusal bir denklemlerle ifade etmek amacıyla çoklu lineer regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu yapılan işlemlerdeki amaç başlangıçtaki enerji içeriği seviyesinin ayarlanabilmesi ve uzun süreli depolama sonrasında atığın enerji içeriğindeki yüzdesel azalmanın belirlenebilmesidir. Bu model, gıda (G), kağıt-karton (K), plastik (P), tekstil (T), bahçe atıkları (B) ve odundan (O) oluşan 6 grubun 9 farklı değeriyle gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla $n=6 \times 9=54$ değişken kullanılmıştır.

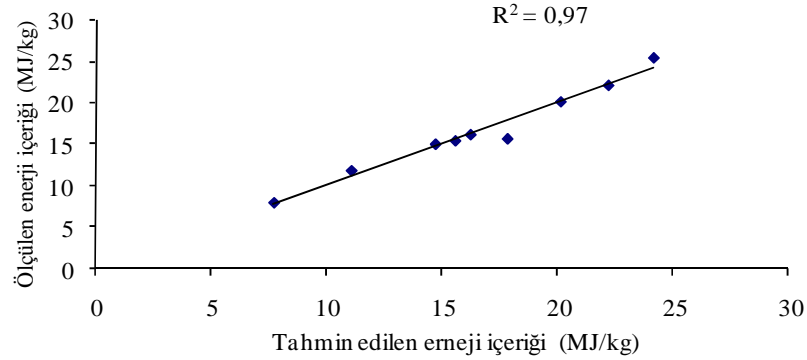
Depolama öncesi enerji içeriğinin belirlenmesi için regresyon denklemi aşağıda verilmiştir.

$$E(Mj/kg) = 77.192 - 0.766G - 0.427K - 0.521P - 0.580T - 0.734B - 0.546O \quad (5.2)$$

Burada;

- E : Başlangıçtaki enerji içeriği (Mj/kg)
G : Gıda atıklarının miktarı (%)
K : Kağıt-karton atıklarının miktarı (%)
P : Plastik atıkların miktarı (%)
T : Tekstil atıkların miktarı (%)
B : Bahçe atıklarının miktarı (%)
O : Odun atıkların miktarı (%)

Ölçülen değerlerle regresyon analizine göre tahmin edilen başlangıçtaki enerji içerikleri arasındaki ilişki Şekil 5.27’de verilmiştir. İlişkiye ait korelasyon katsayısı 0.97 olarak belirlenmiştir.

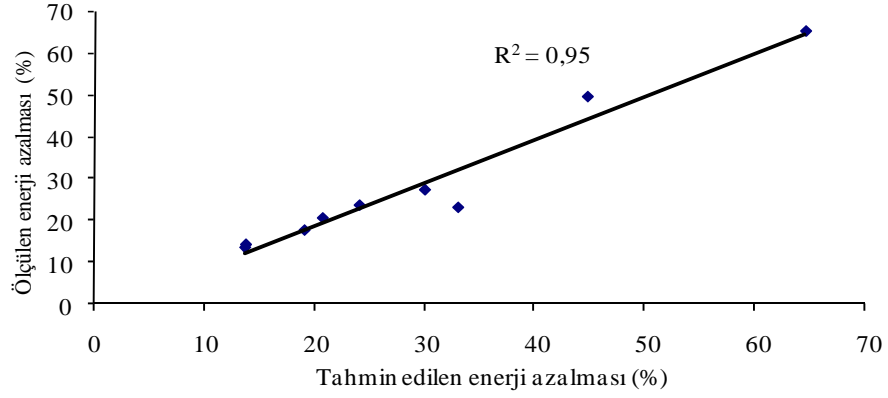


Şekil 5.27: Enerji içeriği için tahmin ile ölçülen değer arasındaki ilişki

Depolama süresince biyolojik ayrışma reaksiyonlarından dolayı meydana gelen enerji içeriğindeki yüzdesel azalmanın regresyon denklemi ise aşağıda verilmiştir.

$$EA(\%) = 11.026 + 0.531G + 1.407K - 1.174P - 0.021T - 0.757B - 0.569O \quad (5.3)$$

Depolama süresince enerji azalmasıyla ilgili ölçülen değerlerle regresyon denkleminde tahmin edilen değerler arasındaki ilişki Şekil 5.28’de verilmiştir. İlişkiye ait korelasyon katsayısı 0.95 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.28: Yüzdesele enerji azalması için tahmin ile ölçülen değer arasındaki ilişki

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, kentsel katı atıkların depolanmasında farklı bir uygulama olan balyalama teknolojisi incelenmiştir. İZAYDAŞ tarafından işletilen Gebze Kentsel Katı Atık Balyalama Tesisi'nde gerçekleştirilen çalışmalarda, kentsel katı atık balyalarının yakılarak bertaraf edilebilmesi için gerekli koşulların belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaca ulaşabilmek için çalışma 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar;

- Ön işlemlerin balyalanmış kentsel katı atıklara etkisinin incelenmesi
- Mevcut kentsel katı atık balyalarının yanabilirliğinin incelenmesi
- Yakmaya uygun ideal balyalanmış kentsel katı atık kompozisyonunun belirlenmesidir.

Uygulanan ön işlemlerin balyalama teknolojisi ile depolamaya etkisini belirlemek amacıyla, ön işlemsiz ham kentsel katı atıklarla, eleme-ayırıştırma ön işlemleri sonrası ve eleme-ayırıştırma-öğütme ön işlemleri sonrası olmak üzere üç farklı şekilde hazırlanan kentsel katı atık balyalarının depolama süresince meydana gelen gaz oluşumları ve yanma özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Üç farklı ön işleme hazırlanan kentsel katı atık balyalarının depolanmaları süresince meydana gelen gaz oluşumlarının benzer eğilimde olduğu belirlenmiştir. Ancak eleme-ön ayırıştırma işlemleri uygulanan balyalarda O₂ içeriği diğerlerine göre daha yavaş düşüş göstermiştir. Bu durum ayırıştırma yapılmayan balyalarda havanın tutulabileceği daha fazla boşlukların olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayırıştırmanın ilk safhalarında meydana gelen maksimum CO₂ oluşumu ise öğütme işlemiyle daha fazla yüzeyde ayırıştırmanın

sağlandığı balyalarda görülmüştür. Mevcut N₂ ve CH₄ gazındaki değişimler üç farklı ön işleme hazırlanan balyada da metan oluşumuna neden olacak anaerobik koşulların sağlanamadığını göstermektedir.

- 2) Farklı ön işlemlerle hazırlanmış balyaların TK, TOK, TKN, nem, pH ve kalorifik değer parametreleri karşılaştırmalı değerlendirmelerine bakıldığında kayda değer farklılıklar gözlenmemiştir. Sonuçların böyle çıkmasında uygulanan ön işlemlerin veriminin düşük olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.
- 3) Elde edilen bu sonuçlar, uygulanan ön işlemlerin balyaların depolama süresince meydana gelen gaz oluşumlarında ve yanma karakteristiğinde önemli bir değişime neden olmadığını göstermektedir. Sonuçların bu şekilde çıkmasındaki en önemli etken, ayrıştırma işleminin bir bant etrafındaki insanlar tarafından ve çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekliliğidir. Bu durum da ayrıştırmanın çok verimli bir şekilde gerçekleşmemesine ve ön ayrıştırmanın etkisiz gözükmesine neden olmaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 4) Her lottan üç farklı balya seçilerek gerçekleştirilen çalışma sonucunda, balyaların yüksek nem (ort. % 59) ve kül (ort. % 31-kuru bazda) içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Balyaların ortalama kalorifik değerleri ise 5.800 ile 7.300 kJ/kg aralığında değişim göstermektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar depolama alanında bulunan mevcut balyaların enerji geri kazanımlı yakma teknolojileri ile bertarafı için gerekli koşulları sağlayamadığı ve yakmadan enerji geri kazanımı için ilave yakıt desteğine ihtiyaç duyulacağı görülmektedir.

Çalışmanın son aşaması olan termal bertarafa uygun ideal balyalanmış kentsel katı atık kompozisyonunun belirlenmesi amacıyla farklı kompozisyona sahip 9 sentetik balya hazırlanmıştır. Bu balyalarla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 5) 9 farklı kompozisyona sahip balyalarda 10 ay boyunca gerçekleştirilen depolama işlemi süresince meydana gelen CO₂ gazı yüzdesel değişimlerinin, aerobik ayrışmanın gerçekleştiği ilk haftalarda organik atıkların parçalanması sonucu hızlı bir artış gösterdiği ve bir aylık depolama süreci sonunda ise kararlı bir hale geldiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, CO₂ oluşumunda kolay ayrışabilir gıda ve kolay ayrışmayan plastik atıklarının miktarının önemli rol oynadığını göstermiştir.
- 6) Farklı kompozisyondaki balyaların hepsinde oksijen hızlı bir şekilde tükenmektedir. Özellikle gıda içeriği yüksek olan balyalarda oksijen içeriği 5 gün içerisinde % 5'in altına inerken, diğer balyalarda bu süre 14 güne kadar sürmektedir. Hazırlanan balyaların tamamında metan oluşumu % 5'in altında kaldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar sentetik balyaların tamamında havalı ayrışmanın gerçekleştiğini göstermektedir.
- 7) Hazırlanan balyaların tamamında metan oluşumu % 5'in altında kaldığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, balyalanarak depolamanın metan oluşumu için gerekli koşulları sağlayamadığını açık bir şekilde göstermektedir. Dolayısıyla balyalama ile yapılan depolama kendiliğinden oluşabilecek yangın risklerini azaltmaktadır.
- 8) Depolama süresince nem içeriğindeki artışın özellikle Balya 9, 4 ve 5 gibi kağıt-karton içeriği yüksek olan balyalarda olduğu görülmüştür. Depolama süresince oluşan nem artışı ile atık kompozisyonundaki meteryallerin ikili korelasyonları incelendiğinde kağıt-karton içeriği ile elde edilen yaklaşık % 90 pozitif korelasyon bu durumu doğrulamaktadır. Bunun nedeni kağıt-kartonun nem tutma kapasitesinin yüksek olmasından ve yağışlarla balya içerisine sızan sıvının daha fazla tutulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- 9) Depolama sürecinde medyana gelen biyolojik ayrışma reaksiyonlarıyla organik maddelerin oksitlenmesi sonucu balyaların toplam organik karbon içeriğinde azalma meydana gelmektedir. Meydana gelen bu azalmada atık kompozisyonunun etkisi ikili korelasyon ile incelendiğinde, en yüksek pozitif

korelasyonun yaklaşık % 66 ile gıda atıklarından kaynaklanırken, negatif korelasyon ise % 78 ile plastik atıklarından kaynaklandığı görülmektedir. Bu oluşumların nedeni ise gıda atıklarının kolay ayrışırken, plastik atıklarının daha zor ayrışmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

10) C/N oranındaki azalma ile gıda atıkları arasında % 45 pozitif korelasyon varken, plastik atıkları arasında negatif % 56 etki görülmüştür. Bu sonuçlar aynı zamanda ayrışmanın daha çok karbonlu maddelerden kaynaklandığını, degradasyonunun fazla olduğu gıda atığı yüksek balyalarda karbonlu maddelerin azalması sonucu C/N oranının da azaldığı ortaya çıkmaktadır.

11) Enerji içeriğindeki azalma ile atık kompozisyonunun ikili korelasyonları incelendiğinde, enerji içeriğindeki azalma ile gıda atıkları miktarı arasında % 81 pozitif korelasyon görülmektedir. Negatif yöndeki korelasyon ise en fazla % 64 ile plastik atıkları arasında görülmektedir. Bu durum depolama süresince enerji içeriğindeki azalmanın minimumda tutulabilmesi için gıda atıkları azaltılırken, plastik türü atıkların artırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

6.2. Öneriler

Kentsel katı atıkların balyalanarak depolanması ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında, bu yöntem ile kentsel katı atık depolamayı düşünen kurum, kuruluş yada yerel yönetimler için öneriler aşağıda sıralanmıştır:

1) Balyalama ile yapılan depolamalar metan ve sızıntı suyu oluşumu gibi çevresel riskleri en aza indirmektedir. Ancak balyalanarak depolanan kentsel katı atıkların, klasik yığın depolamayla karşılaştırıldığında daha fazla yer kapladığı görülmektedir. Dolayısıyla üretilen bu balyalarında tekrar uygun bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir.

2) Balyaların bertarafında en ideal yöntem yakmadır. Dolayısıyla balyalama teknolojisi, kentsel katı atık yakma tesislerinde, tesis bakıma alındığında yada

tesis kapasitesinin gelen atığı karşılayamadığı durumlarda çevresel riskleri en aza indirmek için atıkların geçici depolanmasında tercih edilmelidir.

- 3) Kentsel katı atık balyalarının ilave yakıtsız enerji geri kazanımı sağlayacak şekilde yakılarak bertaraf edilebilmesi için enerji içeriği en az 8.000 kJ/kg olmalıdır.
- 4) Depolama öncesi enerji içeriğini ve depolama sonrası enerjideki azalmayı belirleyen regresyon denklemlerinden yararlanarak enerji içeriği 8.000 kJ/kg'ın üzerinde olacak şekilde atık kompozisyonunun ayarlanması bu balyaların yakılarak bertarafını kolaylaştıracaktır.
- 5) Önceden hazırlanmış kentsel katı atık balyaları bu özelliklere sahip değilse, yakma öncesi nem içeriğinin azaltılmasına yönelik çalışmalarla bu atıkların yanabilirlikleri arttırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Ağdağ, O.N., “Comparison of old and new municipal solid waste management systems in Denizli, Turkey”, *Waste Management* **29**, 456-464, (2009).
2. Ahlgren, P., Jarneving, B., Rousseau, R., “Requirements for a cocitation similarity measure, with special reference to Pearson’s correlation coefficient”, *Journal of The American Society for Information Science and Technology* **54**, 550-560, (2003).
3. Ali, M.F., Siddiqui, M.N., “Thermal and catalytic decomposition behavior of PVC mixed plastic waste with petroleum residue”, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **74**, 282–289, (2005).
4. Andric, E.K., Brana, J., Gvozdic, V., “Impact of meteorological factors on ozone concentrations modelled by time series analysis and multivariate statistical methods”, *Ecological Informatics* **4**, 117-122, (2009).
5. Baldasano, J.M., Gasso, S., “Application of baling-wrapping technology for reduction of GHG emissions from MSW.”, *Eight International Waste Management and Landfill Symposium*, 351-360 Italy, 1-5 October (2001).
6. Baldasano, J.M., Gasso, S., Perez, C., “Environmental performance review and cost analysis of MSW landfilling by baling-wrapping technology versus conventional system”, *Waste Management* **23**, 795-806, (2003).
7. Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A., “Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey”, *Waste Management* **29**, 54-62, (2009).
8. Berkun, M., Aras, E., Nemlioglu, S., “ Disposal of solid waste in Istanbul and along the Black Sea coast of Turkey”, *Waste Management* **25**, 847-855, (2005).
9. Buekens, A.G., Huang, H., “Catalytic plastics cracking for recovery of gasoline-range hydrocarbons from municipal plastic wastes”, *Resources, Conservation and Recycling* **23**, 163–181, (1998).
10. Carlon, C., Valle, M.D., Marcomini, A., “Regression models to predict water–soil heavy metals partition coefficients in risk assessment studies”, *Environmental Pollution* **127**, 109-115, (2004).
11. Chang, Y.F., Lin, C.J., Chyan, J.M., Chen, I.M., Chang, J.E., “Multiple regression models for the lower heating value of municipal solid waste in Taiwan”, *Journal of Environmental Management* **85**, 891-899, (2007).

12. Chen, X., Geng, Y., Fujita, T., “An overview of municipal solid waste management in China”, *Waste Management* **30**, 716-724, (2010).
13. Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Nonthapund, U., Sittichoktam, S., 2004, Acceleration of solid waste biodegradation in tropical landfill using bioreactor landfill concept [online], Kasetsart University, <http://www.swlf.ait.ac.th/data/pdfs/ASWB1.pdf>, (**Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2011**).
14. Demirci, E., Cuhadaroglu, B., “Statistical analysis of wind circulation and air pollution in urban Trabzon”, *Energy and Buildings* **31**, 49-53, (2000).
15. Eevli, Ş., Demirci, A., “Bazı kömür özelliklerinin termik santral verimliliği ve kömür fiyatları üzerine etkilerinin araştırılması”, *Türkiye 14. Kömür Kongresi*, 285-291 Zonguldak, 2-4 Haziran (2004).
16. Erdem, A.M., Çubukçu, E.E., Erdoğan, D., “Belediye atıkları yönetiminde biyometanizasyon teknolojisi”, *2. Atık Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi*, Çevre ve Orman Bakanlığı, 13-18 İstanbul, 04-05 Kasım (2010).
17. Fadel, M.E., Zeid, E.B., Chahine, W., Alayli, B., “Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content”, *Waste Management* **22**, 269-282, (2002).
18. Farquhar, G.J., and Rovers, F.A., “Gas production during refuse decomposition.”, *Water, Air, and Soil Pollution* **2**, 483-495, (1973).
19. Golfiopoulos, S.K., Arhonditsis, G.B., “Multiple regression models: A methodology for evaluating trihalomethane concentrations in drinking water from raw water characteristics”, *Chemosphere* **47**, 1007-1018, (2002).
20. Gunaseelan, V.N., “Anaerobik digestion of biomass for methane production: A review”, *Biomass and Bioenergy* **13**, 83-114, (1997).
21. Gunaseelan, V.N., “Regression models of ultimate methane yields of fruits and vegetable solid wastes, sorghum and napiergrass on chemical composition”, *Bioresource Technology* **98**, 1270-1277, (2007).
22. Gunter, J.T., Hodges, D.G., Regens, J.L., “Probability models for predicting local water quality regulations in the southern United States”, *Forest Policy and Economics* **7**, 868-876, (2005).
23. Hogland, W., Marques, M., Nammari, D. R., Nimmermark, S., Moutavtchi, V., “Risks for fires in storage with baled waste fuels”, *Eight International Waste Management and Landfill Symposium*, Italy, 1-5 October (2001).
24. Hogland, W., Nimmermark, S. and Marques, M., “Baling of waste fuels: risk of fire”, *7th Danish-Polish Workshop Biomass for Energy*, Poland, 7-10 December (2000).

25. Hossain, M.D.S., Haque, M.A., “The effects of daily cover soils on shear strength of municipal solid waste in bioreactor landfills”, *Waste Management* **29**, 1568-1576, (2009).
26. Hui, Y., Li’ao, W., Fenwei, S., Hang, H., “Urban solid waste management in Chongqing: Challenges and opportunities”, *Waste Management* **26**, 1052-1062, (2006).
27. Igoni, A.H., Ayotamuno, M.J., Eze, C.L., Ogaji, S.O.T., Probert, S.D., “Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste”, *Applied Energy* **85**, 430-438, (2008).
28. İgoni, A.H., Ayotamuno, M.J., Ogaji, S.O.T., Probert, S.D., “Municipal solid-waste in Port Harcourt, Nigeria”, *Applied Energy* **84**, 664-670, (2007).
29. Kaçar, Y., “Evsel katı atıklardan yakma prosesi ile enerji eldesi”, **3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi**, 1-15 İzmir, 25-16 Kasım (1999).
30. Kathirvale, S., Yunus, M.N.M., Sopian, K., and A.H. Samsuddin. “Energy potential from municipal solid waste in Malaysia”, *Renewable Energy* **29**, 559-567, (2003).
31. Kaymakçı, E., Didari, V., “Kömür özellikleri ile kendiliğinden yanma parametreleri arasındaki ilişkiler”, **Türkiye 12. Kömür Kongresi**, 147-156 Karadeniz Ereğli, 23-26 Mayıs (2000).
32. Keser, S., “Katı atık düzenli depolama sahalarında oluşan çöp sızıntı suları ve arıtılması üzerine incelemeler”, Yüksek Lisans Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzurum, 29-32, (2008).
33. Kreith, F., “Handbook of solid waste management”, **McGraw-Hill, Inc.**, Chapter 12, 11-19, (1994).
34. Liang, L., Sun, R., Fei, J., Wu, S., Liu, X., Dai, K., Yao, N., “Experimental study on effects of moisture content on combustion characteristics of simulated municipal solid wastes in a fixed bed”, *Bioresource Technology* **99**, 7238-7246, (2008).
35. Li’ao, W., Ting’quan, P., Chuan, H., Hui, Y., “Management of municipal solid waste in the Three Gorges region”, *Waste Management* **29**, 2203-2208, (2009).
36. Marques, M., “Solid Waste and the Water Environment in the New European Union Prospective”, Doktora Tezi, **Department of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology**, Sweden, (2000).
37. Martinez, F.R., Gourdon, R., “Effect of baling on the behaviour of domestic wastes: laboratory study on the role of pH in biodegradation”, *Bioresource Technology* **69**, 15-22, (1999).

38. Martinez, F.R., Gourdon, R., “Long-term behaviour of baled household waste”, *Bioresource Technology* **72**,125-130, (2000).
39. Minghua, Z., Xiumin, F., Rovetta, A., Qichang, H., Vicentini, F., Bingkai, L., Giusti, A., Yi, L., “Municipal solid waste management in Pudong New Area, China”, *Waste Management* **29**, 1227-1233, (2009).
40. Miranda, R., Blanco, C.S., Martinez, D.B., Vasile, C., “Pyrolysis of textile wastes-I. Kinetics and yields”, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **80**, 489–495, (2007).
41. Muthuraman, M., Namioka, T., Yhshikawa, K., “A comparative study on co-combustion performance of municipal solid waste and Indonesian coal with high ash Indian coal: A thermogravimetric analysis”, *Fuel Processing Technology* **91**, 550-558, (2010).
42. Nammari, D.R., Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S., Moutavtchi, V., “Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales”, *Waste Management* **24**, 9-18, (2004).
43. Nammari, D.R., Marques, M., Thörneby, L., Hogland, W., Mathiasson, L., Martensson, L., “Emissions from baled municipal solid waste: I. Methodological approach for investigation of gaseous emissions”, *Waste Management & Research* **25**, 39-48, (2007a).
44. Nammari, D.R., Marques, M., Hogland, W., Mathiasson, L., Thörneby, L., Martensson, L., “Emissions from baled municipal solid waste: II. Effects of different treatments and baling techniques on the emission of volatile organic compounds”, *Waste Management & Research* **25**, 109-118, (2007b).
45. Öztürk, M., 2008, ”Katı atık depolama alanında metan gazı oluşumu [online], <http://www.mozturk.net/Upload//DEPO%20GAZI.pdf>, (**Ziyaret tarihi: 09 Mayıs 2011**).
46. Öztürk, M., Karali, İ.,2009, Çöp depolama alanlarında biogaz üretimi [online], [http://www.mozturk.net/Upload//depolama%20alanlar-1\(4\).pdf](http://www.mozturk.net/Upload//depolama%20alanlar-1(4).pdf), (**Ziyaret tarihi: 22 Ekim 2010**).
47. Quadis, M.A., Qadis, H.A.A., “Energy content of municipal solid waste in Jordan and its potential utilization”, *Energy Conversion & Management* **41**, 983-991, (2000).
48. Palabıyık, H., Altunbaş, D., “Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar”, 1. Bası, Editör C. Marin, U. Yıldırım (Ed.), *Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.*, 103-124, (2004).
49. Patumsawad, S., Cliffe, K.R., “Experimental study on fluidised bed combustion of high moisture municipal solid waste”, *Energy Conversion and Management* **43**, 2329-2340,(2002).

50. Philippe, F., Culot, M., “Household solid waste generation and characteristics in Cape Haitian city, Republic of Haiti”, *Resources, Conservation and Recycling* **54**, 73-78, (2009).
51. Pommier, S., Llamas, A.M., Lefebvre, X., “Analysis of the outcome of shredding pretreatment on the anaerobic biodegradability of paper and cardboard materials”, *Bioresource Technology* **101**, 463–468, (2010).
52. Rettenberger, G., Stegmann, R., “Landfilling of Waste: Biogas”, T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann (Ed.), *UK: E F & N Spon*, 51-58, (1996).
53. Ruth, L.A., “Energy from municipal solid waste: a comparison with coal combustion technology”, *Progress in Energy and Combustion Science* **24**, 545-564, (1998).
54. Ryu, C., Phan, A.N., Sharifi, V.N., Swithenbank, J., “Combustion of textile residues in a packed bed”, *Experimental Thermal and Fluid Science* **31**, 887–895, (2007).
55. Selvam, A., Xu, S.Y., Gu, X.Y., Wong, J.W.C., “Food waste decomposition in leachbed reactor: Role of neutralizing solutions on the leachate quality”, *Bioresource Technology* **101**, 1707-1714, (2010).
56. Shearer, B., “Enhanced biodegradation in landfills”, Yüksek Lisans Tezi, *Faculty of Virginia Polytechnic Institute of State University*, Virginia, 1-13, (2001).
57. Shi, J.P., Harrison, R.M., “Regression modelling of hourly NO_x ve NO₂ concentrations in urban air in London”, *Atmospheric Environment* **31**, 4081-4094, (1997).
58. Sousa, S.I.V., Martins, F.G., Ferraz, M.C.M.A., Pereira, M.C., “Multiple linear regression and artificial neural networks based on principal components to predict ozone concentrations”, *Environmental Modelling & Software* **22**, 97-103, (2007).
59. Suksankraisorn, K., Patumsawad, S., Fungtammasan, B., “Co-firing of Thai lignite and municipal solid waste (MSW) in a fluidised bed: Effect of MSW moisture content”, *Applied Thermal Engineering* **30**, 2693-2697, (2010).
60. Şahin, C., Serin, N., “İsparta kenti eski çöp depolama alanının bitkilendirilmesi üzerine araştırmalar”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A 1, 121-133, (2008).
61. Tamaddon, F., Hogland, W., Kjellberg, J., “Storage of Waste-Fuel by Baling Technique”, *Report 3188, Lund University/Bala Pres AB*, (1995).
62. Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., “Integrated solid waste management”, International Editions, *Mc Graw-Hill Companies*, 69-98, (1993).

63. Themelis, N.J., Kim, Y.H., “Material and energy balances in a large-scale aerobic bioconversion cell”, *Waste Management and Research* **20**, 234-242, (2002).
64. Tsagas, F., Petalas, A., Markidis, I., Tsakmakis, I., Grigoropoulos, N., Dermatas, D., “Baling-wrapping technology and MSW management: Insights from a pilot case study in Alexandroupolis, Greece”, *11th International Conference on Environmental Science and Technology*, Greece, 3-5 September (2009).
65. Turan, N.G., Çoruh, S., Akdemir, A., Ergun, O.N., “Municipal solid waste management strategies in Turkey”, *Waste Management* **29**, 465-469, (2009).
66. Yılmaz, A.H., Atalay, F.S., “Modeling of the anaerobic decomposition of solid wastes”, *Energy Sources* **25**, 1063-1072, (2003).
67. Wagner, J., Bilitewski, B., “The temporary storage of municipal solid waste – Recommendations for a safe operation of interim storage facilities”, *Waste Management* **29**, 1693-1701, (2009).
68. Zhang, H., He, P.J., Shao, L.M., “Fate of heavy metals during municipal solid waste incineration in Shanghai”, *Journal of Hazardous Materials* **156**, 365–373, (2008).
69. Zhang, D.Q., He, P.J., Shao, L.M., “Potential gases emissions from the combustion of municipal solid waste by bio-drying”, *Journal of Hazardous Materials* **168**, 1497-1503, (2009).

EKLER

Depolama Süresince Balyalarda Meydana Gelen Gaz Oluşumları				
BALYA 1				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
26.12.2009	25	15	59.8	0.1
27.12.2009	32	16	51.8	0.1
28.12.2006	35	12.6	52.3	0
29.12.2009	30	16.9	53	0
30.12.2009	38	10.1	51.6	0.2
31.12.2009	32	9.2	58.5	0.2
01.01.2010	40	5.9	53.4	0.6
02.01.2010	30	7.3	62.3	0.3
03.01.2010	35	4.9	59.6	0.4
04.01.2010	31	7.9	60.8	0.2
06.01.2010	50	0.0	49.7	0.2
08.01.2010	55	0.0	44.6	0.3
10.01.2010	55	0.0	44.8	0.1
12.01.2010	45	0.0	54.7	0.2
15.01.2010	39	0.0	60.7	0.2
18.01.2010	39	0.0	60.7	0.2
20.01.2010	29	4.5	66.2	0.2
23.01.2010	15	9.6	75.2	0.1
26.01.2010	20	10.8	69	0.1
01.02.2010	22	3.8	73.9	0.2
08.02.2010	27	11.8	61	0.1
16.02.2010	25	10.6	64	0.3
23.02.2010	28	9.4	62.2	0.3
02.03.2010	28	8.9	62.7	0.3
09.03.2010	19	5.6	75.1	0.2
18.03.2010	18	4.9	76.8	0.2
25.03.2010	25	3.9	70.9	0.1
23.04.2010	17	4.2	78.4	0.3
29.04.2010	18	2.0	79.7	0.2
06.05.2010	19	2.9	77.6	0.4
13.05.2010	19	3.6	76.7	0.6
19.05.2010	20	3.6	75.3	1
27.05.2010	19	2.5	76.9	1.5
03.06.2010	24	0.3	72.5	3.1
10.06.2010	21	1.1	74.4	3.4
17.06.2010	24	0.8	71	4.1
25.06.2010	20	1.0	75.8	3.1
01.07.2010	23	0.9	73.5	2.5
08.07.2010	23	0.8	73.1	3
22.07.2010	21	0.5	75.4	3
07.08.2010	21	0.9	75.2	2.8
08.09.2010	15	1.1	83.3	0.5
25.10.2010	17	1.2	81.4	0.3

Depolama Süresince Balyalarda Meydana Gelen Gaz Oluşumları				
BALYA 2				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
25.12.2009	70	12.2	17.7	0
26.12.2009	70	10.9	18.7	0.3
27.12.2009	65	12.7	22.0	0.2
28.12.2006	70	14.7	15.1	0.1
29.12.2009	60	14.6	25.2	0.1
30.12.2009	45	7.3	47.4	0.2
31.12.2009	50	15.1	34.7	0.1
01.01.2010	50	13.7	36.1	0.1
02.01.2010	30	12.4	57.4	0.1
03.01.2010	30	7.9	61.8	0.2
04.01.2010	30	7.6	62.2	0.1
06.01.2010	26	3.4	70.3	0.2
08.01.2010	45	0	54.9	0
10.01.2010	45	0	54.9	0
12.01.2010	45	0	54.9	0
15.01.2010	33	0	66.8	0.1
18.01.2010	30	0	69.8	0.1
20.01.2010	27	0	72.8	0.1
23.01.2010	27	0	72.8	0.1
26.01.2010	28	5.5	66.3	0.1
01.02.2010	22	6.9	70.9	0.1
08.02.2010	23	11.6	65.2	0.1
16.02.2010	26	10.9	62.9	0.1
23.02.2010	30	9.4	60.4	0.1
02.03.2010	26	8.8	65	0.1
09.03.2010	26	5.9	68	0
18.03.2010	26	4.8	69.1	0
25.03.2010	25	4.2	70.7	0
23.04.2010	26	1.2	72.6	0.1
29.04.2010	19	6.2	74.6	0.1
06.05.2010	17	5.8	77	0.1
13.05.2010	23	1.7	75	0.2
19.05.2010	18	3.9	77.6	0.4
27.05.2010	20	2.1	75.8	2
03.06.2010	21	1.5	75	2.4
10.06.2010	19	1.4	76.9	2.6
17.06.2010	21	0.9	74.6	3.4
25.06.2010	20	1.2	75.7	3
01.07.2010	22	0.4	74.5	3
08.07.2010	16	1.2	81.3	1.4
22.07.2010	21	0.8	75.6	2.5
07.08.2010	16	2.1	80.3	1.5
08.09.2010	13	4.4	82	0.5
25.10.2010	17	1.1	81.5	0.3

BALYA 3				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
25.12.2009	27	15.9	56.9	0.1
26.12.2009	65	13.8	20.7	0.4
27.12.2009	65	13.2	21.6	0.1
28.12.2006	60	14.2	25.7	0
29.12.2009	65	14.9	20.0	0
30.12.2009	60	14	25.8	0.1
31.12.2009	55	13	31.6	0.3
01.01.2010	30	15.9	53.8	0.2
02.01.2010	28	9.2	62.5	0.2
03.01.2010	30	5.3	64.3	0.3
04.01.2010	28	4.8	66.9	0.2
06.01.2010	22	3.8	73.9	0.2
08.01.2010	30	0.9	69	0
10.01.2010	37	0	62.7	0.2
12.01.2010	35	0	64.7	0.2
15.01.2010	29	0	70.7	0.2
18.01.2010	25	0	74.7	0.2
20.01.2010	18	5.4	76.3	0.2
23.01.2010	20	9.6	70.2	0.1
26.01.2010	22	10.9	66.9	0.1
01.02.2010	18	10.6	71.1	0.2
08.02.2010	18	11.2	70.6	0.1
16.02.2010	19	10.8	69.9	0.2
23.02.2010	20	9.4	70.2	0.3
02.03.2010	20	9	70.7	0.2
09.03.2010	18	5.4	76.4	0.1
18.03.2010	19	4.8	76.1	0
25.03.2010	19	3.8	77	0.1
23.04.2010	20	0.1	79.7	0.1
29.04.2010	17	4.7	78	0.2
06.05.2010	18	1.4	80	0.5
13.05.2010	20	0.2	79.2	0.5
19.05.2010	18	2.6	78.8	0.5
27.05.2010	17	0.8	81.6	0.5
03.06.2010	21	0.5	76.9	1.5
10.06.2010	19	0.6	78.6	1.7
17.06.2010	21	0.5	75.5	2.9
25.06.2010	18	0.4	79.4	2.1
01.07.2010	19	0.5	78.3	2.1
08.07.2010	21	0.3	76	2.6
22.07.2010	21	0.3	75.9	2.7
07.08.2010	22	0.2	74.4	3.3
08.09.2010	17	0.1	80.7	2.1
25.10.2010	17	0.2	81	1.7

Depolama Süresince Balyalarda Meydana Gelen Gaz Oluşumları				
BALYA 4				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
25.12.2009	10	17	72.7	0.2
26.12.2009	50	13.1	36.5	0.3
27.12.2009	50	14.6	35.1	0.2
28.12.2006	20	13.7	66	0.2
29.12.2009	22	16.1	61.7	0.1
30.12.2009	26	10.4	63.3	0.2
31.12.2009	30	9.2	60.5	0.2
01.01.2010	34	5.2	60.5	0.2
02.01.2010	45	2.1	52.6	0.2
03.01.2010	45	1.5	52.9	0.5
04.01.2010	40	0.9	58.6	0.4
06.01.2010	37	0.9	61.7	0.3
08.01.2010	50	0.6	49.1	0.2
10.01.2010	50	0.4	49.2	0.3
12.01.2010	50	0	49.6	0.3
15.01.2010	55	0	44.5	0.4
18.01.2010	45	0	54.5	0.4
20.01.2010	45	0	54.6	0.3
23.01.2010	31	9.9	58.8	0.2
26.01.2010	33	10.4	56.2	0.3
01.02.2010	28	10.4	61.2	0.3
08.02.2010	27	10.5	62.2	0.2
16.02.2010	27	10.4	62.2	0.3
23.02.2010	27	9	63.6	0.3
02.03.2010	28	8.8	62.7	0.4
09.03.2010	27	5.2	67.5	0.2
18.03.2010	31	4.5	64.2	0.2
25.03.2010	27	4.2	68.6	0.1
23.04.2010	22	3.3	73.7	0.9
29.04.2010	19	2.4	77.4	1.1
06.05.2010	22	0.7	75.8	1.4
13.05.2010	23	0.2	75	1.7
19.05.2010	15	2.8	80.6	1.5
27.05.2010	13	2.7	83	1.2
03.06.2010	19	0.2	78.4	2.3
10.06.2010	13	2.5	83.4	1
17.06.2010	13	2.7	82.9	1.3
25.06.2010	17	0.3	80.1	2.5
01.07.2010	16	0.6	81	2.3
08.07.2010	18	0.7	78.3	2.9
22.07.2010	19	0.7	76.8	3.4
07.08.2010	18	0.7	78.2	3
08.09.2010	16	0.5	80.4	3
25.10.2010	15	1.2	82.9	0.8

Depolama Süresince Balyalarda Meydana Gelen Gaz Oluşumları				
BALYA 5				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
25.12.2009	11	16.2	72.7	0
26.12.2009	65	12.7	22	0.2
27.12.2009	65	14.1	20.6	0.2
28.12.2006	65	11.6	23.2	0.1
29.12.2009	70	9.5	20.2	0.2
30.12.2009	70	0	29.7	0.2
31.12.2009	70	0.5	29.2	0.2
01.01.2010	65	2.4	32.3	0.2
02.01.2010	60	0.1	39.5	0.3
03.01.2010	55	0.6	43.9	0.4
04.01.2010	50	2.9	46.8	0.2
06.01.2010	45	2.2	52.5	0.2
08.01.2010	45	1.4	53.3	0.2
10.01.2010	38	1.4	60.4	0.1
12.01.2010	37	2.1	60.7	0.1
15.01.2010	40	0.5	59.2	0.2
18.01.2010	38	1	60.7	0.2
20.01.2010	35	1.2	63.5	0.2
23.01.2010	28	9.4	62.4	0.1
26.01.2010	30	9.2	60.5	0.2
01.02.2010	28	9	62.8	0.1
08.02.2010	28	8.8	63	0.1
16.02.2010	28	8.5	63.3	0.1
23.02.2010	28	8.5	63.2	0.2
02.03.2010	26	7.1	66.6	0.2
09.03.2010	24	5.4	70.4	0.1
18.03.2010	22	4.7	73.2	0
25.03.2010	20	4	75.9	0
23.04.2010	16	3.2	80.6	0.1
29.04.2010	16	1.7	82.1	0.1
06.05.2010	15	2.7	82.1	0.1
13.05.2010	16	3	80.8	0.1
19.05.2010	16	2.5	81.1	0.3
27.05.2010	19	0.5	79.4	1
03.06.2010	16	3.5	78.8	1.6
10.06.2010	20	0.5	77.4	2
17.06.2010	20	1.4	76	2.5
25.06.2010	18	1	79	1.9
01.07.2010	17	1.5	79.5	1.9
08.07.2010	17	1.5	79.6	1.8
22.07.2010	17	2	79	1.9
07.08.2010	19	0.5	77.8	2.6
08.09.2010	16	0.5	81.9	1.5
25.10.2010	15	1.7	82.9	0.3

Depolama Süresince Balyalarda Meydana Gelen Gaz Oluşumları				
BALYA 6				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
26.12.2009	29	15.4	55.4	0.1
27.12.2009	65	14	20.9	0
28.12.2006	65	13	21.9	0
29.12.2009	65	13.4	21.5	0
30.12.2009	75	3.8	20.7	0.4
31.12.2009	75	2	22.5	0.4
01.01.2010	75	0.8	23.6	0.5
02.01.2010	55	1.7	42.8	0.4
03.01.2010	60	0.6	38.9	0.4
04.01.2010	45	4.9	49.8	0.2
06.01.2010	45	3.9	50.8	0.2
08.01.2010	50	1.1	48.5	0.3
10.01.2010	55	0	44.4	0.5
12.01.2010	50	0	49.5	0.4
15.01.2010	55	0	44.7	0.2
18.01.2010	50	0	49.6	0.3
20.01.2010	45	0	54.7	0.2
23.01.2010	40	10.4	49.3	0.2
26.01.2010	35	10.5	54.3	0.1
01.02.2010	31	10.5	58.3	0.1
08.02.2010	28	10.3	61.5	0.1
16.02.2010	27	10.1	62.6	0.2
23.02.2010	28	9.1	62.4	0.4
02.03.2010	31	8	60.5	0.4
09.03.2010	29	5.2	65.5	0.2
18.03.2010	28	4.4	67.3	0.2
25.03.2010	27	4	68.7	0.2
23.04.2010	28	0.1	71.3	0.5
29.04.2010	26	0.6	72.9	0.4
06.05.2010	22	2.5	74.9	0.5
13.05.2010	22	1.5	75.7	0.7
19.05.2010	23	3	73.5	0.4
27.05.2010	23	2.7	73.4	0.8
03.06.2010	26	1.6	71	1.3
10.06.2010	24	0.2	74.1	1.6
17.06.2010	25	1	71.9	2
25.06.2010	23	1	74.1	1.8
01.07.2010	24	0.4	74.1	1.4
08.07.2010	23	0.7	75	1.2
22.07.2010	22	0.5	76.2	1.2
07.08.2010	23	0.2	75.9	0.8
08.09.2010	18	3.5	77.7	0.7
25.10.2010	17	8	74.7	0.2

Depolama Süresince Balyalarda Meydana Gelen Gaz Oluşumları				
BALYA 7				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
26.12.2009	80	13.1	6.5	0.3
27.12.2009	75	14.5	10.1	0.3
28.12.2006	70	8.8	20.9	0.2
29.12.2009	60	7.7	32	0.2
30.12.2009	65	4	30.5	0.4
31.12.2009	50	0.7	48.9	0.3
01.01.2010	55	0.5	44	0.4
02.01.2010	60	0	39.5	0.4
03.01.2010	60	0	39.4	0.5
04.01.2010	40	2.3	57.3	0.3
06.01.2010	45	0	54.7	0.2
08.01.2010	37	0.9	61.7	0.3
10.01.2010	39	0	60.6	0.3
12.01.2010	45	0	54.7	0.2
15.01.2010	40	0	59.7	0.2
18.01.2010	45	0	54.6	0.3
20.01.2010	23	7.5	69.2	0.2
23.01.2010	16	10.7	73.1	0.1
26.01.2010	27	11	61.8	0.1
01.02.2010	27	10.9	61.8	0.2
08.02.2010	31	12	56.7	0.2
16.02.2010	24	10.8	64.7	0.4
23.02.2010	32	7.8	59.7	0.4
02.03.2010	30	6.5	63	0.4
09.03.2010	28	5.7	66	0.2
18.03.2010	25	5.1	69.6	0.2
25.03.2010	20	4.2	75.5	0.2
23.04.2010	18	6.6	74.7	0.6
29.04.2010	19	4.9	75.2	0.8
06.05.2010	21	4.7	73.3	0.9
13.05.2010	26	0.8	71.5	1.6
19.05.2010	20	2.5	76	1.4
27.05.2010	17	2.8	77.6	2.5
03.06.2010	18	2.6	74.3	5
10.06.2010	17	0.9	79.3	2.7
17.06.2010	19	0.9	76.4	3.6
25.06.2010	18	1.2	77.2	3.5
01.07.2010	19	0.9	76.6	3.4
08.07.2010	18	0.8	78.4	2.7
22.07.2010	17	0.9	79	3
07.08.2010	19	0.5	77.2	3.2
08.09.2010	15	1.3	81.9	1.7
25.10.2010	11	3.2	85.4	0.3

Depolama Süresince Balyalarda Meydana Gelen Gaz Oluşumları				
BALYA 8				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
26.12.2009	35	15.9	48.8	0.2
27.12.2009	60	14.5	25.3	0.1
28.12.2006	60	10.2	29.6	0.1
29.12.2009	65	9.7	25	0.2
30.12.2009	60	3.9	35.6	0.4
31.12.2009	65	2.1	32.6	0.2
01.01.2010	60	3.5	36.1	0.3
02.01.2010	65	0	34.4	0.5
03.01.2010	50	3.7	45.8	0.4
04.01.2010	50	2.5	47.2	0.2
06.01.2010	55	1.7	42.9	0.3
08.01.2010	50	3.7	46	0.2
10.01.2010	50	2.6	47	0.3
12.01.2010	45	3.5	51.1	0.3
15.01.2010	38	5.3	56.5	0.1
18.01.2010	40	4.3	55.3	0.3
20.01.2010	38	0.4	61.3	0.2
23.01.2010	31	10.5	58.3	0.1
26.01.2010	36	10.7	53	0.2
01.02.2010	35	10.6	54.1	0.2
08.02.2010	35	10.5	54.2	0.2
16.02.2010	35	10	54.8	0.1
23.02.2010	28	8.8	62.9	0.2
02.03.2010	26	8.7	65	0.2
09.03.2010	18	5.3	76.5	0.1
18.03.2010	18	4.7	77.2	0
25.03.2010	18	4.5	77.4	0
23.04.2010	18	3.8	77.9	0.2
29.04.2010	17	1.4	81.1	0.4
06.05.2010	17	2.1	80.2	0.6
13.05.2010	17	3.2	79.1	0.6
19.05.2010	17	1.6	80.8	0.5
27.05.2010	19	1.9	77.8	1.2
03.06.2010	19	2	77.1	1.8
10.06.2010	20	3.1	75	1.8
17.06.2010	23	0.6	74.3	2
25.06.2010	19	1.4	77.7	1.8
01.07.2010	21	0.5	76.4	2
08.07.2010	17	1.5	80.5	0.9
22.07.2010	21	0.5	75.5	2.9
07.08.2010	21	0.6	75.1	3.2
08.09.2010	8.4	10	80.8	0.7
25.10.2010	9.4	11	79	0.5

Depolama Süresince Balyalarda Meydana Gelen Gaz Oluşumları				
BALYA 9				
Tarih	Gaz Oluşumu (%)			
	CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄
26.12.2009	37	15	47.8	0.1
27.12.2009	40	13.3	46.4	0.2
28.12.2006	45	10.2	44.5	0.2
29.12.2009	40	14.9	44.9	0.1
30.12.2009	45	5.4	49.4	0.1
31.12.2009	45	5.3	49.5	0.1
01.01.2010	45	4.7	50.1	0.1
02.01.2010	40	1.6	57.9	0.4
03.01.2010	40	0.9	58.7	0.3
04.01.2010	35	3.1	61.8	0
06.01.2010	30	1.6	68.3	0
08.01.2010	30	1.4	68.4	0.1
10.01.2010	31	0.6	68.3	0
12.01.2010	31	2	66.7	0.2
15.01.2010	30	2.8	66.9	0.2
18.01.2010	31	2.2	66.4	0.3
20.01.2010	29	2.9	67.6	0.4
23.01.2010	28	10.8	60.8	0.3
26.01.2010	26	10.7	62.9	0.3
01.02.2010	25	10.3	64.4	0.2
08.02.2010	27	10	62.8	0.1
16.02.2010	28	9.9	61.7	0.3
23.02.2010	28	9.1	62.5	0.3
02.03.2010	33	7.6	58.8	0.5
09.03.2010	30	5	64.6	0.3
18.03.2010	29	4.5	66.1	0.3
25.03.2010	29	4.2	66.4	0.3
23.04.2010	29	3.9	66.5	0.5
29.04.2010	15	4.9	79.9	0.1
06.05.2010	17	4.2	78.6	0.1
13.05.2010	16	4.4	79.5	0
19.05.2010	13	4.8	82.1	0
27.05.2010	15	4.3	80.5	0.1
03.06.2010	15	4.7	80	0.2
10.06.2010	10	7	82.8	0.1
17.06.2010	9.8	8.4	81.7	0
25.06.2010	14	4.4	81.4	0.1
01.07.2010	14	4.2	81.7	0
08.07.2010	14	4.2	81.7	0
22.07.2010	17	1.9	79.9	1.1
07.08.2010	10	8	81.8	0.1
08.09.2010	16	0.7	81.5	1.7
25.10.2010	13	3.5	83.2	0.2

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 1997 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2001 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2002-2004 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2002 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.