

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**İZMİR EVSEL ÇÖPÜNDEN  
BİYOMETAN ŞEKLİNDE ENERJİ  
GERİ KAZANILABİLİRLİĞİ**

**Yasemin ERSOY**

Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı

Bölüm Kodu: 615.01.00

**Sunum Tarihi: 10.07.2007**

**Birinci Danışman: Prof. Dr. Fethi Doğan**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. Nuri Azbar**

Bornova – İZMİR

**Yasemin Ersoy** tarafından **yüksek lisans** tezi olarak sunulan “ **İzmir Evsel Çöpünden Biyometan Şeklinde Enerji Geri Kazanılabilirliği** ” başlıklı bu çalışma, E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve **10.07.2007** tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oy birliği/ oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

<b>Jüri Başkanı :</b> .....	.....
<b>Raportör Üye:</b> .....	.....
<b>Üye</b> : .....	.....
<b>Üye</b> : .....	.....
<b>Üye</b> : .....	.....

## **İZMİR EVSEL ÇÖPÜNDEN BİYOMETAN ŞEKLİNDE ENERJİ GERİ KAZANILABİLİRLİĞİ**

### **ÖZET**

ERSOY, Yasemin

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Bilimleri Bölümü

Tez Yöneticileri: Prof. Dr. Fethi Doğan - Doç. Dr. Nuri Azbar

10 Temmuz 2007, 98 sayfa

Tüm ülkelerde miktarı gittikçe artan katı atıkların bertarafı önemli bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeni yönetmeliklerde getirilen kısıtlamalara bağlı olarak dünya ülkelerinde eğilim; enerji üretimi ve materyal geri kazanımını sağlamak şeklindedir. Geleceğe yönelik yapılan projeksiyonlarda kentsel katı atıklara uygulanan biyolojik işlemlerin önem taşıdığı görülmektedir. Anaerobik fermantasyon organik materyalin çevre dostu uygulamalarla dezenfeksiyonu yanında enerji üretimi ile de günümüzün güncel konularındandır.

Bu çalışma kapsamında, İzmir ilinde toplanan, organik içerikli kentsel katı atıklar anaerobik sindirim prosesinde besleme stoğu olarak kullanılmak üzere karakterize edilmiştir. %5–35 kuru madde aralığında kentsel katı atıkların anaerobik sindirimi, biyogaz üretim potansiyelleri kesikli reaktörler kullanılarak saptanmıştır. Biyokimyasal metan potansiyeli denemeleri organik atığa anaerobik kültür eklenerek, anaerobik kültür olmaksızın sadece %5 - 35 kuru madde (KM) ile hazırlanan çözeltiler ile ve

KOİ değerleri 3 –10 –30 g/L olacak Şekilde üç farklı konsantrasyonda hazırlanan biyoreaktörler ile incelenmiştir. Sonbahar, kış ve yaz mevsimleri için uygulanan laboratuvar ölçekli denemelere göre uygun biyogaz üretimi %5–20 KM aralığıdır. Üç mevsimde elde edilen sonuçların ortalamasına göre (minimum değerler %5 KM, maksimum değerler 35% KM değerlerinin ortalamasıdır) ilk bölümde biyogaz üretimi 229–484 m<sup>3</sup>/ton KM, anaerobik kültür olmaksızın yapılan denemelerde bu oran 84 – 176 m<sup>3</sup>/ton KM aralığındadır. Son bölümde 3 gl<sup>-1</sup> KOİ konsantrasyonunda 71 -121 m<sup>3</sup>/ton KM, 10 gl<sup>-1</sup> KOİ için; 72–170 m<sup>3</sup>/ton KM, 30 gl<sup>-1</sup> KOİ için; 100–201 m<sup>3</sup>/ton KM sonuçları laboratuvar şartlarında elde edilmiştir. Konsantrasyon arttıkça kümülatif gaz üretimi artmaktadır. AŞı varlığında biyogaz üretimi aşı olmaksızın yapılan denemeler ile karşılaştırıldığında kış mevsiminde gaz üretiminin 4 kat, sonbahar ve yaz mevsimlerinde yaklaşık 2,5 kat fazla olduğu görölmüŐtür. Sonuçlar biyogaz üretiminin anaerobik organizmaları içeren aşı ile yapılmasını ön görmektedir.

Çalışmanın devamında tek ve iki fazlı anaerobik reaktörler kullanılarak sistemlerin arıtma performansları karşılaştırılmıŐtır. İşletme parametreleri olarak; sıcaklık, pH, organik madde yükleme hızı, hidrolik bekleme süresi değerleri izlenmiştir. Reaktör çıkış suyunda; KOİ, UYA'leri, pH, AKM parametreleri ölçölmüŐtür. Faz ayrımlı sistemden daha iyi çıkış kalitesi, daha düşük askıda katı madde, yüksek KOİ giderimi elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Biyogaz, biyokimyasal metan potansiyeli (BMP), mezofilik anaerobik sindirim, kentsel katı atıkların organik fraksiyonu, tek ve iki fazlı anaerobik arıtma

**ABSTRACT**

**RECOVERY OF BIOENERGY IN THE FORM OF METHANE  
FROM IZMIR MUNICIPAL SOLID WASTE**

ERSOY, Yasemin

MSc in Environmental Science

Supervisors: Prof. Dr. Fethi Doğan- Assoc. Prof. Dr. Nuri Azbar

July 2007, 98 pages

The management of solid waste is one of the major problems which the contemporary communities are facing today. Depending on legal restrictions taken place in regulations of many countries, new approach in all over the world is that energy production and material recovery. According to the future predictions, the disposal of organic wastes through biological methods is very important. Anaerobic fermentation became a popular subject in recent years together with environmentally friendly applications for disinfections of organic material as well as energy production.

In this study organic fraction of municipal solid wastes (OFMSW) that collected in the Izmir City was characterized for its potential use as a feedstock for anaerobic digestion processes. The anaerobic digestibility and biogas generation potential of the municipal solid waste were determined using batch reactors. Anaerobic digestion process is distinguished for OFMSW, which is preferred 5-35 % dry matter (DM). Biochemical methane potential (BMP) experiments were performed by adding anaerobic culture to the organic waste, with only 5-35 %DM solutions (in the absence of anaerobic culture) and three different waste concentrations, namely 3 -10

## VIII

and 30 g/l were used in the third part of the experiments. These laboratory scale experiments were applied for winter, autumn and summer seasons. On the basis of the laboratory results, DM rate is suitable between 5-20% for biogas production. As average of three seasons; (minimum values are average of 5% DM values - maximum values are average of 35% DM values for the seasons) in the first part, it has been demonstrated that a biogas production at a rate of 229 – 484 m<sup>3</sup>/ton DM, in the absence of anaerobic culture this rate is between 84 – 176 m<sup>3</sup>/ton DM and in the last part for 3 gl<sup>-1</sup> COD; 71 -122 m<sup>3</sup>/ton DM, for 10 gl<sup>-1</sup> COD; 72-170 m<sup>3</sup>/ton DM, for 30 gl<sup>-1</sup> COD; 100-201 m<sup>3</sup>/ton DM could be achieved under laboratory conditions for Izmir city. In winter, the bottles with anaerobic culture had 4 times higher biogas production than the ones without anaerobic culture, and this rate is 2–2,5 in autumn and summer seasons.

In the advising parts of the study, the treatment performances of the systems are compared through single and two phase anaerobic digestion of laboratory scale reactors. Operating conditions and applications of the systems were investigated as process control and operations; pH, organic loading rate, hydraulic retention time was evaluated. Parameters including COD, VFAs, pH, and suspended solids have been regularly monitored in the effluent of the reactor.

**Keywords:** Biogas, biochemical methane potential (BMP), mesophilic anaerobic digestion, organic fraction of municipal solid wastes, single and two phase anaerobic digestion

## TEŞEKKÜR

Tez alışmam süresince danışmanlığımı yürüten Sayın Prof. Dr. Fethi Doğan'a, Biyomühendislik Bölümü Çevre Biyoteknolojisi Laboratuvarı'nda çalışmalarımı gerçekleştirmemi sağlayan danışmanım Sayın Doç. Dr. Nuri AZBAR' a, deneysel çalışmalarımda yardımcı olan arkadaşlarım; Tuğba Keskin, F.Tuba Dokgöz ve Fatih Tutuk'a ilgi, destek ve yardımlarından dolayı teőekkürü bir borç bilirim.

Son olarak; sevgilerini her daim hissettiren, beni sabır ve içtenlikle destekleyen aileme teőekkürlerimi sunuyorum.

YASEMİN ERSOY

**TABLolar DİZİNİ**Sayfa

Tablo 1. Dünyadaki biyokütle enerji miktarları (Mtoe).....	3
Tablo 2. Türkiye'deki yenilenebilir biyoenerji potansiyeli (1998).....	4
Tablo 3. Türkiye'de organik atıklardan geri kazanılabilecek enerji potansiyeli .	5
Tablo 4. Farklı ülkelerin evsel katı atık bileşimleri .....	11
Tablo 5. Büyükşehir belediyelerine ait evsel atık kompozisyonu .....	12
Tablo 6. 1 m <sup>3</sup> biyogazın hacimsel olarak ortalama % bileşimi.....	19
Tablo 7. İzmir kentsel atık karakterizasyonu .....	41
Tablo 8. BMP deney seti için çalışma tablosu .....	44

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Temiz üretim kavramı.....	8
Şekil 2. Ecotec JVV Sistemi .....	13
Şekil 3. BTA/Carl Bro Sistemi .....	14
Şekil 4. TBW Biocomp Prosesi .....	16
Şekil 5. Organic Atık Sistemleri – Dranco Prosesi.....	17
Şekil 6. Anaerobik parçalanma prosesinin şematik gösterimi .....	23
Şekil 7. Akışkan Yataklı Anaerobik Reaktör.....	27
Şekil 8. Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör.....	27
Şekil 9. Anaerobik Filtre (Aşağı Akışlı) .....	27
Şekil 10. Anaerobik Filtre (Yukarı Akışlı) .....	27
Şekil 11. İki Kademeli Reaktör .....	27
Şekil 12. Anaerobik proses hızının sıcaklık ile değişimi.....	29
Şekil 13. Uzundere Kompost Tesisi Deponi Planı .....	39
Şekil 14. Uzundere Kompost Tesisi Proses Akım Şeması .....	40
Şekil 15. BMP testlerinde gaz ölçümünde kullanılan deney düzeneği.....	45
Şekil 16. Biyoreaktörlerin yer aldığı otomatik çalkalamalı inkübatör.....	45
Şekil 17. Tek ve İki Fazlı Reaktör Düzenekleri.....	47
Şekil 18. Sonbahar dönemi BMP denemelerinde kuru madde oranının günler bazında toplam gaz üretimine etkisi .....	53
Şekil 19. Kış dönemi BMP denemelerinde kuru madde oranının günler bazında toplam gaz üretimine etkisi .....	54
Şekil 20. Yaz dönemi BMP denemelerinde kuru madde oranının günler bazında toplam gaz üretimine etkisi .....	55

## XII

Şekil 21. Sonbahar Döneminde aşı yokluğunda yapılan BMP denemelerinde toplam gaz üretimi.....	56
Şekil 22. Kış Döneminde aşı yokluğunda yapılan BMP denemelerinde toplam gaz üretimi.....	57
Şekil 23. Yaz Döneminde aşı yokluğunda yapılan BMP denemelerinde toplam gaz üretimi.....	58
Şekil 24. Kış- Sonbahar-Yaz dönemlerini temsilen aşı yokluğunda % kuru madde oranına göre biyogaz üretimi.....	59
Şekil 25. Kış- Sonbahar-Yaz dönemlerini temsilen aşı varlığında % kuru madde oranına göre biyogaz üretimi.....	59
Şekil 26. Yaz Dönemi %5'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30g/l) Toplam Gaz Üretimi .....	60
Şekil 27. Yaz Dönemi %10'luk çöp için KOİ Bazında (3–10–30g/l) Toplam Gaz Üretimi .....	61
Şekil 28. Yaz Dönemi %20'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi .....	62
Şekil 29. Yaz Dönemi %35'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi .....	63
Şekil 30. Sonbahar Dönemi %5'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi .....	63
Şekil 31. Sonbahar Dönemi %10'luk çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi .....	64
Şekil 32. Sonbahar Dönemi %20'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi .....	65
Şekil 33. Sonbahar Dönemi %35'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi .....	65

### XIII

Şekil 34. Kış Dönemi %5'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l)	
Toplam Gaz Üretimi .....	67
Şekil 35. Kış Dönemi %10'luk çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l)	
Toplam Gaz Üretimi .....	67
Şekil 36. Kış Dönemi %20'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l)	
Toplam Gaz Üretimi .....	68
Şekil 37. Kış Dönemi %35'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l)	
Toplam Gaz Üretimi .....	69
Şekil 38. % Kuru Madde Oranına Göre 3 g/l KOİ Bazında	
Toplam Gaz Üretimi .....	70
Şekil 39. % Kuru Madde Oranına Göre 10 g/l KOİ Bazında	
Toplam Gaz Üretimi .....	71
Şekil 40. % Kuru Madde Oranına Göre 30 g/l KOİ Bazında	
Toplam Gaz Üretimi .....	72
Şekil 41. Yaz mevsimi %KM oranlarına göre % CH <sub>4</sub> - % CO <sub>2</sub> değerleri.....	73
Şekil 42. Kış mevsimi %KM oranlarına göre % CH <sub>4</sub> - % CO <sub>2</sub> değerleri.....	73
Şekil 43. Sonbahar mevsimi %KM oranlarına göre % CH <sub>4</sub> - % CO <sub>2</sub> değerleri..	74
Şekil 44. Reaktörlerde KOİ gideriminin zamanla değişim grafiği .....	76
Şekil 45. Reaktörlerde KOİ giderim yüzdesinin zamanla değişimi.....	77
Şekil 46. Tek fazlı reaktörde UYA konsantrasyonunun zamanla değişimi .....	79
Şekil 47. İki fazlı reaktörde UYA konsantrasyonunun zamanla değişimi.....	80
Şekil 48. Asit reaktöründe UYA konsantrasyonunun zamanla değişimi.....	81
Şekil 49. Reaktörlerde AKM konsantrasyonunun zamanla değişimi .....	82
Şekil 50. Reaktörlerde UAKM konsantrasyonunun zamanla değişimi .....	83
Şekil 51. Reaktörlerde hidrojen iyonu konsantrasyonunun zamanla	
Değişimi .....	84

**SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>
AB	Avrupa Birliği
AKM	Askıda Katı Madde
AR-GE	Araştırma geliştirme
atm	Atmosfer
BMP	Biyokimyasal Metan Potansiyeli Testi
Btep	Bin ton petrol eşdeğeri
C	Konsantrasyon (mg/l)
C/N	Karbon azot oranı
EKA	Evsel Katı Atık
EKAY	Entegre katı atık yönetimi
GJ	Giga (milyar) joule
GSYİH	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
HBS	Hidrolik Bekleme Süresi
KKAOF	Kentsel katı atığın organik fraksiyonu
KWh	Kilowatt-saat ( $1W \times 10^3$ )
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı

L	Litre
$\mu\text{m}$	Mikrometre ( $10^{-6}$ metre)
Mtep	Milyon ton petrol eşdeğeri
MW	Megawatt ( $1\text{W} \times 10^6$ )
nm	Nanometre ( $10^{-9}$ metre)
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
OYH	Organik Yükleme Hızı
PVC	Polivinil Klorür
SKTR	Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktörü
T	Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
TWh	Tera (trilyon) watt-saat
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UKMgid.	Giderilen uçucu katı madde
UYA	Uçucu Yağ Asitleri
YAÇY	Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı
YET	Yenilenebilir enerji teknolojileri

**İÇİNDEKİLER**

	Sayfa
ÖZET .....	V
ABSTRACT .....	VII
TEŞEKKÜR.....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XIV
İÇİNDEKİLER.....	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Küresel Enerji İhtiyacı ve Biyokütle Enerjisi Potansiyeli.....	2
1.1.1. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi.....	4
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	7
2.1. Katı Atık Yönetimi.....	7
2.1.1. Modern Biyogaz Üretim Sistemleri.....	12
2.2. Anaerobik Biyoproseslere Genel Bakış.....	18
2.2.1. Anaerobik Biyoproses Sistemlerinin Avantajları.....	19
2.2.2. Anaerobik Biyoproses Sistemlerinin Dezavantajları .....	20

**İÇİNDEKİLER (devam)**

2.3. Anaerobik Biyoproses Esasları .....	21
2.3.1. Mikrobiyolojik Prosesler .....	21
2.3.2. Biyoreaksiyonlar .....	22
2.3.3. Biyogaz Üretimi .....	24
2.4. Anaerobik Biyoproses Sistemleri .....	24
2.4.1. Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik Reaktörler .....	24
2.4.2. Anaerobik Filtreler .....	25
2.4.3. Akışkan Yataklı Anaerobik Reaktör .....	25
2.4.4. İki Fazlı Reaktör .....	26
2.5. İşletmeye Alma ve Proses Kontrolü .....	28
2.5.1. Optimum Çevre Şartları .....	28
2.5.2. Anaerobik Prosesin İzlenmesi ve Kontrolü .....	31
2.6. Kentsel Katı Atıklar ile Biyogaz Üretimi Çalışma Örnekleri .....	32
3. MATERYAL ve METOT .....	38
3.1. Materyal .....	38
3.1.1. Uzundere Kompost Tesisi ve İşlem Akışları .....	38
3.1.2. Katı Atık Karakterizasyonu .....	41
3.2. Metotlar .....	41
3.2.1. Biyokimyasal Metan Potansiyeli Testi (BMP) .....	41
3.2.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini .....	47

**İÇİNDEKİLER (devam)**

3.2.3. Askıda katı madde ve Uçucu Askıda Katı Madde Tayini .....	50
3.2.4. Uçucu Yağ asidi tayini.....	51
3.2.5. Biyogaz Kompozisyonu Tayini .....	52
3.2.6. pH Tayini .....	52
4. BULGULAR.....	53
4.1. Kesikli Denemeler .....	53
4.1.1. Biyogaz Kompozisyonu Tayini Bulguları .....	72
4.2. Sürekli Denemeler .....	74
4.2.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini bulguları .....	75
4.2.2. Uçucu Yağ Asidi Tayini Bulguları .....	78
4.2.3. Askıda Katı Madde Tayini Bulguları.....	82
4.2.4. Uçucu Askıda Katı Madde Tayini Bulguları .....	83
4.2.5. pH Tayini Bulguları .....	84
5. SONUÇLAR.....	85
5.1. Kesikli Denemelerin Sonuçları.....	85
5.2. Sürekli Reaktör Denemelerinin Sonuçları .....	87
6. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	89
7. ÖZGEÇMİŞ .....	97

## 1. GİRİŞ

Dünyamızın artan nüfusuna paralel olarak insan ihtiyaçları hızlı bir şekilde artmakta, tüketim alışkanlıkları değişmektedir. Değişen tüketim alışkanlıklarımız sonucunda da ürettiğimiz katı atık miktarı artmaktadır. Ancak, günümüzde çevrenin bir alıcı ortam olarak sınırsız olduğu görüşü değişerek, zamanla kullanılamaz hale gelebilecek bir kaynak olduğu kabul edilmiştir. Ülkeler büyüme hızlarını ve kalkınma politikalarını tespit ederken, yatırımlarda ve maliyet analizlerinde çevre maliyetini de hesaba katmak zorundadır. Yönetim ve uygun önleme politikalarının yetersizliğinden kaynaklanan;

- Finans zorluğu
- Tesis eksikliği
- Bilinç ve duyarlılık eksikliği
- Denetim eksikliği
- Cezaların yeterince caydırıcı olmaması

sebepleri ile ülkemizde çevre kirliliği sorunları ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde teknoloji alanındaki gelişmeler ile yeni endüstri kolları oluşmakta, enerjiye duyulan ihtiyaç artmaktadır. Dünya enerji gündeminde belli başlı konular; enerji piyasalarının serbestleştirilmesi, geleneksel kaynaklarla enerji kullanımının küresel ve yerel düzeyde çevresel etkileri ve bunların küresel ısınma ile ilişkisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve alternatif yakıt seçeneklerinin uygulanabilirliğidir. Ekonomik büyüme amacıyla yapılan tüm yatırımlar, doğal kaynakların rasyonel kullanımını sağlayan bir denge içinde, sürdürülebilir gelişme ile gerçekleştirilebilecektir.

### **1.1. Küresel Enerji İhtiyacı ve Biyokütle Enerjisi Potansiyeli**

Gelişmiş toplumlarda enerji-ekonomi-ekoloji dengesini özenle gözeten, kaynak çeşitliliğini ve jeopolitik gerçekleri dikkate alan enerji güvenliği modelleri önem kazanmıştır. Avrupa Enerji Verimliliği İnisyatifi kapsamındaki faaliyetlerin; rekabetin arttırılması, sürdürülebilir kalkınma ve enerji arzı güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunabileceği öngörülmektedir. Avrupa Birliği 2020 yılında tüketiminin %20'sini tasarruf etmeyi hedeflemektedir. Öngörülen hedefin başarılması, 390 mtep enerji tasarrufuna, yıllık 780 milyon ton CO<sub>2</sub> azalımına, hane başına yıllık 200-1000 € arasında tasarrufa imkân sağlamaktadır (Öner,2007). Tüm bu girişimlerdeki ana fikir, sürdürülebilir kalkınmanın sürdürülebilir enerji kullanımı ile gerçekleşecektir. Bu yaklaşım ile enerjinin etkin kullanımı, düşük maliyetle ve sürekli olarak temini, üretimi ve tüketiminde çevresel etkilerin en aza indirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması amaçlanmaktadır (Karaosmanoğlu, 2004).

Biyokütle yenilenebilir, ekonomik ve çevre dostu, elektrik üretiminde ve taşıtlar için yakıt eldesinde stratejik bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında 2010 yılı Avrupa hedefi; biyokütle için %74, hidrolik için %17, rüzgâr için %4, jeotermal için %3, ve güneş için %2'dir. Biyogaz teknolojisi, organik maddelerin (bitkisel ve hayvansal tüm doğal maddeler, orman ve tarım atıkları, algler, kentsel ve endüstriyel atıklar, vb.) oksijensiz ortamda parçalanması sonucu yanıcı gazın elde edilmesi ve etkin bir şekilde kullanılmasını içermektedir. Biyokütle doğrudan yakılarak veya çeşitli süreçlerle yakıt kalitesi arttırılıp, alternatif biyoyakıtlar üretilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir.

Biyokütleden; fiziksel süreçler (boyut küçültme- kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon), biyokimyasal ve termokimyasal süreçler ile sıvı, katı ve gaz alternatif yakıtlar elde edilmektedir. Anaerobik biyoteknoloji ile biyogaz üretimi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yeri olan biyokütle enerjisinin elde edilme yöntemlerinden biridir

([http://www.bp.com/.../STAGING/local\\_assets/downloads/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2005.pdf](http://www.bp.com/.../STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2005.pdf)).

Dünyadaki konvansiyonel ve biyokütle enerji miktarları ile biyokütlenin toplam enerji içerisindeki payı Tablo 1’ de verilmiştir (Kaygusuz ve Türker, 2002; D’Apote, 1998).

**Tablo 1.** Dünyadaki biyokütle enerji miktarları (Mtep\*) (Kaygusuz ve Türker, 2002)

Bölge	1995				2020			
	Biyokütle	Konvans, enerji	Toplam	Biyokütle payı (%)	Biyokütle	Konvans, enerji	Toplam	Biyokütle payı (%)
Çin	206	649	855	24	224	1524	1748	13
Doğu Asya	106	316	422	25	118	813	931	13
Güney Asya	235	188	423	56	276	523	799	35
Latin Amerika	73	342	416	18	81	706	787	10
Afrika	205	136	341	60	371	260	631	59
Gelişmekte Olan ülkeler	825	1632	2456	34	1071	3825	4896	22
OECD olmayan ülkeler	849	2669	3518	24	1097	5494	6591	17
OECD ülkeleri	81	3044	3125	3	96	3872	3968	2
Dünya	930	5713	6643	14	1193	9365	10558	11

\*Mtep: Milyon ton petrol eşdeğeri

### 1.1.1. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi

Enerji üretiminin az, tüketiminin ise fazla olmasından dolayı, Türkiye enerji açığını enerji ithalatı yaparak kapatma yoluna gitmiş ve toplam enerji gereksiniminin 1990 yılında % 54’ünü ve 2001’de % 66’sını ithalatla karşılamıştır. 2020 yılında birincil enerji ihtiyacının 298,4 Mtep, buna karşılık enerji üretiminin 70,2 Mtep ve enerji ithalatının ise %76 değerlerine ulaşması tahmin edilmektedir (Kaygusuz, 2002).

Türkiye’de yılda 50–65 Mt tarımsal atık ve 11 Mt hayvansal atık üretilmektedir. Bu tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek enerjinin Türkiye’nin yıllık enerji tüketiminin % 22-27’sine eşit olduğu bilinmektedir. Türkiye’nin biyoenerji potansiyeli 1998’de 196,7 TWh (16,92 Mtep)’dir. Türkiye’deki toplam yenilenebilir biyoenerji potansiyeli (1998) tablo 2’ de verilmiştir. (Kaygusuz ve Türker, 2002; Evrendilek ve Ertekin, 2003).

**Tablo 2.** Türkiye’de yenilenebilir biyoenerji potansiyeli (1998) (Kaygusuz ve Türker, 2002).

<b>Biyokütle Tipi</b>	<b>Enerji Potansiyeli (Mtep)</b>
Kuru tarımsal atıklar	4,56
Nemli tarımsal atıklar	0,25
Hayvansal atıklar	2,35
Orman ve ağaç işleme atıkları	4,30
Belediye katı atıkları	1,30
Yakacak odun	4,16
<b>Toplam</b>	<b>16,92</b>

Türkiye’de düzenli katı atık toplama hizmetlerinden yararlanan ve kentlerde yaşayan nüfusun yaklaşık 55 milyon olduğu kabul edilirse, kentlerde kurulacak entegre arıtma tesislerinde oluşan katı atığın sadece %60’ının anaerobik olarak çürütülmesi sayesinde Türkiye’deki mevcut evsel katı atıkların organik kısmının biyometan potansiyeli yılda yaklaşık  $10^9$  m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>’dır. Üretilen metanın içten yanmalı gaz motorlarında sadece elektrik enerjisine çevrildiği kabul edilirse  $2.62 \times 10^6$  MWsa/yıl enerji geri kazanımı sağlanabilir. Bu potansiyel 300 MW güce sahip bir enerji üretim tesisine eşdeğerdir. Ülkemizin en büyük barajlarından Keban Barajının kurulu gücünün 1330 MW olduğu düşünüldüğünde, ülkemizde her 4.5 yılda bir Keban Barajının ürettiği enerji kadar enerji depolama alanlarına gönderilmektedir. Tablo 3’de 2005 yılı itibariyle Türkiye’de organik atıklardan geri kazanılabilecek enerji potansiyeli verilmektedir (Öztürk vd., 2006).

**Tablo 3.** Türkiye’de organik atıklardan geri kazanılabilecek enerji potansiyeli (2005 yılı itibariyle) (Öztürk vd., 2006)

Organik Atık	Miktar (t KM/yıl)		Biyometan (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /yıl)		Enerji (MW-sa/yıl)	
	Toplam	Geri Kazanılabilir Miktar	Toplam	Geri Kazanılabilir Miktar	Toplam	Geri Kazanılabilir Miktar
Kentsel Organik Atık	8.351.200	5.010.720	1.503.216.000	901.929.600	4.374.359	2.624.615
Arıtma Çamuru	1.084.050	650.430	227.650.500	136.590.300	662.463	397.478
Çiftlik Atıkları	24.283.538	13.337.339	3.399.695.320	1.867.227.460	9.893.113	5.433.632
<b>Toplam</b>	<b>33.718.788</b>	<b>18.998.489</b>	<b>5.130.561.820</b>	<b>2.905.747.360</b>	<b>14.929.935</b>	<b>8.455.725</b>

Enerji bakımından dış ülkelere bağımlı ve evsel katı atık içerisindeki organik madde yüzdesi yüksek olan ülkemizde katı atıkların biyometanizasyonu Avrupa Birliği'nin düzenli depolama alanlarına gönderilecek organik içerikli atıklara uyguladığı kotaların sağlanması ve yenilenebilir enerji üretimi bakımından uygun bir yöntem olarak görülmektedir. Yenilebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji için devlet tarafından yeterince teşvik sağlandığı takdirde, yabancı ve özellikle yerli arıtma firmaları bu büyük pazardan pay alabilmek için harekete geçecektir. Bu sayede hem ülkemizin enerji açığı azaltılabilecek hem de istihdam sağlanabilecektir (Öztürk vd., 2006).

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

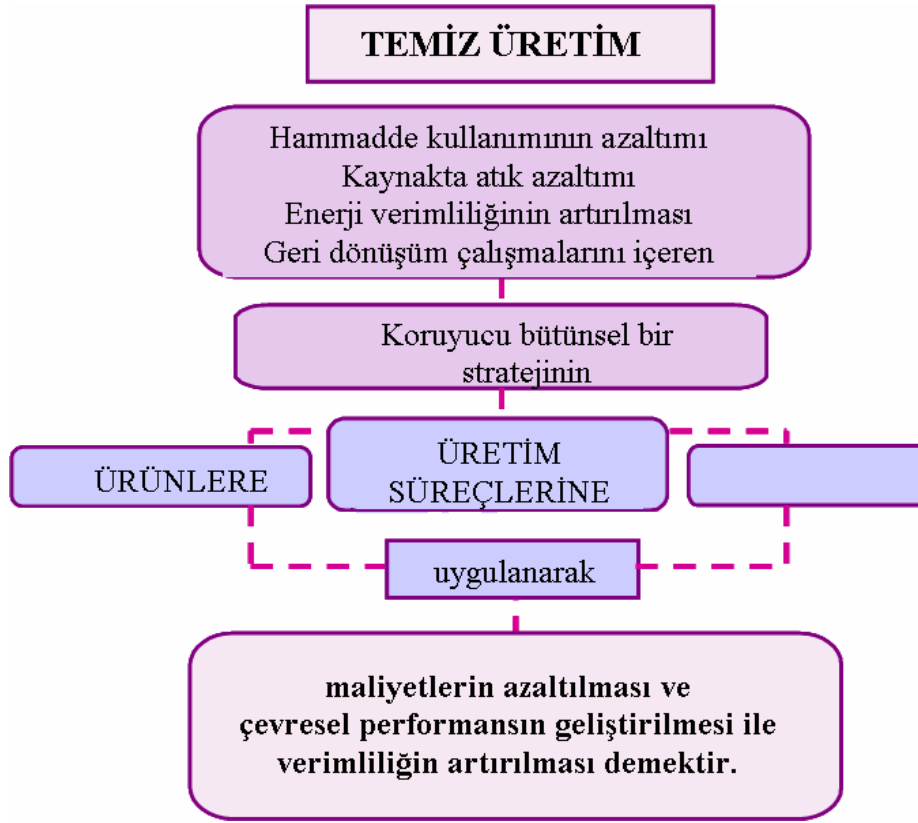
### 2.1. Katı Atık Yönetimi

Doğal ortamdaki dengelerin geri dönüşü zor bir şekilde değişiyor olması, çevre kirliliği kaynaklı sağlık sorunlarının gündeme gelmesi ve doğal kaynakların hızla tüketilmesi vb. süreçler çevre sorunlarına farklı bakış açılarını beraberinde getirmiştir. Oluşan atık miktarının ve arıtım maliyetinin artması, alıcı ortam deşarj standartlarının düşürülmesi ile bu sorunlar için daha ucuz çözüm yolları aranmaktadır (Fresner, 1998)

Rio Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı ile “kaynak tüketimi”, “atık azaltılması”, “biyo-çeşitlilik” ve “iklim değişiklikleri” gibi konular gündeme gelmiştir. Hedefler doğrultusunda, temiz üretim teknolojilerinin uygulanması benimsenmiştir. Çevreye daha duyarlı ürün tasarımı, üretim ve kullanım esnasında gerekli olan su ve enerji ihtiyaçlarının düşürülmesi gibi yaklaşımlar ön plana çıkmıştır (<http://www.enve.metu.edu.tr>).

Kirlilik kontrolü yaklaşımı atıkları arıtma ve bertaraf etme üzerine odaklanmakta ve kuruluşlara önemli miktarlarda ek maliyet getirmektedir. Temiz üretim (TÜ) yaklaşımı ise atıkları; tasarım, kaynak kullanımı ve üretim prosesi aşamalarının verimsizliği olarak görmekte ve soruna bu aşamalarda çözüm getirmeyi amaçlamaktadır (Demirer ve Mirata, 1999).

TÜ yaklaşımı, yeni ve farklı teknolojilerin uygulanması için sermaye, teknik bilgi ve organize olabilme kapasitesine sahip büyük oranlarda enerji tüketen endüstrilere kazanç sağlamaktadır (Cüce ve Bakan, 2006)



Şekil 1: Temiz üretim kavramı ([http://www.uneptie.org/pc/cp/understanding\\_cp/home.htm](http://www.uneptie.org/pc/cp/understanding_cp/home.htm))

Temiz üretimin içsel disiplin anlayışına göre aşağıdaki seçenekleri içeren programlar kullanılabilir:

- Yenilenebilir, ekonomik materyal ve enerji,
- Lojistik açıdan en iyi pozisyon, çalışanların eğitimi, verilerin düzenlenmesi ve bölümler arası iletişim,
- Hammaddenin etkili ve geri dönüşümü sağlayacak şekilde işlenmesi
- Üretim esnasında çevreye büyük etkilerde bulunan adımların elenmesi için ürün modifikasyonları, atık ve emisyonların minimizasyonu için proseslerde yapılacak modifikasyonlar (Fresner, 1998).

Entegre katı atık yönetimi (EKAY); atık yönetimi hedeflerine yönelik teknik, teknoloji ve yönetim programlarının seçimi ve uygulanması olarak tarif edilmektedir. EKAY için 4 stratejinin uygulanması öngörülmektedir:

- Atık azaltma,
- Geri dönüşüm,
- Geri kazanma,
- Düzenli depolama

Atık azaltma, atık yönetim sisteminin bir parçası olmaktan ziyade ön şartı konumundadır. Üretilen atık miktarının kaynağında azaltılması ile; atığın işlenmesi ve bertarafı için gerekli masraflar ve çevresel etkilerinin azaltılması en etkili şekilde gerçekleştirilmektedir.

Geri dönüşüm prosesi, ayrılan atık maddelerin tekrar kullanımı ve işlenmek üzere hazırlanması faaliyetlerini kapsar. Geri dönüşüm, doğal ham madde kaynaklarına olan talebin ve düzenli depolamaya giden atık miktarının azaltılması bakımından büyük önem taşımaktadır (Arıkan ve Öztürk, 2005; Mata Alvarez et al., 2000). Katı atık miktarı; mevsimsel şartlara, tüketim alışkanlıklarına ve coğrafi konuma göre değiştiği için buna paralel olarak geri dönüşüm seviyeleri de bölgeden bölgeye değişmektedir (Woodard et.al., 2001).

Atık dönüştürme kapsamında, fiziksel, kimyasal ve biyolojik dönüştürme prosesleri uygulanmaktadır. Örneğin, anaerobik sindirim yöntemiyle, evsel katı atıkların organik kısmı kararlı hale gelmekte, atık hacmi azalmakta ve metan gazı üretilmektedir. Yakma sistemleri organik atık miktarında en büyük hacim azalması sağlayan dönüştürme tekniğidir. Ancak bu yöntem düzenli depolamaya göre en az 2–3 kat daha pahalıdır.

Normalden fazla nemli olan katı atıklarımız için ekonomik ve etkili bir çare değildir. Ayrıca yakma neticesinde oluşacak hava kirliliği, gelişmiş baca gazı arıtma teknolojileri kullanılmadığı takdirde, çevreyi de olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Arıkan ve Öztürk, 2005; Mata Alvarez et al., 2000).

Geri kazanmanın en etkin yolu, ‘kaynakta ayırma sistemi’ ile geri kazanılabilir maddelerin ayrılarak değerlendirilmesidir. Kaynakta geri kazanma sistemi; katı atık depo yerinin kullanım ömrünün artması, atıkların etkin bir biçimde ayrılmasından dolayı uygun şekillerde değerlendirilmesinin mümkün olması, bertaraf maliyetinin azalması, çöp alanlarında insan gücü ile yapılan ayıklamaya gerek kalmayacağından sağlık riskinin ortadan kalkması açısından önemlidir (Berktaş ve Pehlivan, 1996).

Düzenli depolama, geri kazanım tesislerinde açığa çıkan kullanım imkânı olmayan atıklara ve yakma tesislerinden çıkan kül ve cüruf gibi maddelere uygulanan nihai bertaraf işlemidir. Düzenli depolama, katı atık yönetiminde en düşük önceliğe sahip yönetim seçeneği olarak görülmelidir. Buna rağmen, diğer uzaklaştırma teknolojilerine göre daha basit ve ucuz olması dolayısıyla, günümüzde en çok kullanılan bertaraf yöntemidir. Uygun şekilde depolanmamış çöpler yeraltı ve yüzeysel su kirliliğine, haşerelerin üremesine, çevreye kötü kokuların yayılmasına, görüntü kirliliğine ve çeşitli hayvanlar vasıtasıyla taşıyıcı mikropların yayılmasına neden olmaktadır (Arıkan ve Öztürk, 2005; Mata Alvarez et al., 2000).

Ülkemizde yılda yaklaşık 35 milyon ton evsel katı atık üretilmektedir ve 2000 – 2004 sürecinde kişi başına üretilen evsel katı atık miktarı 1,3- 1,4 kg’dır. Bu miktarın % 64,15’ini organik kökenli atıklar, %12,05’lik kısmı geri kazanılabilir atıklar (% 45.48 kâğıt-karton, % 13.19 plastik, % 6.15 PET, PVC, %18.46 cam, %8.62 metal, %3.30 lastik kauçuk, %4.80 tekstil),

%22,48'lik kısım da kül/ cüruf (soba atıkları) ve diğer atıklar oluşturmaktadır. Tablo 4'de farklı ülkelerin evsel katı atık bileşimleri gösterilmiştir (Onay,2006).

**Tablo 4.** Farklı ülkelerin evsel katı atık bileşimleri (% Ağırlık) (Onay,2006)

Ülke	Türkiye	Mısır	Gana	Etiyopya	Endonezya	Pakistan
Şehir	İstanbul	Kahire	Acra	Adisababa	Jakarta	Lahor
Sebze	60.8	52.4	87.1	8.8	60.0	51.1
Kâğıt	10.1	9.2	5.7	2.1	2.0	3.8
Tekstil	3.2	3.9	1.2	2.0	-	11.8
Plastik	3.1	2.0	1.3	0.8	9.0	2.5
Taş	-	24.7	1.4	54.4	-	24.5
Cam	0.7	1.9	0.7	0.6	2.0	2.7
Metal	1.4	3.0	2.6	0.9	2.0	0.8
Diğer	20.7	2.9	-	30.4	25.0	2.8
Nem	45–65	30–40	50–60	-	-	50–60

Yukarıdaki tabloda kentsel katı atıklarda en yüksek organik kısmın Türkiye'de bulunduğu görülmektedir (Onay, 2006). Tarım ve hayvancılığın yaygın olduğu ülkemizde, evsel organik katı atık ve hayvan gübresinden biyogaz elde edilen tesislerin kurulması ile önemli miktarda enerji geri kazanımı sağlanabilecektir (Öztürk vd., 2006). Katı atık bileşiminin tespiti özellikle bertaraf sisteminin seçiminde ve atık yönetimine maddi girdi sağlamak için yapılan programlarda önem kazanmaktadır. Evsel katı atıkların bileşimi iklim, coğrafya, nüfus, sosyo-ekonomik gelir seviyesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu yüzden farklı ülkelerin evsel katı atık kompozisyonları arasında farklılıklar gözlenmektedir (Onay,2006; Zambak,

2006). Tablo 5’de büyükşehir belediyelerine ait evsel atık kompozisyonu görülmektedir.

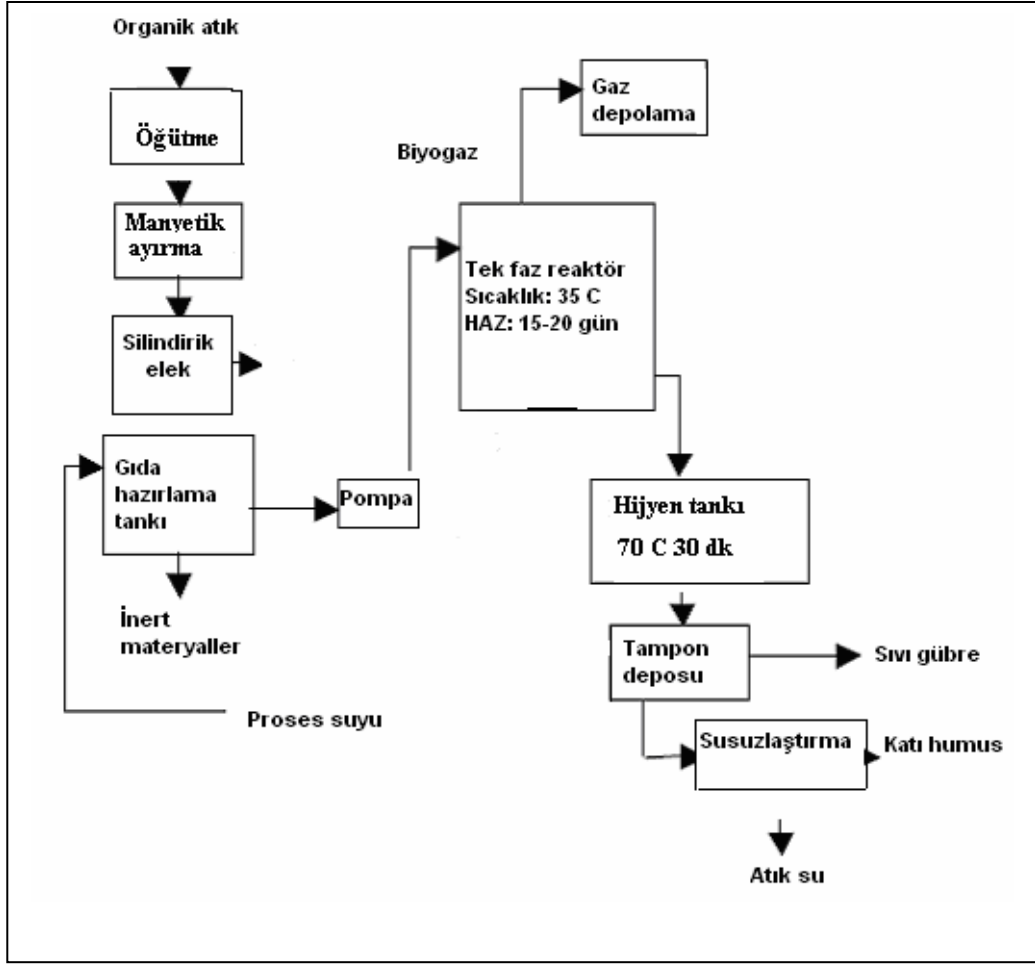
**Tablo 5.** Büyükşehir belediyelerine ait evsel atık kompozisyonu (%Ağırlık)(Onay, 2006)

<b>Bileşen (%)</b>	<b>İstanbul</b>	<b>İzmir</b>	<b>Bursa</b>	<b>Adana</b>	<b>Mersin</b>
<b>Organik</b>	43	46	53.1	64.4	63
<b>Kâğıt/Karton</b>	7.8	12	18.4	14.8	18.42
<b>Plastik</b>	14.2	12	11.6	5.92	6.69
<b>Metal</b>	5.8	3	3	1.4	1.25
<b>Cam</b>	6.2	4	3.4	3.08	3.08
<b>Geri Kazanılabılır Atıklar</b>	33.9	31.0	36.4	25.2	29.4
<b>Diğer</b>	23.1	23	10.5	11.4	7.6

### **2.1.1. Modern Biyogaz Üretim Sistemleri**

#### **2.1.1.1. Eko Teknoloji Sistemi - Finlandiya / Almanya**

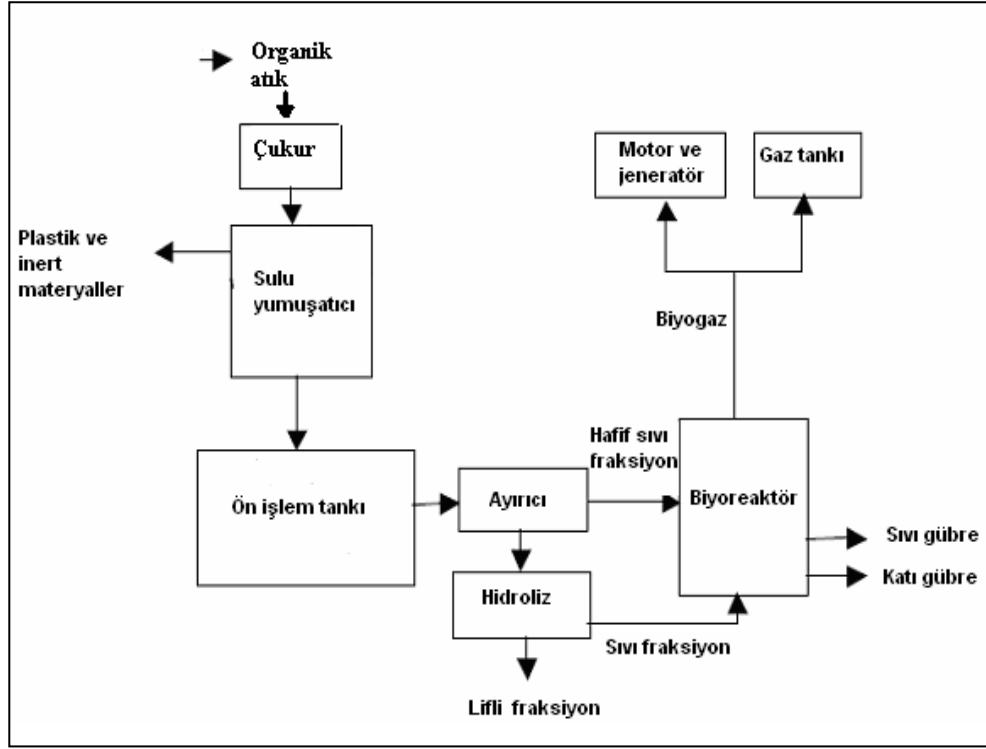
1995 yılından bu yana Bottrop/Almanya’da yılda 6500 ton biyoatık ile çalıştırılan bir fabrikada, kaynağına göre ayıklanmış organik atık ilk olarak ezme aşamasından ve manyetik ayırıcıdan geçer. Silindirik elekte yanıcı maddeler ayrılır. Kalan % 15 toplam katı içeriğindeki organik materyal besin hazırlama tankında proses suyu ile karıştırılır. Katı safsızlıklar uzaklaştırılır ve besleme stoğu anaerobik sindirim reaktörüne pompalanır (RISE-AT, 1998).



Şekil 2. Ecotec JVV Sistemi (RISE-AT, 1998).

Sistem iki veya daha fazla paralel proses dizisi ile çalıştırılır. Sindirim 35 °C’ de gerçekleştirilir ve materyalin alıkonma zamanı 15-20 gündür. Reaktörün kütlesi biyogaz sirkülasyon sistemiyle karıştırılır. Sindirilen çöp tarımsal alanda kullanım güvenliği açısından 70 °C de 30 dk pastörize edilir. Sıvı gübre, humus ve prosesde kullanılan atık su elde edilir (RISE-AT, 1998).

### 2.1.1.2. BTA Çok Fazlı Sistemi, Helsingor/ Danimarka



Şekil 3. BTA/Carl Bro Sistemi (RISE-AT, 1998).

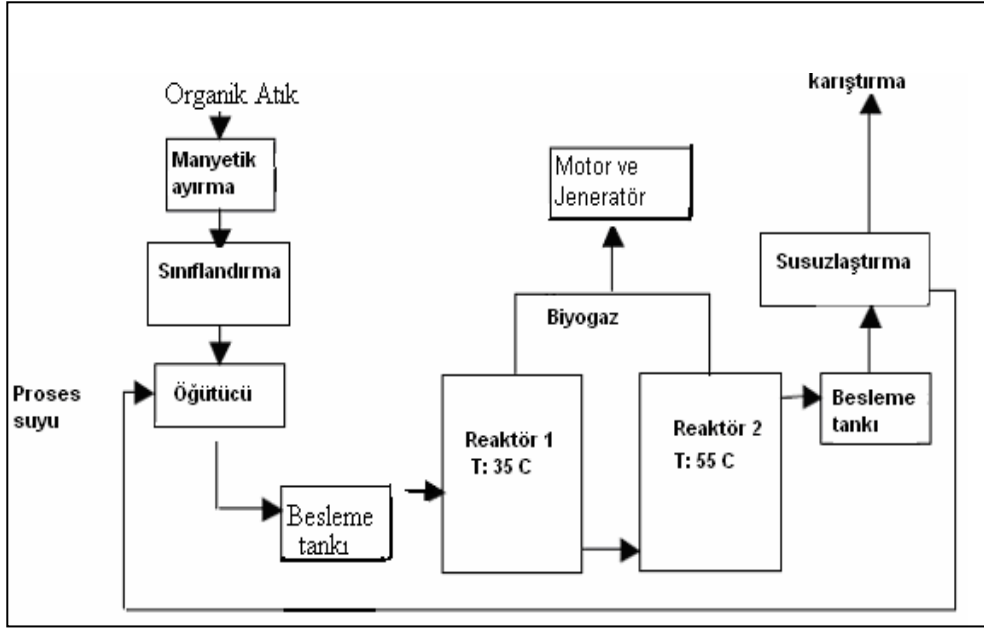
Yılda 20 bin ton kaynağına göre ayrılmış evsel atık işleyen çok fazlı BTA tesisi, 1993 yılında Helsingor/ Danimarka' da kurulmuştur. Bu sistemin amacı anaerobik işlemlerin farklı basamaklarını farklı üreteçlerde gerçekleştirilerek verimin artırılmasını sağlamaktır. Kaynağına göre ayrılmış organik atık ezilmek üzere sulu yumuşatıcıya taşınır. Atıklar sisteme alınırken uygulanan ön işlemlerle, %10 toplam katı içeriğinde bir karışım sağlanır. Ezilen biyokütle sterilizasyon amacıyla 70 °C de 1 sa ön işlemden geçirilir ve ilerleyen aşamalarda ayrışma düzeyine yardım amacıyla NaOH eklenir. Materyal hafif sıvı ve sulu çamur fraksiyonuna ayrılır. Sıvı fraksiyon sindirim reaktörüne pompalanır ve sulu çamur organik

asitlere dönüştürüldüğü hidroliz tankına pompalanır. Sistemde açığa çıkan ısı, ön işlem fazında atığın ısıtılmasında kullanılır (RISE-AT, 1998).

### **2.1.1.3. TBW Biocomp Prosesi, Regensburg/ Germany**

Biocomp metodunda kompostlama ve fermantasyon kombinasyonu kullanılmaktadır. Kaynağına göre ayrılmış organik atık endüstriyel sıvı atık ile kullanılır. Kaba fraksiyon kompost olarak değerlendirilir, daha iyi kısım ise anaerobik sindirim prosesinde işlenir. Kompost altı hafta çukurlarda biriktirilir. İyi organik fraksiyon, arıtma çamurundan ayrılan sıvı ile karıştırılarak toplam katı içeriği %10 olacak şekilde eziciye beslenir. Küçük kompostlanamayan nesnelere öğütücüden uzaklaştırılır ve karışım besleme tankına iletilir. Materyal yığınları besleme stoğundan, 35 °C'de çalıştırılan birinci reaktöre pompalanır. Bu reaktörün üst kısmından alt kısmına sulu çamurun geçişi iki hafta sürmektedir. Aktif sulu çamur 55 °C'de çalıştırılan ikinci reaktörün alt kısmına beslenir. Sindirimin termofilik fazı dekontaminasyon işlevindedir. Sulu çamur reaktörün alt kısmından üst kısmına iki haftada geçer. Bu süreçte organik içeriğin %60'ı biyogaza dönüştürülür. Reaktörlerin üst kısmı gaz toplama membranları ile teçhizatlandırılmıştır. İki fazın fiziksel ayrımı gaz üretiminde artışa yol açar. Biyogazdan üretilen enerjinin %25'i reaktörleri ısıtmada kullanılır.

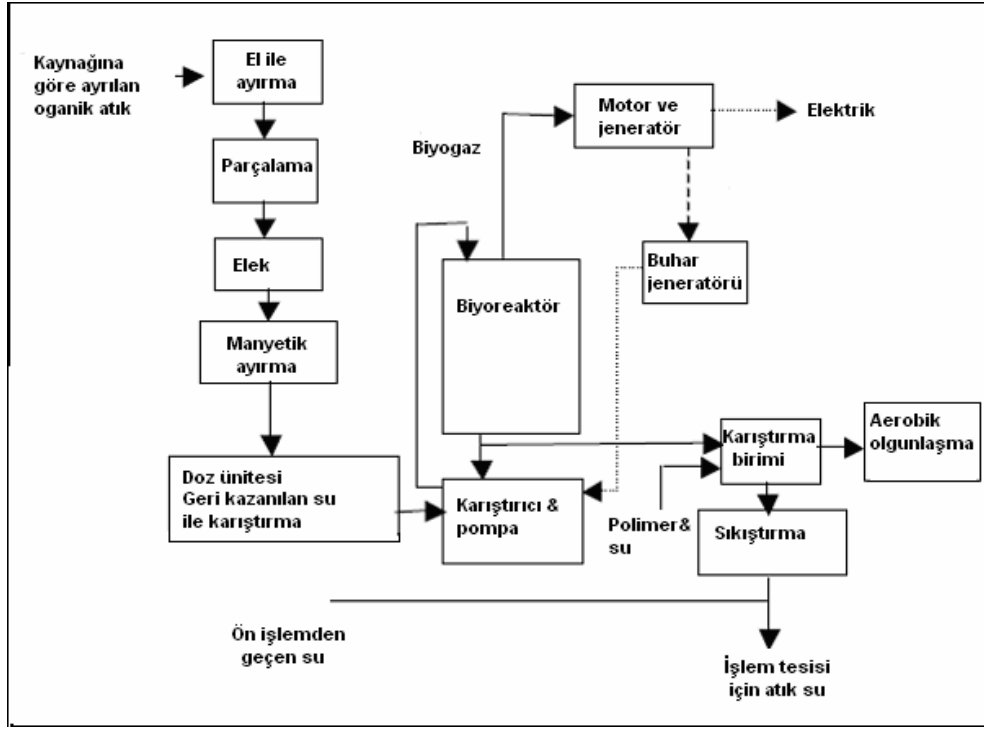
([www.eurofirms.com/at-forum/atf8/biocomp.htm](http://www.eurofirms.com/at-forum/atf8/biocomp.htm))



Şekil 4. TBW Biocomp Prosesi (RISE-AT, 1998).

#### 2.1.1.4. Dranco Prosesi, Brecht / Belgium

DRANCO prosesi tek fazlı, kuru ve yüksek oranda katı içeren atıklarla çalışan önemli bir sistemdir. Kentsel katı atıkların organik kısımlarının işlenmesinde ve biyogaz eldesinde kullanılır. Belçika'nın Brecht şehrinde 1992'den bu güne 12000 ton/yıl atık işleyen 808 m<sup>3</sup> lük üreteçten elde edilen enerji sistemi elektrik ihtiyacının %80'inin karşılanmasının yanında, 280 kW'lık jeneratörü çalıştırarak elektrik üretimini yapmaktadır. Avusturya'nın, Salzburg (20000ton/yıl), Almanya'nın Bassum (13500 ton/yıl) ve Keiserslautern (20000ton/yıl) şehirlerinde bu sistem kullanılmaktadır (RISE-AT, 1998).



Şekil 5. Organic Atık Sistemleri – Dranco Prosesi (RISE-AT, 1998).

El ile ayıklanarak kaynağına göre sınıflandırılan organik atık büyük partiküllerin ayrılması için eleğe geçiş öncesinde parçalanır. Manyetik partiküller manyetik ayırıcı ile uzaklaştırılır ve procesten geri beslenen su, besleme stoğu ile karıştırılır ve besleme stoğu 808m<sup>3</sup> kapasitedeki reaktörün üst kısmına pompalanır. Termofilik aralığın sağlandığı üreteç dikey bir tapa akışlı üreteçtir. Alıkonma zamanı 20 gündür. Reaktör içeriğinin her gün %5'i uzaklaştırılır ve basınç kullanılarak % 55 katı susuzlaştırılır. Üreteç içinde herhangi bir karıştırma işlemi yapılmaz. Sistemin kuru bir ortama gerek duyması ve karıştırmanın sıvılaşıma riskini artırması tapa akışı etkileyeceğinden karıştırma işlemi uygulanmaz. Üreteçten çıkan artıkların üçte biri sisteme beslenen atıklarla karıştırılıp beslemenin inokulasyonu için gerekli aşu olarak kullanılır. Filtrat havalandırma havuzlarında lokal kentsel

atık işleyiş tesisine boşaltılmadan önce ön işleyişe tabi tutulur. Sindirilmiş atık, reaktörden ekstrakte edilir , %50 toplam katı içeriğine susuzlaştırılır ve iki hafta aerobik olarak stabilize edilir. Humotex olarak adlandırılan son ürün, hijyenik, stabilize toprak şartlandırıcı üründür. Üretilen gazın % 7'si reaktörü ısıtmada kullanılır. Besleme stoğunun toplam katı içeriği %15-40 aralığında farklılaşır (RISE-AT, 1998).

#### **2.1.1.5. VALORGA sistemi**

Fransa'da geliştirilen ve toplam katı oranı yüksek atıklarla (%35) çalışabilen VALORGA sistemi de mezofilik aralıkta çalışarak önemli başarılar sağlanmıştır. Atıklar, ayırma, eleme gibi ön işlemlerden geçtikten sonra geri beslenecek ünite suyuyla karıştırılıp üreteece verilmektedir. Dışarı atılan atıkların filtrasyon, sentrifügasyon gibi işlemlerle ayrılmasından sistem için gereken su elde edilir. Karıştırma işlemi ise biyogazın sisteme pompalanması ile sağlanır (RISE-AT, 1998).

## **2.2. Anaerobik Biyoproseslere Genel Bakış**

Anaerobik arıtma, kompleks organik maddelerin oksijensiz ortamda ayrışma esasına dayanan, çok adımlı biyokimyasal reaksiyonlardan oluşan biyolojik bir prosestir. Prosesin başrol oyuncularını havasız ortamda yaşayan bakterilerdir. Parçalanan organik maddeler yeni bakteri hücrelerine ve son ürünlere ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NH_3$  ve  $H_2S$ ) dönüştürülürler. Bu oluşan gaz ürünlerine “biyogaz” denilmektedir. Organik maddelerin anaerobik fermantasyonu sonucu açığa çıkan biyogazın bileşimi, organik maddenin cinsine ve fermantasyon biçimine bağlı olarak değişmekle beraber ortalama hacimsel bileşimi Tablo 6'de verilmiştir:

**Tablo 6.** 1 m<sup>3</sup> biyogazın hacimsel olarak ortalama % bileşimi (Alibaş, 2004)

Bileşim elemanı	Hacimsel Bileşimi(%)
Metan (CH <sub>4</sub> )	54....80
Karbondiyoksit (CO <sub>2</sub> )	20....45
Azot (N <sub>2</sub> )	0... 1
Hidrojen (H <sub>2</sub> )	1....10
Karbonmonoksit (CO)	0,1
Hidrojen sülfür (H <sub>2</sub> S)	Eser miktarda

Metan fermantasyonu doğada karbon çevrimi ve diğer çevrimler için çok önemlidir. Çünkü metan fermantasyonunda kompleks organik maddeler CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gazına parçalanarak çok az miktarda bakteri kütesine dönüşmektedir. Bu şekilde büyük miktarda organik maddeler parçalanarak enerjilerini CH<sub>4</sub> gazında yoğunlaştırmaktadır. (<http://www.eie.gov.tr/biyogaz>).

### 2.2.1. Anaerobik Biyoproses Sistemlerinin Avantajları

- Proses stabilitesinin sağlanabilmesi
- Biyokütle atığının bertaraf maliyetinin düşüklüğü
- Besi maddesi sağlama maliyetinin düşüklüğü
- İnşa alanı gereksiniminin azlığı
- Enerjinin korunması ile ekolojik ve ekonomik fayda sağlaması
- İşletme kontrolü gereksiniminin minimize edilmiş olması
- Oluşan gazın hava kirlenmesi açısından kontrol edilebilir olması

Anaerobik proseslerde biyolojik büyüme hızı aerobik sistemlere göre daha azdır. Organik maddenin sadece %5-15'i biyokütleyle dönüşmektedir. Buna bağlı olarak ilave besi maddesi ihtiyacı da daha az olmaktadır.

Anaerobik arıtma esnasında metan gazının oluşması ile sistem kullanılabilir enerji kaynağı üretmekte, bu sayede enerji sarfıyatı daha az olmaktadır. Metan, elektrik veya ısı enerjisi üretimi için kullanılabilir enerji kaynağıdır ve enerji değeri standart şartlarda (0°C, 760 mmHg basıncı) 35,8 kJ/l'tir (Rittmann and McCarty, 2001; Speece, 1996).

### 2.2.2. Anaerobik Biyoproses Sistemlerinin Dezavantajları

- Biyokütle gelişimi için uzun başlangıç evresinin gereksinimi
- Seyreltik atıksuların arıtılması durumunda oluşan biyogaz miktarının az olması ve elde edilen enerjinin sistemi ısıtmaya yetmemesi
- Aşırı sülfatlı atıksularda koku probleminin olması
- Metanojenlerin toksik maddelere ve çevre şartlarına aşırı duyarlı olması
- Düşük sıcaklıklarda kinetik hızların daha da düşük olması
- Bazı durumlarda çıkış suyunda istenilen standart değerlerin sağlanamaması (Speece, 1996).

Anaerobik arıtmada mikroorganizmaların büyüme hızları düşüktür. Metanojenlerin çoğalma hızları, aerobik arıtmadaki mikroorganizmalara göre yarı yarıya daha azdır. Buna bağlı olarak, başlangıçta sistemin dengeye gelme süresi uzun olmakta, biyokütle kaybı yaşanması durumunda da sistemin eski haline gelmesi uzun sürmektedir.

Anaerobik sistemlerde diğer bir olumsuzluk atıksuda sülfat bileşiklerinin olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Sülfatların indirgenmesi veya proteinlerin parçalanması sonucu ortaya çıkan H<sub>2</sub>S toksik niteliktedir ve istenmeyen kötü kokulara neden olmaktadır. Biyogazın yakılması durumunda H<sub>2</sub>S'nin SO<sub>2</sub>'ye oksitlenmesi ile koku problemi azalmaktadır. Ancak, bu durumda da hava kirletici parametre olan SO<sub>2</sub>

meydana gelmektedir. Bu nedenle, anaerobik arıtmada H<sub>2</sub>S oluşumu kontrol altında tutulmalıdır.

Anaerobik ayrışma esnasında ara ürün olarak organik asitlerin oluşması ortamın pH değerini düşürmektedir. Metan üreten bakterilerin yaşayabileceği pH aralığı 6,5 ile 8,0 olduğundan sistemde pH kontrolü sürekli yapılmalı ve tampon maddesi ilave edilmelidir. Anaerobik arıtmada bu ihtiyacın sağlanması aerobik sistemlere göre daha hassas ve maliyetli olmaktadır (Rittmann and McCarty, 2001).

## **2.3. Anaerobik Biyoproses Esasları**

### **2.3.1. Mikrobiyolojik Prosesler**

Organik polimerik yapıdaki maddeler, çözünebilir hale gelmedikçe hücre zarından geçemedikleri için mikroorganizmalarca kullanılamazlar. Bundan dolayı anaerobik arıtmanın ilk adımı kompleks organik maddelerin daha basit maddelere dönüştürülmesidir. Mikroorganizmaların hücre dışına salgıladıkları enzimlerle gerçekleştirilen hidroliz oldukça yavaş bir süreçtir.

Asit üretimi olan ikinci kademedeki asetojenik bakteriler hidroliz ürünlerini asetik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürürler. Kararlı şartlarda yağ asitleri konsantrasyonu oldukça düşük seviyelerdedir.

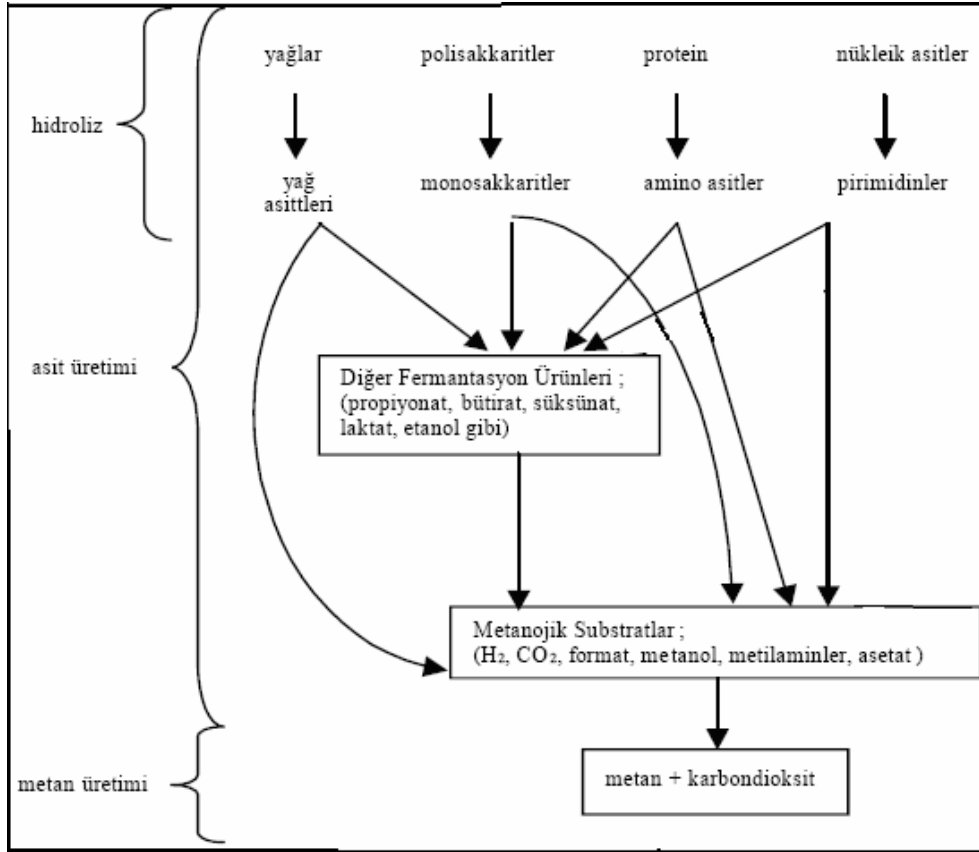
Üçüncü aşama olan metan üretimi kademesinde, diğer iki kademedeki oluşan ürünler metan üreten bakterilerce metan gazına dönüştürülür. Metan üretimi yavaş bir süreç olup anaerobik prosesinde hız sınırlayıcı safhadır.

Metan, asetik asidin parçalanması ve/veya  $H_2$  ile  $CO_2$ 'in sentezi sonucu üretilir. Oluşan metanın yaklaşık % 30'u  $H_2$  ve  $CO_2$ 'den, % 70'i ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır. Hidrojenden metan oluşumu, hidrojenin elektron vericisi ve karbondioksidin elektron alıcısı olarak kullanılması ile gerçekleşmektedir. Asetattan metan oluşumu ise, fermantasyon reaksiyonları sonucu asetatın metil grubundan metanın, karboksil grubundan da karbondioksidin oluşması ile gerçekleşmektedir (Verma, 2002; Öztürk, 1999).

### 2.3.2. Biyoreaksiyonlar

Biyoreaksiyon adımları şu şekilde tanımlanmaktadır:

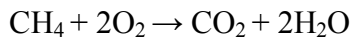
- Polimerlerin monomerik organiklere hidrolizi hidrolitik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Bu mikroorganizmalar ortamda şeker veya amino asit birikmesiyle inhibe olurlar.
- Monomerik organik substratlardan hidrojen veya format,  $CO_2$ , pirüvat, uçucu yağ asitleri, etanol ve laktik asit gibi diğer organik ürünlerin oluşması fermantasyon bakterileri tarafından gerçekleştirilir.
- İndirgenmiş bileşiklerin  $H_2$ ,  $CO_2$  ve asetata oksidasyonu hidrojen üreten asidojenler tarafından gerçekleştirilir.
- Ortamda sülfat veya nitrat olması durumunda alkoller, bütirik ve propiyonik asitler gibi indirgenmiş bileşiklerin  $CO_2$  ve asetata oksidasyonu sülfat indirgeyen ve nitrat indirgeyen bakteriler tarafından gerçekleştirilir.
- Asetik asit ve karbondioksidin metana dönüşümü metanojen bakteriler tarafından sağlanır (Alvarez, 2003).



Şekil 6. Anaerobik parçalanma prosesinin şematik gösterimi (Reith and Wiffels, 2003)

### 2.3.3. Biyogaz Üretimi

Anaerobik arıtma prosesinde son ürün olarak üretilen metanın KOİ eşdeğeri aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanabilir:



Denkleme göre standart şartlar altında (0°C, 1atm basınçta) 1 mol CH<sub>4</sub>'ın (22,4L) oksidasyonu için 2 mol (64gr) O<sub>2</sub> gereklidir. Standart şartlarda giderilen 1 gr KOİ için 0,35 l CH<sub>4</sub> üretilir. Bu miktar,

35°C sıcaklık ve 1atm basınçta 0,395 l CH<sub>4</sub> /gr KOİgid'e tekabül etmektedir (Speece, R.E., 1996).

## **2.4. Anaerobik Biyoproses Sistemleri**

### **2.4.1. Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik Reaktörler**

Yüksek konsantrasyonlarda immobilize bakteri içerirler. Herhangi bir dolgu materyali olmasa da bakteriler üreticin tabanında örtü şeklinde tabaka oluşturan büyük granüllü artıklara tutunurlar ve sisteme beslenen atıklar sistemin tabanındaki bu katmandan geçerken gaz çıkışını sağlayan reaksiyonlar gerçekleşir. Endüstride yaygın olarak kullanılan üreteçlerdir. Distilasyon üniteleri, gıda üretim üniteleri, kanalizasyon sistemleri ve mandıra ünitelerinden çıkan atıklarla çalışmaya uygundur. Çözünebilen organik maddelerin, özellikle partikül boyutları da küçükse, gaza dönüştürülmesinde çok verimlidirler. Tasarımı sayesinde yüksek yükleme miktarlarına dayanıklıdır ayrıca işletme maliyetleri, çok farklı atıklarla çalışmaya olanak verdiği için uygundur (Öztürk, 1999).

### **2.4.2. Anaerobik Filtreler**

Yukarı akışlı anaerobik filtreler plastik malzeme ile yapılan dolgu malzemesi içerir. Atıksu, filtre malzeme üzerinde sabit bir film biçiminde büyüyen mikroorganizmalar tarafından parçalanır. Filtre malzemesinin yüzey alanı çok önemli bir parametredir. Yüzey alanı büyüdükçe arıtım verimi yükselir. Bu sistemin alt kısmında biyokütle fazlasını toplamak ve sistemden uzaklaştırmak için bir bölüm bulunur.

Genellikle, yukarı akışlı anaerobik filtrelerde gerekli karışımı sağlamak ve/veya filtre yatağının tıkanan bölümlerini açmak için, sisteme basınçlı gaz (nitrojen ya da sistemde oluşan gaz karışımı) vermek üzere bir ünite yerleştirilir. pH kontrolü amacıyla sistemin çıkış suyu sistemin girişine geri devredilebilir.

Aşağı akışlı anaerobik filtre birçok yönden yukarı akışlı anaerobik filtre ile benzerlikler gösterir. Ancak akış yönü aşağı doğru olduğundan, bu sistemde askıda maddeler çıkış suyuyla beraber dışarı atılmakta ve tıkanma sorunları yukarı akışlı anaerobik filtrelere oranla çok daha az ortaya çıkmaktadır. Ayrıca çıkış suyu reaktör girişine geri döndürülmektedir (Öztürk, 1999).

#### **2.4.3. Akışkan Yataklı Anaerobik Reaktör**

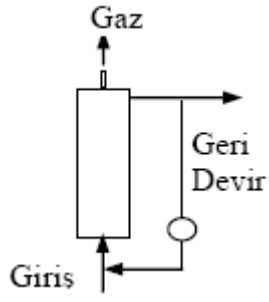
Bakterilerin tutunduğu dolgu materyali (aktif karbon, peletler, kum v.s) beslenen atıklar ile her an akışkan halde tutulurlar. Bu sayede her parçacık yüzey alanını tamamen kullanma fırsatı bularak bakteri tutunmasını artırır ve dolayısıyla biyofilm oluşumu artarak verim artar.

İnhibisyona ve yüksek yükleme miktarlarına dayanıklıdırlar. Akışkan yataklı reaktörler, sabit yataklı sistemlere göre daha verimlidirler. Çünkü mikroorganizmaların substratlarla daha iyi etkileşimi gerçekleşebilir ve maliyetleri, daha düşük hacimlerle çalışmaya uygundur (Öztürk, 1999).

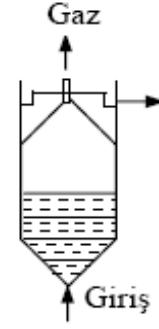
#### 2.4.4. İki Fazlı Reaktör

İki fazlı anaerobik sistemlerin potansiyel avantajları şöyle özetlenebilir; 1) Ayrı fazlarda farklı mikroorganizma grupları için oluşturulan iki farklı ortam bu mikroorganizmaların büyümeleri ve aktiviteleri için daha uygun ortamlar oluşturularak sistem stabilitesini arttırabilir, 2) Atıksudaki toksik maddeler asit fazında kalarak çevresel parametrelere daha dayanıklı olan asitofenleri etkileyeceğinden faz ayırımı metan fazında toksisiteden daha fazla etkilenen metanojenler için tampon işlevi görür, 3) Özellikle hidroliz aşamasının sınırlayıcı adım olduğu atıksular söz konusu olduğunda faz ayırımı daha optimal olabilir, 4) Yüksek oranda H<sub>2</sub> üretimine yol açan hidroliz ve asit üretimi aşamalarının ilk fazda gerçekleşmesi, ikinci fazda H<sub>2</sub>'e duyarlı metanojenik mikroorganizmalar için daha uygun bir ortam sağlar.

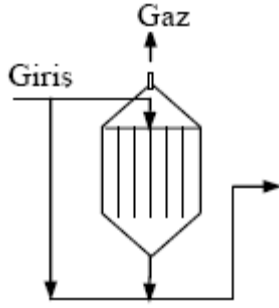
Son yıllarda yapılan bir çok araştırma kademeli sistemlerin yüksek organik yükü altında yüksek arıtma verimi ile işletilebileceğini, daha kararlı performans gösterdiği ve propiyonik asit gideriminde tek kademeli sistemlere görece daha avantajlı olduğunu göstermiştir (Dinopoulo et.al,1988; Öztürk, 1999).



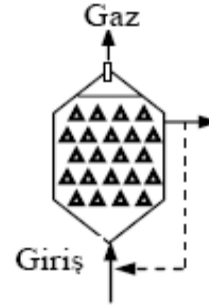
Şekil 7. Akışkan Yataklı Anaerobik Reaktör (Öztürk,1999)



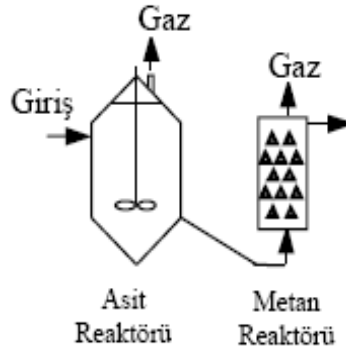
Şekil 8. Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik Reaktör (Öztürk,1999).



Şekil 9. Anaerobik Filtre (Aşağı Akışlı) (Öztürk,1999).



Şekil 10. Anaerobik Filtre (Yukarı Akışlı) (Öztürk,1999).



Şekil 11. İki Kademeli Reaktör (Öztürk,1999).

## 2.5. İşletmeye Alma ve Proses Kontrolü

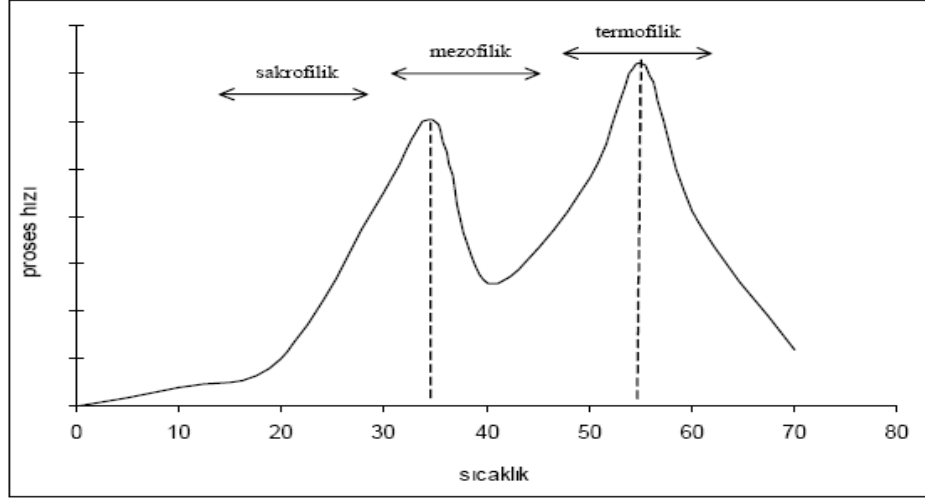
Anaerobik arıtma süreçlerinde birçok faktör arıtma verimini etkilemektedir. Bunlar; hidrolik bekletme süresi (HBS) ve organik yükleme gibi yükleme faktörleri, sıcaklık, pH, besi maddesi, toksik maddeler gibi çevresel faktörler veya karıştırma gibi işletme faktörleridir (Grady et al.,1999). Başarılı işletmeye alma aşaması ve uygun işletilme ile anaerobik sistemler mikrobiyal olarak dengeye gelir ve stabil verimler elde edilir. Bu dengenin kurulması öncelikle uygun aşının kullanılmasıyla olur. Daha sonra, işletmeye alma süresince organik asit oluşumunun ve pH'nın sürekli kontrolü gereklidir. Düşük hızlı reaktörlerde (OYH= 1-5 kgKOİ/m<sup>3</sup>-gün) işletmeye alma süresi daha düşük biyokütle konsantrasyonlarında ve daha kısa sürelerde tamamlanır. Buna karşılık, yüksek hızlı (OYH = 5-25 kgKOİ/m<sup>3</sup>-gün) anaerobik sistemler için daha yüksek biyokütle konsantrasyonlarına ihtiyaç vardır (Rittmann and McCarty, 2001).

### 2.5.1. Optimum Çevre Şartları

Anaerobik arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizma topluluğunun kapasitesinden en verimli şekilde yararlanabilmek için reaktörde optimum çevre şartlarının sağlanması gerekir (Öztürk, 1987; 1999).

#### 2.5.1.1. Sıcaklık

Sıcaklık faktörü anaerobik reaktörleri hem kinetik, hem de termodinamik açıdan etkiler. Anaerobik proseslerde, sıcaklık atışı ile biyokütlenin çoğalma hızının artması ve parçalanma reaksiyonlarının daha çabuk olması nedeniyle proses verimi artış göstermektedir. Şekil 11'de anaerobik parçalanma proses hızının sıcaklık ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 12. Anaerobik proses hızının sıcaklık ile değişimi (Öztürk, 1987).

Termofilik sıcaklıklarda çalışmak biyolojik ayrışabilirliği yüksek olan atıkların arıtımında problem ortaya çıkarabilmektedir. Sıcaklık artışı ile artan kinetik aktivite ve çoğalma hızı, asitojenlerin metanojenlerden daha hızlı asit üretmesine neden olur ve mikroorganizmalar arasındaki dengeyi bozarak ortamda asit birikmesine yol açabilir. Yüksek sıcaklıklarda reaksiyonların daha hızlı gerçekleşmesi, uygulamada sıcaklık artışı ile HBS'lerinin düşürülebilmesine imkan sağlamaktadır (Öztürk, 1987; 1999).

### 2.5.1.2. Hidrojen İyonu Konsantrasyonu

Anaerobik prosesde pH temel kontrol parametrelerindedir. Metanojenler pH değişimine hassastırlar ve buna bağlı olarak da, metan üretimindeki reaksiyonları değişiklik göstermektedir. Hidrojen veya asetik asit kullanılarak metan gazının oluşum yüzdeleri en ufak pH değişimi ile farklılık gösterir. pH 5,0-6,0 aralığında ise metan oluşumunda hidrojen kullanan metanojenlerin daha aktif olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, ortamda asetik asit birikmesi gözlenmiş ve bunun nedeninin düşük pH değerlerinde asetik asitten metan oluşumunu sağlayan metanojenlerin aktivitesinin düşmesi olduğu saptanmıştır. Metanojenler için optimum pH aralığı 6,5-8,2 kabul edilir.  $pH > 8$  için aktivitenin aniden düşmesi ortamdaki serbest amonyak miktarıyla ilgilidir.  $pH < 5,5$  halinde ise hem metan, hem de asit bakterileri inhibisyona uğrarlar (Öztürk, 1987; 1999).

### **2.5.1.2. Alkalinite**

Ortamın pH'sının düşmesi ve bunun sonucu olarak, alkalinitenin azalması durumunda sistemin alkalinitesinin ilave kimyasallar ile artırılması gereklidir. Yaygın olarak kullanılan kimyasallara örnek olarak  $Ca(OH)_2$ ,  $NaHCO_3$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NaOH$ ,  $NH_3$  veya  $NH_4HCO_3$  verilebilir (Öztürk, 1987; 1999).

### **2.5.1.3. Nutrient Gereksinimi**

Tüm biyolojik sistemlerde olduğu gibi anaerobik proseslerde de biyokütle sentezi için ortamda besi maddeleri ve iz elementlerin mevcut olması gereklidir. Arıtılan atığın KOİ/N/P bakımından dengeli olması çok önemlidir.

Azot (N) ve fosfor (P) gibi makro nütrientlerin yanısıra Na, K, Mg, Fe, S, Ni, Co, Mo, Se ve W gibi iz elementler de proses için gereklidir. Özellikle çevre şartlarının optimum olduğu durumda etkin KOİ giderimi ve düşük uçucu asit seviyeleri elde edilemezse, iz elementin eksikliği sözkonusu olabilir.

Anaerobik prosede kararlılığın sağlanabilmesi için ortamda kesinlikle serbest oksijen bulunmamalıdır. Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile

arıtma sürecini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle,  $\text{NO}^{-3}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_4^{-}$  vb. maddeler anaerobik sistemlerin verimini olumsuz yönde etkiler. Ortamda içerisinde aşırı miktarda sülfat olması durumunda, sülfat indirgeyen bakteriler baskın duruma gelir.  $\text{H}_2\text{S}$ 'nin yüksek konsantrasyonları havasız arıtmada inhibisyon etkisi yapmaktadır. Yüksek seviyede  $\text{NH}_4$  veya protein ihtiva eden atıklarda  $\text{NH}_3$  toksiditesi de önemli bir sorundur. Amonyak inhibisyonunda sıcaklık ve pH gibi ortam şartları inhibisyon derecesini etkilemektedir (Öztürk, 1987; 1999).

### **2.5.2. Anaerobik Süreçlerin İzlenmesi ve Kontrolü**

Proses kontrolünün amacı, arıtma sistemindeki düzensizlikleri mümkün olan en erken sürede tespit etmektir. Anaerobik ayrışmanın istenilen düzeyde olabilmesi için sistemin sürekli izlenmesi ve kararsızlıklara karşı gerekli tedbirlerin zamanında alınması gerekir. Etkili bir işletme ve izleme ile, yüksek verimli arıtmanın sağlanması, metana dönüşüm oranının yüksek olması ve olabildiğince az arıtma çamuru oluşması gibi yararlı sonuçlar elde edilir (Öztürk, 1999).

Kararlılığını kaybeden bir anaerobik reaktörde dengesizlik ilk olarak sistemdeki toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonunun artması sonucu pH'da ani bir düşüş ile kendini gösterir. pH'daki düşüşten bir süre sonra alkalinite de ani azalma gözlenir. Bu esnada gaz üretiminin yavaşlaması nedeniyle gaz debisinde azalma ve gazdaki metan yüzdesinde düşüş olur. Bunların sonucu olarak reaktör çıkışındaki  $\text{KOİ}$  konsantrasyonu yükselir ve sistemin verimi düşer (Öztürk, 1999).

### 2.5.2.1. Prosesteki Kararsızlıklar

Anaerobik sistemlerde prosesteki kararsızlığa sebep olan faktörler başlıca iki ana kısımdan oluşur. Kısa süreli kararsızlıklar; ekipman arızaları, sıcaklıktaki ani değişme, organik yükteki ani artış ve atığın bileşimindeki değişikliklerdir. Atık içerisindeki zararlı maddeler, reaktörün pH'sındaki ani düşüş veya alışma evresindeki mikroorganizma çoğalma hızının yavaş oluşu gibi değişimler de uzun süreli kararsızlıklar olarak ifade edilir.

Bazı kararsızlık durumlarında reaktörde pH'nın artırılmasına ve organik yükün azaltılmasına rağmen sistemde uçucu asit konsantrasyonu düşmeyebilir. Bu durum, uçucu asidin propiyonik asit ağırlıklı olduğunu göstermektedir. Bu durumda, reaktör iyice seyreltilmiş atık veya temiz su ile yıkanır. Uçucu asit konsantrasyonu normal seviyeye geldikten sonra organik yükleme kademeli olarak artırılır.

Gaz debisindeki düşme ve CH<sub>4</sub> yüzdesindeki azalma anaerobik reaktörlerde kararsız durumun göstergesidir. İyi işletilen reaktörlerde metan yüzdesi %70'in üzerindedir. Bu değer %65'in altında ise sistem dengesi bozulmuş demektir (Öztürk, 1999).

## 2.6. Kentsel Katı Atıklar ile Biyogaz Üretimi Çalışma Örnekleri

Christof ve arkadaşları, anaerobik fermantasyon çalışmalarında, 200 l Sürekli Karıştırılmalı Tank Reaktörü (SKTR) ve 50 l Yukarı Akışlı anaerobik filtreden (YUAF) oluşan iki basamaklı sistemde, substrat olarak mekanik olarak ayrılmış evsel organik atıkların sıvı fraksiyonunu kullanmıştır. SKTR 5 ay süresince 9,8 kg KOİ m<sup>-3</sup>gün<sup>-1</sup> organik yükleme düzeyinde

çalıştırılmıştır. 24 gün hidrolik bekleme süresi (HBS) ile %68 düzeyinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) giderimi söz konusudur ve gaz üretimi  $4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ gün}^{-1}$  dir. Sistemde 50 l hacmindeki YUAF, SKTR ile bağlantılıdır. YUAF' de 6 gün hidrolik alıkonma zamanı ile KOİ giderimi %38 ve gaz üretimi  $1,8 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ gün}^{-1}$  olarak kaydedilmiştir. İki fazlı sistem  $13 \text{ kg KOİ m}^{-3} \text{ gün}^{-1}$  organik yükleme düzeyinde %80 düzeyinde etkilidir. YUAF' de üretilen biyogazın metan içeriği %61 ve SKTR'de bu oran %47'dir. Bu çalışmada sistemin ikinci basamağında yüksek organik yükleme ve düşük HBS ile YUAF sistem kullanılarak biyomasın immobilizasyonu başarılmıştır. 2 fazlı proses ile anaerobik filtrenin avantajlarından yararlanılmaktadır. Literatürde, 2 fazlı, termofilik proses yararları (yüksek organik yükleme ve patojen giderimi) ile mezofilik prosesin yararları (yüksek proses stabilitesi ve düşük uçucu yağ asidi birikimi) birleştirilerek anlatılmıştır. Bu çalışmada, kentsel organik atıkların faz ayrımının ve sıvı fraksiyonunun cam yünü ile doldurulmuş anaerobik süzgeçte immobilizasyonun avantajları kombine edilmiştir (Held et al., 2002)

Elango ve arkadaşları, çalışmalarında anaerobik sindirim prosesi ile kentsel katı atık ve lağım pisliği karışımından biyogaz üretimini esas almışlardır. Çıkış suyu ve nitrojen ve fosfor açısından zengin reaktör kalıntıları gübre olarak toprağa kazandırılmıştır. Araştırmada el ile ayıklanmış, doğal yöntemler ile kurutulmuş, 2-4 mm partikül boyutlarına parçalanmış kentsel atık organik katı ve metanojik bakterilerce zengin lağım pisliği ile birleştirilerek substrat konsantrasyonu arttırılmıştır. Kesikli tipteki 5L hacmindeki reaktör, 26-36 °C sıcaklık aralığında, 26 gün HBS ile 0.5, 1.0, 2.3, 2.9, 3.5 ve 4.3 kg UK/m<sup>3</sup>/gün olmak üzere farklı organik yükleme düzeylerinde çalıştırılmıştır. Maksimum biyogaz üretimi 2,9 kg UK/m<sup>3</sup>/gün değerinde, 0.36 m<sup>3</sup>/kg olarak elde edilmiştir. Katı

atıkların % 87, uçucu katıların %88 ve Kimyasal Oksijen İhtiyacının % 89 oranındaki maksimum giderimi, optimum bu organik yükleme düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu çalışmada istenen konsantrasyonda toplam katı eldesi için, besleme stoğunun (kentsel katı atıklar) seyreltilmesinde lağım pisliği kullanılmıştır bu sayede biyogaz üretimi de artmıştır. Organik yükleme düzeyindeki artışa bağlı olarak uçucu yağ asidi konsantrasyonları da artmıştır. Çıkış suyu %60 N, %73 P ve %70 K olmak üzere yüksek nutrient içeriğindedir (Elango et.al, 2006).

Sponza ve Ağdağ , anaerobik simüle biyoreaktörlerde katı atıkların sıkıştırılması ve parçalanmasının katı atık arıtımına ve sızıntı suyu özelliklerine etkilerini üç adet biyoreaktörde incelemişlerdir. Tüm reaktörler sızıntı suyu geri devirli çalıştırılmıştır. Reaktörlerden birine ham atık (kontrol reaktör), ikincisine 0,5-1cm boyutlarında parçalanmış atık (parçalı reaktör), üçüncüsüne ise sıkıştırılmış katı atık (sıkıştırılmış reaktör) yüklenmiştir. Tüm reaktörlerde sızıntı suyu geri devir oranı 300 ml/gün'dür. pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), uçucu yağ asidi (UYA), amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N), toplam ve metan gazı üretimleri düzenli olarak izlenmiştir. 57 günlük inkübasyon süresi sonunda pH, KOİ, UYA açısından parçalı reaktörün diğer reaktörlerden daha iyi olduğu gözlenmiştir. Kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalı reaktörlerden elde edilen sızıntı sularında 57 günlük anaerobik inkübasyon sonucu gözlenen KOİ değerleri sırası ile 6400 mg/l, 7700 mg/l ve 2300 mg/l, UYA değerleri ise 2750 mg/l, 3000 mg/l ve 354 mg/l'dir. pH değerleri sırası ile 6.88, 6.76, 7.25'tir. 57 günlük inkübasyon süresi sonunda kontrol, sıkıştırılmalı ve parçalı reaktördeki metan yüzdeleri, % 36, % 46 ve % 60'tır. Parçalı reaktör diğer iki reaktörden daha yüksek ayrışma hızına sahiptir. Yapılan deneylerde, parçalı reaktörlerin atık miktarı, organik

madde azalması ile atık ayrışma zamanı açısından diğer iki reaktöre kıyasla daha iyi olduğu gözlenmiştir (Sponza ve Ağdağ, 2005).

Gomez ve arkadaşları çalışmalarında, birincil çamur ile kentsel katı atıkların meyve ve sebze kısmı ile anaerobik sindiriminin sonuçlarını sunmaktadır. Sindirim prosesi statik şartlarda gerçekleşmiştir. Meyve ve sebze atıkları ile birlikte sindirim yalnızca çamurun sindirimi sonucu elde edilen sonuçlardan daha iyidir. Besleme stoğunun daha fazla uçucu katı içeriğine bağlı olarak biyogaz üretimi daha fazladır. Ayrıca eş sindirim prosesi farklı organik yükleme düzeylerinde ve düşük karıştırma şartlarında stabil performans göstermiştir (Gomez et al., 2006).

Öztürk ve Gömeç çalışmalarında organik katı atıklar ile evsel atıksuların birlikte havasız arıtımını incelemişlerdir. Evsel atıksular ile, organik katı atıkların biyoenerji ve besin değeri (nutrient) geri kazanımı ağırlıklı entegre arıtımı günümüzde sürdürülebilir ve uygun bir arıtma seçeneği oluşturmaktadır. Bu tür bir entegre arıtma yaklaşımı ile evsel atıksular ve katı atıkların organik kısmı bünyesindeki karbonlu organik maddelerden azami oranda biyometan; azot ve fosfor bileşikleri ise  $MgNH_4PO_4$  veya doğrudan tarımsal sıvı gübre ve kompost olarak geri kazanılabilmektedir. Entegre atık arıtma sistemi, sulama mevsimlerinde asgari oranda nutrient giderimli, diğer dönemlerde ise olabildiğince yüksek oranda azot ve fosfor giderek tarzda esnek bir işletme stratejisi ile optimize edilebilmektedir. Düşük katılı anaerobik biyometanizasyon sisteminde oluşan fermantasyon ürünleri öncelikle, evsel atıksu sisteminin denitrifikasyon kademesinde kolay ayrışan karbon kaynağı olarak kullanılabilir. Hidroliz reaktöründen çıkan katı kısım ise metan reaktöründe evsel atıksu arıtma tesisinden gelecek biyolojik çamurla birlikte çürütülerek biyometan ve kompost üretiler. Tesisin çamur

susuzlaştırma kademesinde açığa çıkan ve yüksek oranda  $\text{NH}_4\text{-N}$  ve P içeren su fazı gübre olarak kullanılabilir veya  $\text{pH}>8$ ' de uygun oranda Mg ilavesi ile  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  formunda geri kazanılabilecektir (Öztürk ve Gömeç, 2004).

Hartmann ve Ahring çalışmalarında kentsel katı atıkların organik fraksiyonunun sindirimini 2 termofilik ıslak sindirim reaktöründe incelemiştir. Öncelikle yüksek konsantrasyonda katı atık organik fraksiyonu 14–18 gün HBS'de, 3,3-4,0 g UK/l/gün organik yükleme düzeyinde dışkı ile birlikte sindirilmiştir. 2. reaktörde %50 (UK/UK) KKAOF: dışkı oranında eş sindirime adaptasyon süreci 6 hafta sürmüştür. 1. reaktörde bu oran 8 hafta sonra %100'e arttırılmıştır. Sirküle olan proses sıvısının, 1. reaktöre organik yüklemesi ile stabilizasyon etkisi gözlenmiştir. pH değeri 8'e yükselmiş ve reaktör yüksek biyogaz verimi ve düşük UYA değerleri ile stabil performans göstermiştir. Kaynağına göre ayıklanmış KKAOF'nun biyogaz verimi, eş sindirim konfigürasyonu ve proses sıvı geri sirkülasyonu ile 0,63 – 0,71 l/g-UK dir. Bu verim ton katı atık başına 180–220 m<sup>3</sup> biyogazdır. %69–74 UK giderimi %100 KKAOF işlenişinde başarılmıştır. 0,45–0,62 g-N/l serbest amonyak konsantrasyonunda her iki proste de inhibisyon etkisi gözlenmemiştir ( Hartmann and Ahring, 2005).

Bolzonella, kentsel katı atıkların organik fraksiyonu (KKAOF) ile aktive edilmiş çamurun anaerobik eş sindirim prosesinin İtalya' da Viareggio ve Treviso atıksu işleyiş tesislerindeki uygulamalarını sunmaktadır. 1. tesiste günde 3 ton kaynağına göre ayıklanmış KKAOF, atıkla aktive edilmiş çamur ile birlikte sindirilir. Organik yükleme düzeyi 1,0 dan 1,2 kg TUK/ m<sup>3</sup> d düzeyine arttırılarak biyogaz üretiminde %50 artış gözlenir. 2 yıldır çalıştırılmakta olan Treviso atıksu işleyiş tesisinde düşük enerji tüketimi ile günde 10 ton ayrı ayrı toplanmış ve ayıklanmış KKAOF

işlenmektedir. Bu şartlar altında biyogaz verimi ayda 3500 m<sup>3</sup> ten 17500 m<sup>3</sup>'e arttırılmıştır. Ve endüstriyel ödemeler için ton organik atık başına 50 Eurodan az ödeme tutarı belirlenmiştir. Eş sindirim prosesi ile reaktör performansı ve enerji dengeleri geliştirilmiştir. Tam ölçekli ve pilot ölçekli projelerde düşük organik yükleme seviyelerinde anaerobik sindirim prosesi iyi performans göstermiştir. 0,78 kg TUK/ m<sup>3</sup> d organik yükleme uygulandığında, spesifik biyogaz üretimi 0,43 m<sup>3</sup> /kg TUK dır. Viareggio tesisi ve ekonomik maliyetleri, reaktörün çalışma saatleri ve eş sindirim ile verim düzeyleri belirtilmiştir (Bolzonella et. al, 2006).

Bolzonella ve arkadaşları, ayıklanmış çeşitli kentsel katı atıklar ile beslenmiş kuru anaerobik sindirim uygulanan reaktörleri karşılaştırmışlardır. 1.reaktör organik atıklarla ve 2.reaktör kül atıkları, mekanik olarak ayıklanmış kentsel katı atıklar ve lağım suyu karışımı ile beslenmiştir. Her iki reaktörde de Valorga prosesinden yararlanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, proses performansı üzerinde besleme stoğunun etkisini vurgulamaktadır. 1.reaktörde ton atık başına 200 m<sup>3</sup>, 2. reaktörde 60 m<sup>3</sup> biyogaz üretilmiştir. Spesifik metan üretimi 0,40 ve 0,13 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg TUK'dır (Bolzonella et al, 2006).

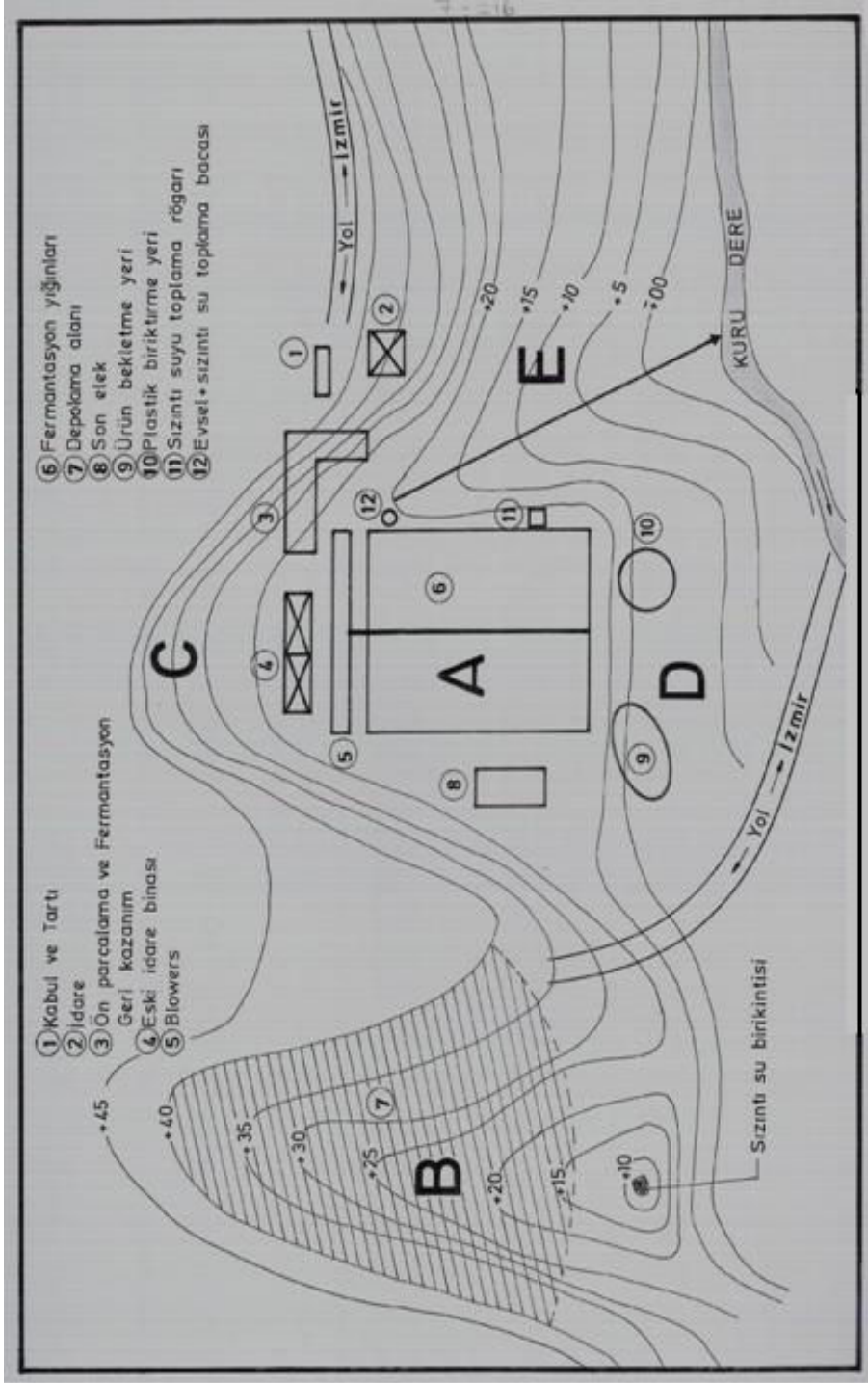
### **3. MATERYAL VE METOD**

#### **3.1. Materyal**

Çalışmamızda hammadde olarak İzmir Uzundere Kompost Tesisi'nden temin edilen katı atığın, cam, plastik, kâğıt, metal, lastik v.b materyallerden ayıklanmış organik kısmı kullanılmıştır.

##### **3.1.1. UZUNDERE KOMPOST TESİSİ VE İŞLEM AKIŞLARI**

Şekil13'de görüldüğü gibi fabrikaya girmeyen çöplerin ve kompost tesisi artığı olan çöplerin deponiye ulaştırıldığı yol ve organik madde içeriği fazla veya geri kazanılabilen maddelerin taşındığı yol olmak üzere İzmir'den gelen yol ikiye ayrılır. İlk aşamada çöpler tartılır ve kayıt yapılır. Ayıklama ünitesinden geçen çöpler tambura gelir ve homojen olarak karışımı yapılır. Tamburda belli bir bekleme süresi vardır. Belirli sıcaklığa geldiğinde, buradan alınan çöp 12 tane fermantasyon yığınınına alınır. Bir yığınının 6 hafta bekleme süresi vardır. Yığıntılarının altında sızıntı suyunu toplayan drenaj kanalı ve hava üfleyen ve emen borular vardır. İlk üç hafta yığından hava emilir. Sızıntı suyu ve kanalizasyon suyu toplanır, evsel suyla karışınca seyrelme söz konusudur. Kompostun cam, plastik, kâğıt parçaları son ayıklama ünitesinde toprak kıvamında bir madde türüne dönüşür.



Şekil 13. Uzundere Kompost Tesisi ve Depo Planı



### 3.1.2. Katı Atık Karakterizasyonu

Çalışmamızda kullanılan katı atığın karakterizasyonu Tablo 7'de verilmektedir.

**Tablo 7.** İzmir kentsel atık karakterizasyonu (Şen ve Bilgin, 2005)

Nem (%)	Organik Madde (%)	TOC (mg /kg kuru madde)	TN (mg/ kg kuru madde)	C/N	pH
53.4	36.1	119200	4900	24	7.7
Top-Cr *	Top-Cu *	Top-Ni *	Top-Pb *	Top-Zn *	
208	138	4	64	180	

\* Ağır metal konsantrasyonları ppm olarak verilmektedir.

## 3.2. Metotlar

### 3.2.1. Biyokimyasal Metan Potansiyeli Testi (BMP)

İzmir katı atığının organik fraksiyonunun anaerobik biyolojik parçalanabilirliğini ve biyogaz üretim potansiyelini tespit etmek amacıyla Biyokimyasal Metan Potansiyeli Test (BMP) prosedürü (Owen, 1979) kullanılmıştır. En az otuz gün süreli BMP deneyi organik atıkların anaerobik arıtılabilirliği hakkında ilk bilgileri sağlar. BMP deneyi ile atık içindeki metana dönüşme potansiyeli olan organik madde konsantrasyonu belirlenebilir. Anaerobik ortamda KOİ giderimi esas olduğundan CO<sub>2</sub> oluşumunun BMP üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. 35°C' de giderilen 1 gr KOİ, 395 ml CH<sub>4</sub>'e eşdeğer olduğundan, üretilen metan miktarı yardımıyla KOİ giderimi hesaplanabilir ( Speece, 1996). BMP deneyleri, anaerobik mikrobiyal aktivite için gerekli olan bütün ihtiyaçları (besiyeri,

biyokütle, anaerobik aşı çamuru vb.) sağlayacak reaktör görevi yapan 100 ml'lik kahverengi cam şişelerde gerçekleştirilmiştir. Mikrobiyal aktivite için gerekli olan ihtiyaçlar; reaktörün oksijenden arındırılması, anaerobik aşı kültürü, optimum sabit sıcaklık ( $T=35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), mikro ve makro nutrientler ve pH düşüşünü önlemek için bir tampon kullanılmasıdır.

### 3.2.1.1. Bazal Ortam

Anaerobik mikrobiyal aktivite için gerekli bazal ortam içeriği aşağıdaki gibidir: (Speece, 1996).

$\text{NH}_4\text{Cl}$ :400  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 400  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{KCl}$  : 400  $\text{mg l}^{-1}$ ,  
 $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ : 300  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 50  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ :80  $\text{mg l}^{-1}$ ,  
 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ : 40  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 10  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{KI}$ : 10  $\text{mg l}^{-1}$ ,  
 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ : 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ : 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  
 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ : 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  
 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 0,5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ : 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ,  
 Cystein: 10  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ : 6000  $\text{mg l}^{-1}$

### 3.2.1.2. Karışık Kültür

Anaerobik reaktörlerde organik maddelerin metana dönüştürülmesi anaerobik bir konsorsiyum tarafından sağlanmaktadır. Granül şeklinde bulunan bu topluluğun boyutları 0,5–2 mm arasında değişmektedir. 1 gr granül çamur günde 0,5–1 g  $\text{KOI}'\text{yi}$  metana dönüştürebilmektedir. Granül çamur metanojen ve asidojen mikroorganizmaların oluşturduğu bir topluluktur.

BMP denemelerinde aşı kültürü olarak İzmir, Pınarbaşı'nda bulunan Biracılık ve Malt sanayi atıksularını arıtan YAÇY (yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı) reaktöründen alınan granüler çamur kullanılmıştır.

BMP deney setimiz için biyoreaktörlerimizin hazırlanması aşağıdaki gibidir:

1. Tablo 8’de her satırda yer alan kombinasyondan 3 şişe ile çalışıldı. Toplam 63 şişe ile deney gerçekleştirildi.
2. Öncelikle şişelere etiketleme yapıldı. Bu etiketlere reaktör içi KOİ (mg/l) miktarları yazılarak numaralar verildi.
3. Granül biyoması manyetik karıştırıcıda karıştırılarak, anaerobik granül mikroorganizma ile yapılan biyoreaktörlere 5’er ml, KOİ değeri 3–10–30 g/L olacak şekilde hazırlanan biyoreaktörlere 10’ar ml konuldu.
4. Biyoreaktörlerimizde yeterli tamponlama kapasitesini sağlamak amacıyla alkalinite ilavesi gerekmektedir. Alkalinite kaynağı olarak 60.000 mg/L  $\text{NaHCO}_3$  stoğundan aşırı olmaksızın hazırlanan reaktörlerimiz hariç diğer şişelere 5’er ml konulmuştur.
5. Katı atık organik fraksiyonu ile hazırlanan stok çözeltilerden (%5-%10-%20-%35) tabloda belirtilen miktardaki seyreltilmiş çözeltilerden şişelere ilave edildi.
6. Şişe içindeki toplam sıvı hacminin 50 ml olabilmesi için gerekli olan saf su şişelere ilave edildi.
7. Tamamen anaerobik koşulların sağlanabilmesi için tepe gazları % 75  $\text{N}_2$  ve % 25  $\text{CO}_2$  ‘den oluşan gaz karışımı ile 3-4 dak süresince yıkandı.
8. Ağızları sıkıca kapatıldıktan sonra 35-36 °C’de otomatik çalkalamalı inkübatöre kaldırıldı.

**Tablo 8.** BMP deney seti için çalışma tablosu

		Stoktaki	Reaktördeki				Distile
	Biyomas	KOİkarışım	KOİ	Aşı	Alkalinite	Çözelti	su
Çözelti türü	Türü	(mg/l)	(mg/l)	(ml)	(ml)	(ml)	(ml)
% 5 sadece çöp	Granül	120000	120000	0	0	50	0
%10 sadece çöp	Granül	120000	120000	0	0	50	0
%20 sadece çöp	Granül	120000	120000	0	0	50	0
%35 sadece çöp	Granül	120000	120000	0	0	50	0
% 5 çöp 3 g /l	Granül	60000	3000	10,0	5,0	2,5	32,5
% 10 çöp 3 g /l	Granül	120000	3000	10,0	5,0	1,25	33,75
% 20 çöp 3 g /l	Granül	240000	3000	10,0	5,0	0,65	34,35
% 35 çöp 3 g /l	Granül	420000	3000	10,0	5,0	0,35	34,65
% 5 çöp 10g /l	Granül	60000	10000	10,0	5,0	8,00	27,00
% 10 çöp 10g /l	Granül	120000	10000	10,0	5,0	4,00	31,00
% 20 çöp 10g /l	Granül	240000	10000	10,0	5,0	2,00	32,80
% 35 çöp 10g /l	Granül	420000	10000	10,0	5,0	1,20	33,80
% 5 çöp 30g /l	Granül	60000	30000	10,0	5,0	25,0	10,0
% 10 çöp 30g /l	Granül	120000	30000	10,0	5,0	12,5	22,5
% 20 çöp 30g /l	Granül	240000	30000	10,0	5,0	6,25	28,75
% 35 çöp 30g /l	Granül	420000	30000	10,0	5,0	3,10	32,00
% 5 çöp+ aşı	Granül	120000	120000	5,0	5,0	40	0
% 10 çöp+aşı	Granül	120000	120000	5,0	5,0	40	0
% 20 çöp+aşı	Granül	120000	120000	5,0	5,0	40	0
% 35 çöp+aşı	Granül	120000	120000	5,0	5,0	40	0
Kontrol	Granül			10,0	5,0	0	35,0

Her şişede oluşan gaz günlük olarak bileşik kaplar usulüne göre ölçülmüştür. Cihaz 50 ml'lik bir büret ve bir ayırma hunisinden oluşmuştur. Büret ile ayırma hunisi bir hortum ile birbirine bağlanmıştır. Büretin ucuna bir hortum ve hortumun ucuna da bir iğne takılmıştır. Büret ve ayırma hunisi bürette sıfır noktasını gösterecek şekilde bir destek üzerine monte edilmiştir. İğne reaktörün kauçuk tıkaçına batırıldığında oluşan gaz, basınç uygulayarak sıvıyı 1 atm basınca gelinceye kadar ittirir. Böylece su seviyesi oluşan gaz hacmini gösterir. Ölçümler her reaktör için biyogaz üretimi

durana kadar günlük olarak ölçülmüştür. Gaz ölçümü için kurulan deney düzeneği Şekil 15’de görülmektedir.



**Şekil 15.** BMP testlerinde gaz ölçümünde kullanılan deney düzeneği.



**Şekil 16.** Biyoreaktörlerin yer aldığı otomatik çalkalamalı inkübatör

Şişelerde sıvı hacmi (biyokütle ve numune hacmi dahil) 50 ml olarak sıcaklık kontrollü bir odada (36 °C) tutulmuş ve deney süresi boyunca (en az 30 gün) otomatik çalkalayıcı ile karıştırma temin edilmiştir. Gaz sızdırmazlığı kauçak septa ve alüminyum kapak ile sağlanmıştır. Şişelerde deney süresi boyunca biyogaz ölçümleri günlük izlenmiş ve kümülatif olarak grafiğe geçirilmiştir. Bir şişedeki net gaz üretimi, toplam üretimden sadece aşı kültürü içeren kontrol şişesinde gözlemlenen gaz üretiminin çıkarılmasıyla bulunmuştur. Anaerobik proses sonucu üretilen gazın metan yüzdesinin belirlenmesi için serum şişelerinin ürettiği gazın bir kısmı alınarak kapalı bir serum şişesinde basıncı atmosferik basıncına eşitlenmiş olan ve 20 g l<sup>-1</sup> KOH içeren çözeltiye verilmiştir. 3-4 dakikalık karıştırma işlemi ile CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S’in KOH çözeltisine absorbe olması sağlanmıştır. Kalan gaz tamamen CH<sub>4</sub> olup yine cam şırınga vasıtasıyla geri kalan gaz

miktarı ölçülmüştür. KOH ile absorpsiyondan sonra geri kalan gazın hacminin toplam gaz hacmine oranı biyogazın metan yüzdesini vermektedir. Net gaz üretiminin tespit edilebilmesi için organik madde beslemesi yapılmamış ve sadece besiyeri ile aşı kültürü içeren kontrol şişelerinde de gaz ölçümleri yapılmıştır. Organik madde beslemesi yapılan şişelerdeki gaz ölçümlerinden, kontrol şişelerinde yapılan gaz ölçüm değerleri çıkarılarak net gaz ölçümleri bulunmuştur. Her deneme 3'lü tekerrür halinde yapılmış ve çalışmada ortalama değerler ve net biyogaz ölçüm sonuçları belirlenmiştir.

Çalışmalarımız sürekli reaktör denemeleri ile 11 ay süresince laboratuvar ölçekte, Şekil 17'da görülen tek ve iki fazlı reaktörler kurularak devam ettirilmiştir. Mezofilik şartlarda (35°C), artan organik yükleme düzeyleri ve azalan hidrolik bekleme süreleri ile proses akışı sağlanmıştır. Reaktörlerimiz; el ile cam, metal, plastik ve kâğıt gibi materyallerden ayıklanan evsel atıkların küçük parçalara ayrılarak (yüzey alanı artışı ile enzimatik etki artacağı için) sulandırılan ve 1:10 oranında peyniraltı suyu ile zenginleştirilen stoğumuz ile günlük olarak beslenmiştir. Haftada bir kez her bir reaktörden alınan örnekler ile Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), Askıda Katı Madde (AKM) ve Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Uçucu Yağ Asitleri (UYA) 'nin tayin edildiği analitik parametreler takip edilmiştir. Ayrıca reaktörlerde günlük pH ölçümü de kaydedilmiştir.



Şekil 17. Tek ve İki Fazlı Reaktör Düzenekleri

### 3.2.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), organik maddelerin redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. KOİ organik maddelerin oksidasyon basamağının bir göstergesi olduğu için, biyokimyasal reaksiyonlardaki bileşenler arasında elektron eşdeğerleri açısından bir denge kurulmasını sağlamaktadır. Kimyasal oksijen ihtiyacı ile atıksuların bünyesindeki organik maddeler, kimyasal oksidasyonları için gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenir. Oksidasyon ortamında karbonlu organik maddeler  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$ ; azotlu organik maddeler ise  $\text{NH}_3$  haline dönüşürler. (Şengül ve Müezzinoğlu, 1993).

Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini, MERCK 14555 KOİ test kitleri ile gerçekleştirilmiştir. Deney aşamaları:

1. Test kitini içeren tüp, dibinde bulunan çökeleği askıda hale getirmek amacıyla karıştırılır.
2. İncelenecek numuneden 2.5 ml test kitini içeren tüpün içine aktarılır, kapağı sıkıca kapatılır ve hızlı bir şekilde karıştırılır.
3. Test kitini içeren tüp, termoreaktörde (WTW CR 2200) 148°C'da 2 saat boyunca tutulur.
4. 2 saatin sonunda tüp termoreaktörden alınır, 10 dakika bekletildikten sonra karıştırılır ve oda sıcaklığına gelene kadar soğutulur.
5. Soğutulan tüplerin KOİ değerleri spektrofotometrede (MERCK NOVA 60 Spectroquant) 605 nm de okunur.

KOİ tayininde kit hazırlığında kullanılan çözeltiler:

1. Standart Potasyum Dikromat çözeltisinin hazırlanışı:

33,3 g  $HgSO_4$  ve 103 °C' de 2 sa boyunca kurutularak nemi giderilen 10,216 g  $K_2Cr_2O_7$  500 ml distile suda çözülür, 167 ml konsantre  $H_2SO_4$  eklenerek balon jodede hacim 1000 ml ye tamamlanır. Oda sıcaklığına dek soğutulur.

2. Sülfirik asit çözeltisinin hazırlanışı:

5,5 g  $AgSO_4$ , 1 kg  $H_2SO_4$  çözeltisine eklenerek çözünmesi için 1 gün beklenir.

### 3. Potasyum Hidrojen Phythalate ( KHP) standardının hazırlanması:

- ✓ 850 mg Potasyum Hidrojen Phthalate ( $\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$ ) 850 ml distile suda çözülür ve çözelti hacmi balon jode 1000 ml ye tamamlanır.
- ✓ 8 adet 50 şer ml lik balon jodeler 0-1000 mg/l konsantrasyon aralığında hazırlanır.
- ✓ 0-1000 mg/l konsantrasyon aralığını temsil edecek şekilde hazırlanan 8 adet KOİ kit tüplerine 1,5 ml potasyum dikromat çözeltisi ve 3,5 ml sülfirik asit çözeltileri eklenir. Hazırlanan KHP çözeltilerinden 2,5 ar ml eklenir.
- ✓ Standart eğrinin karşılaştırılması amacıyla glikoz çözeltisi aşağıdaki gibi hazırlanır:  
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$$

Glikozun yanma denklemine göre; 500 mg/ l KOİ değeri hesaplanmıştır. Buna göre 50 mg/100 ml konsantrasyonda glikoz çözeltisi hazırlanır.
- ✓ 2 adet KOİ kiti şişelerine 2,5' ar ml hazırlanan glikoz çözeltisinden eklenir.
- ✓ Kitlerimiz KOİ cihazında 148 °C'de 2 sa bekletilir .
- ✓ 10 dk soğuması için beklenen kitlerin absorbans değerleri spektrofotometre yardımıyla 605 nm de okunur.
- ✓ Konsantrasyona karşılık absorbans değerlerinin yer aldığı grafik çizilir.

### 3.2.3. Askıda Katı Madde (AKM) ve Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM) Tayini

Örneklerimizin standart cam elyafı filtreden süzülmesi ve filtrenin kurutulması sonucu elde edilen kalıntılar askıda katı madde, askıda katı maddelerin organik fraksiyonu ise uçucu askıda katı madde olarak tanımlanmaktadır. Toplam askı maddeleri miktarı gravimetrik ölçüm esasına dayanan bir yöntem ile belirlenir. Bu ölçüm prensibine göre, standart cam elyafı filtre tarafından tutulan ve 105°C'de kurutma sonucu oluşan kalıntı askıda katı madde olarak adlandırılır. Askıda katı maddelerin 550 °C'de yakılması sonucu CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O' ya dönüşen organik kısmı ise uçucu askıda katı madde olarak adlandırılır.

Kroze ve 0,45 µm cam elyafı filtre (Whatman 934 AH) 105 °C'ye ayarlanmış etüvde 1 sa bekletilir. Havadaki nemden etkilenmemesi için desikatöre alınarak 1/2 sa soğuması beklenir. Sabit tartıma gelen kroze ile birlikte filtre ve yalnızca filtrenin ağırlıkları ölçülür. Filtre, pürüzlü yüzeyi üste gelecek şekilde filtrasyon cihazına takılır. İyice karıştırılarak 1/5 oranında seyreltilen örnek, vakum uygulanarak süzülür, süzülen hacim kaydedilir, filtre bir pens yardımıyla aparattan alınır kroze konur. Etüvde 105 °C'de 1 sa süreyle kurutulur, desikatörde soğutulur ve filtre ağırlığı ölçülür. Askıda katı madde prosedüründen kalan, üzerinde kalıntı bulunan filtre yakılmak üzere kroze ile birlikte 550 °C'de 20 dk süreyle fırında tutulur. Desikatörde soğutulup tartılır.

Hesaplamalar :

$$\text{AKM (mg/l)} := [ (A-B) * 1000 ] / \text{ml numune}$$

A: Filtre+ filtre edilemeyen katı maddelerin ağırlığı (mg)

B: Filtre ağırlığı (mg)

V: Süzülen Hacim (ml)

$$\text{UAKM (mg/l)} : [ (A-C) * 1000 ] / \text{ml numune}$$

A: Filtre+ filtre edilemeyen katı maddelerin ağırlığı (mg)

C: Filtre ağırlığı + inorganik kalıntı ağırlığı (mg)

### 3.2.4. Uçucu Yağ Asitleri (UYA) Tayini

Reaktörlerden 1.5'ar ml ependorflara örnek alınarak, 10000 rpm de 10 dk. santrifüj işleminden sonra, süpernetant kısmı şırıngaya çekilir. 0.45 mikron por çapına sahip filtrelerden geçirilip 0.5 ml lik vial şişelerine alınmıştır. Örnek üzerine % 20' lik fosforik asit damlatılarak asitlendirildi. 1µl örnekte toplam uçucu yağ asitleri, 30m x 0.25 mm kapiler kolon (J&W Scientific) ve alev iyonizasyon dedektörü (FID) ile teçhizatlandırılmış gaz kromatografisi (6890N Agilent Technologies Network GC System) ile analiz edilir. Helyum, 103kPa sabit basınçta taşıyıcı gaz olarak kullanılmıştır. FID detektörü ve enjeksiyon (inlet) sıcaklığı 250 C°'dir. Kolon sıcaklığı 240 °C'dir.

### **3.2.5. Biyogaz Kompozisyonu Tayini**

BMP test prosedürünün uygulandığı kesikli denemelerde biyoreaktörlerde üretilen toplam gaz miktarı hacmi cam şırınga (Nikepal International Inc., 50 cc/l m) yardımıyla ölçülmüştür. Gaz kromatografisi ile gaz ölçümlerinde hayesep 80/100 dolgulu kolon kullanılmıştır. Detektör ve inlet sıcaklıkları sırası ile 140 ve 120 °C' dir. Analiz sırasında kolon sıcaklığı 35 C°dir. Taşıyıcı gaz olarak argon 20 ml/dk kullanılmaktadır. Gaz kromatografisinde gaz ölçümleri için kalibrasyon; gaz bileşimi CH<sub>4</sub> (%40), CO<sub>2</sub> (%30), H<sub>2</sub> (%30) olan referans gaz ile yapılmıştır.

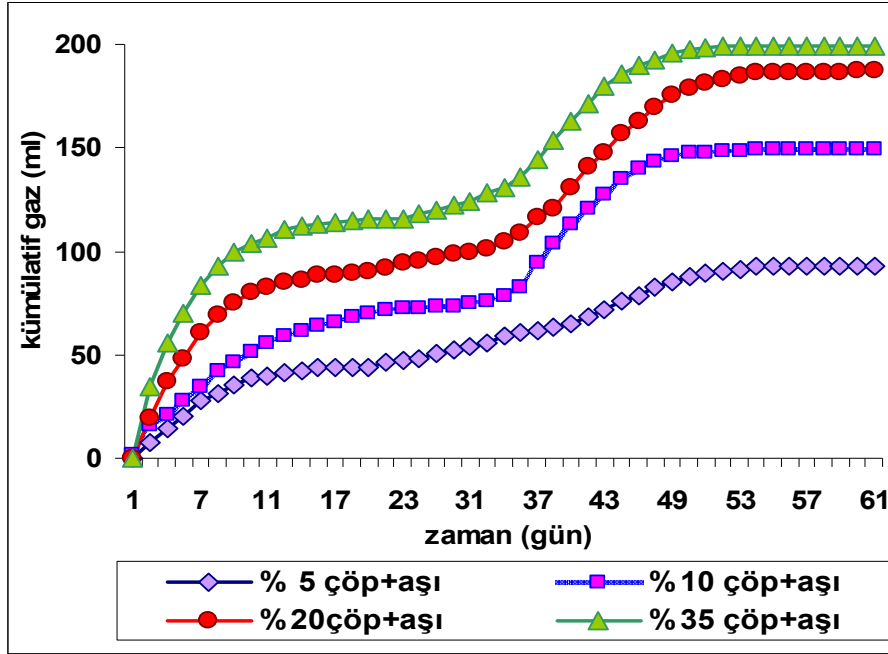
### **3.2.6. pH Tayini**

PB-11 Satorious model pH metre ile günlük olarak her bir reaktör için pH değerleri tayin edilmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Kesikli Denemeler

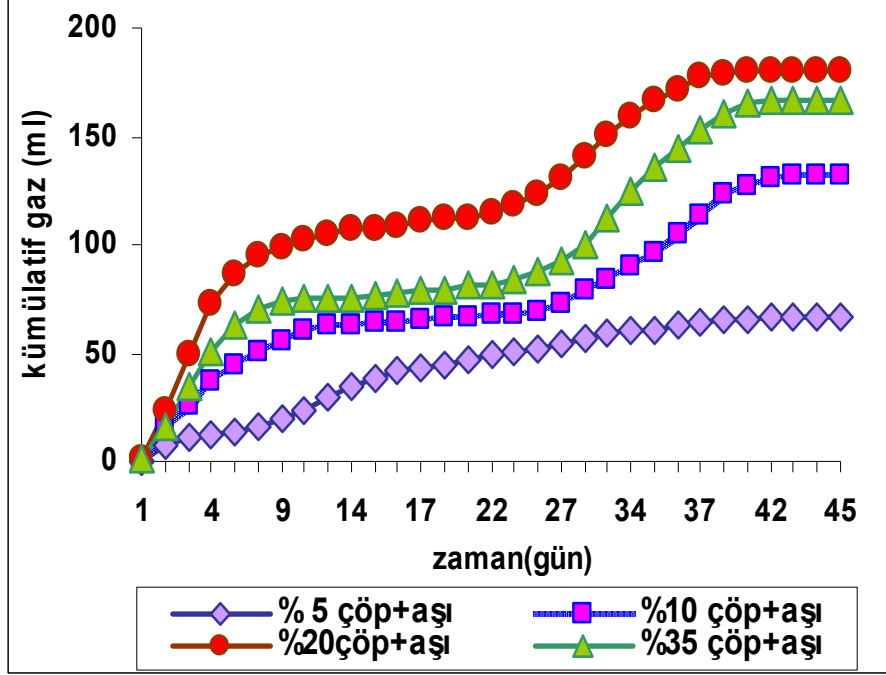
Çalışmamızın birinci aşamasında, 100 ml'lik BMP şişelerinde kuru madde oranları %5–35 arasında olacak şekilde hazırlanan çözelti örnekleri anaerobik granül mikroorganizma ile birlikte parçalanmaya maruz bırakılmıştır. Biyogaz üretim değerleri günlük olarak ölçülmüş ve 3 tekerrürün ortalaması olarak rapor edilmiştir. Sonbahar, kış ve yaz mevsimlerini temsil eden denemelerimizde kaydedilen biyogaz üretim değerleri aşağıdaki grafiklerde görülmektedir.



Şekil 18. Sonbahar dönemi BMP denemelerinde kuru madde oranının günler bazında toplam gaz üretimine etkisi

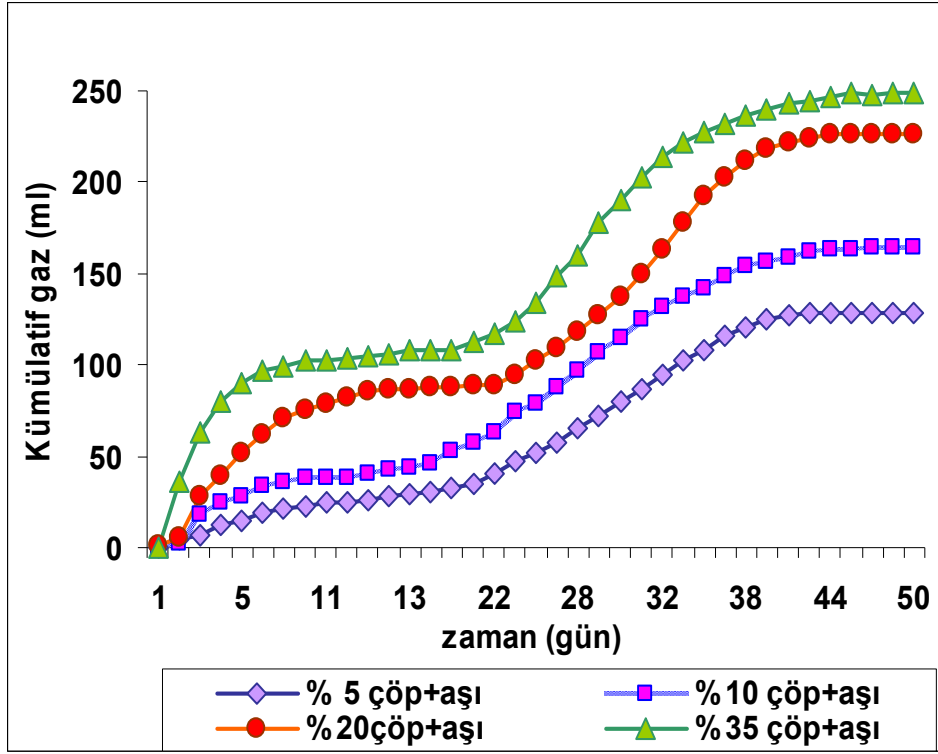
Sonbahar mevsiminde tüm reaktörde ilk 10 gün gaz üretimi artmış, 10.günden sonra bir lag faz gözlenmiştir. 23.günden itibaren hızlanan gaz

üretimi 35.-50. günler arası hızla gerçekleşmiştir. 50.-54. günden sonra gaz üretimi sabitlemiştir. 61 gün sonunda her bir reaktör için toplam gaz üretim değerleri sırasıyla 93 - 150 - 189 ve 199 ml'dir. Gaz üretimi açısından en iyi sonuç % 35 çöp içeren reaktörde görülmüştür.



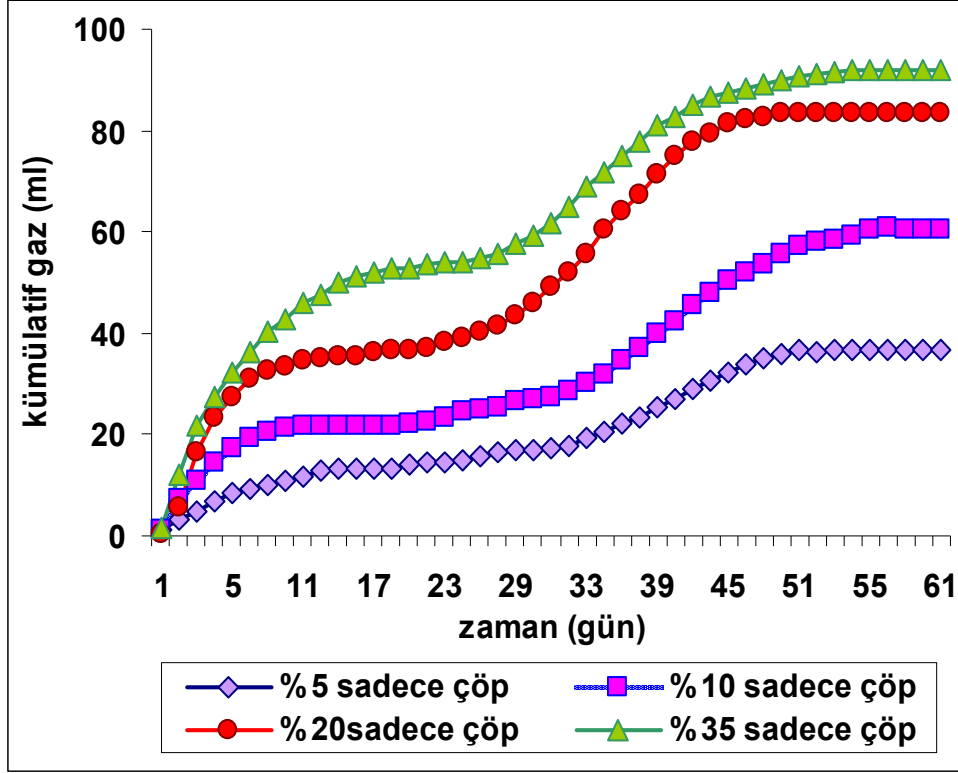
Şekil 19. Kış dönemi BMP denemelerinde kuru madde oranının günler bazında toplam gaz üretimine etkisi

Kış mevsiminde tüm reaktörlerde ilk 9 gün gaz artışı görülmüştür. %10-20-35 çöp içeriğindeki reaktörlerde 14 gün süren inkübasyon süreci ve ardından gözlenen gaz artışı paralellik göstermiştir. %5'lik reaktörde 17.güne dek gaz üretimi gerçekleşmiş ve üretilen toplam net gazın %63'ü bu sürede açığa çıkmıştır. 38.günden sonra gaz üretimleri sabitlemiştir. 45 gün sonunda kümülatif gaz üretim değerleri ise sırasıyla 66 -132-181ml ve 167 ml'dir.



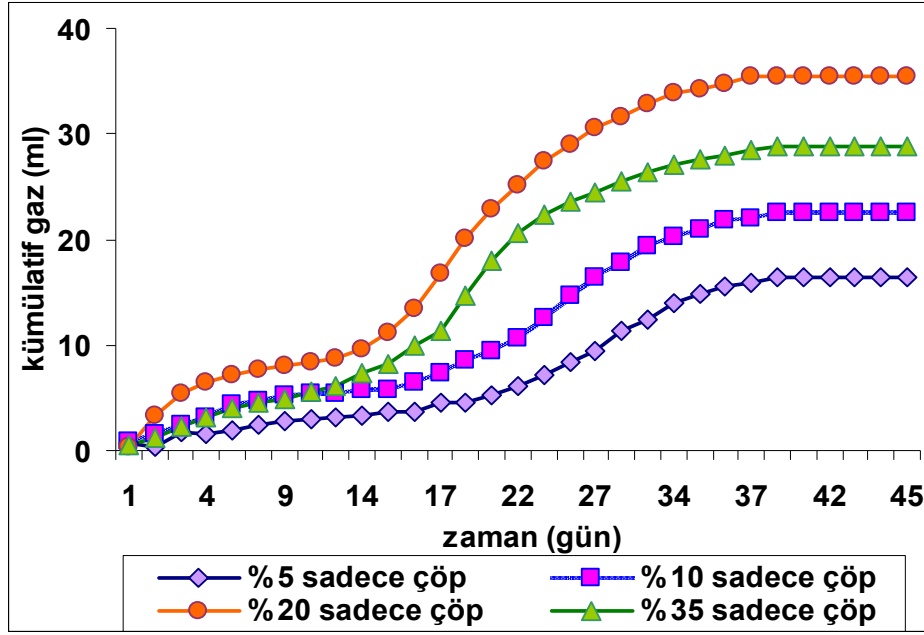
Şekil 20. Yaz dönemi BMP denemelerinde kuru madde oranının günler bazında toplam gaz üretimine etkisi

Yaz mevsiminde en fazla % 35 çöp içeren reaktör olmak üzere, %20–35 çöp içeren reaktörlerde ilk 10 gün, %5–10 çöp içeren reaktörlerde ilk hafta gaz üretimi artmıştır. Tüm reaktörlerde 10 gün süren lag fazı ardından, 42. güne dek süren gaz artışı ardından gaz üretimi tekrar sabitlenmiştir. 50 gün sonunda kümülatif gaz üretim değerleri ise sırasıyla %5–10–20–35 çöp içeren reaktörlerde sırasıyla 128, 165, 227 ve 248 ml'dir. Aynı denemeler anaerobik aşı olmaksızın sadece katı atık ile de tekrarlanmıştır.



**Şekil 21.** Sonbahar döneminde aşı yokluğunda yapılan BMP denemelerinde toplam gaz üretimi

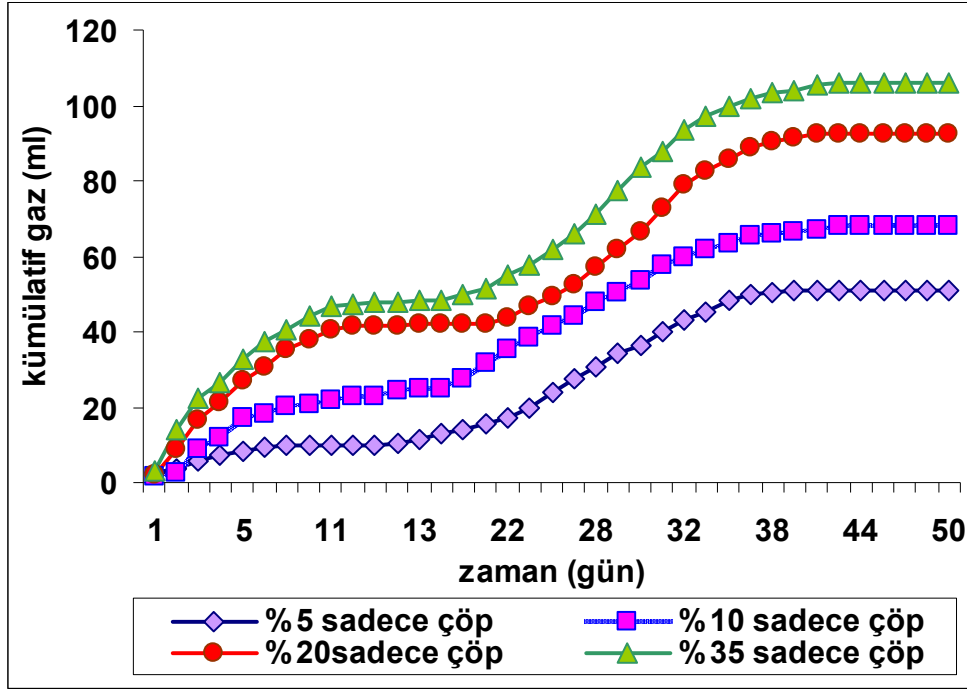
Sonbahar mevsiminde %5–10–35 çöp içeren reaktörlerde ilk hafta, %20 çöp içeren reaktörde ise ilk 12 gün gaz artışı, tüm reaktörlerde 20. güne dek süren inkübasyon sürecini 3.-6.haftalar arası gaz artışı ve son 10–15 gün sabitleme fazı izlemiştir. 61 gün sonunda kümülatif gaz üretim değerler sırasıyla 37 – 61 – 85 ve 89 ml'dir.



Şekil 22. Kış döneminde aşı yokluğunda yapılan BMP denemelerinde toplam gaz üretimi

Kış mevsiminde tüm reaktörlerde ilk hafta gaz artışı ve 14. güne dek lag fazı gözlenmiştir. 35. güne dek süren gaz artışı, 31. günden itibaren azalmıştır. Son hafta tüm reaktörlerde gaz üretimi sabitlenmiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri ise %5–10–20–35 çöp içeren reaktörlerde sırasıyla 16 – 23 – 35 ve 29 ml’dir.

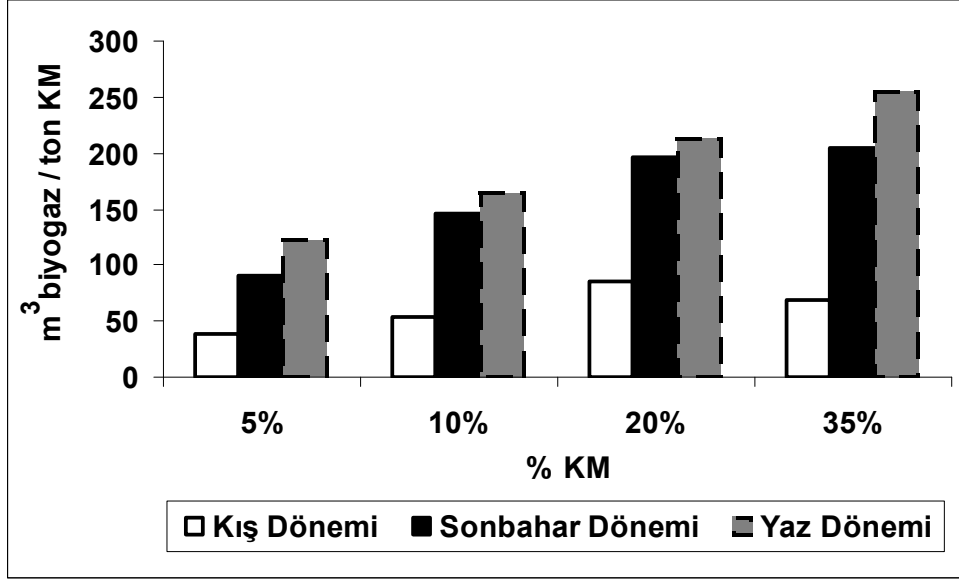
Yaz mevsiminde en fazla % 35 çöp içeren reaktör olmak üzere, ilk 11 gün %20–35 çöp içeren reaktörlerde gaz üretiminin %42-44’ü, %5–10 çöp içeren reaktörlerde de ilk hafta %20–26 oranında üretim gerçekleşmiştir. Lag fazı 18. güne dek sürmüştür. 20 günlük gaz artışı periyodunda da sırasıyla %72 –55 –47 - 35’lik üretim izlenmiştir. 50 gün sonunda kümülatif gaz üretim değerleri ise %5–10–20–35 çöp içeren reaktörlerde sırasıyla 51 – 68 – 92 ve 106 ml’ dir.



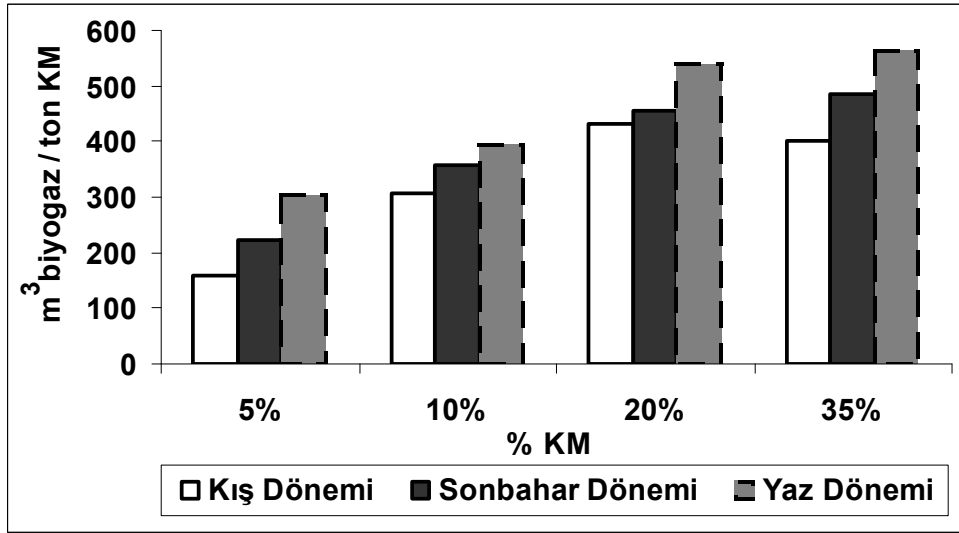
Şekil 23. Yaz döneminde aşı yokluğunda yapılan BMP Deneme denemelerinde toplam gaz üretimi

Aşı varlığında yapılan deneme sonuçlarında ton KM başına üretilen biyogaz miktarları karşılaştırıldığında en fazla üretim kış dönemi için %20 kuru madde ile 433 ml, sonbahar ve yaz ayları için de %35 kuru madde oranına sahip biyoreaktörlerden sıra ile 486 ve 564 ml elde edilmiştir.

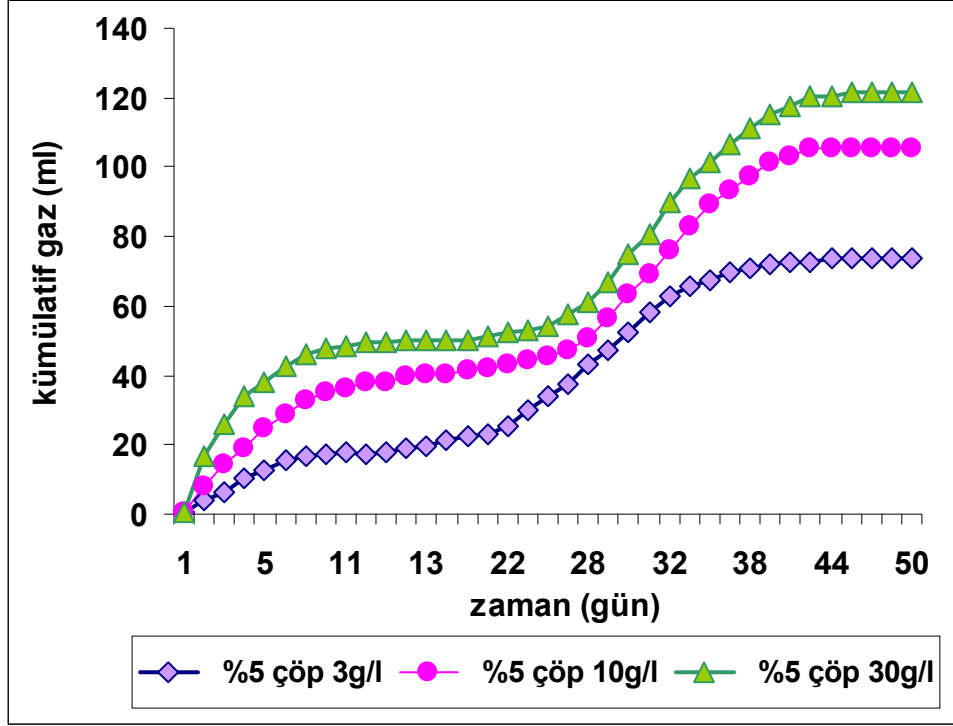
Aşı yokluğunda da kış dönemi maksimum üretimi 85 ml iken, sonbahar ve yaz ayları için ise 205 ve 254 ml'dir. Aşı varlığında gaz üretiminin kış mevsiminde 4 misli, sonbahar ve yaz mevsimlerinde 2–2,5 misli olduğu görülmektedir.



Şekil 24. Kış- Sonbahar-Yaz dönemlerini temsilen aşı yokluğunda %kuru madde oranına göre biyogaz üretimi

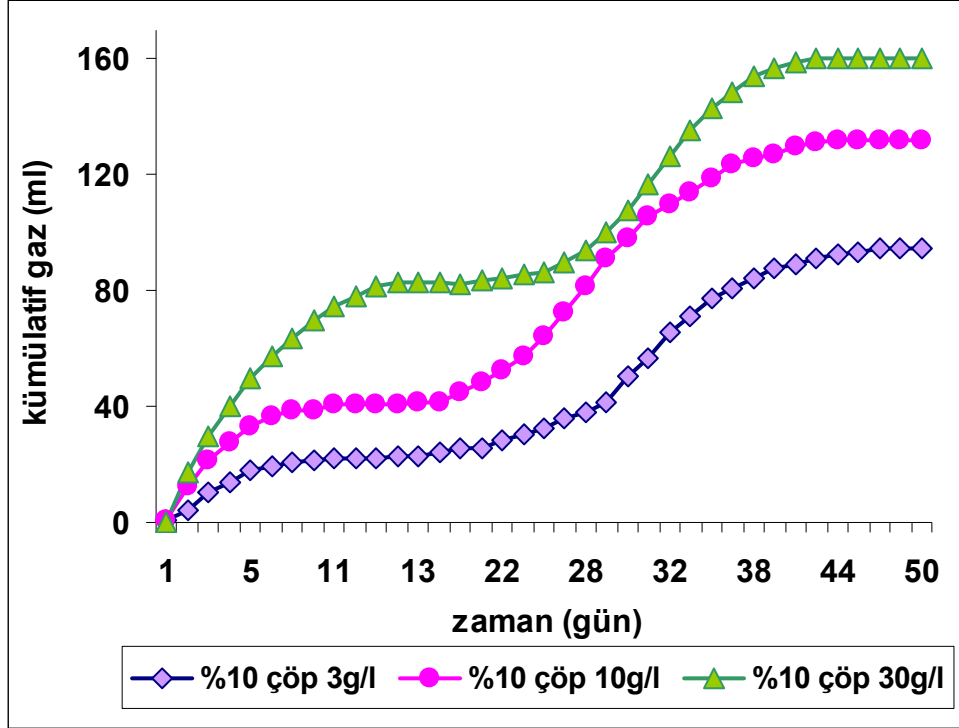


Şekil 25. Kış- Sonbahar-Yaz dönemlerini temsilen aşı varlığında %kuru madde oranına göre biyogaz üretimi



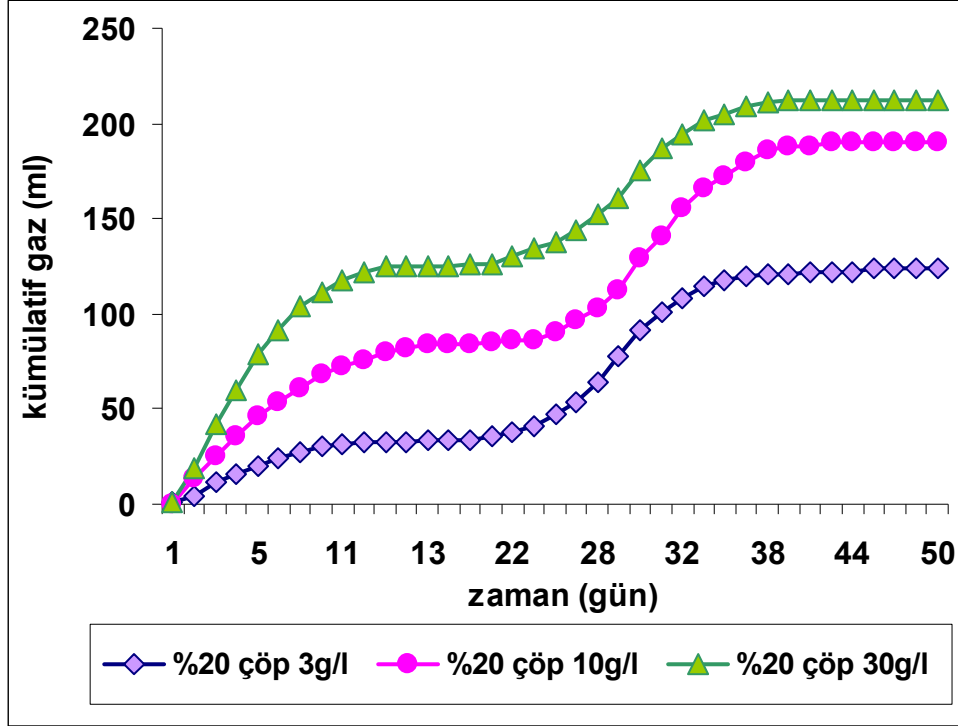
Şekil 26. Yaz dönemi %5' lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

Yaz mevsiminde %5 çöp içeren 3–10–30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, ilk 10 gün süren gaz üretimi ardından bir hafta süren inkübasyon dönemi, 3 g/l konsantrasyondaki reaktörde 37.güne, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlardaki reaktörlerde ise 42.güne dek tekrar görülen gaz artışını, 50. güne dek üretimin azalarak sabitlendiği süreç izlemiştir. 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlardaki reaktörlerde gaz üretim eğrileri paralellik göstermiştir. 50 gün sonunda kümülatif gaz üretim değerleri ise sırasıyla 74 ml – 105 ml ve 122 ml'dir.



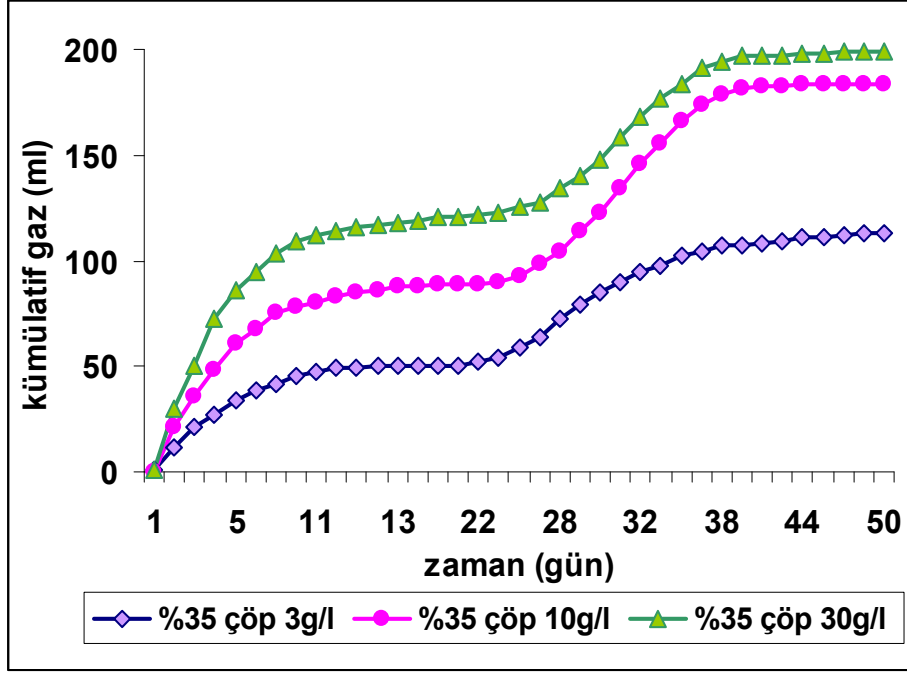
Şekil 27. Yaz Dönemi %10 luk çöp için KOİ Bazında (3–10–30g/l) Toplam Gaz Üretimi

Yaz mevsiminde %10 çöp içeren 3 g/l ve 10 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, ilk 9 gün süren gaz üretimindeki artışın ardından 18. güne dek süren lag fazını, 18.-40. günler arası gaz artışı izlemiştir. 30 g/l konsantrasyondaki reaktörde de 12. güne dek süren gaz artışı izleyen lag fazı 14 gün sürmüştür. 38. güne dek süren gaz artışı ve üretimin sabitlendiği dönem 10-30 g/l konsantrasyonlardaki reaktörde paralellik göstermiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri ise sırasıyla 89 – 132 ve 161 ml'dir.

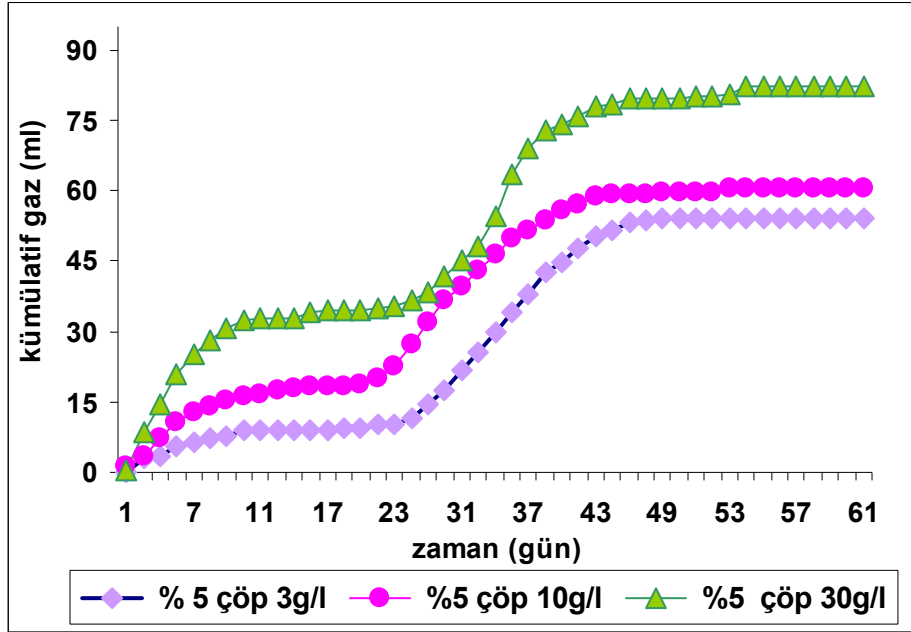


Şekil 28. Yaz Dönemi %20'lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

Yaz mevsiminde %20 çöp içeren reaktörlerde, ilk 10 gün süren gaz üretimi ardından, 20. güne dek inkübasyon dönemi ardından, 36.güne dek gaz artışı, inkübasyon süreci izlemiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 124 – 190 ve 213 ml'dir. Şekil 30'da görüldüğü gibi yaz mevsiminde %35 çöp içeren reaktörlerde, 12 gün süren gaz üretimi ardından, 2 hafta inkübasyon dönemi ardından, 40. güne dek gaz artışı tekrar gözlenmiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 113 –184–200 ml'dir.

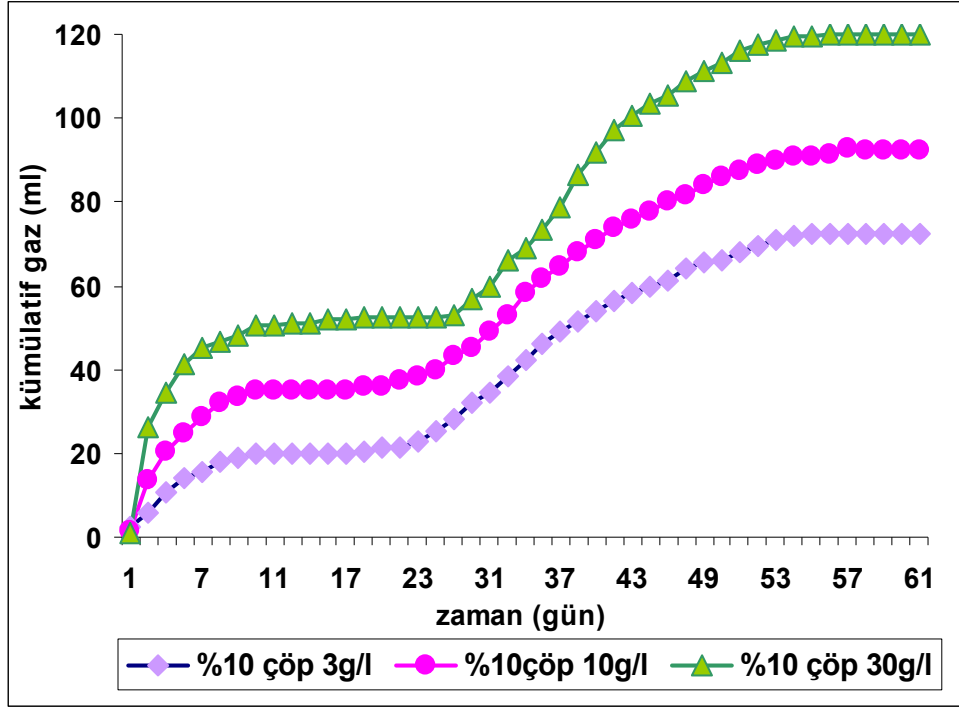


Şekil 29. Yaz Dönemi %35 lik çöp için KOİ Bazında (3-10-30 g/l) Toplam Gaz Üretimi



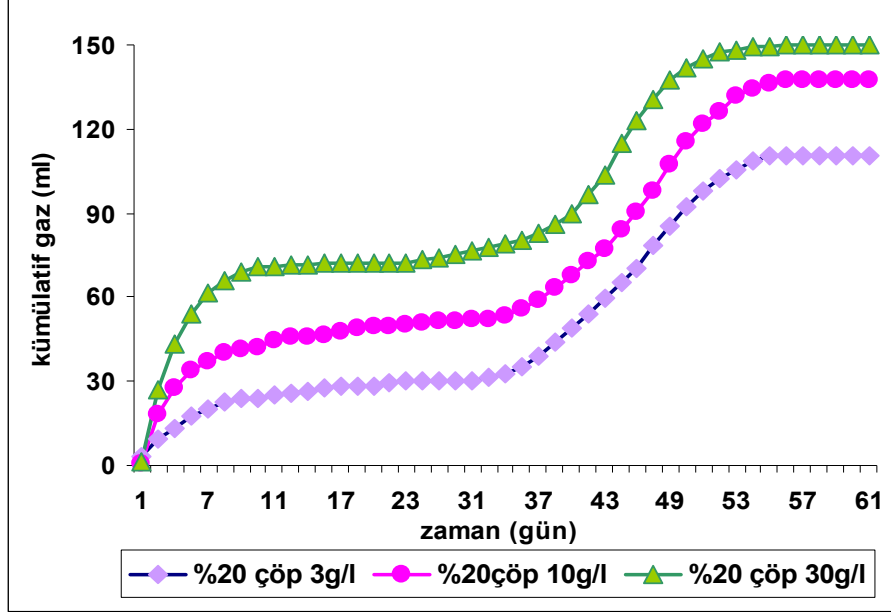
Şekil 30. Sonbahar Dönemi %5 lik çöp için KOİ Bazında (3-10-30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

Sonbahar mevsiminde %5 çöp içeren 3 g/l, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, ilk 10 gün süren gaz üretimi ardından 22. güne dek süren lag fazını 20 gün gaz artışı süreci izlemiştir. 30 g/l konsantrasyondaki reaktörde 1-2ml lik artışlar ile üretim 54. güne kadar sürmektedir. 61 gün sonunda kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 54 –61 ve 82 ml'dir.

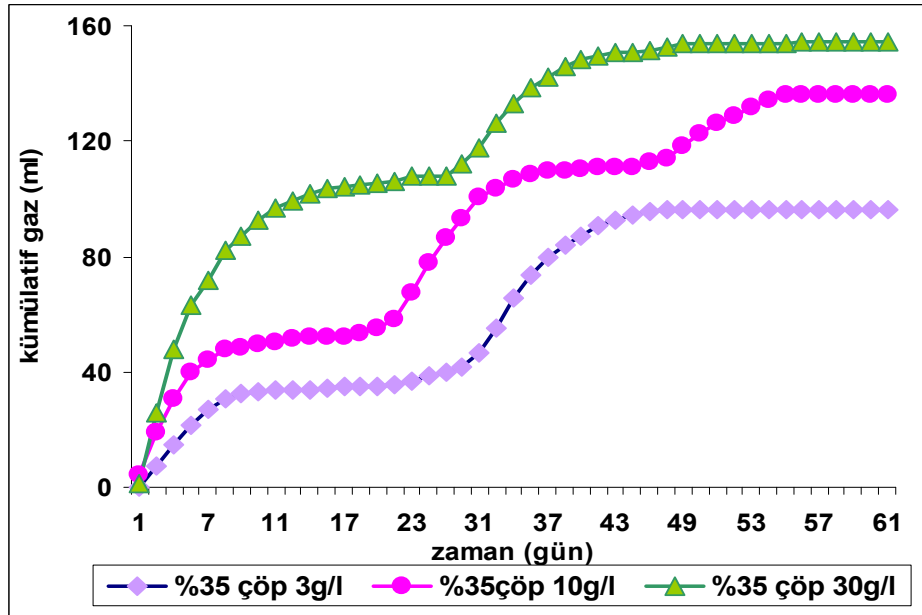


Şekil 31. Sonbahar Dönemi %10 luk çöp için KOİ Bazında (3-10-30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

Sonbahar mevsiminde %10 çöp içeren 3 g/l, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, ilk 9 gün süren gaz üretimi ardından 24. güne dek süren lag fazını 30 gün gaz artışı süreci izlemiştir. Son 1 hafta gaz üretimi sabitlenmiştir. 61 gün sonunda kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 73 –93 ve 120ml'dir.



Şekil 32. Sonbahar Dönemi %20 lik çöp için KOİ Bazında (3-10-30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

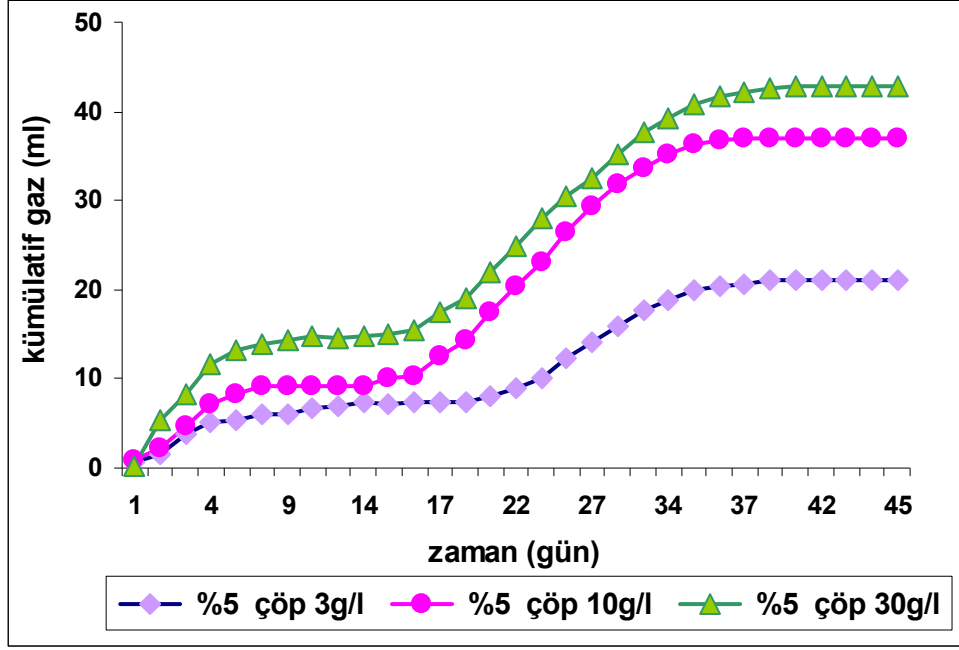


Şekil 33. Sonbahar Dönemi %35 lik çöp için KOİ Bazında (3-10-30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

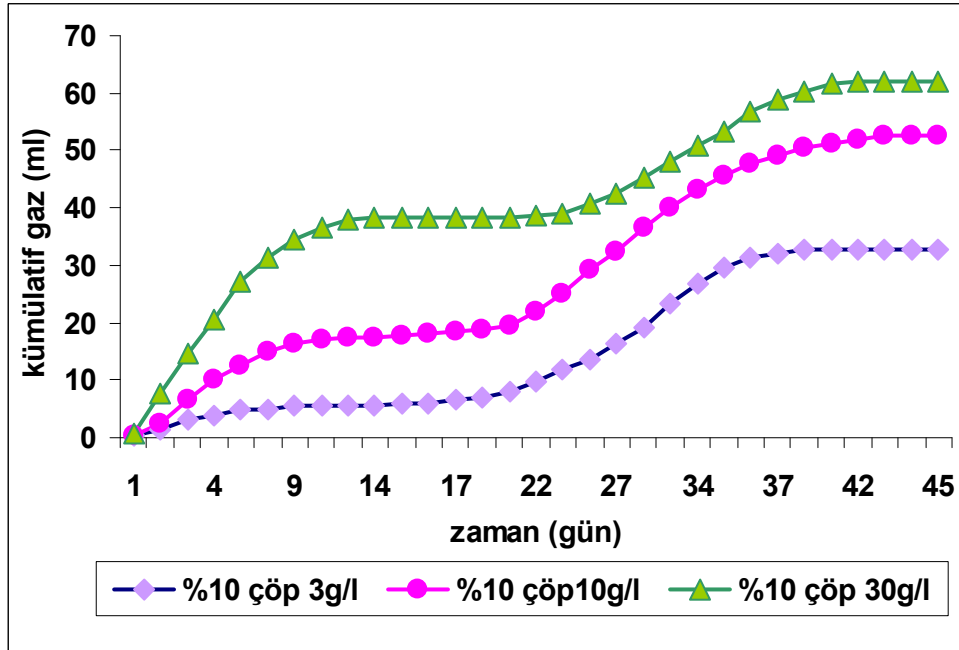
Sonbahar mevsiminde %20 çöp içeren 3 g/l, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, ilk 10 gün süren gaz üretimi ardından 3 g/l, 10 g/l konsantrasyondaki reaktörlerde 34. güne dek süren lag fazı, 30 g/l konsantrasyondaki reaktörde 13 gün sürmüştür. Son 1 hafta öncesine dek gaz artışı ardından, gaz üretimi sabitlenmiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 110 – 138 ve 150 ml'dir.

Sonbahar mevsiminde %35 çöp içeren 3 g/l, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, ilk 10 gün süren gaz üretimi ardından 10 g/l konsantrasyondaki reaktörde 21. güne dek süren lag fazı, 3 g/l ve 30 g/l konsantrasyondaki reaktörlerde 1 hafta daha uzun sürmüştür. Bu 2 reaktörde de 46. güne dek süren gaz artışı sürecini, üretimin azalarak sabitlendiği süreç izlemiştir. 10 g/l konsantrasyondaki reaktörde 36.güne dek süren artışı, 10 günlük lag fazı ardından deneme sürecinin bitiminin son haftasına kadar gaz artışı devamlılık göstermiştir. Gaz çıkışının sabitlendiği günler ile tamamlanan periyot sonucu kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 110 – 136 ve 154ml'dir.

Şekil 34'de görüldüğü gibi Kış mevsiminde %5 çöp içeren 3 g/l, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, ilk 10 gün süren gaz üretimi paralellik göstermekte, bu paralellik 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyondaki reaktörlerde 16. güne dek süren lag fazı, 3 g/l konsantrasyondaki reaktörde 21.güne kadar sürmektedir. 3 reaktörde de 37. güne dek tekrar görülen gaz artışını, 45. güne dek sabitlenen süreç izlemiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 22 – 37 ve 43ml'dir.

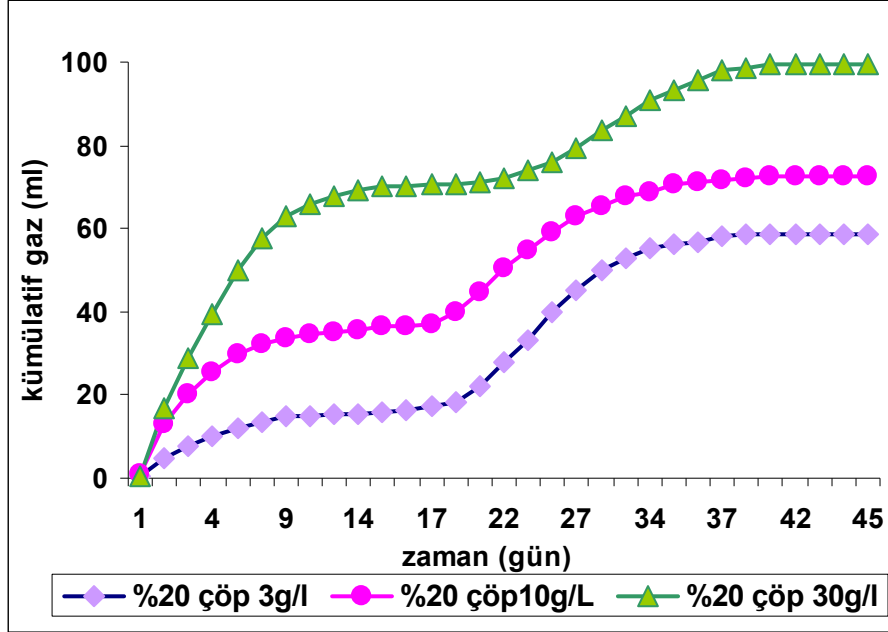


Şekil 34. Kış Dönemi %5 lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi



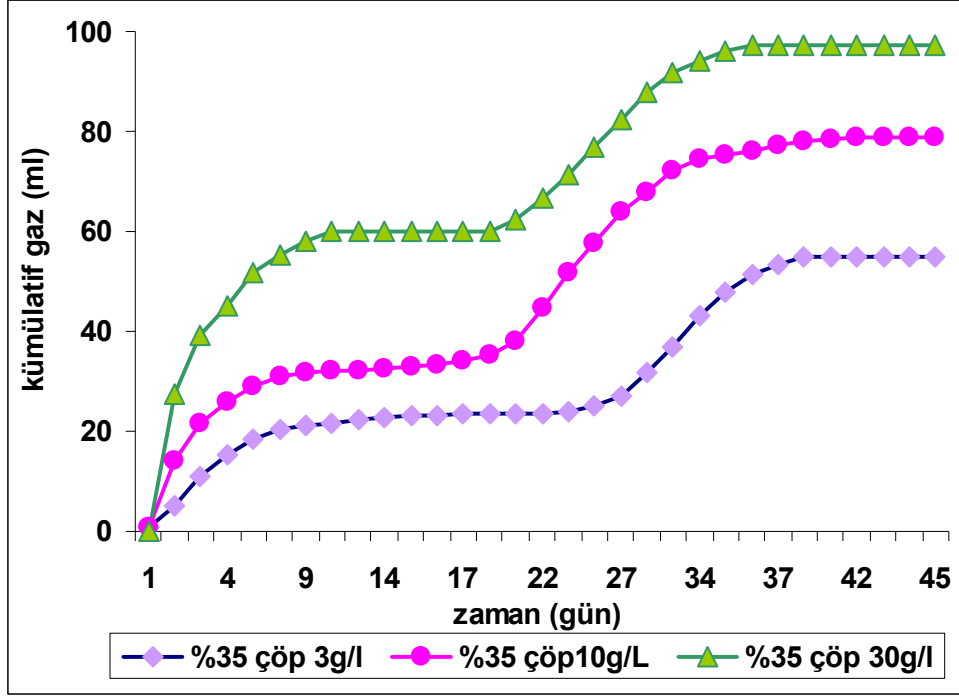
Şekil 35. Kış Dönemi %10 luk çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

Kış mevsiminde %10 çöp içeren 3- 10 ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, ilk hafta süren gaz üretimi paralellik göstermekte, 22. güne dek süren lag fazı ardından 41.güne kadar süren gaz artışı sürecini, üretimin sabitlendiği dönem izlemiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 33 –53 ve 62 ml'dir.



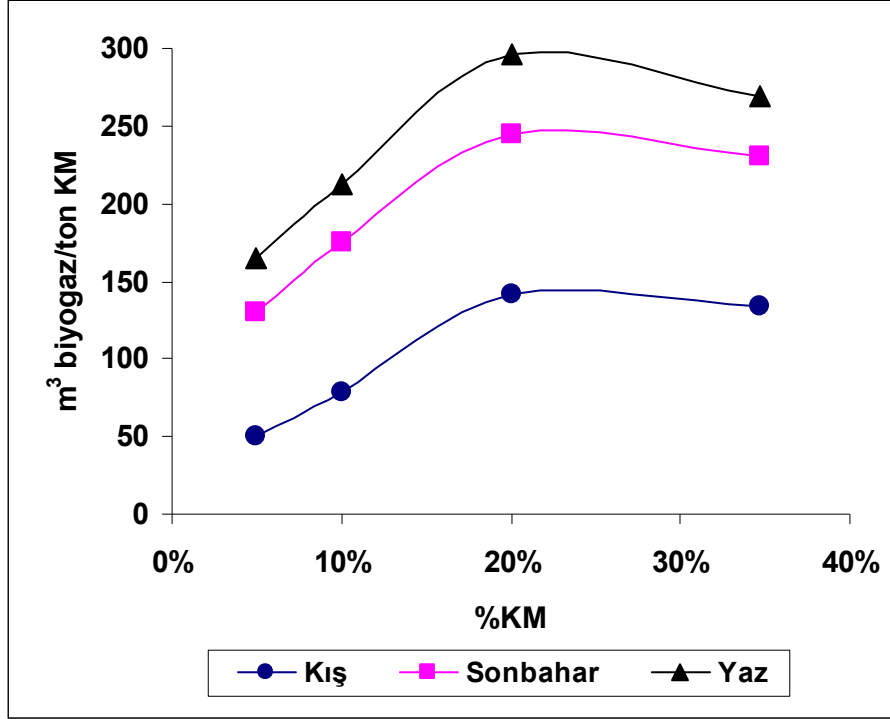
Şekil 36. Kış Dönemi %20 lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

Kış mevsiminde %20 çöp içeren 3 g/l, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, 9 gün süren gaz üretimi ardından, 17. güne dek süren inkübasyon döneminin gözlemlendiği 3 g/l ve 10 g/l konsantrasyonlardaki reaktörlerde 35.güne kadar süren gaz artışı sürecini, gaz üretiminin sabitlendiği dönem izlemiştir. 30 g/l konsantrasyondaki reaktörde ise 13 gün süren inkübasyon döneminin ardından 38.güne dek gaz üretimi görülerek, gaz üretimi sabitlenmiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 59 –73 ve 99 ml'dir.



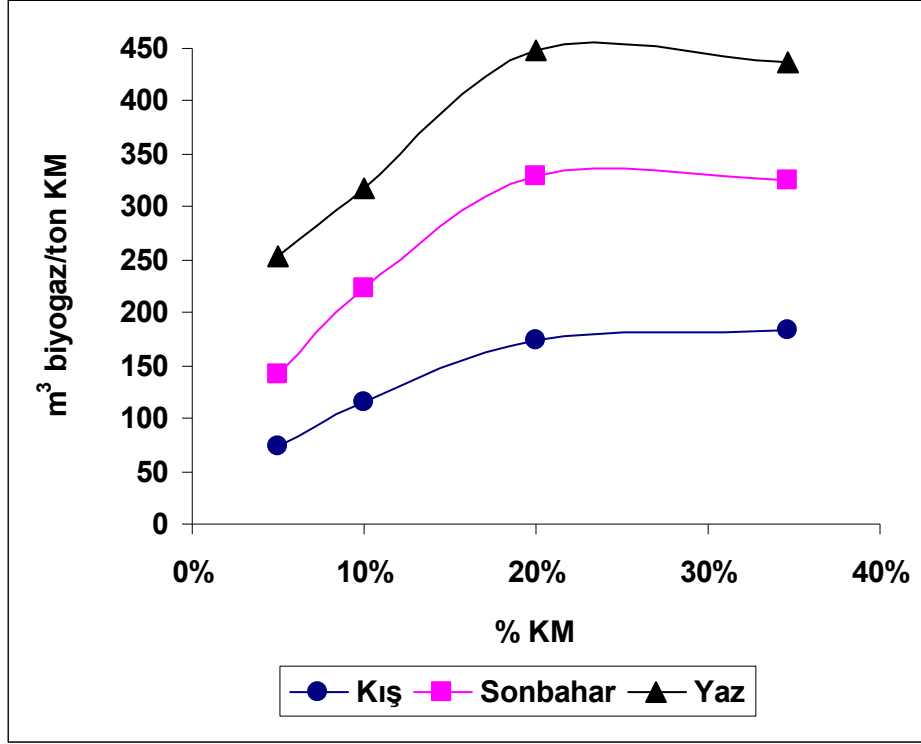
Şekil 37. Kış Dönemi %35 lik çöp için KOİ Bazında (3–10–30 g/l) Toplam Gaz Üretimi

Kış mevsiminde %35 çöp içeren 3 g/l, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde, 8 gün süren gaz üretimi ardından, 10 g/l ve 30 g/l konsantrasyonlarda hazırlanan reaktörlerde 21. güne dek süren lag fazı 3 g/l konsantrasyondaki reaktörde 3 gün daha uzun sürmüştür. Her 3 reaktörde de 37.güne kadar süren gaz artışı sürecini, gaz üretiminin sabitlendiği dönem izlemiştir. Kümülatif gaz üretim değerleri sırasıyla 55 –79 ve 97 ml'dir.



Şekil 38. % Kuru Madde Oranına Göre 3 g/l KOİ Bazında Toplam Gaz Üretimi

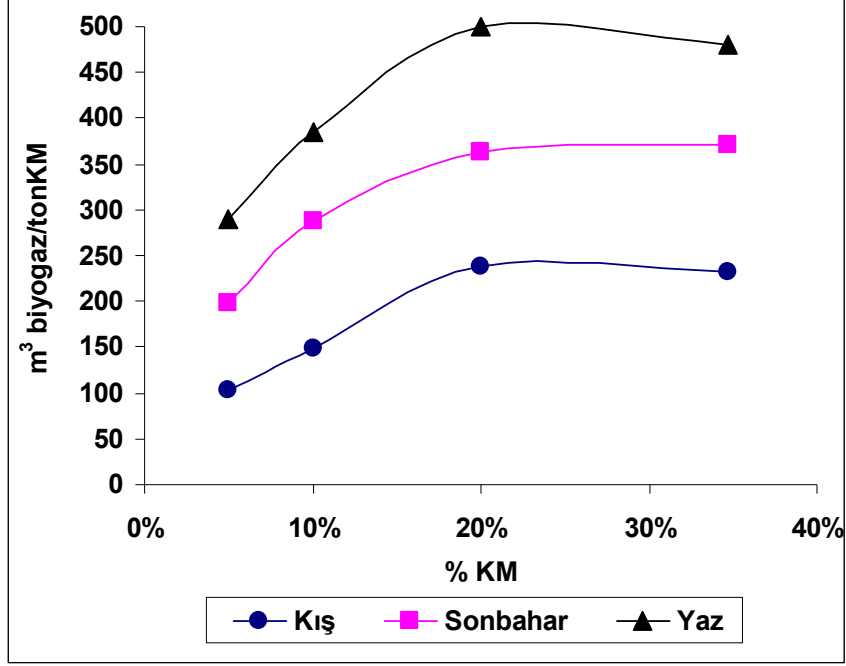
Kuru madde oranı artışı ile biyogaz üretimi de artmıştır. En fazla üretim %5–20 KM aralığındadır. Maksimum üretimin görüldüğü %20 KM değerinden sonra üretimde düşüş gözlenmektedir. Yaz, sonbahar ve kış mevsimlerimde yapılan denemeler sonucu %5–35 KM değerlerine karşılık elde edilen biyogaz üretim değerlerinin ortalamasına göre sırası ile yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için en fazla üretim 3 g/l KOİ Bazında %20 KM için 296–245–141 m<sup>3</sup> biyogaz'dır. Minimum-maksimum ortalama üretim değerleri 115–158 m<sup>3</sup> aralığındadır.



Şekil 39. % Kuru Madde Oranına Göre 10 g/l KOİ Bazında Toplam Gaz Üretimi

10 g/l KOİ Bazında %20 KM için maksimum üretim değerlerinin ortalaması sırası ile yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için 448–329–175 m<sup>3</sup> biyogaz'dır. Minimum-maksimum ortalama üretim değerleri 117–237 m<sup>3</sup> aralığındadır.

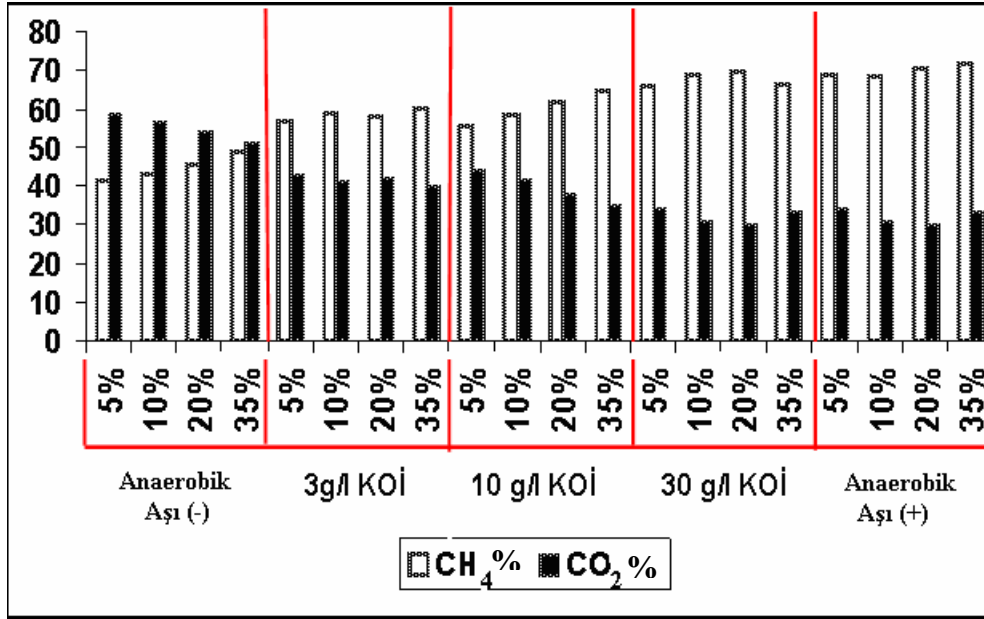
30 g/l KOİ Bazında %20 KM için maksimum üretim değerleri yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için 500–362–239 m<sup>3</sup> biyogaz'dır. Minimum-maksimum ortalama üretim değerleri 148–271 m<sup>3</sup> aralığındadır.



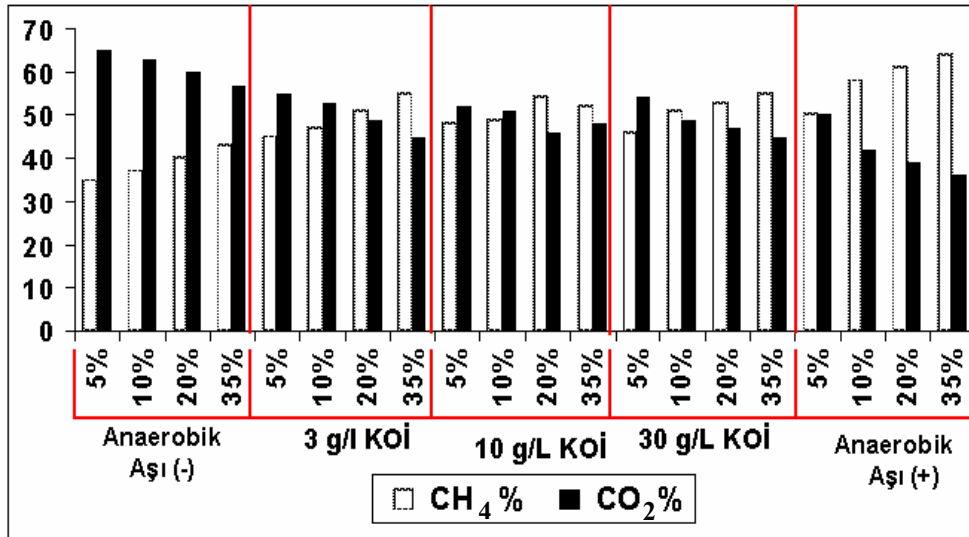
Şekil 40. % Kuru Madde Oranına Göre 30 g/l KOİ Bazında Toplam Gaz Üretimi

#### 4.1.1. Biyogaz Kompozisyonu Grafikleri

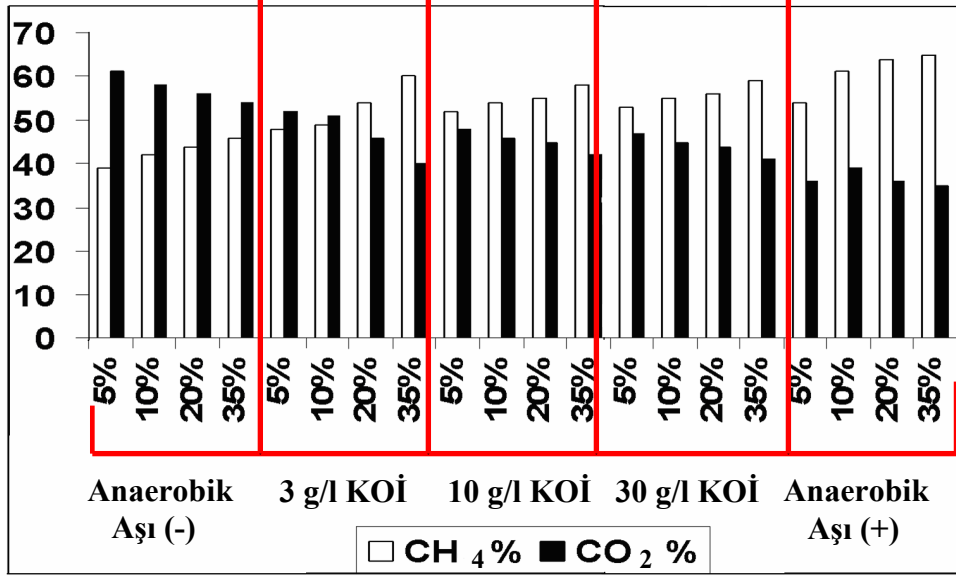
Yaz, Kış ve Sonbahar olmak üzere her üç mevsimde de yapılan denemelerde anaerobik aşı varlığında, aşı olmaksızın yapılan denemelere göre daha fazla CH<sub>4</sub> üretimi kaydedilmiştir. % kuru madde oranı arttıkça gaz üretimi ve metanın yüzde payı da artış göstermektedir. Konsantrasyon artışının gaz üretim yüzdelerinde etkisinin fazla olduğu görülmemiştir. Organik madde bileşiminin gaz üretimine etkisi söz konusudur.



Şekil 41. Yaz mevsimi %KM oranlarına göre % CH<sub>4</sub> - % CO<sub>2</sub> değerleri



Şekil 42. Kış mevsimi %KM oranlarına göre % CH<sub>4</sub> - % CO<sub>2</sub> değerleri



Şekil 43. Sonbahar mevsimi %KM oranlarına göre % CH<sub>4</sub> - % CO<sub>2</sub> değerleri

#### 4.2. Sürekli Denemeler

Çalışmalarımız sürekli reaktör denemeleri ile 11 ay süresince laboratuvar ölçeğinde, tek ve iki fazlı reaktörler kurularak devam ettirilmiştir. Mezofilik şartlarda (35°C), artan organik yükleme düzeyleri ve azalan hidrolik bekleme süreleri ile proses akışı sağlanmıştır. Reaktörlerimiz; el ile cam, metal, plastik ve kâğıt gibi materyallerden ayıklanan evsel atıkların küçük parçalara ayrılarak ( yüzey alanı artışı ile enzimatik etki artacağı için) sulandırılması ve 1:10 oranında peyniraltı suyu (KOİ:126200mg/l) ile zenginleştirilen stoğumuz ile günlük olarak beslenmiştir. Haftada bir kez her bir reaktörden alınan örnekler ile Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), Askıda Katı Madde (AKM) ve Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Uçucu Yağ Asitleri (UYA)' nin tayin edildiği analitik parametreler takip edilmiştir. Ayrıca reaktörlerde günlük pH ölçümü de kaydedilmiştir. Konvansiyonel anaerobik reaktör 5 litre aktif hacimli tam karışımli bir reaktör olarak

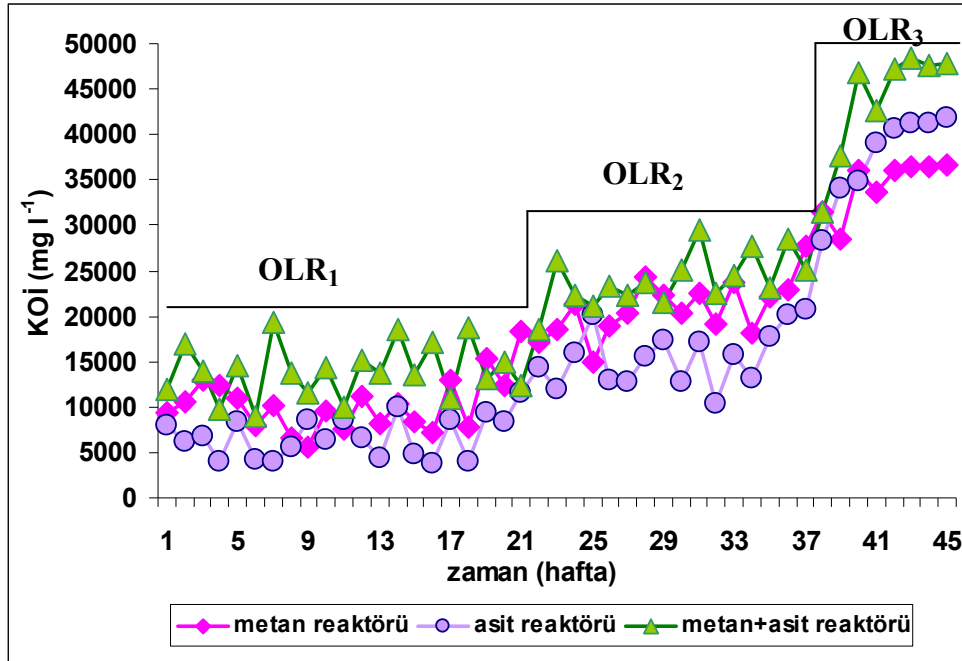
seçilmiştir. Buna karşın iki fazlı sistem ise asidojenesis için 2 litre aktif hacimli tam karışimli bir reaktör, metanojenesis için ise 5 litre hacme sahip reaktörlerden oluşmaktadır. Bütün sistemdeki reaktörler 35°C'de çalıştırılmıştır.

Tek fazlı reaktörde hidroliz, asidifikasyon ve metan fazı tek bir reaktörde gerçekleşir. İki fazlı anaerobik sistemler asit bakterilerinin (asidojenler) ve homoasetojenik bakteri (asetojenler), metan arche (metanojenler) türlerinin yaşam koşullarının ayrı ayrı optimize edilmesini ve böylece bakterilerin farklı ortam koşulları ihtiyacından kaynaklanan zayıf stabilite durumlarına meydan verilmemesini sağlar. İki fazlı sistemde entegre üreteçler kullanılmaktadır. İlk üreteç asit üreten bakteriler için uygun asidik ortam sağlar ve boyutları küçük olabilir. Diğer üreteç ise metan üreten bakteriler için uygun koşulların sağlandığı bölümdür. Asit reaktöründe asit üreten mikroorganizmaların metan üretenlere göre daha hızlı büyümektedir. Bu sistemler asit sayesinde parçalanmanın hızlandığı ve parçalanmış atıkların diğer bir tanktaki metan üreten organizmaların işini kolaylaştırdığı için verimlidir. Kanalizasyon ve şehir sularının işlenmesinde kullanılırlar.

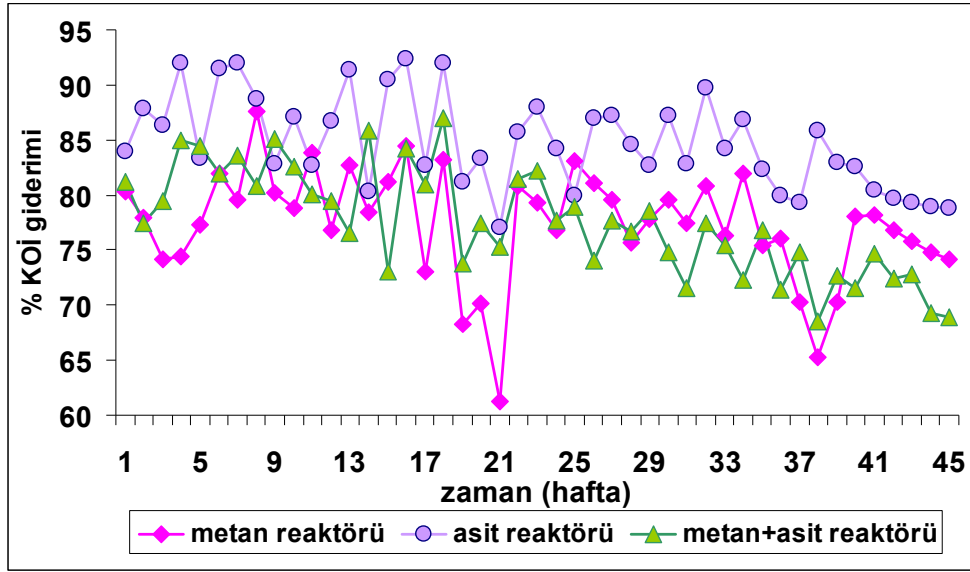
#### **4.2.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini bulguları**

Rapor edilen bu çalışmada iki fazlı sistem kentsel katı atıkların organik fraksiyonunun arıtımında kullanılmış ve çeşitli HBS'ne karşı gelen organik yüklerle çalıştırılarak KOİ giderim verimi ve biyogaz üretimi optimize edilmeye çalışılmıştır.

Tek fazlı reaktörde (metan reaktörü) HBS ilk 37 hafta 36 gün, son 8 hafta ise 20 gün olarak sürdürülmüştür. İki fazlı (asit+metan reaktörü) reaktörde 32 gün olarak belirlenen bu değer, yine 20 gün olarak devam ettirilmiştir. Asit reaktöründe ise süreç, 3,5 gün şeklinde belirlenerek 37. haftadan sonra 2 gün olarak devam ettirilerek çalışma sonlandırılmıştır. HBS sürelerine bağlı olarak değişen organik yükleme değerleri ilk 37 hafta ve son 8 hafta için belirtilen 2 farklı değer her 3 reaktör için gözetilerek sırasıyla, 3,7–6; 4–6 ve 37–60 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün olarak gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel sistemde KOİ giriş konsantrasyonu ilk 21 hafta 50 g/l 39. haftaya dek 100 g/l, son 6 hafta ise 200 g/l değerine arttırılmıştır.



Şekil 44. Reaktörlerde KOİ gideriminin zamanla değişim grafiği



Şekil 45. Reaktörlerde KOİ giderim yüzdesinin zamanla değişimi

Şekil 45’de görüldüğü gibi tek fazlı (metan) reaktörde %80 ile başlayan KOİ giderimindeki azalma 3 hafta sürmüştür. 18.haftaya dek süren dalgalanma ile ortalama %78 KOİ giderimi gözlenmiştir. 22.haftaya dek biyogaza dönüşüm salınımlarında dalgalanma artmıştır. 22.hafta giderimdeki azalma %61 ile minimum değere ulaşmıştır. Ardından 12 hafta salınım derecesi azalmış, 39.haftada %65’e dek süren düşüşün ardından, %78’e dek ani bir çıkış, 45 haftanın sonunda %74 giderim gözlenmiştir. Organik yükleme hızı 3.7’ dan 6 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün değerine yükseldiğinde, KOİ giderim, etkililiğinde %78’den %73’e düşüş, paralelinde çıkış suyu KOİ gideriminde, OYH’nın artırıldığı 38.haftaya dek ortalama 14507 mg/l değeri gözlenmiştir. Son 8 haftanın ortalaması 33685 mg/l’ye artmıştır. Toplam 45 haftanın sonunda ortalama 18259 mg/l giderim gözlenmiştir.

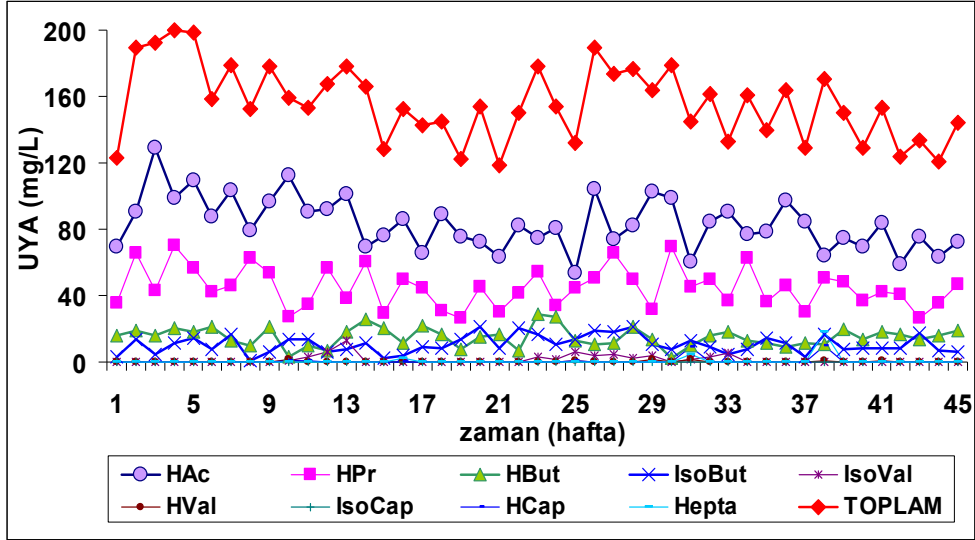
İki fazlı reaktörde ilk 9 hafta süren %KOİ giderimindeki dalgalanmanın ardından, %81 ile başlayan giderim 13.haftanın sonunda %76 ya düşüş göstermiştir. KOİ giriş konsantrasyonunun 100 g/l ya arttırıldığı 22. haftaya dek giderimdeki dalgalanma salınımındaki artış ile %73 değerine kadar düşüş gözlenmiştir. KOİ giriş konsantrasyonunun 200 g/l ya arttırıldığı, HBS'nin 20 güne düşürüldüğü 38.haftaya dek giderim salınımındaki azalma devam ederek, 45 haftanın sonunda minimum %68 değeri kaydedilmiştir. Ortalama giderim verimi % 77'dir. OYH nın 4 den 6 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün değerine arttırıldığı 38. haftaya dek kaydedilen ortalama 18139 mg/l değeri, çalışma sonunda ortalama 22843 mg/l ye artmıştır.

Asit reaktöründe ise KOİ giriş konsantrasyonunun 100 g/l ya arttırıldığı 22.haftaya dek giderimdeki dalgalanma sonucu ortalama %86 dır. Bu haftadan itibaren OYH da 37.142 den 60 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün değerine arttırılmıştır. Beraberinde KOİ gideriminde 6765 mg/l den, 45 haftanın sonunda ortalama 15186 mg/l değerine artmıştır. Giderim 60 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün değerine dek ortalama % 86'dır. Gözlenen minimum değer 21. haftada kaydedilen %77'lik giderimdir. HBS de 21. haftadan itibaren 3,5 günden 2 güne azaltılmıştır.

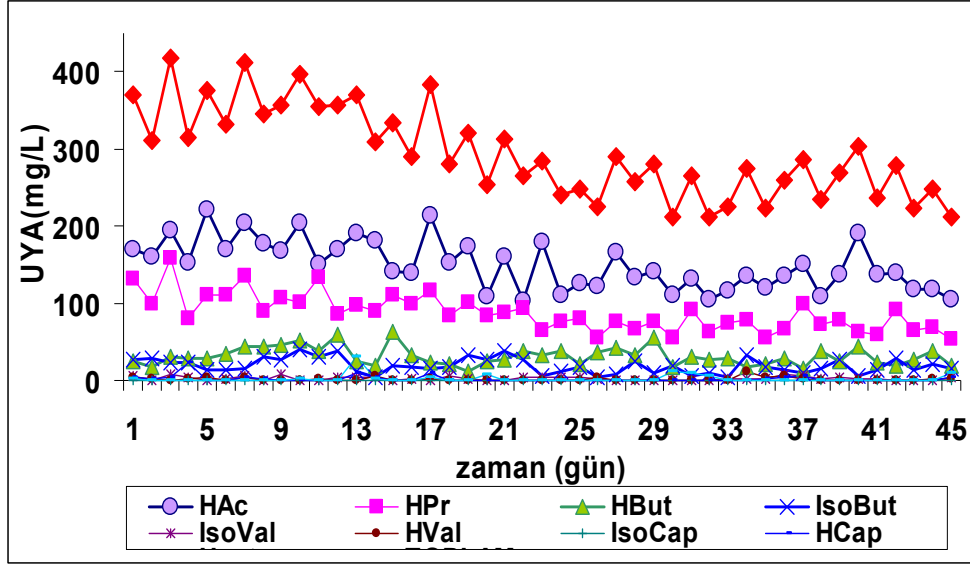
#### **4.2.2. Uçucu Yağ Asidi Tayini Bulguları**

Uçucu yağ asidi konsantrasyonu anaerobik sindirim prosesinin stabilite düzeyi (derecesi) açısından önemli bir parametredir. Uçucu yağ asidi konsantrasyonu anaerobik sindirim prosesinin metabolik durumu için oldukça iyi bir indikatördür. Baskın UYA olan asetik asit, asetat kullanan metanojenlerin inhibe olduğunu göstermektedir. Bu etki amonyak sebebiyle olabilir.

Ölçümler sonucunda her 3 reaktörde de en fazla birikim gösteren UYA bileşenleri asetat, propiyonat, butirat ve iso-bütirattır. Uçucu yağ asitleri anaerobik sindirimin kontrolünde önemli bir parametredir. Bu çalışmada tüm reaktörlerde benzer bir periyot görülmüştür. İlk 4–5 hafta hidrolitik ve asidojenik fazlarda yüksek asit üretimi gözlenmiştir. 5–21.haftalar arası UYA miktarları düşmeye başlamıştır. Bu düşüşün nedeni reaktörlerin metanlaşma fazına geçmesidir. KOİ giriş konsantrasyonunun ve OYH'nın artırıldığı 22. ve 37.haftalarda organik madde asetat, propiyonat, butirat ve iso-butirat başta olmak üzere UYA'lerine dönüştürülmesinde artış görülmektedir.

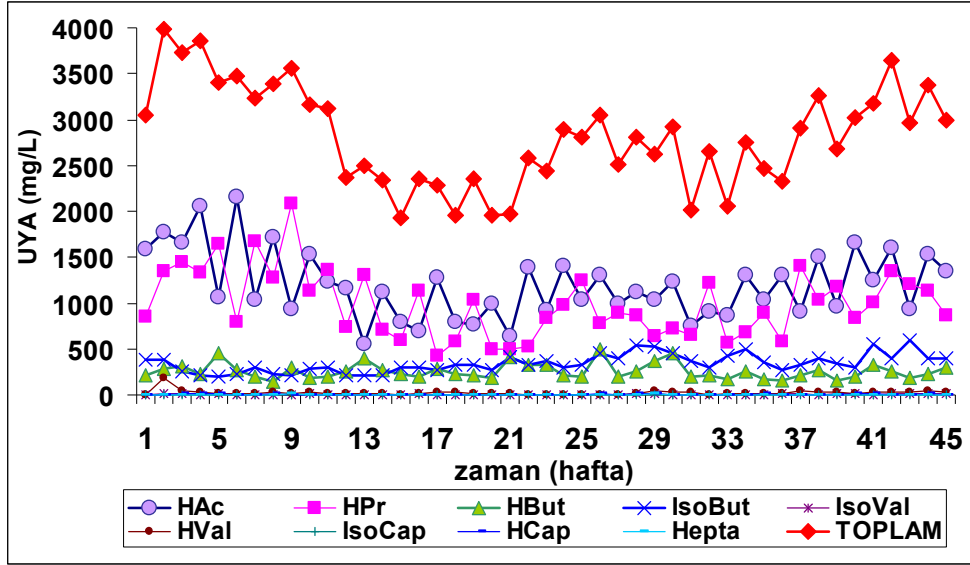


Şekil 46. Tek fazlı reaktörde UYA konsantrasyonunun zamanla değişimi



Şekil 47. İki fazlı reaktörde UYA konsantrasyonunun zamanla değişimi

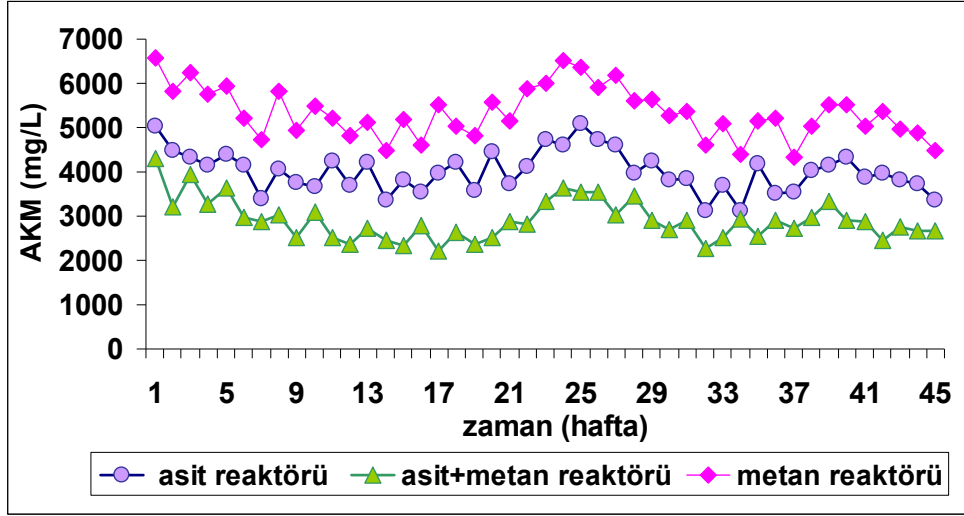
Metan reaktöründe toplam asit üretimi 123–144 mg/L aralığındadır. 45 hafta süresince üretim 69–73 mg asetat/L, 35–47 mg propiyonat /L, 15–18 mg butirat/L, 3–17 mg iso-butirat/L değer aralıklarında görülmektedir. İki fazlı reaktörde toplam asit üretimi 345,48–212,45 mg/L aralığındadır. 45 hafta süresince üretim 170,63–104,02 mg asetat/L, 132,04–52,06 mg propiyonat /L, 18,33–10,45 mg butirat/L, 27,66–26,14 mg iso-butirat/L değer aralıklarında görülmektedir.



Şekil 48. Asit reaktöründe UYA konsantrasyonunun zamanla değişimi

Asit reaktöründe toplam asit üretimi 3050,96–2986,38 mg/L aralığındadır. 45 hafta süresince üretim 1590,34–1356,75 mg asetat/L, 853,37–870,91 mg propiyonat /L, 390,42–421,57 mg butirat/L, 210,27–302,60 mg iso-butirat/L değer aralıklarında görülmektedir.

#### 4.2.3. Askıda Katı Madde Tayini Bulguları

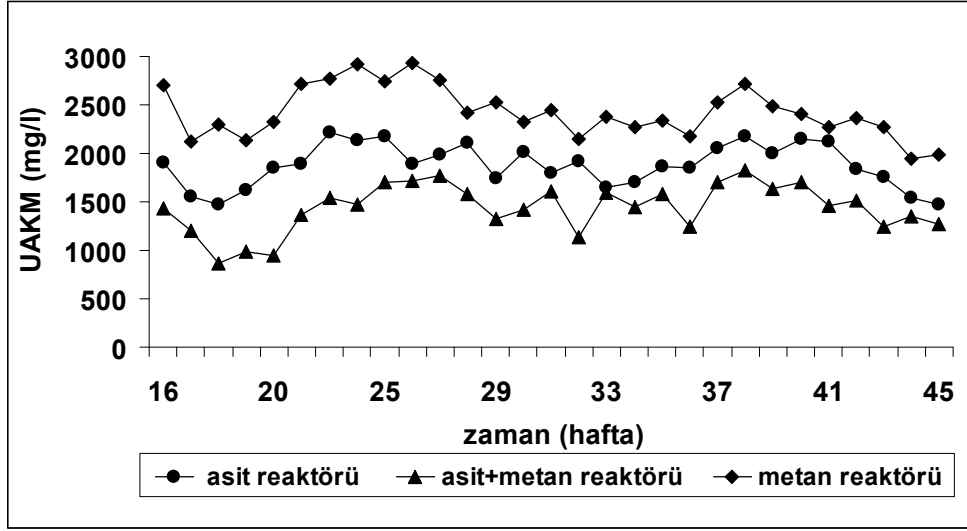


Şekil 49. Reaktörlerde AKM konsantrasyonunun zamanla değişimi

Tek, iki fazlı ve asit reaktörlerinde sırası ile ortalama AKM konsantrasyonları 5338- 2910–4012 mg/l'dir. 45 haftalık periyotta, ilk 21 hafta AKM oranında azalma gözlenir iken, KOİ giriş konsantrasyonunun ve OYH'nın arttırıldığı 22. ve 37.haftaya dek azalma yönündeki AKM konsantrasyonu, bu haftalardan itibaren artış yönünde çıkışlar göstermektedir.

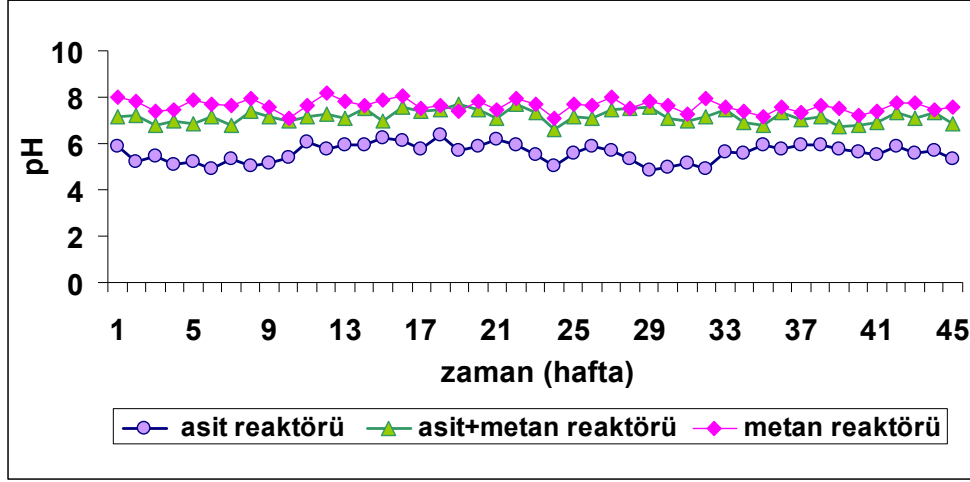
#### 4.2.4. Uçucu Askıda Katı Madde Tayini Bulguları

Askıda katı maddelerin 550 °C’de yakılması sonucu CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O’ya dönüşen organik kısım olan uçucu askıda katı madde grafiği verileri 16. haftadan itibaren kaydedilmiştir.



Şekil 50. Reaktörlerde UAKM konsantrasyonunun zamanla değişimi

Reaktörlerde yaşadığımız karıştırma problemi dolayısı ile, her 3 reaktörde de AKM miktarının organik kısmını temsil eden UAKM konsantrasyonu salınım grafikleri benzerlik göstermektedir. KOİ giriş konsantrasyonunun artırıldığı 22.haftadan 27.haftaya dek UAKM konsantrasyonundaki artış görülmüştür. 36. haftaya dek görülen azalma sürecini OYH nın artırıldığı 37.haftadan itibaren artış yönündeki salınımlar izlemiştir. Ortalama UAKM değerleri tek fazlı reaktörde 2428 mg/l, iki fazlı reaktörde 1434 mg/l, asit reaktöründe ise 1878 mg/l ‘dir.



Şekil 51. Reaktörlerde hidrojen iyonu konsantrasyonunun (pH)zamanla değişimi

Tek, iki fazlı ve asit reaktörlerinde başlangıç pH değerleri sırası ile 7,7–7,4–5,9'dur. İlk 5 hafta 7,5–6,8–4,6'e kadar değerlerde düşüş görülmüştür. Tekrar kaydedilen artışlar organik yükleme yapılan haftalarda düşüş grafiği izlemiştir. 45 hafta sonunda ortalama pH değerleri sırası ile 7,6–7,3–5,6'dır. İlk 5 hafta içinde pH'ın azalma göstermesinin sebebi hidrolizi takiben meydana gelen asitleşme safhasıdır. Asitleşme safhasında pH düşmektedir. 5 haftadan sonra sistem metanlaşma safhasına geçmeye başlamıştır ve pH'da artma gözlenmiştir. İşletme periyodu süresince reaktörlerde yeterli tamponlama kapasitesini sağlamak amacı ile günlük besleme stoğunun pH değeri 7 olacak şekilde alkalinite ( $60 \text{ g/L NaHCO}_3$ ) ilave edilmiştir. Reaktörler kararlı denge şartları altında çalıştırılmıştır. Cumartesi ve Pazar günleri hariç her gün reaktörlerin pH değerleri ölçülerek, her haftayı temsil eden 5 güne ait ortalama değerler şekil 51'de gösterilmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, İzmir kentsel çöpünün organik fraksiyonunun anaerobik biyolojik parçalanabilirliği ve biyogaz üretim potansiyeli incelenmiştir. Anaerobik arıtımı etkileyen faktörler değerlendirilmiştir. Çalışmamız kesikli ve sürekli denemeler olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.

### 5.1. Kesikli Denemelerin Sonuçları

Birinci kısım; 100 ml'lik BMP şişelerinde kuru madde oranları %5–35 arasında olacak şekilde hazırlanan çözelti örnekleri

- a) anaerobik granül mikroorganizma ile birlikte parçalanmaya maruz bırakılarak
- b) anaerobik aşılı olmaksızın sadece katı atık ile
- c) KOİ değeri 3–10–30 g/L olacak şekilde hazırlanan biyoreaktörler ile

üç basamak halinde incelenmiştir. Ayrıca bazal ortam optimum anaerobik mikrobiyal gelişme için gerekli mikro ve makro nutrientleri içermektedir. Sonbahar, kış ve yaz mevsimlerini temsil eden denemelerde kaydedilen biyogaz üretim değerleri günlük olarak ölçülmüştür. Net gaz üretimlerini incelediğimizde gaz üretimi için bir bekleme süresi olmadığını görmekteyiz. Aşılı varlığında ve aşılı olmaksızın yaptığımız denemelerde toplam gaz üretimi açısından bakıldığında en fazla üretim kış dönemi için %20 kuru madde, sonbahar ve yaz ayları için de %35 kuru madde oranına sahip biyoreaktörlerden elde edilmiştir. Bunun sebebi kış mevsiminde atığın kül içeriğinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Aşılı yok-var durumları açısından ton katı madde başına en fazla biyogaz üretimi kış mevsimi için

%20 KM oranı ile 95–433 m<sup>3</sup>, sonbahar mevsimi için %35 KM oranı ile 204–486 m<sup>3</sup>, yaz mevsimi için de %35 KM oranı ile 254–564 m<sup>3</sup> nihai değerleri kaydedilmiştir. Aşı varlığında biyogaz üretimi aşı olmaksızın yapılan denemeler ile karşılaştırıldığında kış mevsiminde gaz üretiminin 4 kat, sonbahar ve yaz mevsimlerinde ~2,5 kat fazla olduğu görülmüştür. Sonuçlar biyogaz üretiminin anaerobik organizmaları içeren aşı ile yapılmasını ön görmektedir. 3. kısımda da KM oranı %5-35 arasında değişen stok çözeltiler hazırlanarak ve bu stoklardan 3–10–30 g KOİ/L olacak şekilde önceden hesaplanan hacimlerde numuneler biyoreaktörlere beslenmiştir. Seyreltmenin metan oluşum süreci üzerindeki etkisini görmek için yer alan 3 g/l, 10 g/L ve 30 g/l KOİ içeren şişelerin gaz üretimleri kendi aralarında incelenirse, konsantrasyonun metan üretimi üzerindeki etkisi açıkça gözlenmiştir. Konsantrasyon arttıkça kümülatif gaz üretimi artmaktadır.

3 mevsimde elde edilen sonuçların ortalaması: KOİ değeri 3 g /L değerinde sabitlenen biyoreaktörde 115-211 m<sup>3</sup>, 10 g KOİ /l için 156-316 m<sup>3</sup>, 30 g KOİ /l için 197-361 m<sup>3</sup> biyogaz laboratuvar şartlarında ton kuru madde başına hesaplanan değerlerdir. Katı atık miktarı arttıkça yüksek organik madde muhtevası dolayısı ile biyogaz miktarı da artmaktadır. Mikroorganizmaların ortama alışmasına bağlı olarak biyoreaktörlerde ilk 7–10 gün süren gaz üretimi ardından, 10.-25. günler arası lag fazından sonra artış hızlanmaktadır. Son iki hafta gaz üretim hızı oldukça azalmaktadır.

## 5.2. Sürekli Reaktör Denemelerinin Sonuçları

Çalışmalarımız sürekli reaktör denemeleri ile 11 ay süresince laboratuvar ölçekte, tek ve iki fazlı reaktörler kurularak devam ettirilmiştir. Mezofilik şartlarda (35°C), artan organik yükleme düzeyleri ve azalan hidrolik bekleme süreleri ile proses akışı sağlanmıştır. Tek fazlı sistemde  $KOI_{giriş}$  değeri ilk 21 hafta 50 g /L, 38.haftaya dek 100 g /L iken, bu periyotta 3,7 kg  $KOI/m^3$  gün olan giriş yükü ortalama % 68 verim ile giderilmiştir. Son 8 hafta  $KOI_{giriş}$  konsantrasyonun 200 g /L, OYH'nın da 6 kg/ $m^3$ gün'e arttırılması sonucu giderim verimi de %71'ye yükselmiştir. İki fazlı sistemde de  $KOI_{giriş}$  konsantrasyonları aynıdır. OYH 38. hafta 4 kg  $KOI/m^3$  gün' den 6 kg  $KOI/m^3$  gün değerine arttırılmıştır. Ortalama  $KOI$  giderim verimi % 77'dir. Ön asitleşme reaktöründe ise 22.hafta OYH 37 den 60 kg  $KOI/m^3$  gün değerine arttırılmış, HBS 3,5 günden 2 güne azaltılmıştır. Ortalama  $KOI$  giderim verimi % 86'dır.  $KOI_{giriş}$  konsantrasyonu ve OYH arttırılınca reaktörlerin içeriği nedeni ile stabilizasyona uğrayacak madde miktarı (evsel organik katı atık) arttığı için  $KOI_{çıkış}$  konsantrasyon değerleri de artmıştır.

Kimyasal oksijen ihtiyacının şişeler içerisindeki giderimi, metan gazının üretilmesi ile birlikte mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini yerine getirebilmesi için de gereklidir. Giriş  $KOI$ 'sinin miktarına bağlı olarak çıkış  $KOI$ 'sinde artış olmakta ve bu da  $KOI$  giderimi yüzdesinde azalma ile sonuçlanmaktadır. Ölçümler sonucunda en fazla birikim gösteren UYA bileşenleri asetat, propiyonat, butirat ve iso-butirattır. İlk 4-5 hafta UYA seviyelerinde artış meydana gelmesinin sebebi biyoreaktörlerin anaerobik arıtım kademesinin hidrolizi takiben kısmi metanlaşma ve

ağırlıklı olarak asitleşme safhasında bulunmasıdır. Asitleşme safhasında ortamda UYA artmaktadır. 5–21.haftalar arası UYA miktarları düşmeye başlamıştır. Bu düşüşün nedeni reaktörlerin metanlaşma fazına geçmesidir. UYA düştükçe stabilizasyon hızlanmıştır. Her 3 reaktörde de KOİ giriş konsantrasyonunun 100 g/l ye ve asit reaktöründe ayrıca OYH'nın 60 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün değerine arttırıldığı 22. haftadan itibaren reaktörlerde 3–4 hafta süren artış periyodunu azalarak devam eden UYA üretimi izlemiştir. KOİ giriş konsantrasyonunun 200 g/l ye, tek ve iki fazlı reaktörlerde de OYH'nın 6 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün değerine arttırıldığı 37. haftadan itibaren 2 hafta UYA üretiminde artış görülmektedir. 45. haftaya dek UYA miktarları azalmaktadır.

Tek fazlı reaktörde 45 haftalık periyotta AKM konsantrasyon aralığı 6580–4490 mg/l, iki fazlı reaktörde 4290–2680 mg/l, asit reaktöründe ise 5040–3720 mg/l'dir. AKM miktarının organik kısmını temsil eden UAKM konsantrasyonu salınım grafikleri de her 3 reaktörde benzerlik göstermektedir. Ortalama UAKM değerleri tek fazlı reaktörde 2428 mg/l, iki fazlı reaktörde 1434 mg/l, asit reaktöründe ise 1878 mg/l 'dir. KOİ giriş konsantrasyonunun ve OYH'nın arttırıldığı haftalarda karışım işleminin tam olarak gerçekleşmemesi sorunu ile AKM ve UAKM düzeylerinde artış gözlenmiştir. Reaktörler değişken ve kararlı denge şartları altında çalıştırılmıştır. Faz ayrımlı sistemden sürekli daha iyi çıkış kalitesi, daha düşük askıda katı madde, yüksek KOİ giderimi ve iyi bir metan dönüşüm oranı elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

**Alibaş, K., 2004.** “Biyogaz üretimi ve sistemleri”, Biyoenerji 2004 Sempozyumu, Bildiriler kitabı, İzmir, 371s.

**Alvarez, M.J., 2003.** Biomethanization of The Organic Fraction Of Municipal Solid Wastes, Chapter 9, pp. 1-43, Iwa Publishing, London, U.K.

**Alvarez M., Mace J., Llabres P., (2000).** Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. Bioresource Technology, 74, 1, 3-16

**Atılgan İ., 2000,** Türkiye'nin Enerji Politikasına Genel Bakış, J. Gazi Univ. Fac. Eng. Arch. Vol 15, No 1, 31-47

**APHA,** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, Washington, D.C.,1997.

**Arıkan, O.A., Öztürk,İ., 2005,** İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Dergisi Cilt:4, Sayı:1

**Ateş, F., 2004,** “Biyokütlenin sabit yatak pirolinize katalizörün etkisi”, V.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, pp:467-474.

**Başçetinçelik, A., Karaca,C., Öztürk H.H., 2004,** “Bazı Avrupa Birliği Ülkelerinde Biyokütle Politikaları”, V.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, pp: 439-448.

**KAYNAKLAR (Devam)**

**Berktaş, A. ve Pehlivan, E.**, 1996, Konya Kent Merkezinde Yaşayanların Evsel Katı Atıkların Kaynağında Geri Kazanılabilirliği Konusundaki Eğilimlerin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt 11, s. 10–14.

**BP Statistical Review of World Energy**, June 2005

[http://www.bp.com/.../STAGING/local\\_assets/downloads/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2005.pdf](http://www.bp.com/.../STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2005.pdf)

**Bolzonella, D., Battistoni, P., Susini, C., Cecchi, F.**, 2006, Anaerobic codigestion of waste activated sludge and OFMSW: the experience of Viareggio and Treviso plants (Italy), Water Science&Technology, 53(8):203-211pp.

**Bolzonella, D., Pavan, P., Mace, S., Cecchi, F.**, 2006, Dry anaerobic of differently sorted organic municipal solid waste: a full-scale experience, Water Science&Technology, 53(8):23-32pp.

**Çimen F.**, 1998, TTGV Temiz Üretim- Temiz Ürün Çevre Dostu Teknolojiler Çalışma Grubu Sanayi Sektörü Raporu, Tübitak-TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartışmaları Platformu, Ankara, 110s.

**D'Apote SL.**, 1998, "IEA biomass energy analysis and projections", In: Conference Proceedings of Biomass Energy Data, Analysis and Trends, OECD.

**KAYNAKLAR (Devam)**

**Demirer G.N. ve Mirata M.**, 1999, “Endüstriyel Kirlilik Önleme ya da Temiz Üretim-I”, Endüstri&Otomasyon, No: 31, 110-113s.

**Demirer G.N., Duran M., Güven E., Uğurlu Ö., Ergüder T.H., Tezel U., Şen S., Korkusuz E.A., Varolan N., Demirci G., Çapar G., Acunar E., Şahinkaya E.**, 2000. “Biyokütle enerjisine bir örnek: Anaerobik yöntemlerle organik atıklardan biyogaz eldesi”, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Cilt 2, s: 467-474, İstanbul.

**DinopouloG., Rudd, T., ve Lester, J.N.**, 1988. “Anaerobic acidogenesis of a complex wastewater: I. The influence of operational parameters on reactor performance”. Biotechnol. Bioengineer., 31, 958-968.

**Duygu, E.**, 2004,“ Türkiye, sürdürülebilir kalkınma ve sosyoekonomik, eko-ekolojik enerji kaynağı, biyokütle” , V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, pp: 429-438.

**EIA (Energy Information Administration), US Department of Energy, International Energy Outlook, 2002, Washington, DC, March 2002.**

**Elango, D., Pulikesi, M., Baskaralingam, P., Ramamurthi, V., Sivanesan, S.**, 2006, Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage, Journal of Hazardous Materials,1-4pp.

**KAYNAKLAR (Devam)**

**Ergüder, T.H., Tezel, U., Güven, E., Demirer, G.N.**, 2002. “Peyniraltı suyunun anaerobik sistemlerle arıtımı”, Anaerobik Arıtım Teorik Altyapı ve Uygulamalar Eğitim Semineri Notları, Ankara.

**European Commission**. 26.11.1997. Energy for the future: Renewable sources of energy, White paper for community strategy and action plan. COM (97) 599 final.

**Evrendilek, F., Ertekin, C.**, 2003, “Assessing the potential of Renewable energy sources in Turkey”, Renewable Energy, 28, pp: 2303-2315.

**Fresner, J.**, 1998, “Cleaner production as a means for effective environmental management”, Journal of Cleaner Production, 6, 171-179.

**Grady, C.P.L., Daigger, G.T. and Lim, H.C.**, 1999. Biological Wastewater Treatment, Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 619, 626, 630.

**Gomez, X., Cuetos, M.J., Cara, J., Moran, A., Garcia, A.I.**, 2006, Anaerobic co-digestion of primary sludge and the fruit and vegetable fraction of the municipal solid wastes Conditions for mixing and evaluation of the organic loading rate, Renewable Energy, 31: 2017–2024

**Hartmann, H., Ahring B.**, 2005, Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste: Influence of co-digestion with manure, Water Research, 2005 Apr;39(8):1543-52

**KAYNAKLAR (Devam)**

**Held, C., Wellacher M., Robra K., Gubitz G.,** 2002, Two-stage anaerobic Fermentation of organic waste in CSTR and UFAFA reactors, Bioresource Technology, 81:19-24 pp.

<http://www.eie.gov.tr/biyogaz>

<http://www.enve.metu.edu.tr>

[http://www.uneptie.org/pc/cp/understanding\\_cp/home.htm](http://www.uneptie.org/pc/cp/understanding_cp/home.htm)

**Jones, M.R.,** 1989, "Biomass for energy (General)", Biomass handbook. O. Kinati, C.W. Hall, K. Wagener, S. Tsuru, T. Suzuki, S. Sudo(Eds.) Gordon& Breach Publishers, Amsterdam, pp:97-107.

**Karaosmanoğlu, F.,** 2004, "Enerjinin Önemi, Sınıflandırılması ile Kaynak İhtiyaç Dengesi ve Gelecekteki Enerji Kaynakları", Dünya ve Türkiye'deki Enerji ve Su Kaynaklarının Ulusal ve Uluslararası Güvenliğe Etkileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 372s.

**Kaygusuz K.,** 2002, Sustainable development of hydropower and biomass energy in Turkey, Energy conversion& Management, 43, pp:1099-1120.

**Kaygusuz K., Türker, MF.,** 2002, "Biomass energy potential in Turkey", Renewable Energy, 26, pp:661-678.

**KAYNAKLAR (Devam)**

**Onay, T.**, 15-16 Haziran 2006, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, “Yerel Yönetimler İçin Atık Yönetimi Yaklaşımlar” Seminer Notları

**Owen, W.F., Stuckey, D.C., Healey, J.B., Young, L.Y., McCarty, P.L.**, 1979, “Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity”, Water Research, 13, s. 485-492

**Öner, B.**, 2007, “Avrupa Birliği’nde Enerji Verimliliği, Mevzuat, Uygulamalar ve Teşvikler”, 13.Uluslararası Enerji, Kojenerasyon ve Çevre Teknolojileri Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 244 s.

**Öztürk, İ.**, 1987, Biyoenerji sistemlerinde işletmeye alma ve proses kontrolü problemleri”. Uluslar arası Çevre Sempozyumu, Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü ve Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

**Öztürk, İ.**, 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, s. 11-46, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

**Öztürk İ., Çokgör E. U., Gömeç Ç. Y., ve diğerleri.**, 2006, "Evsel Atıksular ve Organik Katı Atıkların Birlikte Arıtımı Yoluyla Yenilenebilir Enerji (Biyometan) Geri Kazanım Teknolojilerinin Araştırılması Projesi”, 1. Gelişme Raporu Eki, Kamu Kurumları Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı, 1007 Projesi No: 105G024, TÜBİTAK, Ankara.

**Öztürk, İ., Gömeç Ç.**, 2004, Organik Katı Atıklar ile Evsel Atıksuların Birlikte Havasız Arıtımı, Biyoenerji 2004 Biyolojik Olarak Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 227-234s.

**KAYNAKLAR (Devam)**

**Pehlivan, E. ve Berktaş, T.**,1999, “Konya Kampus Bölgesi Evsel Katı Atıklarının Geri Kazanılabilirliğinin Araştırılması” Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu’, İstanbul, s: 373-382.

**Regional Information Service Center for South East Asia on Appropriate Technology (RISE-AT)**, Nov 1998, Review of Current Status of Anaerobic Digestion Technology for Treatment of Municipal Solid Waste

**Reith J.H., Wiffels R.H.**, 2003. “Bio-methane& Bio-hydrogen”, Status and Perspectives of Biological Methane and Hydrogen Production.

**Rittmann, B.E. and McCarty, P.L.**, 2001. Environmental Biotechnology: Principles and Applications, pp. 570-596, McGraw-Hill, Inc., New York

**Sam-Soon, Loewenthal, R.E., Dold, P.L., and Marais, Gv.R.**, 1987. “Hypothesis for Pelletisation in the upflow anaerobic sludge bed reactor”. Water SA. 13/2, 69-80

**Speece, R.E.**, 1996. Anaerobic Biotechnology For Industrial Wastewaters, pp. 3, 6, 36, Archae Press, USA.

**Sponza, D.T., Ağdağ, O.N.**, 2005, Effects of shredding of wastes on the treatment of municipal solid wastes (MSWs) in simulated anaerobic recycled reactors, Enzyme and Microbial Technology, 36, 25–33pp

**Şen, G. ve Bilgin M.**, 2005, " Kompostlama sürecinde ağır metal davranışları", UKAK 4. Katı Ulusal Atık Kongresi, İzmir.

**KAYNAKLAR (Devam)**

**TBW**, Biocomp Process, Sustainable Technologies Building and Business Consultants, Frankfurt/Main. (<http://www.eurofirms.com/atforum/atf8/biocomp.htm>)

**Tchobanoglous, G. and Burton, F.L.**, 1991. Wastewater Engineering, pp. 423–425, McGraw-Hill, Singapore

**Tuğrul, A.B.**, 2003, "Quality Concept For Energy Implementation", The First International Energy and Environment Symposium, Izmir, pp.431-434.

**Woodard , R.**, Harder, M. K., Bench, M., Philip, M. 2001. Evaluation The Performance of a Fortnightly Collection of Household Waste Separated in to Compostables, Recyclates and Refuse in the South of England. Resources, Conservation and Recycling, 31, 265-284.

**UNIDO**, 1992, Anaerobic Treatment, How to Staff Manufacturing Industries, File:z18, Austria.

**Verma, S.**, 2002, Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Waste, MSc Thesis, Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University, 56p

**Zanbak C.**, 2006, İTÜ, 10. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu Sunum Notları

## ÖZGEÇMİŞ

### **KİMLİK BİLGİLERİ**

**Adı Soyadı:** Yasemin ERSOY  
**Doğum Yeri:** FETHİYE  
**Doğum Tarihi:** 10.05.1980

### **İLETİŞİM BİLGİLERİ**

**Tel:** 0232 375 3139  
**Gsm:** 0505 513 0989  
**E-Mail:** [ersoyyasemin@yahoo.com](mailto:ersoyyasemin@yahoo.com) – [yaseminersy@gmail.com](mailto:yaseminersy@gmail.com)  
**Adres:** 127.Sok. Yavuz Sitesi A Blok No:1/5 Evka 3 Bornova/İZMİR

### **EĞİTİM BİLGİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS (2004–2007)** Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Bilimleri Bölümü

**LİSANS (1999–2004)** Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Biyokimya Bölümü

### **YABANCI DİL BİLGİSİ**

İngilizce (Akıcı)  
(Ege Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü'nden İngilizce Sınav Sertifikası)

### **BİLGİSAYAR BİLGİSİ**

Paket Programlar (Word, Excel, PowerPoint, Outlook, Access), İnternet

### **STAJ**

25.06.2003 – 25.07.2003 TUBİTAK (Genetik Mühendisliği)

### **EĞİTİMLER**

TS-EN ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi Temel Eğitimi

TSE 18001 OHSAS İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Eğitimi

Gıda üretim, Ambalajlama, Dağıtım Aşamalarında Yapılan Mikrobiyolojik Testlerde Yeni Teknolojiler

### **KATILDIĞIM SEMİNERLER**

Aflatoksinlerin etki şekilleri, gıdalarda bulunma durumları ve önleme çareleri

Süt mamüllerinde antibiyotik kalıntı problemi

Gıdalarda pestisitler ve azaltma olanakları

Katı atık yönetimi, Türkiye’de kompost üretimi ve sebze meyve atıklarının hayvan yemi olarak potansiyeli

### **KATILDIĞIM SEMPOZYUM VE KONGRELER**

20–22 Ekim 2004 / İzmir: Biyolojik Olarak Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu

25–27 Mayıs 2005 / İzmir: Türkiye’nin AB’ne Giriş Sürecinde Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi Kongresi

23–25 Haziran 2005 / Sofya: BioGenerix / PAREXEL Klinik Araştırmalar Konferansı

08–13 Kasım 2005 / Kuşadası: X. Avrupa Ekoloji Kongresi

11–12 Mayıs 2006 / Gebze: Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu V

14–16 Aralık 2006 / İzmir: Türk- Alman Katı Atık Günleri 2006  
'Katı Atıklarda Biyolojik İşlemler'

18 Mayıs 2007 / İzmir: Laboratuvar Güvenliği Sempozyumu

### **İŞ DENEYİMİ**

01.03.2005- 26.05.2006: Kuantum Sağlık Araştırma ve Danışmanlık Ltd.Şti. Çiğli/İzmir Pozisyon: Klinik Araştırma Koordinatörü