

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NÜFUSU 100.000 OLAN BİR İLÇEYE KURULABİLECEK
ÇÖPTEN ELEKTRİK ÜRETİM SANTRALİ MODELLENMESİ
VE FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARININ YAPILMASI**

EMRAH TOPCU

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NÜFUSU 100.000 OLAN BİR İLÇEYE KURULABİLECEK
ÇÖPTEN ELEKTRİK ÜRETİM SANTRALİ MODELLENMESİ
VE FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARININ YAPILMASI

EMRAH TOPCU

Prof.Dr. Durmuş KAYA
Danışman, Kocaeli Üniv.
Dr. Öğr. Üyesi Muharrem EYİDOĞAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Doç.Dr. Ethem TOKLU
Jüri Üyesi, Düzce Üniv.


.....
M. Eyidoğan
.....
Ethem Toklu
.....

Tezin Sayınulduğu Tarih: 01.02.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yeryüzünde hızla artan nüfusun ortaya çıkardığı iki önemli problemdir, enerji talebi ve atık. Mühendislik çözümleri her iki sorunu birbirine bağlı şekilde ortadan kaldırılabilecek yöntemler geliştirmiştir. Yerel yönetimlerin belirlediği sahalarda kurulan düzenli depolama alanlarında atık yönetimi sağlanırken bir yandan da depo gazı emilimi yapılır. Belli proseslerden geçen bu yanıcı gaz kojenerasyon ünitelerinde yakılarak ortaya çıkan faydalı ısı ve elektrik enerjisi ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Bu çalışma ile ülkemiz koşullarında az nüfuslu il ve ilçeye kurulabilecek biyogaz santrallerinin modellemesi yapıp geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Çalışmada ele alınan başlıca aşamalar, atık toplama ve atık miktarı analizi, atık yapısı ve kalitesinin incelenmesi, biyogaz santrali tasarımı için gaz prognozu incelenmesi, biyogaz santrali ile üretilebilecek elektrik enerjisi hesaplanması, santral kurulum fizibilitesinin hesaplanması, şeklinde çalışma tamamlanmıştır.

Bu çalışmamda bana sonsuz destekleriyle esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Durmuş KAYA' ya Arş. Gör. Ahmet Serhan HERGÜL'e hayat arkadaşım Tuğçe TOPCU'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim. Bu çalışmamı tez çalışmalarım sürecinde dünyaya gelen oğluma Mustafa Yağız TOPCU'ya itaf ediyorum.

Şubat – 2019

Emrah TOPCU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Çalışmanın Anlamı ve Önemi	2
2. BİYOGAZ KAVRAMINA GENEL BAKIŞ.....	3
2.1. Biyogaz Tanımı ve Özellikleri	3
2.2. Biyogazın Geçmişteki Önemi ve Bugünkü Kullanım Alanları.....	3
2.3. Biyogazın Önemi ve Kaynakları	4
2.3.1. Hayvansal atıklar.....	7
2.3.2. Organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklar.....	7
3. KATI ATIK VE KATI ATIK YÖNETİMİ	9
3.1. Katı Atık Kavramına Genel Bakış.....	9
3.2. Ülkemizde Katı Atık Miktarı ve Konsantrasyonu.....	10
3.3. Katı Atıkların Sınıflandırılması.....	16
3.3.1. Bileşimine göre sınıflandırma	16
3.3.2. Kaynaklarına göre sınıflandırma	16
3.4. Depolama Yöntemleri ve Çeşitleri	17
3.4.1. Vahşi depolama	17
3.4.2. Düzenli depolama.....	18
4. DEPO GAZI VE OLUŞUM SÜREÇLERİ.....	25
4.1. Depo Gazı Kavramına Genel Bakış	25
4.2. Depo Gazı Oluşum Süreci.....	27
4.2.1. İlk uyum fazı	28
4.2.2. Geçiş fazı.....	28
4.2.3. Asit fazı	29
4.2.4. Metan fazı.....	29
4.2.5. Olgunlaşma fazı.....	30
4.3. Çöp Gazı Enerjisinin Mevcut Kullanım Durumu ve Potansiyelinin İncelenmesi.....	32
5. NÜFUSU 100.000 OLAN BİR YERLEŞİMDE LFG TESİSİ TASARIMI.....	38
5.1. Görevin Belirlenmesi	38
5.1.1 Çöp sahasının yerleşimi ve potansiyel parametrelerine genel bakış	38
5.2. LFG Oluşumunu Etkileyen Faktörler.....	39
5.2.1. İklim durumu.....	39
5.2.2. Kimyasal durum	42
5.2.3. Parçacık boyutu	43

5.3. Çöp Sahası Yapısı ve Atık Dolgu Süreci	44
5.3.1. Çöp sahası yapısı	44
5.3.2. Atık dolgu süreci	46
5.5. Çöp Sahası İnşaatı ve Toplanması için Genel Şartlar	49
5.5.1. Atık toplama süresi ve atık kütlesi	49
5.5.2. Atık yapısı ve kalitesi	51
5.5.3. Sızıntı suyu durumu	55
5.5.4. Yangın ve diğer olaylar	56
5.5.5. Gaz toplama derecesi	57
5.6. Çöp Gazı Prognozu	58
5.6.1. Atık dolgu miktarının tahmini	58
5.6.2. Tahmin programı teknik parametrelerinin belirlenmesi	58
5.6.3. Temel senaryoda çöp gazı prognozu sonuçları	60
5.7. Gazdan Emiş Sistemi Uygulaması	65
5.7.1. Gazdan emiş sistem alanı seçimi ve gazdan arındırma sistemi	65
5.7.2. Gazdan emiş sistemi uygulaması için hazırlıklar	66
5.7.3. Gaz emiş sisteminin tasarımı	67
5.7.4. Gaz toplama ve taşıma	78
5.8. Gazın Kullanım Alanına Ulaşması	88
5.9. Depo Gazı Temizleme Prosesi	90
5.9.1. Hidrojensülfür ayrıştırma işlemi	90
5.9.2. Karbondioksit ayrıştırma işlemi	91
5.9.3. Su buharı ayrıştırma işlemi	93
5.9.4. Gazın chiller ile soğutulması	94
5.10. Emniyetli Yakma Amaçlı Flare Modellenmesi	94
6. 800 kWe GÜCÜNDEKİ BİR BİYOGAZ YAKMA TESİSİ TASARIMI	96
6.1. Mekanik Sistem Tasarımı	96
6.1.1. Kapasite uygunluklarının irdelenmesi	96
6.1.1.1. Gaz motoru ceket suyu soğutucusu (HT radyatör seçimi)	98
6.1.1.2. Gaz motoru intercooler soğutucusu (LT radyatör seçimi)	99
6.1.1.3. Gaz motoru egzoz hattı tasarımı (Baca seçimi)	100
6.1.1.4. Gaz motoru atık ısı hesabı (Kazan seçimi)	103
6.1.2. Biyogaz santrali verim uygunluk kontrolü	104
6.2. Elektriksel Tasarımı	105
6.2.1. Gerilim kaybı/güç düşümü irdelenmesi	107
7. NÜFUSU 100.000 OLAN BİR YERLEŞİMDE LFG TESİSİ AMORTİSMAN SÜRESİNİN HESABI VE SİSTEMİN YAPILABİLİRLİĞİ	113
7.1. Santral Gelirlerinin Hesaplanması	113
7.2. Santral Giderlerinin Hesaplanarak Geri Dönüş Süresinin Hesaplanması ..	113
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	116
KAYNAKLAR	117
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	120
ÖZGEÇMİŞ	121

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	İstanbul katı atık miktarları	12
Şekil 3.2.	İstanbul için 2010-2030 arasında tahmin edilen toplam katı atık miktarı	13
Şekil 3.3.	KAAP Projesi Atık Kompozisyonu belirleme çalışması sonucu	15
Şekil 3.4.	Vahşi depolama	18
Şekil 3.5.	Düzenli depolama.....	19
Şekil 3.6.	Katı atık depolama sahası katmanların dizilimi	21
Şekil 3.7.	Atıkların dökülerek katmanlar oluşturulduktan sonra sıkıştırılması işlemi	22
Şekil 3.8.	İş makineleri yardımı ile atık dolgu eğiminin sağlanması.....	23
Şekil 4.1.	Depo gazı oluşum fazları ve gaz oranları	28
Şekil 4.2.	Evsel atıklar için toplama sistemli gaz üretimi modeli	31
Şekil 4.3.	Çöp kaynaklı biyogaz enerji santrallerinin Türkiye haritasında yerleşim	37
Şekil 5.1.	Google resmi – Kurulacak prototip tesisin genel yerleşimi	39
Şekil 5.2.	Türkiye'nin iklim bölgeleri ve tesisimizin yeri	40
Şekil 5.3.	Tesisin kurulacağı bölgenin Yağış miktarı/Yağışlı gün grafikleri	40
Şekil 5.4.	Tesisin kurulacağı bölgenin aylık ortalama yüksek ve düşük sıcaklık eğrileri.....	41
Şekil 5.5.	Kurulacak prototip tesisin farklı depolama alanlarının planı	45
Şekil 5.6.	Tesisin kurulacağı depolama sahasının Google Earth görüntüsü ve LOT lar	45
Şekil 5.7.	21.06.2009 ve 15.08.2013 tarihleri arasında çöp sahasındaki GOOGLE' genel bakış resimleri	46
Şekil 5.8.	Teknik gezilerde fotoğraflanan çöp sahasındaki atık birikimi	47
Şekil 5.9.	Atıkların dağıtımı için atık toplama kamyonları ve ekskavatör	48
Şekil 5.10.	Modelleneceğimiz çöp sahasının temel güvenli senaryoda (senaryo-1) çöp miktarlarının yıllara bağlı değişimini gösteren grafiksel bilgi.....	50
Şekil 5.11.	Çöp sahasında atık bileşimini gösteren genel fotoğraflar	52
Şekil 5.12.	Türk atık parçalarının ortalama genel bileşimi	54
Şekil 5.13.	Çöp sahasının güneyine modellenen sızıntı suyu havuzu	56
Şekil 5.14.	Yarılanma süresinin yıllara göre değişimi	59
Şekil 5.15.	Gaz Miktarı ve BTOC miktarının yıllara göre değişim eğrileri.....	60
Şekil 5.16.	Değerlendirilen gaz prognoz sonucunda elde edilecek elektriksel güç eğrisi	62
Şekil 5.17.	Çöp sahasında atık depolama bölgelerinin genel görünüşü	65
Şekil 5.18.	Gaz emiş sisteminin uygulanması için gerekli hazırlık çalışmaları	66
Şekil 5.19.	Sahanın çevresine, drenaj kanallarına halka şeklinde sızdırmazlık barajı yapılması	67
Şekil 5.20.	Mevcut drenaj borularının sayısı ve yeri.....	68
Şekil 5.21.	Drenaj borularının gaz toplama sistemine bağlantı noktası	69

Şekil 5.22. Drenaj borularının gaz toplama istasyonuna tek boru ile bağlanması.....	69
Şekil 5.23. LOT 1 alanındaki rigollerin uygulanması	70
Şekil 5.24. Rigol kanalı açma, boru serme ve kanal kapama işlemleri uygulanması	71
Şekil 5.25. Depolama alanının yüksek dolgulu bölümlerine ikincil rigollerin (E.B.11–E.B.14) uygulanması.....	72
Şekil 5.26. E.B.7'den E.B.10'a kadar olan rigollerin ortak sifon akışı	74
Şekil 5.27. Sifon bağlantısı olmayan rigollere uygulanan uzatma/kontrol borusu montajı.....	74
Şekil 5.28. Çakıl yatağı olan bir rigol kanalının kesit alanı	76
Şekil 5.29. E.B.11 – E.B.14 rigollerinin sahaya yerleşim şekli	77
Şekil 5.30. Rigollerin kapatılması sırasında yapılan stabilize ve kum dolgusu işlemleri	77
Şekil 5.31. Gaz toplama merkezlerinin yerleşimi ve ana boru güzergahı	79
Şekil 5.32. Gaz toplama merkezlerinin 2m yüksekliğe konuşlandırılması	79
Şekil 5.33. Kesintisiz olarak istasyonlara ana boru bağlantısı	80
Şekil 5.34. Gaz toplama istasyonlarının sayısı ve yerleri (GS1 ve GS2).....	81
Şekil 5.35. Sahadaki emiş borularının gaz toplama istasyonlarına bağlantısı.....	82
Şekil 5.36. 12 emiş borusu bağlantılı gaz toplama istasyonu.....	83
Şekil 5.37. GS1 olarak düşünülen toplama istasyonu kurlumu tamamlanmış hali.....	84
Şekil 5.38. Gaz toplama merkezine bağlanan boruların rigollerle ilişkilendirilmesi.....	84
Şekil 5.39. Rigollerden gaz toplama istasyonlarına olan emiş borusu bağlantısı	85
Şekil 5.40. Gaz toplama istasyonları Z lerin montajı ve emme borularıyla irtibatlanması.....	86
Şekil 5.41. Gaz Toplama İstasyonlarından santral istikametinde giden ana hat.....	88
Şekil 5.42. Enerji üretim santralinin yüksek kotta konuşlandırılması.....	89
Şekil 5.43. Enerji üretim santraline ait genel yerleşim planı ve lejantı.....	89
Şekil 5.44. Biyogazın gaz deposu ve bağlantı elemanlarında oluşturduğu korozyon.....	90
Şekil 5.45. Gaz temizleme ve soğutma cihazı genel görünümü.....	91
Şekil 5.46. Gaz Arındırma ve Soğutma Sisteminin Uygulamadaki hali	93
Şekil 5.47. Yakma Bacası (Flare) Sistemi uygulamadaki hali	95
Şekil 6.1. Tesise ait Tek Hat Projesi.....	107

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1.	Türkiye'deki karakteristik belediye gruplarının tanımlaması.....	10
Tablo 3.2.	Model bölgeleri için kişi başı katı atık miktarı	11
Tablo 3.3.	Şehirlerin yazlık-kışlık kişi başına düşen ortalama çöp miktarı ve toplam atıkiçerisindeki geri kazanım oranı	12
Tablo 3.4.	İstanbul anadolu ve avrupa yakası 2007 kış dönemi kka karakterizasyonu.....	14
Tablo 3.5.	İstanbul anadolu ve avrupa yakası 2007 yaz dönemi kka karakterizasyonu.....	14
Tablo 3.6.	Bazı ülkelerde evsel katı atık karakterizasyonu	15
Tablo 3.7.	Belediyeler tarafından toplanan katı atık bertarafı	20
Tablo 4.1.	Depo gazında bulunan bileşenler ve depo gazının özellikleri.....	25
Tablo 4.2.	Depo gazındaki eser elementlerin konsantrasyonları.....	27
Tablo 4.3.	Düzenli depolama alanında gözlenen gazların yüzde olarak dağılımı.....	31
Tablo 4.4.	Türkiye'deki Lisanslı biyogazdan enerji üreten tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri	32
Tablo 4.5.	Türkiye'deki Lisanssız biyogazdan enerji üreten tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri	35
Tablo 5.1.	Modelliyeyeğimiz çöp sahasının temel güvenli senaryoda 2013'den 2031 yıllarına kadar günlük ve yıllık çöp miktarı bilgileri	49
Tablo 5.2.	Modelliyeyeğimiz çöp sahasının temel hedeflenen senaryoda (senaryo-2) 2013'den 2031 yıllarına kadar günlük ve yıllık çöp miktarı bilgileri.....	51
Tablo 5.3.	Türkiye koşullarında örnek bir atık ayrıştırma analiz sonuçları	53
Tablo 5.4.	Farklı bölgelerdeki atık ayırma analizlerinin sonucu	54
Tablo 5.5.	Farklı türde atıklar ile elde edilen BTOC miktarı tablosu.....	55
Tablo 5.6.	Değerlendirilen gaz prognoz parametresi ile dağılım aralıkları.....	60
Tablo 5.7.	Değerlendirilen gaz prognoz sonucu oluşan gaz miktarlarının farklı senaryolarda değerlendirilmesi.....	61
Tablo 5.8.	Tesis kurulum maliyetleri hakkında genel bakış.....	64
Tablo 5.9.	Rigollerin ve uygulamadaki boru uzunluğununmetraj çalışması.....	73
Tablo 5.10.	Drenaj çıkışına drenaj borusu bağlantıları için metraj çalışması	75
Tablo 5.11.	Ana borunun çalıştırılması için gerekli boru uzunluğu	80
Tablo 5.12.	Drenaj Boruları ve Emme Borularının Gaz toplama istasyonuna bağlantı için gerekli emme borusu metrajları.....	87
Tablo 6.1.	Gaz motoru data sheet bilgileri	96
Tablo 6.2.	Gaz motoru ve yardımcı ekipmanlar data sheet bilgileri	97
Tablo 6.3.	HT kuru soğutucu teknik özellikleri.....	98
Tablo 6.4.	Kuru soğutucu teknik özellikleri	99
Tablo 6.5.	Baca teknik özellikleri.....	100
Tablo 6.6.	Baca hesabı için teknik veriler	100
Tablo 6.7.	Termal güç hesabı için teknik veriler	104

Tablo 6.8. Verim hesabı için gerekli teknik veriler	105
Tablo 6.9. Gerilim düşümü hesap tablosu	109
Tablo 6.10. Güç kaybı hesap tablosu.....	109



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

E	: Enerji, (J)
Pe	: Elektriksel Güç, (kW)
Pt	: Termal Güç, (kW)
Q	: Güç, (Kcal/h)
cp	: Özgül Isı, (kcal/kg °C)
m	: Kütle, (kg)
PL	: Dış Hava Basma, (Pa)
ρ_L	: Dış Hava Yoğunluğu, (kg/m ³)
D _h	: Geçici Çap, (m ²)
w	: Akış Hızı, (m/sn)
Ks	: Soğutma Katsayısı
T	: Sıcaklık, (C)
ρ_m	: Atık Hava Yoğunluğu, (kg/m ³)
P _{HV}	: Baca Çekişi, (Pa)
P _E	: Baca Direnci, (Pa)
P _R	: Baca Basınç Kaybı, (Pa)
η	: Verim
L	: Çekilecek Kablonun Uzunluğu, (m)
N	: Beslenecek Yükün Gücü, (W)
S	: Çekilecek Kablonun Kalınlığı, (mm ²)
fa	: Karbon Faktörü Katsayısı
fo	: Parçalanma Optimizasyon Faktörü Katsayısı
k	: Bozulma Faktörü Katsayısı
fao	: Başlama Faktörü Katsayısı

Kısaltmalar

BTOC/TOC	: Toplam Organik Karbon
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik

NÜFUSU 100.000 OLAN BİR İLÇEYE KURULABİLECEK ÇÖPTEN ELEKTRİK ÜRETİM SANTRALİ MODELLENMESİ VE FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARININ YAPILMASI

ÖZET

Yeryüzünde hızla artan nüfusun ortaya çıkardığı iki önemli problemdir, enerji talebi ve atık. Mühendislik çözümleri her iki sorunu birbirine bağlı şekilde ortadan kaldırılabilecek yöntemler geliştirmiştir. Yerel yönetimlerin belirlediği sahalarda kurulan düzenli depolama alanlarında bir yandan atık yönetimi sağlanırken bir yandan da depo gazı emilimi yapılır. Belli proseslerden geçen bu yanıcı gaz kojenerasyon ünitelerinde yakılarak ortaya çıkan faydalı ısı ve elektrik enerjisi ülke ekonomisine katkı sağlar. Bu çalışmada ülkemiz koşullarında az nüfuslu il ve ilçelere kurulabilecek biyogaz santrali modellenmesi yapılarak geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Çalışmada ele alınan başlıca aşamalar, atık toplama ve atık miktarı analizi, atık yapısı ve kalitesinin incelenmesi, biyogaz santrali tasarımı için gaz prognozu incelenmesi, biyogaz santrali ile üretilebilecek elektrik enerjisi hesaplanması, santral kurulum fizibilitesinin hesaplanması, şeklinde çalışma tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Çöp Sahası, Depo Gazı, Düzenli Depolama, Yenilenebilir Enerji.

MODELLING OF THE ELECTRICITY POWERPLANT WORKING WITH WASTE THAT CAN BE ESTABLISHED IN A 100.000 POPULATION DISTRICT AND PREPARATION OF THE FEASIBILITY STUDIES

ABSTRACT

Energy and waste are the two major problems that rapid population growth on earth have yielded. Engineering solutions have developed methods that can solve both problems in relation with each other. While waste management can be attained on regular storage sites determined by the local administrations, storage gas absorption can also be achieved. After certain processes, this combustible gas is burnt in cogeneration units and the resulting useful heat and electrical energy contributes to the economy of the country. In this study, modelling of the biogas powerplants to be established in relatively less populated cities and districts regarding our country is made and return of investments are calculated. The major stages of the study, waste collection and waste quantity analysis, examination of the waste structure and quality, examination of the gas prognosis for biogas powerplant design, calculation of the electrical energy to be produced by biogas powerplant and the study is concluded with the calculation of the feasibility of the powerplant establishment.

Keywords: Biogas, Waste Area, Storage Gas, Regular Storage, Renewable Energy.

GİRİŞ

Hızla yaşılan dünyada insan nüfusunun artmasıyla beraber çevresel sorunlarda baş gösterir hale gelmiştir. 1960 lı yıllarda insanoğlu yeni bir mühendislik alanı geliştirerek bu problemlerin çözümü aramaya başlamıştır. Çevresel iyileştirmeler yapılırken sürekli artan insan kaynaklı kentsel atıkların bertarafı uzun yıllar süren bir problem haline gelmiştir. Nüfus arttıkça atıklar artmış atıklar artıkçada bizleri tehdit eden bir problem oluşmuştur, katı atık.

Katı atıklar önceleri vahşi depolama alanlarında yakılarak imha edilsede aslında bu yöntemin bir çözüm olmadığı çok geçmeden anlaşılmıştır. Ülkemizde görülen çöp sahası patlamaları bu durumun ne kadar sağlıksız olduğunu ortaya koymuştur. Aslında bu maddeler kurallarına uygun bir şekilde depolanır ise stabilize edilmiş organikler olarak fermantasyon sonucu yanıcı bir gaz olan içinde büyük oranda metan gazı barındıran depo gazına dönüştürülebilir. İşte bu oluşum için vahşi depolama sahalarından düzenli depolama sahalarına geçilmiştir.

Ülkemiz koşullarında yaklaşık olarak bir senede 30 milyon ton kentsel atık depolama alanlarında toplanmaktadır. Ne yazık ki bu miktarın yaklaşık 20 milyon tonu düzenli depolama alanlarında depo gazı üretim proseslerinde değerlendirilmektedir. Yaklaşık 10 milyon kentsel atık ise hala eski ve insan ve çevre sağlığına zararlı bir yöntem olan vahşi depolama yöntemleri ile bertaraf edilmektedir. Ülkemiz çöp karakteristiği yüksek oranda organik madde ihtiva eden hızlı bozulabilir madde oranı yüksek kaliteli kentsel atık sınıfına giren maddelerden oluşur. Bu oran beslenme şartları, yaşam biçimi, kültür seviyesi, gelir durumuna göre değişmektedir.

Ülkemizde son yıllarda artan enerji talebi doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan biyogaz enerjisi ile enerji üretimi bir kez daha önemini ortaya koymuştur. Düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazı ile bir yandan enerji üretilirken bir yandanda çevresel problemlerin önüne geçilmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Anlamı ve Önemi

EIA (Energy Information and Administration) kurumu tarafından açıklanan bilgilere bakıldığında 20-30 sene civarında bir sürede üretilen ve tüketilen enerji arasındaki makas ciddi oranda açılacaktır. Bu durum günümüzde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini vurgular niteliktedir. Ülkemizde ve dünyada fosil kökenli enerji rezervleri buldukları yerde hızla tüketilerek enerji üretim amacı ile değerlendirilmektedir. Bu durum fosil kaynakların ömrünü gitgide azaltarak mühendislik çözümleri dahilinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini ortaya koymuştur. Şuanda tüm dünya bu problemin çözümü için hem fikir olarak beraber çalışmaktadır.

Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları enerji potansiyellerinin yanında çevre ile uyumlu oluşları nedeniyle önemli bir ilgi odağı olmaktadır. Çevresel problemleri ortadan kaldırırken ortaya çıkan enerjinin faydalı ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmesi mantığıyla çalıştırılan biyogaz santralleri alternatif enerji kaynaklarında ilk sıralarda yerini alır.

Ülkemizde her geçen gün sayıları artan kentsel atıklardan enerji üreten biyogaz santralleri geri dönüş süreleri açısından incelendiğinde hidroelektrik santrallerden sonra ikinci sırada gelir. Bu çalışma kapsamında nüfusu fazla olan illerde bulunan bu santrallerin aslında az nüfuslu il ve ilçelerde kurulabileceği ortaya konmuştur. Sistem tasarımı, gaz emiş sistemi, drenaj sistemi, gaz toplama istasyonları ve gaz iletim sistemi, gaz temizleme ve iyileştirme prosesi, gaz yakma istasyonu, mekanik-elektrik tasarımı göz önünde bulundurularak tesis kurulum maliyeti hesaplanmıştır. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (YEKDEM Yönetmeliği) gereğince santral kazançları, santral giderleri hesaplanarak bir amortisman süresi ortaya koyulmuştur.

2. BİYOGAZ KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

2.1. Biyogaz Tanımı ve Özellikleri

Biyogaz, hayvansal, bitkisel veya evsel atıkların oksijensiz ortamda ayrışması sonucu ortaya çıkan bir gaz karışımıdır. Biyogazın içeriğinde % 60-70 metan (CH₄), % 30-40 karbondioksit (CO₂), % 0-2 hidrojen sülfür (H₂S) ile çok az miktarda azot (N₂) ve hidrojen (H₂) bulunmaktadır. Biyogaz, mavi alev şeklinde yanan bir gazdır. Ortamda bulunduğu çürük yumurta kokusundadır ancak yanarken bu koku hissedilmez. Biyogazın bu özelliği sayesinde bu gazı ileten hatlarda kaçak olup olmaması rahatça anlaşılır. Biyogaz çok düşük sıcaklıklarda (-164 °C) sıvılaşır. Fakat bu sıvılaştırma işlemi çok pahalıdır. Biyogaz depolanmadan direk yakma istasyonuna gider ve yakılır (URL-1).

2.2. Biyogazın Geçmişteki Önemi ve Bugünkü Kullanım Alanları

Biyogaz enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri hayvansal atıklar kaynaklıdır. Hayvan gübresi kaynağının yakıt olarak kullanılmaya başlanması, insanoğlunun yerleşik hayata geçmesiyle birlikte başlar. Bu sebepten ötürü biyogazın ilk nerede nasıl kullanıldığına dair belli bir tarih ve bölge göstermek pek mümkün değildir. Tabii ki hayvan gübresinin tezek yapılarak yakıt olarak kullanılıp ısınma amaçlı kullanılması yüz yıllar öncesine dayanan bir işlemdir (URL-2).

Birçok ülkede köylü nüfus, bugün de, ısıtma-ısınma ve pişirmede, bu kaynaktan faydalanmaktadır. Asya, Afrika ve Güney Amerika ülkelerinde, ormandan yoksun otsu bitki formasyonu bölgeleri, yani step toplumları, günümüzde de en güvenilir ısınma ve pişirme işleri yakıtını, hayvan gübresinden yapılan tezekten sayesinde sağlamaktadır. Bazı çiftliklerde hayvan gübresinden biyogaz yani metan gazı elde edilmesi halinde, bu gaz ısıtma, aydınlatma, pişirme işlerinde ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Öte yandan bu amaçla kullanılan gübre, metan gazından arındırıldıktan sonra tarımsal alandada verim artırma amaçlı kullanılmaktadır (Öztuncay, 2009).

Biyogaz, parlak ve mavi bir alevle yanan, kalorifik değeri nispeten yüksek yanıcı bir gaz karışımıdır. Birim hacimdeki biyogazda, yaklaşık %70 oranında metan gazı (CH₄) bulunur. Zaten, yanıcılık niteliğini kazandıran da, metan gazıdır. Bu gaz, daha önce belirtilen organik kökenli artıklardan, yani biyomas kaynaklarından ve özellikle çiftlik gübresinden rahatça elde edilebilir. Ayrıca, biyogaz elde edilmesinde, tesis ve üretim teknolojisi karmaşık olan bir sisteme gerek yoktur. Biyogaz üretimi için gereken hammadde kaynağı , kırsal bölgelerde hayvancılık yapan, tarımla uğraşan; şehirlerde ise katı atık toplama alanlarında, zaten yüksek miktarda bulunmaktadır (URL-2).

Hayvansal gübreden, metan gazı veya biyogaz elde edebilmek için en fazla baş vurulan yöntem, kesik besleme yöntemidir. Fermantasyon tankı denilen ve ihtiyaca göre 50 ila 300 m³ hacmi olan betonarme bir depo, taze hayvan gübresiyle doldurulur. Hava almayacak bir ortam oluşturulur. Havasız ortamda 15-20 gün bekletilen gübre, bu süre içinde fermantasyona uğrar. İçinde, karışımın çoğu metan gazı olan biyogaz oluşur. Gübre deposuna, yani fermantasyon haznesine bağlanan bir boru, gazometre denilen gaz depolanma kabına bağlanır ve oluşan gaz, bu kapta depolanır. Gazometre kabında biriken biyogaz, ikinci bir boru ile, tüketileceği yere (örneğin mutfaktaki ocağa) kadar götürülerek tüketime burada ister ısınmada isterse pişirmede kullanılır. Ortalama 15-20 gün önce doldurulan, fermantasyona başlamış ve biyogaz üretmeye başlayayan tesisten, aşağı yukarı 2 ay civarındaverimli bir şekilde biyogaz teminedilebilir ve zaman geçtikçe, giderek biyogaz miktarı düşer (Öztuncay, 2009).

Bu nedenle fermantasyon haznesi'ni (depolama tankını), ortalama sekiz haftada bir boşaltarak, taze hayvan gübresi doldurmak gerekir. Fermantasyon haznesinin her dolduruluşunda fermantasyon oluşumu tamamlanıp biyogaz üretiminin başlaması için 15-20 gün kadar beklenir. Buda üretimin, belli aralıklarla kesintiye uğramasına neden olur. Bu sebepten ötürü, sözü edilen biyogaz üretim yöntemine kesik besleme ve kesik üretim yöntemi adı verilmiştir (URL-3).

2.3. Biyogazın Önemi ve Kaynakları

Biyogaz enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde beklide en ekonomik ve dünyada çok uzun yıllardır kullanılan, gerek ısınmada gerek pişirme amaçlı

faýdalanılan kaynaklardan birisidir. Günümüzde hayatın modernleşmesi enerji ihtiyacını arttırmış buna bağlı olarak fosil yakıtların dünyaya verdiği zararları arttırmış hatta fosil yakıtların tükenme eğilimine gitmesi araştırmacıların hiç bitmeyen tükenmeyen yenilenebilir enerjiler üzerine araştırmalara yapmalarına sebep olmuştur. Bu araştırmaların merkezinde ise en önemli yeri çevreye hiçbir zararı olmayan biyogaz enerjisi almıştır. Biyogazdan enerji üretimi üzerine yazdığım bu tezin konusundan bahsetmeden önce dünyada pek çok araştırmacının bu denli dikkatini çeken biyogazla ilgili birkaç araştırma örneği vermek isterim (Öztuncay, 2009);

"Yemek artıklarının enerji potansiyeli ve Taiwan'da enerjinin korunumu." Taiwan 'da kentsel atıkların %30 kadarı yemek artıklarından oluşmaktadır. Fakat bu artıklar sadece domuz yemi ve gübre olarak kullanılmaktadır. Daha mühendisçe bir düşünce altında yatan fikir ise artıklarda enerjinin geleceği yani biyogaz saklıdır. Araştırmada kentsel atıklar ile Taiwan'da biyogaz kaynaklı ne kadar enerji geri kazanılabileceği araştırılmıştır (Chao-Ming ve diğ., 2009).

"Elma çöplerinden biyogaz elde edilmesi" Elma çöpleri kullanılarak elde edilecek maksimum gaz miktarı deneysel çalışmalar yapılarak gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların sonucunda ise elma çöpünün biyogaz üretiminde verimi en yüksek yemek artıklarından biri olduğu anlaşılmıştır (Llaneza Coalla ve diğ., 2009).

"Türkiye'de yenilenebilir enerji için pazar koşulları ve engelleri" Türkiye'deki fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına yönelik yenilenebilir enerjinin Türkiye'de kullanılabilmesi için gerekli Pazar koşulları ve sorunların araştırılması incelenmiştir (Çiçek ve diğ., 2009).

"Gübrelemenin ve gömmenin gaz emisyonları açısından yeryüzüne etkisi" Biyogazı alınmamış kentsel atıkların ve gübrenin yıllar boyunca atmosfere saldıgı metan gazının çevresel etkileri araştırılmıştır (Lou ve Nair, 2009).

"Packed-bed biyo reaktörünün incelenmesi" Yeni bir tür olan packed-bed tipi biyo reaktörlerinin avantajlarının ve dezavantajlarının incelenmesine amaçlı bir çalışmadır (Singh ve Prerna, 2009).

Benim tezimde ise Türkiye'de kentsel atıklar kaynaklı biyogaz tesisleri kurmanın ne kadar ekonomik olduğu ve kentsel atıklardaki organik miktarının fazla olması sebebi ile aslında bir çok il ve ilçeye kurulabilecek bir biyogaz santrallerinin ne kadar fizibil olduğu ortaya koyulacaktır. Bu çalışma sayesinde ülkemizin biyogaz kaynaklı elektrik üretim santrali potansiyelinide değerlendirerek ileriki aşamalarda kurulabilecek biyogaz tesislerine yol gösterir bir çalışma ortaya koyulacaktır (Öztuncay, 2009).

Çiftlik gübresi, yani hayvansal gübre başta olmak üzere, çeşitli organik artıkların (bitkisel artıklar, deniz ve kara yosunları, sazlıklar, mısır ve buna benzer bitkisel artıklar özel olarak yetiştirilen bazı bitkiler gibi), oksijensiz bir ortamda fermantasyona uğratılması sonucu elde edilen yanıcı gaz karışımına, biyogaz denir. Gerek hayvansal gerek bitkisel gerekse kentsel atıklar ile sağlanan bu enerji üretim yönteminde temel enerji kaynağı, organik kökenli artık ve atıklardır. Bu organik atıklar değişik amaçlar ile değerlendirilmiş olabilirler. Örneğin ot ve saman artıkları, kentsel atıklar, tarla ürün artıkları, hayvan besin artıkları, çiftlik hayvancılığının küçük ve büyük baş hayvan dışkıları ve benzerleri kaynaklı olabileceği gibi, sadece biyogaz üretme amaçlı yetiştirilen bazı bitkiler (yeşil gübre) ve deniz yosunları (alg, diyatomit), ya da kara yosunları (likenler) olabilirler. Bu organik atıklar belli bir miktarı, hesaplarla tasarlanan ve inşa edilen havasız bir depoda toplanarak depolanırsa, belli aşamalarda kimyasal tepkimelerin oluşması sonucunda biyogaz karışımının açığa çıkması mümkün olmaktadır. Bu nedenle de, dönüştürülmüş enerji üretmek için yararlanılan bu gibi organik kökenli maddelere, genel bir terimle hammadde ve bunlardan elde edilen enerjiye ise, biyogaz enerjisi adı verilmektedir (URL-3).

Biyogaz enerjisinin en büyük avantajı diğer enerji kaynaklarına kıyasla bir hayli ekonomik bir kaynaktır. Örneğin, teorik hesaplamalarla bir ton biyogaz maddesinin havasız bir ortamda fermantasyona uğraması sonucu, 1,2 varil petrol eşdeğeri bir enerjinin elde edilebileceği hesaplanmıştır. Bunun yanısıra biyogaz kaynaklarından elde edilen yanıcı gaz karışımının, m³'ü başına %40 ila %70 oranında metan gazı, %30 ila %55 oranında karbondioksit ve diğer oranların ise azot, hidrojen ve hidrojen sülfür gibi maddelerden oluştuğu analizler sonucu ortaya koyulmuştur. Çöplük gazı, şehir atıklarının toplandığı yerlerde, çöplerin toprak altına gömülerek

oksijensiz parçalanması sonucu açığa çıkan gaz türüdür. Bu gaza LFG veya depo gazıda denir Gaz toprak altındaki borular vasıtası ile emilerek motorda yanmaya hazır hale getirilir. Depo gazı temel olarak metan(~%55), karbondioksit(~%35) azot(~%10) gibi gazlar içeren bir karışımdır.. Metan yanıcı ve patlayabilir bir gazdır; böylece çöplüklerde ortaya çıkan bu gazlar kojenerasyon sisteminde yakılarak elektrik üretimi için temel etken oluşturur. Kaba bir hesapla bir ton çöp yaklaşık 400-500 metreküp gaz üretir. Sonuç olarak saha çöplük olarak kullanıma kapatılsa bile, çöplükteki gaz emisyonu (dolayısıyla elektrik üretimi) uzun yıllar boyunca devam edebilir. Buda gösteriyor ki depo gazı elde ettiğimiz bir katı atık depolama tesisinden yatırım maliyeti düşük bir tesis ile uzun süre enerji üretebiliriz. Bu ürettiğimiz enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek şehirlerdeki enerji ihtiyacını karşılayabiliriz (Öztuncay, 2009).

2.3.1. Hayvansal atıklar

Bu yöntem genellikle kesik beslemeli sistem olarak bilinir. Ferrmantasyon haznesi'ni (tankını), aşağı yukarı her iki - üç ayda bir boşaltıp, yeniden taze taze çiftlik gübresiyle doldurmak gerekir. Bu işlemden sonrada tankın her doluşunda fermantasyon oluşumu tamamlanıp biyogaz üretiminin başlaması için 10-20 gün kadar beklemek gerekir. Yani gaz üretiminde kısa süreli kesintiler oluşur. Bu sebepten ötürü de, sözü edilen biyogaz üretim yöntemine kesik besleme ve kesik üretim yöntemi denir (URL-4).

İnce kıyılmış tarımsal atıklar, sazlıklar, saman, mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıkların kapalı ortamda fermante edilmesi sonucu biyogaz elde edilebilir. Biyogaz üretiminde hayvansal ve bitkisel atıklar tek başına kullanılabilceği gibi belli esaslar doğrultusunda belli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Elde edilen biyogaz sayesinde hem atıkların bertarafı sağlanmış olur hemde ekonomik bir şekilde enerji elde edilmiş olur (URL-5).

2.3.2. Organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklar

Arıtma tesisleri, kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyogaz

üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır (URL-6).

Çöp gazı ile elektrik üretiminde ise modern katı atık depolama tesislerine ihtiyaç vardır. Modern bir çöplükten amaç atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde uzun süre depolanmasıdır. Bu tarz atık depolama sahalarında çöplüğün kapasitesi dolduğunda üzeri kalın bir toprak tabakası ile kapatılır ve bu işlem kademe kademe devam eder. Böylece çöplükte oluşan metan gazının havaya karışması önlenir. Depo gazı bir boru ağı ile toplanır. Bu borulama sistemi bazen yatay bazende dikey olarak modellenir. Bu borularla emilen gaz bir gaz toplama merkezinde toplanır. Ana boruların bağlandığı pompalar vasıtasıyla gaz çöplükten az bir negatif basınçla emilir. Emilen gaz bazı iyileştirmelerden geçirilerek yakma tesisine ulaştırılır. Kojenerasyon tesisinde yakılan depo gazı sonucunda elektrik ve ısı enerjisi elde edilir (Öztuncay, 2009).

Yapılan araştırmalar sonucunda Türkiye’de konut başına günde yaklaşık 1,5-2 kg çöp çıkmaktadır. Türkiye’de birkaç yıl öncesine kadar atıklardan elektrik üreten 5 tesis bulunurken, şu anda EPDK’dan alınan lisans sayısı 40’a yaklaştı. Bu tesislerin şu anda 100 MW’ı işletmede, 80 MW ise inşa halinde bulunuyor. Uzmanlar enerji harcamalarının çöpten enerjiyle azaltılabileceği vurgusunu yapıyor. Çöpten enerji üretimiyle 10 bin konutun elektrik ihtiyacını karşılayacak bir tesisin yaklaşık olarak 1,5 milyon dolara kurulacağı belirtiliyor. Dünya genelinde 50’den fazla ülkede 1,5 milyon kişiye istihdam olanağı sağlayan çöpten üretim sektörünün, Türkiye ekonomisinin geleceği için de kaçınılmaz olduğu belirtilmektedir (URL-7).

3. KATI ATIK VE KATI ATIK YÖNETİMİ

3.1. Katı Atık Kavramına Genel Bakış

Katı atık teriminin teknikte oldukça fazla tanımı vardır. Üreticisi tarafından atılması istenen, çevrenin korunması ve toplumun huzuru bakımından düzenli bir şekilde ortadan kaldırılması gereken katı madde ve arıtma çamurları gibi maddelerin tümü katı atık olarak tanımlanır (Resmi Gazete, 1991).

Katı atığın kaynağı olan bu maddeler plastik, metal, organik vb. esaslı olabilir. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı'nın yayınında katı atık kavramının tanımı ise 'insanların sosyal ve ekonomik etkinlikleri esnasında veya sonucunda işe yaramaz hale gelen ve akıcı olacak kadar sıvı içermeyen her türlü madde ve malzeme' şeklinde tanımlanmaktadır (Şahin ve Serin, 2008).

Artan nüfus nedeniyle miktarı her geçen gün artan katı atıkların çevreye verdiği zararlar ve olumsuz etkileri bulunduğundan bu atıklar teknik çözümlerle oradan kaldırılabılır hale getirilmiştir. Katı atıkların uygun değerlendirme ve kazanma yöntemlerinin tesbiti ve uygulanabilmesi amacıyla katı atıkların ayrıştırılarak sınıflandırılması oldukça önemlidir. Bunun için de çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Katı atıklar, kaynaklarına göre evsel, ticari, kurumsal ve endüstriyel katı atıklar ile sokak süprüntüleri, inşaat yıkım ve hafriyat atıkları, arıtma tesisi çamurları, tehlikeli atıklar ve hastane atıkları olarak sınıflandırılabilir. Eğer bileşimlerine göre bir ayırma yapılmak istenirse organikler, inorganikler ve küller olmak üzere üç kısımda ayrılabilir. Katı atık yönetiminin amacı, kaynak israfını önlemek ve kaynak yaratmanın dışında eldeki mevcut kaynaklara göre sistemin daha iyi çalışmasını sağlaması hedeflenmiştir. Bu nedenle atıkların ortadan kaldırılması için yapılan çalışmaların çevreye en az zarar vererek, çağdaş ve düşük maliyetli mühendislik çözümlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır (Bilgili, 2002).

3.2. Ülkemizde Katkı Atık Miktarı ve Konsantrasyonu

Ülkemizdegerek yaşayış şekli gerek kültürel açıdan farklı özelliklere sahip çok sayıda belediye olmasından dolayı, çöp çeşitliliği ve organik atık miktarındada farklılık vardır. Türkiye için Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması (YMÇYP) Projesi'nde iller, kendi aralarında demografik ve sosyo-ekonomik özelliklere göre birkaç guruba ayrılarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma yapılırken illerin nüfusu, nüfus yoğunluğu, ortalama kişi başı GSYİH ve ortalama hane büyüklüğü verileri dikkate alınmıştır. Bu sınıflandırmalar sonucunda ülkemiz 3 bölge ve 10 alt bölgeye ayrılmıştır. Ana bölgelerden ilki Türkiye'nin batısında yer alan Marmara ve Ege Bölgelerinden, ikincisi Türkiye'nin orta kesiminde yer alan Karadeniz, Akdeniz ve İç Anadolu Bölgelerinden ve sonuncusu doğuda yer alan Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinden oluşmaktadır (Polat, 2011: 9).

Tablo 3.1. Türkiye'deki karakteristik belediye gruplarının tanımlaması (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008)

No	Bölge	Alt Bölge
1a	Marmara / Ege Bölgesi	İstanbul, İzmir (Büyükşehirler)
1b		Diğer Büyükşehir Belediyeleri
1c		Diğer Belediyeler (orta/küçük)
2a	Akdeniz /Karadeniz / İç Anadolu Bölgesi	Ankara (Büyükşehir)
2b		Antalya / İçel (Turizm şehirleri)
2c		Diğer Büyükşehir Belediyeleri
2d		Diğer Belediyeler, Karadeniz(orta/küçük)
2e		Diğer Belediyeler, Akdeniz (orta/küçük)
3a	Doğu Anadolu/ Güneydoğu AnadoluBölgesi	Gaziantep (Büyükşehir)
3b		Diğer Büyükşehir Belediyeleri
3c		Diğer Belediyeler (orta/küçük)

Bu model bölgeleri (bölge ve alt bölgeler) için proje kapsamında kişi başı atık miktarı belirlenmiştir (çizelge 3.2). Buna göre yıllık atık miktarı 28,7 milyon tondur.

Tablo 3.2. Model bölgeleri için kişi başı katı atık miktarı (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008)

Model	2006 Birim Katı Atık	
1a	1,15	1,28*
1b	1,12	1,24*
1c	1,1	1,16*
2a	1,15	1,28*
2b	0,9	1*
2c	0,85	0,94*
2d	0,85	0,9*
2e	0,85	0,9*
3a	0,85	0,94*
3b	0,9	1*
3c	0,75	0,8*
Ortalama	0,95	1,06*

Atıkların (*) Büyükşehir belediyelerinde %10, diğer belediyelerde %5 oranında ambalaj atığı kaynaklı bir artış yapılmıştır.

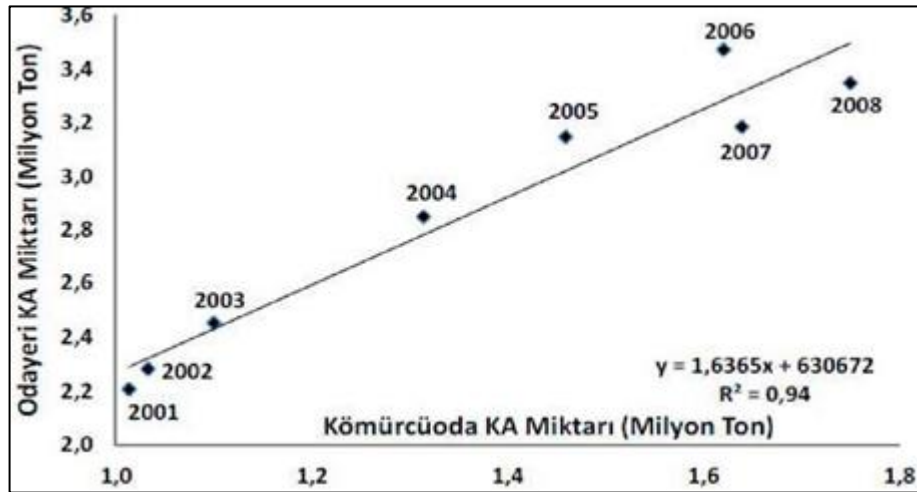
Katı atık miktarları ülkeden ülkeye ve hatta aynı ülkede kentten kente, yerel koşullara, mevsimlere ve yaşam şekilleri ve alışkanlıklara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ülkemizde 2006 yılında 'Belediye Katı Atık Temel Göstergeleri'ne göre; çalışma yapılan 3.225 belediyeden 3.115' inde katı atık hizmeti verildiği belirlenmiştir. Bu hizmeti veren belediyelerden alınan verilerde yaklaşık 25,3 milyon ton katı atık toplanmış ve kişi başı ortalama katı atık miktarı günlük 1,21 kg olarak tespit edilmiştir. Nüfusun artması teknolojinin gelişmesi katı atık miktarı ve karışımını değiştirmektedir.

1993 yılında Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) tarafından "Çöp Kompozisyon Araştırması Çalışması" kapsamında Temmuz ayında 10515 hanede, Aralık ayında 10565 hanede çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada hanelere organik atık ve kül atmaları için siyah, geri kazanılabilir atıkları atmaları için ise beyaz poşetler günlük olarak dağıtılmış ve bunlar değerlendirilmiştir. (Poşetlerin üzerinde uyarı yazıları bulunmaktadır.) Bu çalışmaya göre evsel katı atıklar içerisindeki geri kazanılabilir maddelerin oranları, bazı kentler için yaz ve kışı temsil edecek şekilde Temmuz ve Aralık ayları için Çizelge 3.3'de gösterilmiştir. Mevcut çizelgedende görüldüğü gibi katı atık miktarı kentlerin sosyo ekonomik durumu, gelir seviyesi ve yaşantı şekliyle doğrudan orantılı olarak şekillenmiştir (Polat, 2011: 10-11).

Tablo 3.3. Şehirlerin yazlık-kışık kiři başına dūřen ortalama çöp miktarı ve toplam atıkiçerisindeki geri kazanım oranı (Armağan, 2006)

İl	Yazlık öp Miktarı	Geri Kazanım	Kışık öp Miktarı	Geri Kazanım
Adana	865	22,91	473	12,93
Ankara	615	16,77	635	4,25
Bursa	613	19,51	793	8,3
Diyarbakır	365	9,64	250	5,56
İskenderun	597	20,94	443	15,57
İstanbul	554	18,18	514	8,77
İzmir	724	14,86	484	10,84
Kayseri	752	11,52	374	3,74
Konya	683	8,42	539	4,31
Samsun	542	5	450	9,2

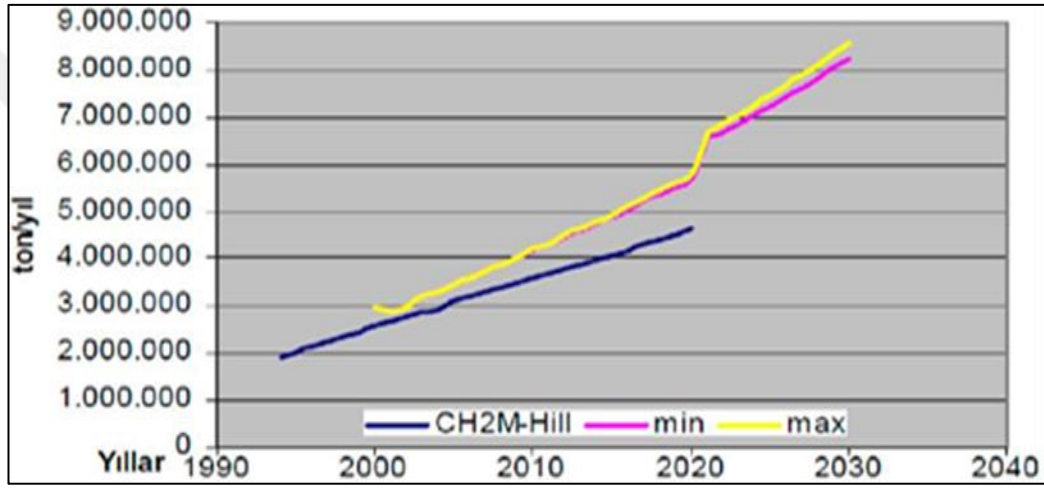
Bir kentin ya da belediyenin katı atık miktarı belirlenirken toplam miktar nüfusa bölünerek bir değer bulunur. UNDP (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı) tahmin yöntemi ile hesaplanan toplam nüfus miktarı ve TÜİK ve İSTAÇ Atık Yönetim Müdürlüğü'nden alınan kentsel katı atık miktarları ve bulunan kişi başi KKA miktarları araştırılmıştır. Buna yapılan bir başka çalışmada 2007 yılında İstanbul'da kişi başi ortalama katı atık üretimi 445 kg/kişi-yıl veya 1,22 kg/kişi- gün olarak hesaplanmıştır. İstanbul İli için yapılmış önceki çalışmalara bakıldığında CH2M-Hill, 2000 yılında bu değerin 0,6 kg/kişi-gün, 2010'da 0,64 kg/kişi-gün, 2020'de 0,68 kg/kişi-gün olacağını varsaymıştır (Polat, 2011: 11).



Şekil 3.1. İstanbul katı atık miktarları (Gören ve diğ., 2011)

İstanbul'da yapılan araştırmalar sonucu kentsel katı atık üretimi 2010-2015 ve 2016-2030 planlama dönemlerinde sırasıyla öngörülen %2,07 ve %2,19'luk KKA artış hızı ön görülmüştür. Model hesaplarında da görüleceği üzere KKA artış hızı modelin

temel girdilerinden olan GSYİH, nüfus artış hızı, enflasyon durumu ve kişi başı ortalama gelire bağlı olarak değişim göstermektedir. Sokak toplayıcıları tarafından atık toplama sistemden çekilen KKA miktarı da hesaplara dahil edilmiştir. Bu yaklaşıma göre 2020'ye kadar bu durumun geçerliliğini sürdüreceği ve 2021'den itibaren sokak toplayıcılarının tamamen sistem dışı kalacağı öngörülmektedir. 2021 sonrasında oluşan atığın %100 oranında atık yönetimi sistemi içinde kalacağı tahmin edilmektedir. Bu bilgiler ışığında İstanbul için 2010-2030 arasında tahmin atık yönetim sistemine giren toplam atık miktarı ve kişi başı KKA oluşumu şekil 2.2'de yer alan grafikte sunulmaktadır.



Şekil 3.2. İstanbul için 2010-2030 arasında tahmin edilen toplam katı atık miktarı (Polat, 2011: 12)

Çöp üretimi ve bileşimi ülkeden ülkeye değiştiği gibi, aynı ülkede bölgeden bölgeye ve aynı şehirde semtten semte farklılıklar göstereceği net bir bilgidir. Örneğin Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre İl bazında bakıldığında Artvin ilinin çöp üretim hızı 1 kg/kişi.gün iken, Ankara ilinin 1,6 kg/kişigündür. Bölge bazında bakıldığında doğu Karadeniz bölgesi çöp üretim hızı 1 kg/kişi. gündür, batı Marmara bölgesinin 1,9 kg/kişi. gündür. Bu farklılıklar üzerinde etkili olan birçok önemli unsur bulunur. İSTAÇ'tan İstanbul ilinin Avrupa ve Anadolu yakasına ait katı atık karakterizasyonu alınmıştır. Avrupa 1 ve Avrupa 2 bölgeleri içinde ortak karakterizasyon değeri girilmiştir. İSTAÇ'tan alınan 2006 kış ve 2007 yaz dönemi Anadolu ve Avrupa yakası verileri çizelge 2.4 ve çizelge 2.5'de verilmiştir (Polat, 2011: 112-13).

Tablo 3.4. İstanbul anadolu ve avrupa yakası 2007 kış dönemi kka karakterizasyonu (URL-8)

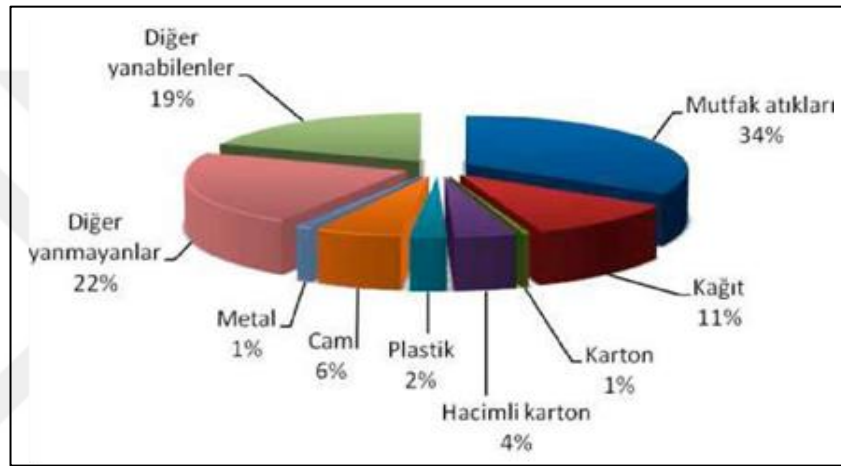
Malzeme	Anadolu %	Avrupa %
Kağıt- Karton	10,70	13,43
Renkli Cam-Renksiz Cam	5,92	5,93
Pet	1,03	1,39
Poşet	8,32	7,33
Plastik	1,87	3,25
Çuval	0,29	0,06
Demir	0,9	0,97
Akminyum	0,37	0,85
Diğer Metal	0,00	0,11
Org. Ma d.	56,34	50,34
Çocuk Bezi	4,54	3,84
Odun(mhta)	0,13	0,2E
Elk. Alet	0,02	0,00
Pıl-Akü	0,03	0,00
Tekstil	2,30	1,57
Tetrapak	0,82	0,72
Diğer Yanan	1,43	1,80
Kül	4,70	2,09
Taç	0,50	0,04
Toplam	100,00	100,00

Tablo 3.5. İstanbul anadolu ve avrupa yakası 2007 yaz dönemi kka karakterizasyonu (URL-8)

Malzeme	Anadolu %	Avrupa %
Kağıt-Karton	11,72	13,23
Cam	2,93	4,70
Per	0,87	1,11
Poşet	8,46	8,45
Plastik	2,07	2,80
Çuval	0,15	0,06
Demir	0,54	0,29
Aliminyum	0,24	0,31
Diğer Metal	0,00	0,02
Org. Mad.	61,91	58,00
Çocuk Bezi	4,95	4,00
Odun (talıta)	0,32	0,15
EH Alet	0,00	0,00
Pıl-Akü	0,00	0,00
Tekstil	3,69	4,16
Tetrapak	0,45	0,51
Diğer Yanan	1,60	1,90
Park ve Bahçe atıkları	0,07	0,18
Taş	0,03	0,00
Kül	0,00	0,00
Toplam	100	100

Yapılan incelemelerde 2006 yılında düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilen atığın %66'sı karışık belediye atıklarından, %7'si kâğıt ve karton atıklardan, %6'sı mineral atıklardan oluştuğu tespit edilmiştir. 2005 yılı istatistiklerine göre ise; düzenli depolama tesislerine getirilen atıkların %96' sını evsel ve benzeri atıklardan, %4' ü evsel olmayan diğer atıklar olarak adlandıracağımız materyallerden oluşmaktadır (URL-9).

Katı Atık Ana Planı Projesi kapsamında yapılan katı atık kompozisyon belirleme çalışmasının sonucu aşağıdaki Şekil 3.3'de verilmektedir



Şekil 3.3. KAAP Projesi Atık Kompozisyonu belirleme çalışması sonucu (URL-8)

Evsel atıkların miktar ve özellikleri, yaşanılan yerin sosyo-ekonomik seviyesine beslenme alışkanlığına, kullanılan yakıt cinsine v.b. faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Evsel atık içerisinde bulunan yiyecek atıkları organik yapıda olduklarından kolayca ayrışabilir özelliğe sahiptir. Bu özellikleri ve koku oluşturmaları katı atık toplama sisteminin tasarımı ve işletimini önemli ölçüde etkiler.

Tablo 3.6. Bazı ülkelerde evsel katı atık karakterizasyonu (URL-10)

Katı Atık Bileşimi	Belçika	Almanya	Fransa	İstanbul	İsveç	ABD
Kiil	4S	30	24	45	0	10
Kağıt	21	19	30	10	55	42
Organik madde	23	21	24	36	12	23
Metal	2	5	4	1	6	S
Cam	3	10	4	1.5	15	6
diğerleri	3	15	14	6.5	12	11

3.3. Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıkların sınıflandırılmasında bu atığın kaynağına, bileşimine ve özelliklerine dikkat edilir. Bu atıkların toplaması, taşınması ve bertaraf sistemlerinin tasarlanması, yakma tesislerinin kurulması ve işletilmesi, geri kazanılabilir maddelerin (organik gübre) ekonomiye kazandırılması bunun yanı sıra elektrik enerjisi üretimi oldukça önemlidir. Katı atıkları sınıflandırırken, kaynaklarına göre ve bileşimine göre iki ana guruba ayırarak sınıflandırabiliriz.

3.3.1. Bileşimine göre sınıflandırma

Birincil organik atıklar: kompostlanabilir ve yanabilir organikler (bitkisel, hayvansal, kağıt, tekstil atıkları...)

İkincil organik: biyokimyasal ayrışması imkanıya da çok yavaş olan organikler (odun, kağıt, deri, lastik, kemik, plastik atıklar)

Üçüncül inert maddeler: yanmayan maddelerdir (cam, porselen, taş, kil atıkları).

3.3.2. Kaynaklarına göre sınıflandırma

Evsel atıklar: tehlikeli atık olmayan normal evlerde kişiler tarafından atılan mutfak çöpleri, belediye hizmeti ile toplanıp taşınan çöp depolama sahalarında bertaraf edilebilen, park, bahçe gibi alanlardan gelen, toplama tesislerinde ayırma yolu ile geri kazanılabilen kompost yapılabilen veya yakılabilen evselşehir atıklardır. Kişiler tarafından genellikle mutfak atığı olarak bilinen tehlikeli ve zararlı olmayan her türlü atık evsel katı atık kapsamına girer.

Endüstriyel atıklar: Endüstri tesislerinde herhangi bir proses sonucu istenmeyen madde olarak açığa çıkan ürünler ve arıtma çamurları bu sınıfa girer. Endüstriyel atıklarında kendi aralarında ikiye ayırmak mümkündür.

Tehlikeli atıklar: 'Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği' ne göre tanımı, zararlı ve tehlikeli atığı patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, suyla temas halinde patlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici organik peroksit içerikli, zehirli korozif, hava ve suyla temasında toksik gaz bırakan, toksik ve ekotoksik gaz taşıyan ve bakanlıkça tehlikeli ve zararlı atık olduğu onaylanan atıklar olarak tanımlanmıştır.

Tehlikeli atıklar genellikle sanayi, araştırma merkezi, hastaneler ve kısmen konutlardan kaynaklanır. Konutlardaki basınçlı kaplar, sanayi atıkları içerisindeki birçok kimyasallar, hastanelerden kaynaklanan radyoaktif atıklar hep tehlikeli atık sınıfına girer.

Tıbbi atıklar: Hastane çöprü olarak adlandırılan ve hastane veya benzeri sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıklardır.

Özel atıklar: Katı atık kategorisinin dışında kalan ve farklı yöntemlerle toplanması, taşınması, bertaraf edilmesi gereken atık türleridir. Bu atıklar; atık madeni yağlar, jips, yakma fırını külleri ve buna benzer kimyasal içeren maddelerdir. Atık madeni ve bitkisel yağlar son yıllarda hem miktar hem de kullanımı açısından sıklıkla gündeme gelmektedir. Son zamanlarda teknolojinin ilerlemesi ile atık bitkisel yağlar biyodizel üretiminde kullanılarak enerji üretimi sağlanmaktadır. Madeni yağlar ise bir takım arıtma işlemlerinden geçirildikten sonra sanayide tekrar kullanılabilir hale getirilmektedir. Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliğinde özel işleme tabi atıklar listesinde yer alırlar (Milli Eğitim Bakanlığı, 2009).

3.4. Depolama Yöntemleri ve Çeşitleri

Belediyeler tarafından toplanan evsel ve endüstriyel atıklar çevresel ve sıhhi faktörler gözlemlenmeden şehir alanlarının uzaklarında depolanmaktadır. Bunun yanı sıra bazı büyük şehirlerimizde ise, toplanan organik kökenli çöpler kompost tesislerinde işleme tabi tutulmakta, çöpler ayrıştırıldıktan sonra elde edilen kompost satılmaktadır. Ülkemizde halen modern toplama ayrıştırma bertaraf etme tesisleri yaygınlaşmamıştır. Toplanan değerli çöplerin ancak 1/3'ü toplama istasyonlarına gelmekte, bu süreçte geri kalan kısmı ise toplayıcı kişiler tarafından daha önceden alınmaktadır (Beyhan, 1997).

3.4.1. Vahşi depolama

Vahşi depolama, atıkların çevresel ve sıhhi etkenler göz önünde bulundurulmaksızın açık araziye rastgele boşaltılmasıdır. Ülkemizde çoğu depolama sahasında kullanılan bu yöntemde çöpler hiçbir önlem alınmadan bir alana atılıp bırakılmaktadır. Bu yöntemde atıkların herhangi bir önlem alınmaksızın kontrolsüz bir şekilde bertaraf

edildiği için birçok problem oluşmaktadır. Bu sahalar geniş bir alana dağıldığı için çevre ve görüntü kirliliğine sebep olmaktadır. Bunların en başında bu sahalarda oluşan sızıntı suları yeraltı ve yerüstü sularına karışarak bu kaynakların kirlenmesine neden olurlar. Çöp sahasında rüzgârında etkisiyle toz bulutları oluşmakta ve meydana gelen gazlarla birlikte hava kirliliğine neden olmaktadır. Çöp sahalarına boşaltılan organik atıklar mikroorganizmalarca ayrıştırılır ve bunun sonucunda içeriğinin büyük bir kısmını metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) in oluşturduğu depo gazı meydana gelir. Bunların dışında yine depo gazı bileşenlerinden olan ağır hidrokarbonlar, etilmerkaptan (C_2H_5SH), karbonmonoksit (CO), Hidrojen (H_2), hidrojen sülfür (H_2S), benzol (C_6H_6) zararlı kimyasalların oluşumuna sebep olurlar. Ayrıca bu vahşi depo sahaları fare, sinek ve diğer zararlı canlılar için uygun bir barınma ve çoğalma yerleridir ve bu canlılarla beslenen kuşlar ve diğer hayvanlar bulaşıcı hastalıkların taşınmasına ve yayılmasına neden olmaktadır (Polat, 2011: 17).



Şekil 3.4. Vahşi depolama (Polat, 2011: 17)

3.4.2. Düzenli depolama

Ençok tercih edilen katı atık depolama çeşidi düzenli depolamadır. Bu sistemin birden fazla avantajı bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi maliyetlerin düşük olmasıdır. Bunun yanı sıra bu depolama yöntemi ile en stabil ürün oluşana kadar işlemler sürdürülür (Borat, 2001).



Şekil 3.5. Düzenli depolama (URL-11)

2017 TÜİK verilerine göre 2016 yılında 140 atık bertaraf tesisi ve 1 558 geri kazanım tesisi olmak üzere toplam 1 698 tesisin faaliyet gösterdiği tespit edilmiştir. Toplam kapasitesi 834 milyon m³ olarak tespit edilen 134 düzenli depolama tesisinde 6 milyon tonu tehlikeli olmak üzere 44 milyon ton atık bertaraf edilmiştir.

Aynı istatistik bilgilerine göre, Toplam kapasitesi 644 bin ton/yıl olan 6 yakma tesisinde 63 bin ton tehlikeli ve 248 bin ton tehlikesiz olmak üzere toplam 310 bin ton atık bertaraf edilmiştir. .

2016 senesinde geri kazanım tesislerinde 33 milyon ton atık geri kazanılmıştır. Toplam kapasitesi 424 bin ton/yıl olan 7 kompost tesisinde 140 bin ton atık işlem görmüş ve 20 bin ton kompost üretilmiştir. Ayrıca atık geri kazanımı lisanslı 35 beraber yakma (ko-insinerasyon) tesisinde 739 bin ton atık yakılarak enerji geri kazanımı gerçekleştirilmiştir. Lisanslı diğer 1 516 atık geri kazanım tesisinde ise toplam 32 milyon ton metal, plastik, kağıt, mineral vb. atık geri kazanılmıştır (URL-11).

Tablo 3.7. Belediyeler tarafından toplanan katı atık bertarafı

Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri istatistikleri, 2014, 2016				
	2014		2016	
	Tesis sayısı	İşlem gören atık miktarı (Ton)	Tesis sayısı	İşlem gören atık miktarı (Ton)
Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri	985	61 048 878	1 698	77 208 662
Atık bertaraf tesisleri	117	41 324 637	140	44 125 262
Düzenli depolama tesisi	113	41 281 755	134	43 815 135
Yakma tesisi	4	42 882	6	310 127
Atık geri kazanım tesisleri	868	19 724 241	1 558	33 083 400
Kompost tesisi	4	94 019	7	140 467
Beraber yakma (ko-insinerasyon) tesisi	39	532 343	35	738 908
Diğer geri kazanım tesisleri ⁽¹⁾	825	19 097 879	1 516	32 204 025

(1) Metal, plastik, kağıt, mineral vb. atıkların geri kazanımını yapan tesisleri içermektedir.

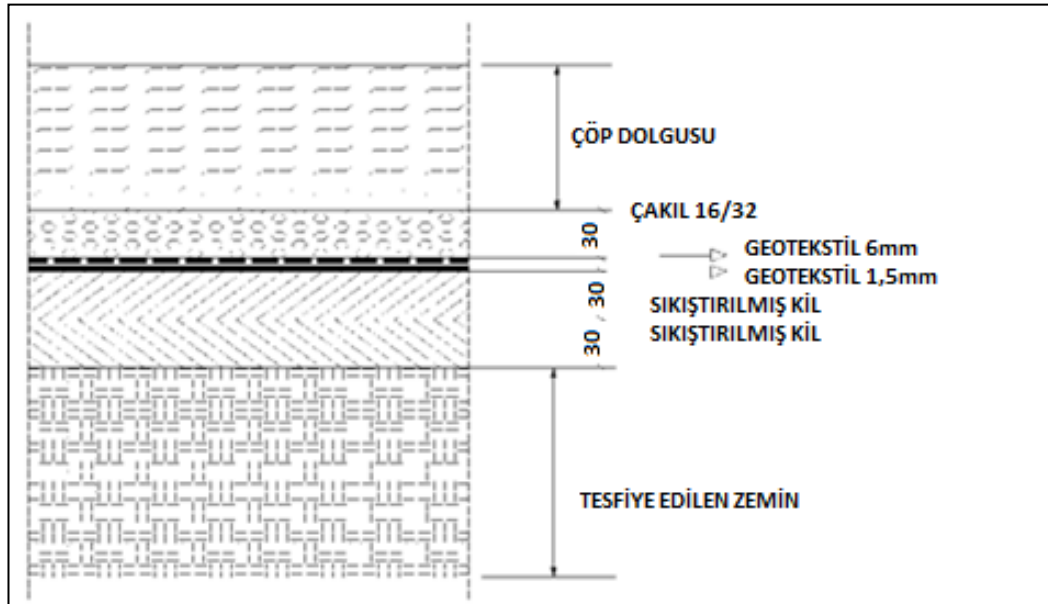
Düzenli depolama tanımı altında, katı atıkların çevre sağlığına uygun şekilde tabanı kil ve geo membranla (plastik pestille) geçirimsiz hale getirilmiş bir araziye dökülüp sıkıştırılması ve üzerinin toprakla örtülmesini, içinde metan bulunan depo gazının uygun bacalarla veya yatay rigollerle kontrol edilerek toplanmasını ve aynı şekilde oluşacak sızıntı suyunda drenaj sistemi ile kontrolünü ifade eder.

Düzenli depolamanın özellikleri kısaca şöyledir:

- Depo gazının ıslahı ile katı atıklar çevreye kötü kokular yaymaz.
- Depo gazının çekilmesiyle çöp sahalarından yayılan koku rüzgarla etrafa dağılıp çevreyi kirletmez.
- Çevresel etkileri kontro altına aldığından zararlı ve hastalık yapıcı canlılara barınma ve çoğalma ortamı ortadan kalkar.
- İçinde başlıca karbondioksit ve metan bulunan depo gazının çıkışı pasif ve aktif yöntemlerle kontrol altına alınmıştır. Her iki grup yöntemle depo gazının çevreye, konut içlerine yayılması engellenir. Patlama riski ortadan kalkar.
- İçerisinde tehlikeli kimyasallar barındıran çöp sahalarından oluşan sızıntı ve sızıntı suları kontrol altına alınıp arıtılmakta olup yer altı ve yerüstü suları kirlenmeye karşı korunur.
- Düzenli depolama sahaları ile evcil ve yabani hayvanların girmesi, orada barınıp beslenmelerine ve çoğalmalarına engel olunur (Borat, 2001).

Düzenli Depolama Sahası Hazırlık Aşaması: Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre kentsel atıklar, inşaat ve yıkıntı atıkları, tıbbi atıklar ve atık piller ayrı yerlerde ve şekillerde depolanır. Depolama işlemine başlanmadan önce, depolama alanının tabanı depolamaya hazır hale getirilir. Katı atık depo sahalarında çevre kirliliği açısından en önemli problem "sızıntı suyu"dur. Sızıntı suyu yeraltı ve yer üstü su kaynaklarını kirletmektedir. Sızıntı suyunun bu olumsuz etkisini önlemek için depo sahasının tabanı geçirimsiz hale getirmek gerekmektedir. Bu geçirimsizliği sağlamak için genellikle membran adında tabii ve suni malzemeler kullanılır (Polat, 2011: 20).

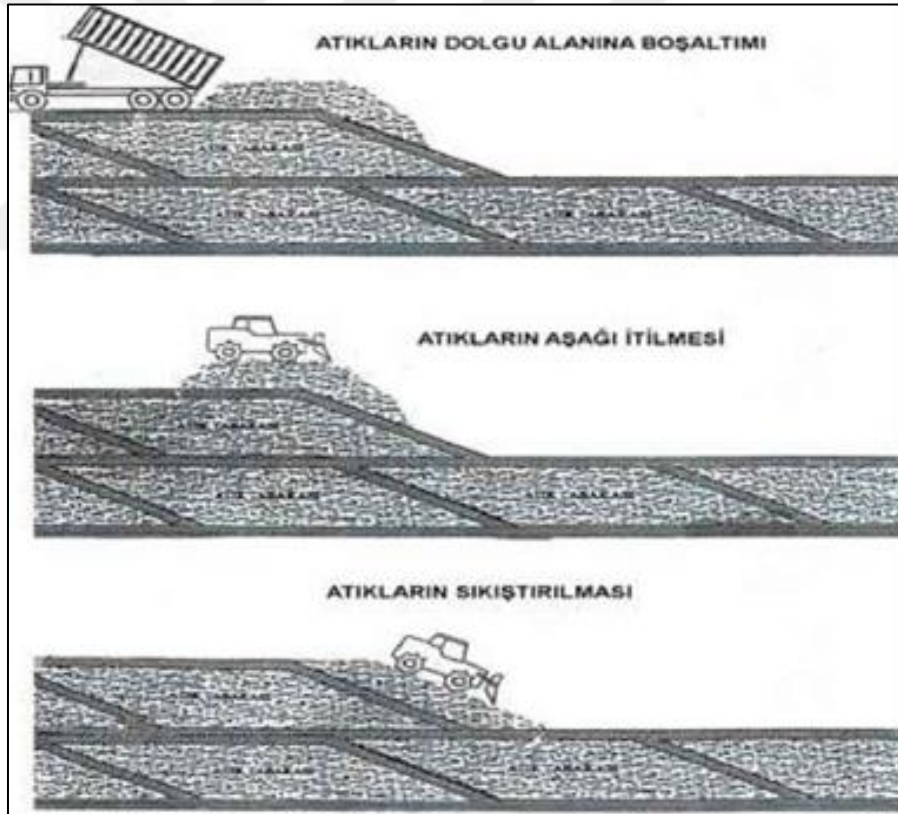
Depo sahasının üst kısmındaki bitkisel nebati toprak temizlenip yeraltı suyu drenajı için uygun ortam hazırlanır. Yeraltı suyu drenaj kanalları ile saha dışına drene edilir ve zemin alt yapı sıkıştırma tekniğine uygun olarak stabilize dolgu malzemesi ile tekrar sıkıştırılır. Çevre sularının girmemesi için gerekli önlemler alınıp uygun eğime getirilen tabii zemin üzerine her biri 15 cm kalınlığında kil tabakası serilerek depo tabanının yüksekliği 60 cm olacak şekilde sıkıştırılır. Oluşan bu zemin üzerine 2 mm kalınlığında yüksek yoğunluklu polietilen folyo (geomembran) kaplandıktan sonra üzerine koruyucu tabaka olarak geotekstil serilir. Bu işlemlerden sonra çöp sızıntı suyu toplama işlemleri yapılır.



Şekil 3.6. Katı atık depolama sahası katmanların dizilimi (Polat, 2011: 20)

Geçirimsiz taban ve dren borularının çevresine 30 cm kalınlığında uygun ebatlarda, kireç oranı % 30'dan az olan dere çakılı serilerek sızıntı suyu için drenaj tabakası

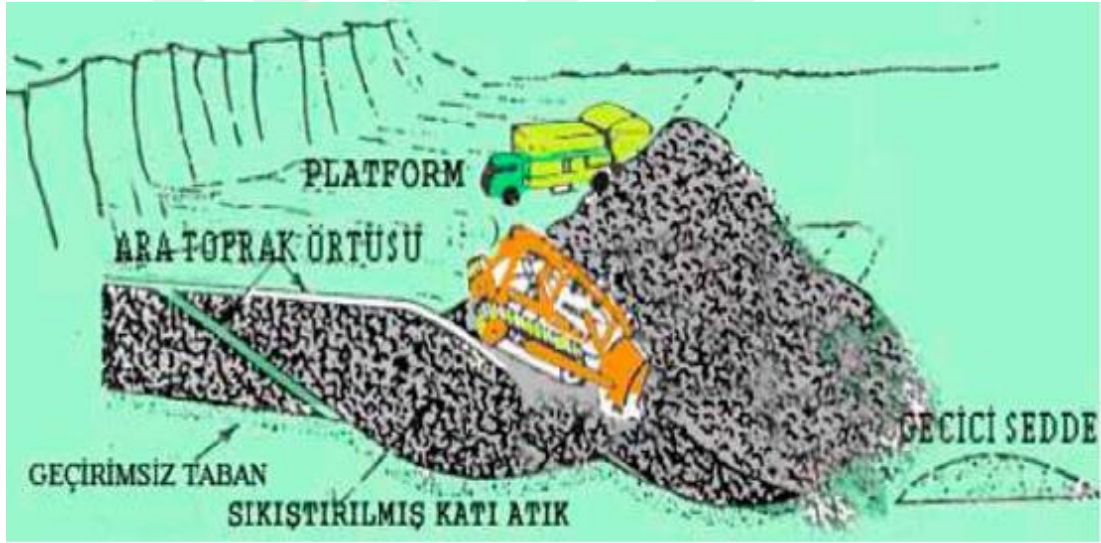
oluşturulur. Atıkların mikrobiyolojik ayrışması sonucu ortaya çıkan veya depolanan atığın gaz fazına geçen kısmı olarak nitelenen depo gazının patlamalara ve/veya zehirlenmelere yol açmasını önlemek amacıyla gazların tahliye edildiği sahaya etkili yarıçapı 35 - 40 cm olan gaz toplama bacaları veya yatay rigoller yerleştirilerek kullanıma hazır hale getirilir. Mevcut sahada gaz çıkışının fazla olduğu yerlere gaz bacası yapılarak oluşan gazların tahliyesi sağlanır. Mali açıdan mümkünse çevresel etkileride göz önünde bulundurarak metan gazının doğrudan atmosfere salınmaması için oluşan gazlar geçici toplama sistemi ile toplanarak flareda yakılmalıdır. Atıklarla Dolgu Süreci: Membranlar yardımı ile oluşan geçirimsiz taban teşkili yapıldıktan sonra atık depolama çalışmalarının belirli sınırlar içerisinde gerçekleştirilmesi için her kademe atıklar katman katman sınırları belirlenmiş bir dizi atık hücresine depolanır (Polat, 2011: 20-21).



Şekil 3.7. Atıkların dökülerek katmanlar oluşturulduktan sonra sıkıştırılması işlemi (Polat, 2011: 21)

Kullanıma hazır hale gelen alanların geçirimsizlik tabakası üzerine ilk yumuşak katı atık tabakasının serilir Bu tabaka 1,5-2 metre kalınlığını geçmez. Bu atık tabakasının içinde alttaki taban örtüsüne ve sızıntı suyu toplama sistemine zarar verecek büyük

kütleli cisimler uzun tahta parçaları, borular vb. keskin maddeler bulunmayacak şekilde saha ayarlanmalıdır. Bu türden maddeler hem memranlara hemde yatay rigollere veya dikey bacalara zarar verir. Atık boşaltılırken, seçilirken ve sıkıştırılırken taban örtüsüne ve borulara zarar vermemeye dikkat edilmelidir. Taban örtüsü sisteminin bütünlüğünün korunması için ilk atık tabakası fazla sıkıştırılmayabilir. İlk atık tabakası serildikten sonra bu tabakanın üzerine ilave atık tabakası serilecektir. İlk olarak eğimin üst tarafından platforma boşaltılan atıklar dozerler vasıtasıyla 50 cm tabakalar halinde atık muhtevasına bağlı olarak dikey/yatay oranı 1/3 veya 1/4 olacak şekilde serilir. Serilen atıklar çelik silindirik kompaktörlerle sıkıştırılır. Her serme işleminden sonra iş makinaları yardımı ile mutlaka sıkıştırma yapılır. Nihai düzenlemenin arkasından 60 cm kalınlığında kil ve/veya bitki türüne bağlı olarak bitkisel toprak serilerek yeşillendirme ve ağaçlandırma uygulamasına geçilir (Polat, 2011: 21-22).



Şekil 3.8. İş makinelere yardımı ile atık dolgu eğiminin sağlanması

Atıkların Örtülmesi: Düzenli depolama alanlarının en büyük avantajlarından biri olan atıkların örtülmesi işlemi hem piskokuların ve kimyasalların rüzgâr ile taşınmasına engel olur hemde haşere ve taşıyıcı hayvanlar aracılığı ile tehlikeli maddelerin yer değiştirmesi önlenmiş olur. Çöp sahalarında katmanlar planlanan hücre yüksekliğine ulaştığında bir ara örtü oluşturmak için 15 cm lik ek bir toprak örtüsü atılır. Ara örtü 30 cm kalınlığında olacak ve bir ay üzerine atık boşaltılamayacak alanlara serilmesi gerekir. Günlük hücrelerin büyüklüğü belirlenirken, atığın kapladığı yüzey alanının minimum düzeyde olması günlük örtünün daha az malzeme ile sağlanması

düşüncesiyle ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Bunları yaparken bir önemli husus ta sızıntı suyu sızmaları ve erozyonu önlemek için ara örtünün tesviyesi yapılmasıdır. Üzerindeki örtü çatlak, yıpranmış olan veya düzgün eğimde olmayan bütün atık depolama alanlarına düzenli aralıklar ile ilave örtü uygulaması kullanılmaktadır. Son Örtü: Atık yüksekliğinin işletme planında belirtilen maksimum yüksekliğe ulaştığında artık atığın üzerine 30 cm daha bir ara örtü serilme işlemidir. Bu tabakanın üst eğimleri %5-%15 arasında olacak şekilde yapılmalıdır. Tasarım tesviyesi gerçekleştiğinde, 60 cm kalınlığında bir kil tabakası serilir. Kil tabakasının geçirgenliği oldukça önemlidir, bu sebeple geçirgenlik 1x10-8yada daha az olmalıdır. Bu alanların daha sonra yeşillendirilme fikri ile kil tabakasından sonrada bazı işlemlere devam edilir. Kilin üstüne yüksek kalitede ve yeterli kalınlıkta (1,5-2 m) bitkisel nebati toprakla örtülerek son aşamada sağlanmalıdır (Polat, 2011: 22-23).

Son örtünün sağladığı faydalar;

1. Rüzgârda uçuşabilecek pis koku ve kimyasalların yayılmasının önler.
2. Kokunun rahatsız edici seviyesini azaltır.
3. Taşıyıcı hayvanlar ve haşerelerle mikrop taşınmasının engellenler.
4. Kontrol dışı yapılabilecek ayıklamanın önler.
5. Sivrisineklerin sayısının artmasına engel olur.
6. Depo gazısı sızıntısı ve patlama riskini ortadan kaldırır.
7. Atık tabakalarının hava ile teması kesilmesi sebebiyle çürüme faaliyetlerin hızlanmasına ve atıkların kısa sürede stabilize olmasına katkı sağlar.
8. Taşıyıcı görevli hastalık yapıcı canlılara barınma ve çoğalma ortamını önler.
9. Bileşiminde karbon dioksit ve metan bulunan depo gazının çıkışı pasif ve aktif yöntemlerle kontrol altına alınmıştır. Depo gazının çevreye, konut içlerine yayılması engellenir.
10. Süzüntü ve sızıntı suları kontrol altına alınıp yer altı sularının kirlenmesi önlenir.
11. Çöp sahalarına evcil ve yabani hayvanların girip, buralarda barınıp beslenmelerine ve çoğalmalarına engel olunur (URL-8).

4. DEPO GAZI VE OLUŞUM SÜREÇLERİ

4.1. Depo Gazı Kavramına Genel Bakış

LFG bir başka adı çöp gazı olan bu karışım düzenli depolama sahalarında biriktirilen atıkların fermantasyonu sonucu oluşur. Sahaya dökülen çöplerin üzeri sızdırmaz bir kil tabakası ile kaplanır ve aerobik bakteriler bu kapalı ortamda bulunan atığın içerisinde ihtiva edilen oksijeni tüketirler. Oksijenin tükendiği ortamda anaerobik bakteriler oluşur ve oksijensiz çürüme başlar. Bu fermantasyon işlemleri sonucu ortaya karışım olan bir gaz yayılır bunun adı Landfill Gas, çöp gazıdır. Bu karışımın büyük bölümünü metan gazı oluşturur, daha sonra karbondioksit ve azot gazı miktarına göre sıralanır. Az miktarda oksijen, sülfür, amonyak hidrojen ve eser gazlarda ihtiva eden bu gaz aslında karışım halindedir. Çöp gazı içerisinde bulunan bileşenler aşağıdaki tabloda sunulmuştur (Çelebi, 2017: 41).

Tablo 4.1. Depo gazında bulunan bileşenler ve depo gazının özellikleri

Bileşen	Yüzde (Kuru Hacimde) ¹	Özellik	Değer
Metan	45-60	Sıcaklık (°C)	68-88
Karbondioksit	40-60	Özgül Ağırlık	1,02-1,06
Azot	2-5	Nem Muhtevası	Doygun
Oksijen	0,1-1,0	Isı Değeri (kj/m ³)	14900-20500
Sülfür, Menkaptan	0-1,0		
Amonyak	0,1-1,0		
Hidrojen	0-0,2		
Karbon monoksit	0-0,2		
Eser Bileşenler	0,01-0,6		

100 birim çöp gazının içerisinde yaklaşık olarak 50 birim metan gazı bulunur ve bu gaz aslında sera gazı olarak adlandırılan patlayıcı yanıcı özelliği olan zararlı bir gazdır. Çevresel açıdan bu gazın atmosfere salınması oldukça zararlıdır. En büyük riskte bu gazın sıkışarak patlama ihtimali oluşturmasıdır. İstanbul Ümraniye’de 1993 yılında Hekimbaşı çöp sahasında biriken metan gazı kontrolsüz olarak patlamıştır.

¹ Gerçek yüzde dağılımı depolama sahası yaşı ile değişmektedir.

Yaklaşık 4,5 yıldan beri düzensiz olarak biriktirilen çöpler bu patlamaya sebep olmuştur. Patlamanın şiddetiyle bölge çevresinde yer alan 13 gecekondlu çöp yığınları altında kalarak çoğu kadın ve ufak yaşta çocuklar olan 39 kişi bu acı olayda hayatını kaybetmiştir. Doğadan bulunan metan gazının ¼ oranındaki miktarı çöp sahaları kaynaklı oluşmaktadır. Çöp sahaları üzeri kapatılsa dahi 25-30 sene boyunca doğaya metan salınımı yapar. Son yıllarda ülkemizde de sıkça uygulanan depo gazı ile enerji üretimi fikri tüm bu patlama riski çevresel olumsuzlukları ortadan kaldırır niteliktedir. Bu tesislerde mantık arıtma tesislerindeki gibi oksijensiz ortamda çürüme esasıyla başlar. Yani her bir tesis aslında biyokimyasal bir reaktör gibidir. Şehirlerin dış kısımlarına yapılan düzenli depolama alanlarında çöpün buralara gelmesiyle fermantasyon başlar. Sahada oksijensiz ortamda organik maddelerin bozulması, bozulma gazlarını meydana getirir. Bozulma sonucu meydana gelen bu karışım içerisinde büyük oranda metan bulunan depo gazıdır. Sahadan depo gazı emişi yapıldıkça katman katman kapatılarak dolgu süreci ilerler. Bazı tesislerde bu yükseklik yaklaşık 200 metreyi bulmaktadır (Polat, 2011).

Depo gazı olarak tanımlanan bu karışım ana gazlardan ve eser gazlardan oluşur. Ana gazlar depo gazında büyük miktarlarda bulunurken, eser gazlar daha az miktarlarda bulunur. Ana gazlar, çöplerin içerisinde bulunan organik maddelerin ayrışması sonucunda oluşurlar. Depo gazı içerisinde bulunan eser gazlar, az miktarlarda olsa bile çevresel etkiler açısından halk sağlığı için oldukça zararlıdır. Ana Gazlar: Depo gazını oluşturan başlıca gazlar metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂)'dir. Geriye kalan kısımda ise az oranlarda amonyak, karbon monoksit, hidrojen, hidrojen sülfür, azot ve oksijen bulunur. Depo sahasında oluşan çöp gazının hacimsel dağılımları Çizelge 2.2'de verilmiştir. Metan ve karbondioksit depo sahasındaki katı atıkların kapalı ortamda anaerobik olarak ayrışması sonucu açığa çıkan ana gazlardır. Metan gazı patlayıcı özelliğinden dolayı tehlikeli olup havadaki metan oranı %5-15 civarına ulaştığında patlayıcı özellik gösterir. Bu özelliğinden ötürü sahada biriken metan gazının emilerek bazı proseslerden geçirilip kojenerasyon ünitesinde yakıp enerji üretimine esas hale getirmek gereklidir. Böylece hem tehlike oluşturan riskler ortadan kaldırılacak hemde ülke ekonomisine ve enerji talebine katkıda bulunulacaktır. Eser Gazlar: Depo sahalarından alınan çöp gazı örnekleri üzerinde yapılan incelemeler neticesinde depo gazı bileşiminde 154 ayrı kimyasal bileşik

saptanmıştır. Bunların içinden 116 tanesi organik bileşik olarak belirlenmiş ve uçucu organik maddeler olarak sınıflandırılmıştır. Katı atık depolama alanlarında bulunan eser haldeki bileşiklerin başlıcaları ve konsantrasyonları Çizelge 2.3'de verilmiştir (Aydın, 2013).

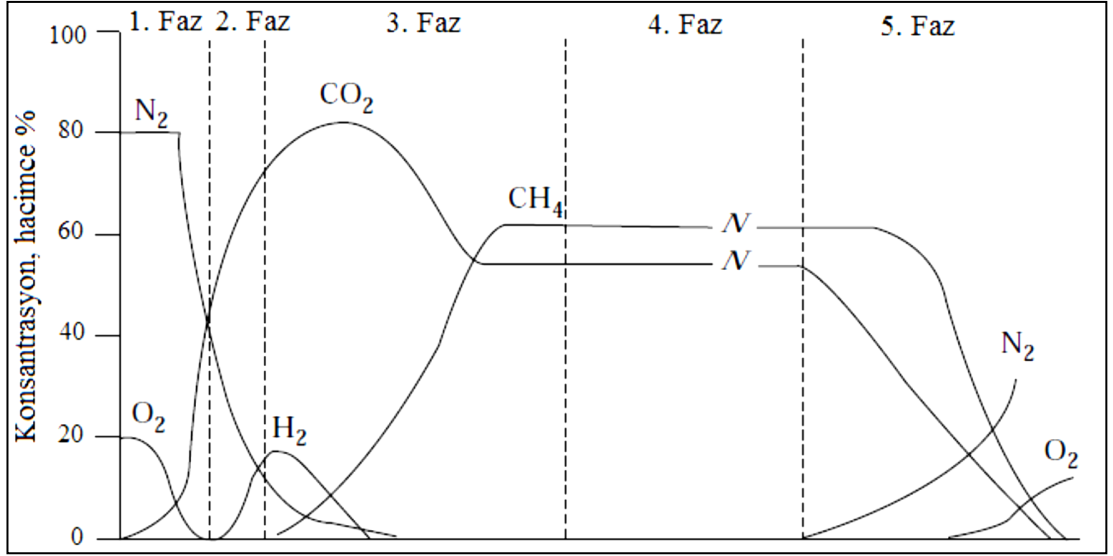
Tablo 4.2. Depo gazındaki eser elementlerin konsantrasyonları (Aydın, 2013)

Bileşik	Ortalama konsantrasyon, ppb ²
Aseton	6838
Benzen	2057
Klorobenzen	82
Kloroform	245
Diklorometan	25694
Etilen bromid	0
Etilenoksit	0
Etilbenzen	7334
Metil etil keton	3092
Trikloroetilen	2079
Toluen	34907
Tetrakloroetilen	5244
Vinil asetat	5663
Kslen	2651

4.2. Depo Gazı Oluşum Süreci

Atıkların düzenli depolama sahalarına getirilip üstlerinin kapatılmasının ardından çürüme süreci başlar ve çeşitli gazlar oluşur. Düzenli depolama sahalarında oluşan bu gazlar bir dizi fazların sonucunda gerçekleşir. Bu fazlar sırasıyla ilk uyum, geçiş, asit, metan ve olgunlaşma fazlarıdır. Bu beş faz Şekil 2.1'de verilmiş olup aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır (Çelebi, 2017: 44).

² Hacimsel olarak milyardaki kısım



Şekil 4.1. Depo gazı oluşum fazları ve gaz oranları (Özçakıl, 2001)

4.2.1. İlk uyum fazı

Depo gazı oluşumu sırasında görülen ilk fazdır. Evsel katı atıklardaki organik maddeler çöp depo alanlarına getirildiğinde hemen mikrobiyal ayrışmaya maruz kalırlar. İlk adaptasyon fazı olan bu fazda çürüme işlemi aerobik olarak gerçekleşir, çünkü atıklar depo alınana atılırken bir miktar hava depo alanında kalır. Atıkların saahda ayrışmasını sağlayan aerobik ve anaerobik olan organizmaların en önemli kaynağı günlük olarak atıkların üzerine dökülen kapatma örtüsüdür. Başaka bir kaynağıda bu organizmaların arıtma çamurları ve çöp altı sularının tekrardan sahaya basılması olayıdır (Özçakıl, 2001).

4.2.2. Geçiş fazı

Bu fazda atıkların üzeri kapatılması ile beraber ortamda bulunan az miktardaki oksijeni aerobik bakterilerin tüketmesi sonucunda geçiş fazı yani anaerobik süreç başlar. Depo sahasında anaerobik şartların oluşması ile birlikte biyolojik reaksiyonlarda başlar ve elektron alıcısı olan nitrat ve sülfat, azot gazına ve hidrojen sülfüre dönüşür. Anaerobik koşulların oluşup oluşmadığı atığın oksidasyon/redüksiyon potansiyelinin ölçümü ile kontrol edilir. Nitrat ve sülfatın redüksiyonu için redüksiyon kapasitesinin 50-100 mV civarında olması budurum sağlandığını gösterir. Oksidasyon/redüksiyon kapasitesi 150- 300 mV arasında değer aldığı zaman metan gazı üretimi başlar. Oksidasyon/redüksiyon potansiyeli kompleks

organik maddelerin organik asitlere ve diğler ara ürünlere dönüşmesi sırasında azalmaya devam eder. Bu fazda sızıntı suyunun pH'ı, organik asitlerin oluşumu ve CO₂'nin artan konsantrasyonları nedeniyle azalmaya başlar (Aydın, 2013).

4.2.3. Asit fazı

Geçiş fazında devam eden mikrobiyal oluşumlar asit fazında oluşan organik asitler ve az miktardaki H₂ gazının sayesinde oldukça hızlanır. Üç aşamadan oluşan bir fazdır bu. İlk evrede yüksek moleküllü bileşiklerden oluşan yağlar, polisakkaritler, proteinler ve nükleik asitler hidroliz edilir. Hidroliz sonucunda bu bileşikler mikroorganizmaların enerji ve karbon kaynağı olarak kullanabilecekleri basit elementlere dönüşerek asit fazı ilerler. Asit fazının ikinci evresinde ise oluşan bu basit elementler sayesinde mikrobiyal aktiviteler sonucu büyük oranda asetik asit ve daha düşük miktarlarda fülvik ve kompleks organik asitler meydana gelir. Bu faz sürecinde üretilen esas gaz karbondioksit gazıdır. Ayrıca bunun yanında az miktarda hidrojen gazı ortaya çıkar. Bu reaksiyonlarda görev alan mikroorganizmalar fakültatif ve zorunlu anaerobik bakterilerdir. Asit üreten bakteriler olarak tanımlanırlar. Oluşan bu organik asitler sayesinde ve yüksek konsantrasyondaki CO₂ depo alanında sızıntı suyunun pH'ını 5 in altına indirir. Sızıntı suyunun pH'ının düşmesi asit fazı boyunca başta ağır metaller olmak üzere inorganik bileşiklerin sızıntı suyu içinde çözünür forma geçmesine neden olur. Buda önemli bir sorun olarak karşımıza çıkar (Coşkun, 2015).

4.2.4. Metan fazı

Asit fazında hidrojen gazını ve asetik asidi karbondioksit ve metana dönüştüren bakteriler gelişerek metan fazında etkin hale gelirler. Asit fazında üretimi maksimum olan karbondioksit bu fazda azalmaya başlayarak fazın ortalarına doğru bu gaz miktarı minimum seviyelere gelir ve stabil bir şekilde üretim devam eder. Bu aşamada üretimi minimum seviyelerde olan metan gazı ise bu fazın başlarında karbondioksit üretimine ters bir şekilde üretim hızı artarak fazın ortalarına doğru maksimum seviyelere çıkar. Hidrojen ve organik asitlerden metan ve karbondioksit oluşumu pH değerinin artmasına ve 6,8-8,0 dolaylarına gelmesine neden olur. Artan pH içerisinde bulunan inorganik bileşiklerin daha yüksek oranda çözülerek çözüldü

kalmasına neden olur. Bu sebepten dolayı sızıntı suyunda oluşan ağır metal miktarda zamanla azalmaya neden olur (Çelebi, 2017: 46).

4.2.5.Olgunlaşma fazı

Son evre olan olgunlaşma fazında atıklardan bulunan çoğu nütrientin daha önceki fazlarda sızıntı suyu ile uzaklaştırılmasından metan gazı üretiminde oldukça yüksek seviyelerde azalmalara neden olur. Depo alanında kalan substratlar biyolojik olarak yavaş ayrışan özelliktedir. Çöp gazını oluşturan başlıca depo gazı bileşenleri metan ve karbondioksit bu fazda tam olarak ortaya çıkar. Bu fazda çöp gazı içerisinde az miktarlarda azot ve oksijen gazını kendi bünyesinde ihtiva eder (Aydın, 2013).

Depo gazının her bir fazının süresi;

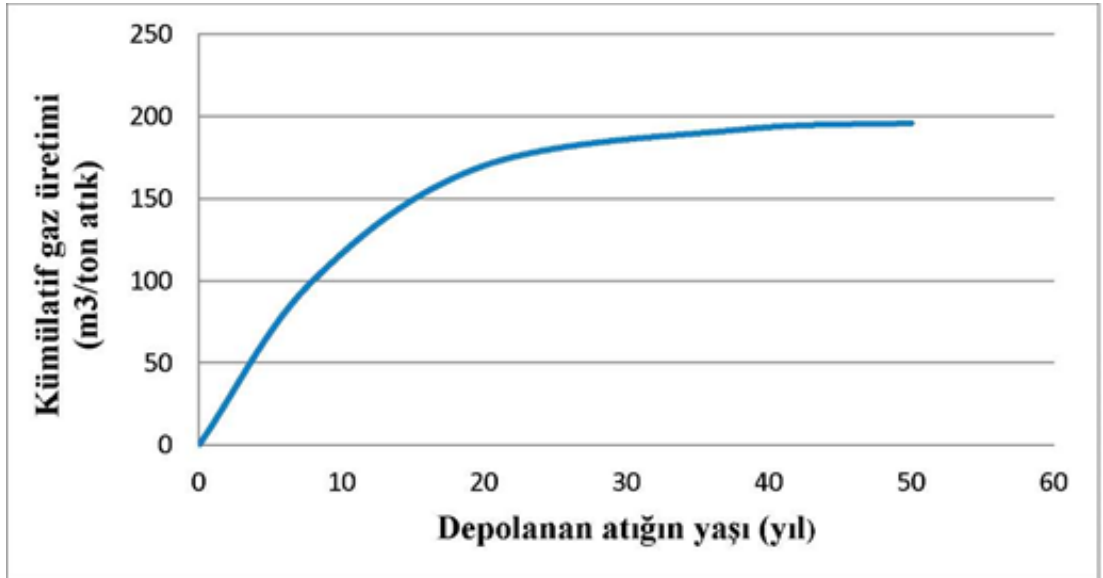
- Organiklerin düzenli depolama sahasındaki dağılımına,
- Atığın kalitesi ve karbon oranına,
- Katı atık miktarına,
- Düzenli depolama sahasının lokasyon özelliklerine,
- Nutrientlerin miktarına,
- Sahada bulunan nem miktarı ve bölgedeki yağış durumuna bağlı olarak değişmektedir.

Örneğin büyük miktarda katı atık çalılık bir arada depolanıp sıkıştırılırsa karbon/azot oranı ve nutrient dengesi gaz oluşumu için uygun ortam oluşturmaya bilir. Böyle bir durumda yeterli miktarda nem olmadığı için üretilen gaz miktarında düşüş olur. Depolama sahamıza dökülen madde miktarı ve yoğunluğunun yükselmesi nemin atık içerisinde her noktaya ulaşabilme kabiliyetini engeller. Böylece gaz oluşum hızında azalır. Yeni tamamlanmış bir depo alanın kapatılmasından sonraki ilk 48 ay boyunca gözlenen gazların yüzde olarak dağılımı Çizelge 2.4'de verilmiştir (Özçakıl, 2001).

Tablo 4.3. Düzenli depolama alanında gözlenen gazların yüzde olarak dağılımı (Özçakıl, 2001)

Hücrenin kapatılmasından sonraki zaman aralığı	Ortalama, Hacim olarak yüzde		
	Azot	Karbondioksit	Metan
	N ₂	CO ₂	CH ₄
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

Ülkemizde yapılan araştırmalara göre düzenli depolama alanlarında depolanan her 1000 kilogramkatı atık ortalama 170 m³ civarında çöplük gazı oluşturur. Bu gazın yarısından fazlası (%60) atıkların depolanmasından sonra yaklaşık 10 yıl içerisinde oluşmaktadır. Gaz miktarı 15 ile 20 yıl içerisinde %90 seviyelere yükselir. 30 yıl sonra gaz oluşumu oldukça yavaşlar ve durma seviyesine gelir (Çelebi, 2017: 49). Diğer yıllarda ise çok az miktarda çöplük gazı oluşumu olur. Evsel atıklar için toplama sistemli gaz üretim modeli Şekil 2.2'de verilmiştir (Kiriş ve Saltabaş, 2011).



Şekil 4.2. Evsel atıklar için toplama sistemli gaz üretimi modeli (Kiriş ve Saltabaş, 2011).

4.3. Çöp Gazı Enerjisinin Mevcut Kullanım Durumu ve Potansiyelinin İncelenmesi

Ülkemizde atıl enerjinin değerlendirilmesi fikri her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bunlara evsel atıkların enerjiye dönüştürülmesi dâhil edilebileceği gibi herhangi bir fabrikanın atık ısısından enerji üretilmesinde örnek verilebilir. Projelendirme ve kabul aşamaları bakımından Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı sorumluluğunda olan bu enerji üretim tesisleri yönetmelikler doğrultusunda lisanslı enerji üretim tesisleri ve lisanssız enerji üretim tesisleri olarak 2 ye ayrılmıştır. Kısa sürede ülkemizde kurulan lisanslı biyogaz santrallerinin kurulu gücü 386,65MW'a ulaşmıştır. Bu santraller Tablo 4.4 de listelenmiştir.

Tablo 4.4. Türkiye'deki Lisanslı biyogazdan enerji üreten tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri (URL-13)

	TESİS ADI	İLİ	YATIRIMCI	GÜÇ (MW)
1)	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	34
2)	Toros Tarım Samsun Atık Isı Santrali	Samsun	Toros Tarım	31
3)	Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	25
4)	Çadırtepe Biyokütle Santrali	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	23
5)	Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	ITC Katı Atık Enerji	16
6)	Akçansa Çimento Atık Isı Santrali	Çanakkale	Enerjisa Elektrik	15
7)	Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	14
8)	Eti Alüminyum Atık Isı Elektrik Santrali	Konya	Cengiz Enerji	13
9)	Eti Maden Bandırma Atık Isı Santrali	Balıkesir	Eti Maden	12
10)	ITC-KA Sincan Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	11
11)	Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	Bağfaş Gübre Fabrikası	9,92
12)	Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	ITC Katı Atık Enerji	9,8
13)	Çimsa Atık Isı Santrali	Mersin	Enerjisa Elektrik	9,56
14)	Batıçim Atık Isı Santrali	İzmir	Batıçim Batı Anadolu	9
15)	Prokom Pirolitik Yağ ve Pirolitik Gaz Tesisi	Erzincan	Prokom Madencilik	7,04
16)	Aksaray OSB Gübre Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	Sütaş Süt Enfaş Enerji	6,4

Tablo 4.4. (Devam) Türkiye'deki Lisanslı biyogazdan enerji üreten tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri (URL-13)

17)	Şanlıurfa Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	Full Force Enerji	6,24
18)	Eman Enerji Mersin Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	6,02
19)	Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	Avdan Enerji	6
20)	Modern Biyokütle Enerji Santrali	Tekirdağ	Eren Enerji	6
21)	Trakya Yenişehir Cam Atık Isı Santrali	Bursa	Trakya Yenişehir Cam	6
22)	Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	Her Enerji	5,78
23)	Konya Aslım Çöplüğü Elektrik Üretim Santrali	Konya	ITC Katı Atık Enerji	5,66
24)	Gaziantep Çöp Gazı	Gaziantep	CEV Enerji	5,66
25)	Batısöke Söke Çimento Atık Isı Elektrik Santrali	Aydın	Batısöke Söke Çimento	5,34
26)	Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	Ortadoğu Enerji	5,09
27)	Ovacık Biyogaz Enerji Santrali	Kırklareli	Işık Biyokütle	4,8
28)	Hasdal	İstanbul	İstanbul Büyükşehir Belediyesi	4,02
29)	Afyon Biyogaz Enerji Santrali	Afyonkarahisar	Afyon Enerji	4,02
30)	Gönen Biyogaz Tesisi	Balıkesir	Gönen Yenilenebilir Enerji	3,62
31)	Belka Çöp Gazı Biyogaz	Ankara	Ankara Büyükşehir Belediyesi	3,2
32)	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	Elazığ	ITC-KA Enerji	2,83
33)	İskenderun Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisi	Hatay	Novtek Enerji	2,83
34)	Trabzon Rize Çöp Gazı Santrali	Trabzon	Mustafa Madoğlu Holding	2,83
35)	Sivas Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Sivas	Novtek Enerji	2,82
36)	Konya Atıksu Biyogaz Santrali	Konya	Konya Büyükşehir Belediyesi	2,44
37)	Malatya BŞB Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Malatya	Malatya Büyükşehir Belediyesi	2,4
38)	Arel Enerji Biyokütle Tesisi	Afyonkarahisar	Arel Enerji	2,4
39)	Manavgat Çöp Gazı Santrali	Antalya	Arel Enerji	2,4
40)	Senkron Efeler Biyogaz Santrali	Aydın	Senkron Grup	2,4

Tablo 4.4. (Devam) Türkiye'deki Lisanslı biyogazdan enerji üreten tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri (URL-13)

41)	Mauri Maya Bandırma Biyogaz Santrali	Balıkesir	Mauri Maya	2,33
42)	Tokat Çöpgazı Elektrik Üretim Santrali	Tokat	Tokat Belediyesi	2,3
43)	Karacabey Biyogaz Tesisi	Bursa	Sütaş Süt Enfaş Enerji	2,13
44)	Bandırma Edincik Biyogaz Santrali	Balıkesir	Telko Enerji	2,13
45)	Eses Enerji Biyogaz Santrali	Eskişehir	Eskişehir Büyükşehir Belediyesi	2,04
46)	Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	1,9
47)	Albe Biyogaz Santrali	Ankara	Era Grup	1,81
48)	GASKİ Atıksu Biyogaz Elektrik Santrali	Gaziantep	Gaziantep Büyükşehir Belediyesi	1,66
49)	Karma Gıda Biyogaz Santrali	Sakarya	Karma Gıda	1,49
50)	Polatlı Biyogaz Tesisi	Ankara	Polres Elektrik Üretim	1,47
51)	Aksaray Çöp Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	ITC Katı Atık Enerji	1,42
52)	Karaman Biyogaz Tesisi	Karaman	Karaman Yenilenebilir Enerji	1,41
53)	Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Sakarya	Biosun Pamukova	1,4
54)	Eman Enerji Silifke Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	1,2
55)	Uşak Çöpgazı enerji Santrali	Uşak	Uşak Belediyesi	1,2
56)	Amasya Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Amasya	Boğazköy Enerji Elektrik Üretim	1,2
57)	Ekim Grup Gübre Gazı	Konya	Ekim Grup Elektrik	1,2
58)	Bolu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bolu	CEV Enerji	1,13
59)	Kırıkkale Çöp Gazı Enerji Santrali	Kırıkkale	Mustafa Mодоđlu Holding	1
60)	Sigma Suluova Biyogaz Tesisi	Amasya	Sigma Elektrik Üretim	1
61)	Kemerburgaz Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ekolojik Enerji	0,98
62)	Hayat Biyokütle Elektrik Üretim Santrali	Kocaeli	Hayat Enerji	0,96
63)	Eman Enerji Karaman Biyokütle Enerji Santrali	Maraş	Eman Enerji	0,95

Tablo 4.4. (Devam) Türkiye'deki Lisanslı biyogazdan enerji üreten tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri (URL-13)

64)	Adana Batı Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0,8
65)	Adana Doğu Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0,8
66)	Beypazarı Biyogaz Tesisi	Ankara	Derin Enerji Üretim	0,79
67)	Frito Lay Gıda Biyogaz Santrali	Kocaeli	Frito Lay Gıda	0,7
68)	Frito Lay Gıda Kojenerasyon Santrali	Mersin		0,66
69)	Kumkısıkk Çöplüğü Biyogaz Santrali	Denizli	Bereket Enerji	0,64
70)	Sezer Bio Enerji	Antalya	Kalemirler Enerji	0,5
71)	Denizli Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Elektrik Üretim Santrali	Denizli	Denizli Büyükşehir Belediyesi	0,48
72)	Solaklar İzaydaş Çöp Gazı	Kocaeli	Kocaeli Büyükşehir Belediyesi	0,33
73)	Cargill Tarım Bursa Bioenerji Santrali	Bursa	Cargill Tarım	0,12

Proje onay ve kabul yetkisi TEDAŞ Genel Müdürlüğü'nde olan lisanssız enerji üretim santralleri ayrı bir koldan biyogaz santrallerinin devreye alındığı santral tipidir. Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ile daha az bürokrasi ile kurulumu dahada kolaylaştırılan bu santrallerle üretilen enerjinin minimum taşıma ile üretilen lokasyonda tüketilmesi hedeflenmiştir. Üretilen enerjinin şebekeye basılarak satılmasının önü açıktır. 2014 yılından bu yana devreye alınan lisanssız biyogaz tesislerinin kurulu güçleri 57,292 MW'a ulaşmıştır. Bu santraller Tablo 4.5 ile listelenmiştir.

Tablo 4.5. Türkiye'deki Lisanssız biyogazdan enerji üreten tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri

	TESİS ADI	İLİ	YATIRIMCI	GÜÇ (KW)
1)	Gözlü Tarım İşletmesi	Konya/Sarayönü		250 KW
2)	İtimat Bes	Ankara/Çubuk	İtimat Yenilenebilir Enj.San. Tic.A.Ş.	950 KW
3)	Kırşehir Bes	Kırşehir/Merkez	Köremezli Enj. Akaryakıt İnş. San. Tic. Ltd.Şti.	1000 KW
4)	Akhisar Bes	Manisa/Akhisar		1000 KW

Tablo 4.5. (Devam) Türkiye'deki Lisanssız biyogazdan enerji üreten tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri

5)	Kütahya Çöp Gazı Santrali	Kütahya	Ritim Enerji Üretim Sanayi Ve Ticaret Ltd.Şti.	1413 KW
6)	Manisa Geri Dönüşüm Biyokütle Santrali	Manisa	Manisa Geri Dönüşüm Enerji Üretim A.Ş.	4816 KW
7)	Dorpet Biokütle	Ordu/Fatsa	Dorpet Enj.Akaryakıt İnş. San.Tic.	980 KW
8)	Eman Ege Enerji Efeler Biyokütle Tesisi	Aydın/Bozdoğan	Eman Ege Enerji Üretim A.Ş.	4816 KW
9)	Mevlüt Coşkun Biogaz	Nevşehir/Merkez	Mevlüt Coşkun Yen.En.Ve Elk.Üret.San.Tic.A.Ş.	800 KW
10)	Tigem Biyogaz	Bursa/Karacabey	Tigem –Bursa	233 KW
11)	Kocaeli Yenilenebilir Enerji Biogaz Santrali (2. Gaz Motoru)	Kocaeli/Kandıra	Kocaeli Yenilenebilir Gübre Tic.Ltd.Şti.	405 KW
12)	Eman Enj.Tarsus Bes	Mersin/Tarsus	Eman Enj.Elk.Üret.San.Tic.Ltd.Şti.	2408 KW
13)	Tigem Anadolu Tarım İşletmesi Bes	Eskişehir/Mahmudiye	Tigem Anadolu Tarım İşl.Md.	225 KW
14)	Eman Enj.Silifke Bes	Mersin/Silifke	Eman Enj.Elk.Üret.San.Tic.Ltd.Şti.	1204 KW
15)	Eman Enj. Mersin-Bes	Mersin/Akdeniz	Eman Enj	6020 KW
16)	Kocaeli Yenilenebilir Enerji Biogaz Enerji Üretim Santrali	Kocaeli/Kandıra		315 KW
17)	Arel Yenilenebilir Enerji	Zonguldak/Merkez		2480 KW
18)	Tokat Katı Atık Düzenli Depolama Sahası	Tokat/Turhal		1200 KW
19)	Eman Enerji	Karaman/Ayrancı		950 KW
20)	Erbaa Çöp Gaz Elektrik Üretim Tesisi	Tokat/Erbaa		1067 KW
21)	Seyhan Atıksu Arıtma Tesisleri	Adana/Aladag		1560 KW
22)	Uşak Biyokütle (Çöp Gazı) Enerji Santrali	Uşak/Merkez		1200 KW
23)	Göлтаş Çimento Atık Isı Santrali	Isparta	Göлтаş Çimento A.Ş.	12000 KW
24)	Medcem Çimento Atık Isı Santrali	Mersin/Silifke	Medcem Çimento A.Ş.	10000KW

Ülkemizde işletme bulunan biyogaz tesisleri harita üzerinde konumlandırılmıştır. Harita 2.1'de verilen tesislerin bazıları lisanslı bazıları lisanssız tesislerdir. Ülkemizin büyükşehirlerinde kurulu olan biyogaz tesislerinin yerleşimlerine baktığımızda doğu illerinde hala potansiyel biyogaz tesislerinin kurulmadığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Çöp kaynaklı biyogaz enerji santrallerinin Türkiye haritasında yerleşim

Ülkemizde hali hazırda çalışan kentsel atık kaynaklı biyogaz santrallerinin güç aralıkları 34 MW ile 0,33 MW arasında değişkenlik gösterir. Bu tesislerin hepsinde depo gazı atıkların depolandığı düzenli depolama sahalardan yatay ve dikey olarak montajı yapılan gaz toplama sistemleri aracılığıyla sahadan biriken gazların emilip temizleme prosesinden geçirilerek yakılması mantığı ile çalışır. En son temizlenerek iyileştirilen bu gazın elektrik üretimi amacı ile yakma prosesine gönderilen makineler ise gaz motoru denir. Ülkemizde işletmede bulunan bu tesislerin tamamında kullanılan gaz motorları içten yanmalı motorlardır (Çelebi, 2017: 51).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının öncülüğünde Lisanslı tesislerin proje onayları ve kabul işlemleri bakanlık tarafından, Lisanssız enerji santrallerinin proje onayı ve kabul işlemleri hali hazırda TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından sürdürülerek, her geçen gün biyogaz santrallerinin gücü hem ülke çapında kurulan santraller açısından hemde yenilenebilir kaynaklar içerisinde yüzdesel pay olarak artmaktadır. Her geçen gün mevzuatlarda yapılan düzenlemeler ile farklı yöntemlerle biyogaz santralleri kurulabilir hale gelmiştir. Ülkemizde bitkisel atık kaynaklı, hayvansal atık kaynaklı, kentsel atık kaynaklı, bitkisel piroliz yöntemi ve otomobillerin kullanılmayan lastikleri ile hammadde ihtiyacı sağlanmaktadır.

5. NÜFUSU 100.000 OLAN BİR YERLEŞİMDE LFG TESİSİ TASARIMI

5.1. Görevin Belirlenmesi

Bu tezin hazırlanmasında öncelikli amaç hemen her il ve ilçeye kurula bilecek çöpten elektrik üreten bir prototip santralin modellenmesidir. Bu kapsamda hem depo gazı oluşumunu etkileyen faktörlerin üzerinde çalışmalar yapacağız hemde elde ettiğimiz depo gazının yakılması için optimum değerlerde bir santral modelliyeceğiz. Bu tez kapsamında İçanadolu Bölgesinde örnek bağız tesisler yerinde gezilerek ilham kaynağı olarak feyzalınmıştır. Ortaya çıkacak santralle hem ülke ekonomisine katkıda bulunacak hemde enerji açığını kapatma adına mühendislik çözümleri oluşturulacaktır.

5.1.1 Çöp sahasının yerleşimi ve potansiyel parametrelerine genel bakış

Öncelikle çöp sahasının modellenmesi kısmında bağız kabuller yaparak yola çıkacağız. Santaralimiz İçanadolu bölgesi koşullarında kış aylarında sıfırın altında değerlerin çok uzun süreler görülmediği bir lokasyonda değerlendireceğiz. Nüfusu yaklaşık 100.000 kişi olan bir yerleşimden söz etmekteyiz. Çöp toplama alanımız şehir merkezinden yaklaşık 10-15km civarı uzaklıkta bir alanda yer almaktadır. Sahamızın genel yerleşimi Google Eart görüntüsü aşağıda görülmektedir.

Yapılan bir başka kabul ise bu çöp toplama tesisine günlük 100 ton çöp geldiği yönündedir. Bu değer yılara göre artacağı ileriki bölümlerde analizler ile desteklenecektir. Esasen nüfusdan çok bu miktar santralimiz hakkında bir çok değişkeni belirleyecektir.



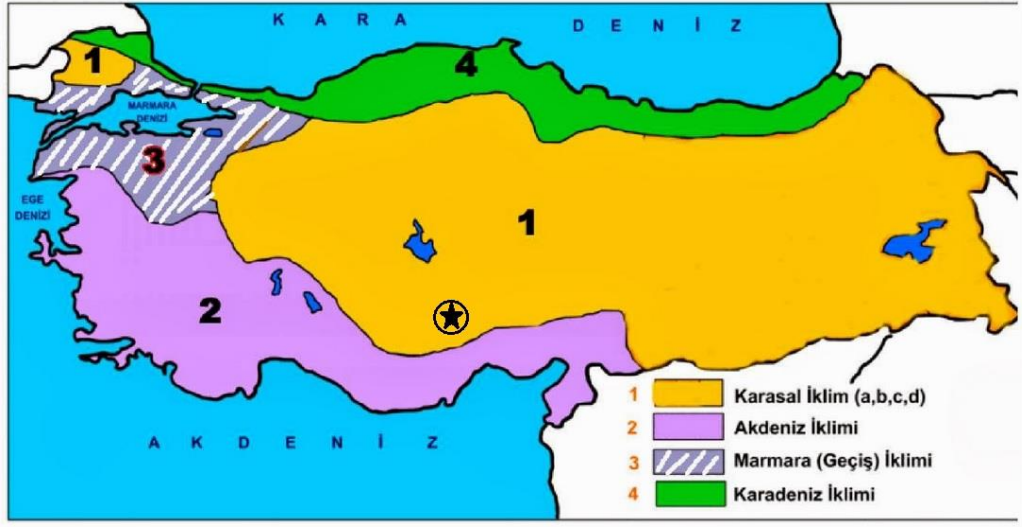
Şekil 5.1. Google resmi – Kurulacak prototip tesisin genel yerleşimi

5.2. LFG Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Katı atıklardan oluşabilecek gaz miktarı atığın organik madde muhtevasına bağlıdır. Diğer taraftan, atık stabilizasyonu ve CH₄ oluşumu; oksijen, hidrojen, pH, alkalinite, nutrientler, inhibitörler, sıcaklık ve su muhtevası gibi abiyotik faktörler ile atık bertarafında kullanılan farklı tekniklerden oldukça fazla etkilenmektedir. Bu faktörleri modelleme yaptığımız tesisin kurulacağı bölge üzerinden irdeleneceğiz.

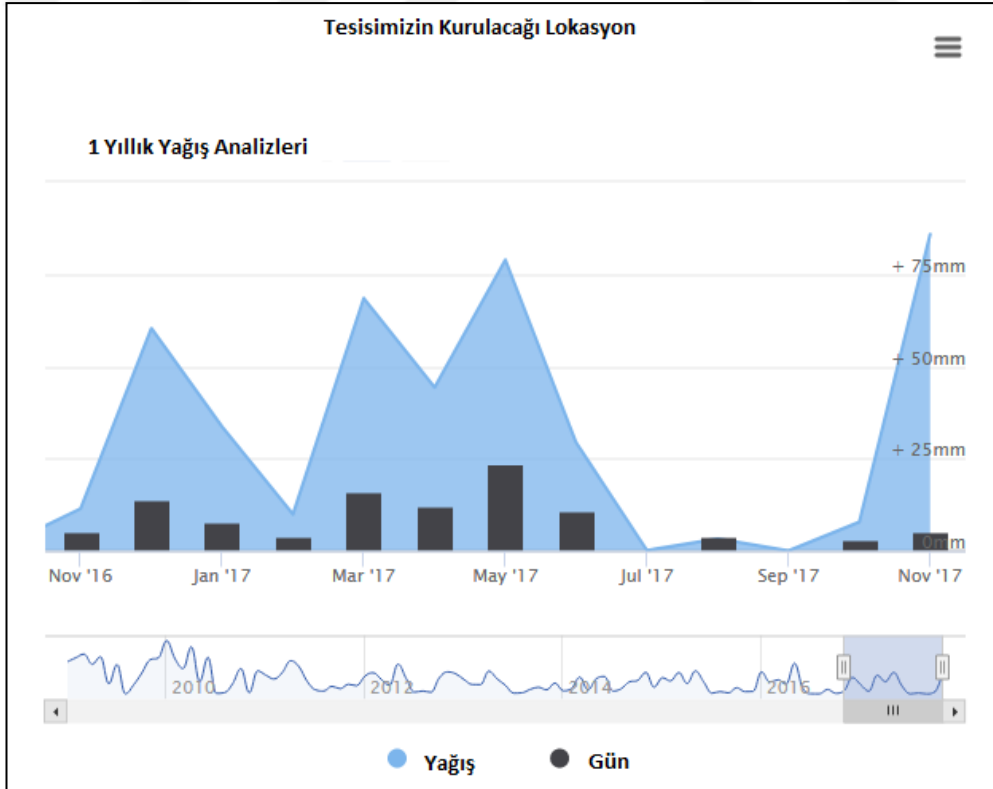
5.2.1. İklim durumu

Modelleneceğimiz çöp sahası İç anadolu bölgesinin Akdeniz Bölgesine yakın noktalarında biryerde bulunmaktadır. Kurak yazlar ve soğuk kışlar ile karasal bir iklimi vardır. İklimsel koşulları değerlendirdiğimizde sıcaklık, yağış durumu, nem muhteviyatı bakımından yöreyi incelememiz gerekmektedir.



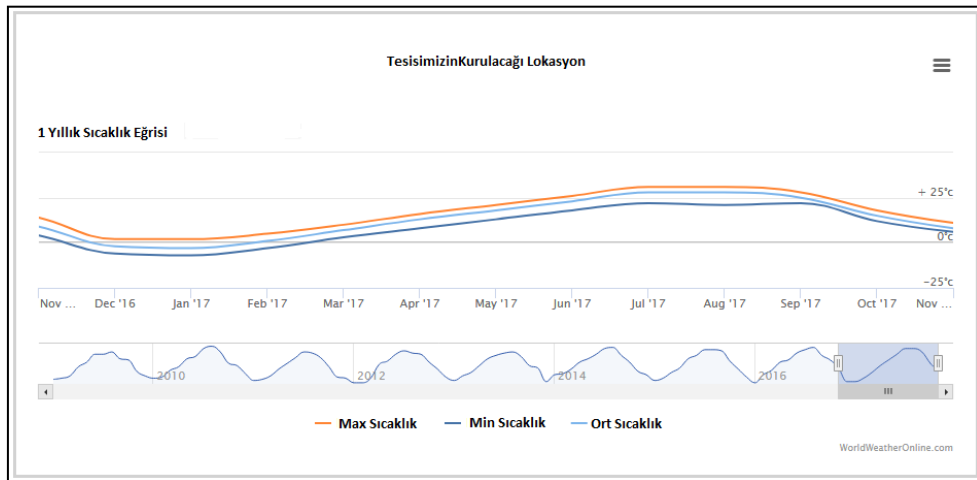
Şekil 5.2. Türkiye'nin iklim bölgeleri ve tesisimizin yeri

Yıllık yağış miktarı: Tesisimizin kurulacağı bölgede yıllık yağış miktarı yaklaşık 427 mm dir. Kış mevsiminde kar yağışı oldukça az genellikle yağmur yağmaktadır. Yaz aylarında kurak geçmekte yağmur neredeyse hiç yağmamaktadır. Aşağıdaki grafik, yıllık yağışın ortalama dağılımı ve yağışlı gün sayısı hakkında genel bir bilgi vermektedir.



Şekil 5.3. Tesisin kurulacağı bölgenin Yağış miktarı/Yağışlı gün grafikleri

Atık depolama alanında yapılan incelemelerde çöp sahasına gelen atıklar doymuş Türk atığı şeklindedir. Depolama ve sıkıştırma proseslerinde çöpün içindeki sıvı basılır ve fermantasyon işlemi için ilave bir suya ihtiyaç kalmıyacaktır. Genellikle dilimlenmiş atıklar tortulaşır. Bu tortulaşmada üst tabaka alt katmanların nem ihtiyacını karşılar ilave bir suya ihtiyaç olmaz. Eğerki yağış miktarı fazla olur yada çöpün içindeki sıvı miktarı fazla olur ise sızıntı suyu olark drenaj havuzunda toplanır. Çöpün belli değerlerde nem ihtiva etmesi biyolojik reaksiyonlar için oldukça önemlidir. Dolayısıyla, çöp dolgusu toprağı ile kapatılsa, biyolojik reaksiyon mevcut yağış miktarı dikkate alındığında yeterli bir şekilde gerçekleşebilir. Bazende yağışların az olduğu ve çöp içerisindeki suyun oldukça düşük değerlerde olduğu özellikle yaz aylarının kurak günleri yaşanabilir. İşte burda sızıntı suyu havuzundan yardım alarak biyolojik aktivitelerin devamı sağlanır. Çöp sahasına bu drenaj havuzundan sulama sistemi mantığı ile su basılabilir. Buna ek olarak, çöp sahası boyunca oksijen göçünüde azaltmak gerekir. Sıcaklık koşulları: Tesisimizin modellendiği bölgede kış aylarında sıcaklık asla 0 ° C'nin nadiren düşmektedir. Bu bizim için, gaz toplama ve kullanma sisteminin donmuş koruması için tedbirler alınmasına gerek olup olmaması adına önemlidir. Eğerki don olaylarının oldukça fazla olduğu bir bölgede modelleme yapıyor olsaydık ekstradan yalıtım sistemleri ve yalıtım maliyetlerini yatırım amliyetlerine ilave etmememiz gerekirdi. Ayrıca yaz mevsiminde çok sıcaklar olduğundan gaz soğutma ve boru ısı koruması için önlemlerin alınması gerekir. Bizim tesisimizin bulunduğu bölgenin yıllık sıcaklık değerlerinin oluşturduğu eğri aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.4. Tesisin kurulacağı bölgenin aylık ortalama yüksek ve düşük sıcaklık eğrileri

Türkiyedeki sıcaklık koşulları, Avrupa şartlarına kıyasla daha iyidir. Bu durum, organik parçalanabilir süreç yüzey yakınındaki alanlarda daha hızlı fermante olmasını sağlayacaktır. Bununla birlikte, çöp dolgu gövdesinde biyolojik bozunma sürecini etkileyen daha farklı etkenlerde bulunmaktadır. Bu faktörleri aşağıdaki başlıklar altında inceleyeceğiz.

5.2.2. Kimyasal durum

Katı atıklardan oluşabilecek gaz miktarı atığın içindeki organik madde miktarına bağlıdır. Diğer taraftan, atık stabilizasyonu ve LFG oluşumu; oksijen, hidrojen, pH, alkalinite, nutrientler, inhibitörler, gibi kimyasal değişkenler ile ilişkilidir. Bu faktörlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Oksijen: Anaerobik bakterilerin ayrışma sürecinde ortamda serbest oksijenin bulunmaması gerekli ve zorunlu bir şarttır. Metanojenik bakteriler, O₂'e en duyarlı bakterilerdendir. Oksijen depo sahası yüzeyine her zaman etki eden aerobik bakteriler tarafından tüketirler.

Hidrojen: Hidrojen fermantatif ve asetojenik bakterilerce ortaya çıkar ve üretilen H₂'in basıncı biyokimyasal reaksiyonları etkiler. Fermantasyon bakterileri, hidrojen basıncı düşük olduğunda H₂, CO₂ ve asetik asit üretirken, yüksek H₂ basınçlarında ise H₂ ve CO₂ üretirler. Etanol, butirik asit ve propiyonik asit gibi organik bileşikler H₂ basıncı değeri çok yüksek değilse asetojenik bakteriler tarafından da oluşturulabilir.

pH ve Alkaline: CH₄ bakterileri pH 6-8 aralığında faaliyet gösterirler. Optimum CH₄ oluşumu pH 7,0-7,2 aralığında görülür. pH değerinin 6'nın altına düşmesi metan bakterileri üzerinde toksik etki gösterir. pH değerlerinin nötr olması durumunda atık ayrışma işlemlerinin daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir (Christensen ve Cossu, 1998).

Alkalinite, sistemin anaerob ayrışma için gerekli pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitleri tamponlama kapasitesini gösterir. Düşük alkalinite değerlerinde ortamdaki asitler pH değerinin düşmesine sebep olarak

biyolojik olayları durdurabilirken, yüksek alkalinite değerleri sistemi dzensiz pH değişimlerine karşı korurlar (Speece, 1996).

Sülfat: Hem sülfat bakterileri hem de metan bakterileri asetik asit ve hidrojenin ayrışmasını sağlarlar. Yapılan deneysel ve pilot ölçekli çalışmalar, ortamda sülfat mevcut iken metan üretiminin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir (Polat, 2011: 31).

CH₄ oluşumundaki artış ile sülfat konsantrasyonlarındaki azalma aynı anda meydana gelmektedir. Metan oluşumunun sülfatla ilişkisi, sülfatın metanojenik bakteriler üzerindeki herhangi bir toksin etkisiyle bağdaştırılmamış, sadece substrat rekabetiyle ilişkilendirilmiştir. Metan bakterilerinin az olduğu kültürlerde sülfat, metan oluşumunu etkilemez, ancak eğer ortamda Desulfovibrio gibi sülfat indirgeyen gruplar varsa, sülfatın indirgenmesi çok fazla enerji gerektiren bir reaksiyon olduğundan bir sınırlandırma söz konusudur (Bilgili, 2002).

Nitrojenler: Anaerobik mikroorganizmaların fermantasyonu için gerekli olan mikronütrientlerin tamamı (sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, çinko, bakır, molibden ve selenyum gibi) tüm depo sahalarında mevcuttur. Anaerobik ekosistemlerde substratın sadece küçük bir kısmı yeni hücreler tarafından özümser, bu nedenle aerobik sistemlerden çok daha az miktarlarda azot ve fosfor gereklidir. Genel olarak, evsel ve endüstriyel atıkların birlikte depolandığı bir depo sahasında azot ve fosfor sınırlayıcı değildir, fakat sadece evsel veya endüstriyel atıkların depolandığı sahalarda nutrient miktarının sınırlandırılmasına yol açabilir.

İnhibitörler: Oksijen, hidrojen ve sülfatın metan oluşumu üzerinde bir inhibisyon etkisi oluşturduğu bilinmektedir. Asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin toplam konsantrasyonlarının 6000 mg/L 'nin üzerinde olmaması gerekmektedir. Ayrışma proseslerinin çoğunda CO₂ üretilir. CO₂'in CH₄ oluşumu üzerindeki inhibisyon etkisi deneysel ortamlarda belirlenmiştir (Christensen ve Cossu, 1998).

5.2.3. Parçacık boyutu

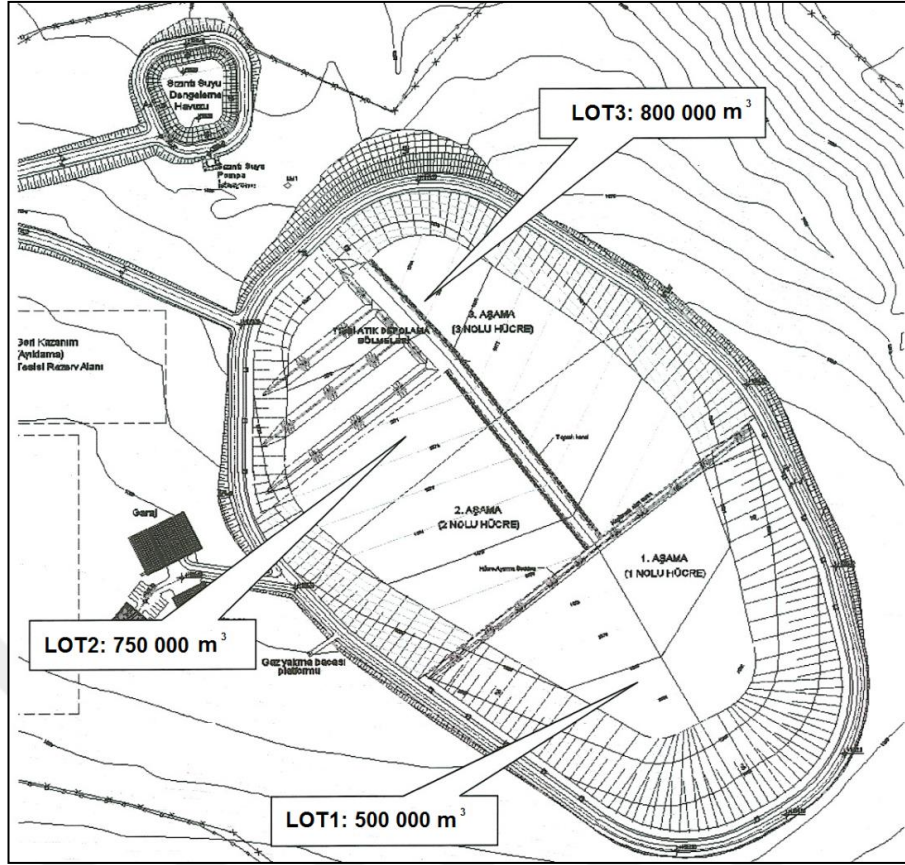
Gaz üretimini etkileyen en önemli faktörlerden biride parçacık boyutudur. Tesisatta pompa ve iletim borularında tıkanmalar olmaması adına parçacıklar ne kadar ufak ise

okadar iyidir. Ayrıca bu parçacıkların çapının küçültülmesi ile mikroorganizmaların organik maddeleri tüketmek için kullandığı yüzey alanı artmaktadır. Senior ve Balba, tarafından yapılan çalışmada partikül çapının 250 mm. den 10 mm. ye düşürülmesi ile gaz üretiminin 4,4 kat arttığı belirtilmiştir (Nastev, 1998).

5.3. Çöp Sahası Yapısı ve Atık Dolgu Süreci

5.3.1. Çöp sahası yapısı

Tesisimizin kurulacağı bölgede eski nesil vahşi depolama yöntemi terk edilerek yeni nesil düzenli depolama sahası kurulması planlanarak hazırlanmıştır. Yerel yönetim vahşi depolama sahalarının çevresel ve iş sağlığı güvenliği açısından olumsuz durumlar oluşturması adına eski sahanın yakınında bir düzenli depolama sahası belirlemiştir. Bu aşamadan sonrası tesisin modellenmesi safasının başlangıç noktasını teşkil eder. Yapılan araştırmalar ve fizibiliteler doğrultusunda planlı ve/veya plansız çevresel atık miktarı göz önünde bulundurularak saha hacmi konusunda ön görüşlerde bulunmak gerekmektedir. Gelecek çevresel atıktaki hızlı bozula bilir organik miktarı oldukça büyük olduğundan bu büyük sahada kontrolün yüksek oranda tutulması adına bölümler oluşturmak gerekecektir. Bu düşünceye bağlı olarak tesviyesi yapılan alanda bir depolama çukuru oluşturulup bu çukurda kendi içinde kısımlara ayrılmıştır. Her bir kısma LOT adı verilerek LOT'lar arasındaki sınır iki eşit parçada kalan bir toprak duvarıdır. LOT 1 alanı temel sızdırmazlık özelliğine sahiptir ve bir PE folyosu ve bir drenaj dilimi ile donatılmıştır. LOT 2 ve LOT 3 alanı yalnızca şekli ile hazırlanmıştır, depolama kısa vadede bu bölgede olmayacağı için ilgili sızdırmazlık veya drenaj dilimleri ile donatılmamıştır. Aşağıdaki genel yerleşim plan resmi, açıklanan durumu göstermektedir LOT 1 alanının yaklaşık hacmi 500 000 m³, LOT 2 750 000 m³, LOT 3 800 000 m³ hacme sahip olacak şekilde planlanmıştır.



Şekil 5.5. Kurulacak prototip tesisin farklı depolama alanlarının planı

Çalışmaların önemli ayaklarından biri olan ileri planlama için LOT kapasiteleri oldukça önemlidir. Geleceği planlama adına çeşitli saha analizleri ve teorik hesaplama yöntemlerine başvuracağız. Bu çalışmalar ile en verimli tesisi nasıl moddeliyeceğimizi hedefliyeceğiz.

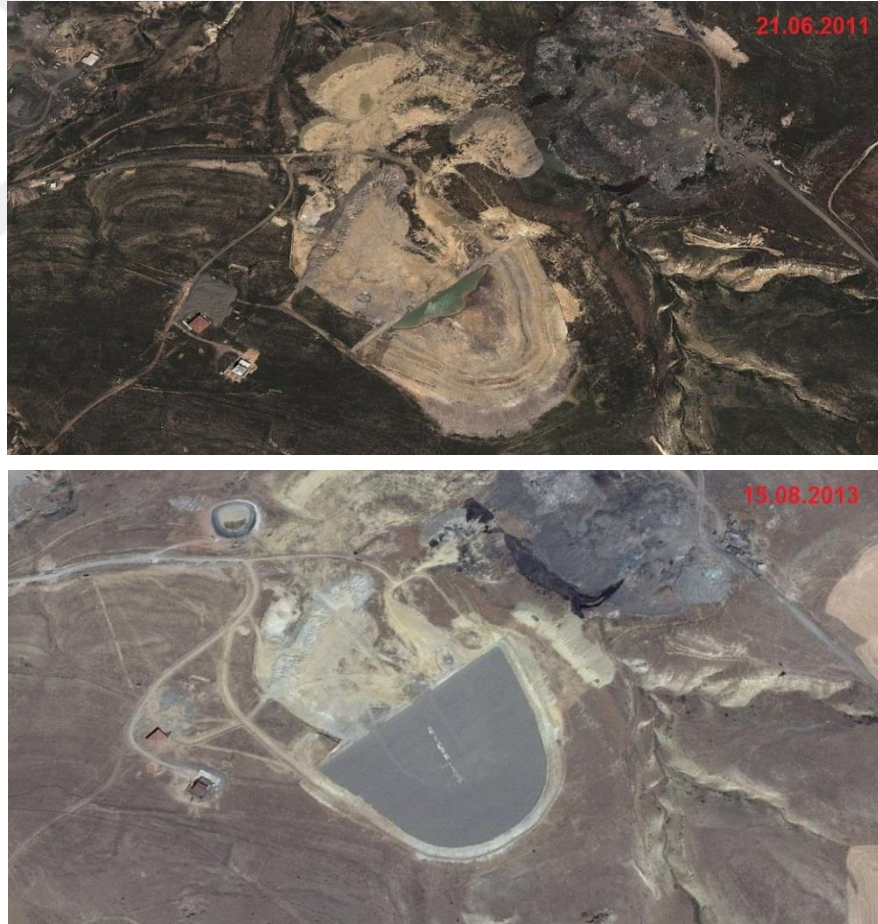


Şekil 5.6. Tesisin kurulacağı depolama sahasının Google Eart görüntüsü ve LOT lar

5.3.2. Atık dolgu süreci

Atık dolgu süreci ve tarihi

Günümüze kadar vahşi depolama sistemiyle sağlıklı koşullarda depolanan atıkların düzenli depolama sistemiyle bertaraf edilmesi fikri için öncelikle çöp sahası sınırları belirlenmesi gerekir. Düzenli depolama sahasına ait ilk GOOGLE resmi 21.06.2011'dan itibaren sunulmaktadır. Bu dönemde yalnızca sahanın sınırları belirlenmiş haldedir. 15.08.2013'ün aşağıdaki resminde çöp sahası alanı hazırlanmıştır. Ayrıcadrenaj sistemi kurularak drenaj havuzunda oluşturulmuştur. Şekil bakımından hazırlanan LOT 2 ve LOT 3 de faaliyet bulunmamaktadır, sadece herhangi bir temel sızdırmazlık sistemi mevcut bir halde gelecekte hizmet vermeyi bekler haldedir.



Şekil 5.7. 21.06.2009 ve 15.08.2013 tarihleri arasında çöp sahasındaki GOOGLE' genel bakış resimleri

Atık dolum sürecini planlarken homojen bir atık birikimi öngörülerek yol haritası çizilmiştir, ancak En taze katı atık, LOT 1 alanının orta bölgesinde toplanarak gaz emilimine başlanılacaktır. Bununla yeni oluşturulan düzenli depolama alanının kuzey doğusunda yer alan vahşi depolama alanından hiçbir şekilde faydalanılmayacaktır. Lotlar planlanırken çöp altı sularının drenajları her bölgeden toplanarak bir drenaj hattı ile drenaj havuzuna ulaştırılması gerekmektedir.

Mevcut ve gelecekte planlanan atık dolgu süreci

Düzenli depolama sahasında atık toplama aşamalarında teknik geziler düzenlenmiştir. LOT 1 üzerinde toplanmaya başlanan atıkların dolgu yönü kuzey istimetindedir. Saha üzerinde mevcut belediye ile anlaşma kapsamında temin edilen iş makineleri çalışma yapmaktadır. Sahadaki kot farklılıklarının giderilmesi bu iş makinelerin birincil görevidir.



Şekil 5.8. Teknik gezilerde fotoğraflanan çöp sahasındaki atık birikimi

Çöp sahamız için en verimli gaz giderme sistemi oluşturmak için atıklarla ilgili düzenli çöp sahası alanlarında homojen bir atık dolum yapısı olması gerekir. Bu sebepten ötürü sahamız daha küçük hacimli LOT lara bölünerek atık dolum süreci ilerletilecektir. Aşağıdaki genel çizimde gösterildiği gibi, orta bölgeden eğim bölgelerine kadar yeterli bir gradyan oluşturulacaktır. Buda, atıkların önümüzdeki

haftalarda ve ayda depolama evresinin güney batı tarafına itilmesi ve depolanması gerektiği sonucunu ortaya koyar. Bununla birlikte, alçak atık doldurulmuş doğu ve batı istikametli yan kısımlarda hafif atıklarla kaplanarak kot yüksekliği artırılması geelmektedir.

Kind Atık depolama sürecinin türü

Depolama alanına atık taşıma özel kamyonlar ve normal damperler tarafından sağlanmaktadır. Bu bölgede atık toplama sürecinin öncesinde önemli bir atık ayırma yapılmamaktadır. Şamızda ise gelen atıkların dağıtımını bir ekskavatör yardımı ile gerçekleştirilir. Böylelikle yeni çökelen atığın yoğunlaşma derecesi çok yüksek değildir. Buna ek olarak, zaten çökelmiş çöp bölgelerinin üst kısmında daha az yük olması nedeniyle, sıkıştırma derecesi gelecekte neredeyse yükselmeyecek. Hesaplamalarda genel olarak, 1 m³ başına yaklaşık 0,9 tonluk bir sıkıştırma derecesi göz önüne alınarak ilerlenmiştir.



Şekil 5.9. Atıkların dağıtımını için atık toplama kamyonları ve ekskavatör

5.5. Çöp Sahası İnşaatı ve Toplanması için Genel Şartlar

5.5.1. Atık toplama süresi ve atık kütlesi

Modelliyeyeğimiz çöp sahası LOT 1'de atık depolamanın başlama zamanı 2013 yılında olmuştur. Yaklaşık 64 ton günlük atık kütlesi ile biriktirilen çöplerden elektrik üretim fikri gündeme gelmiştir. Atık miktarı 2017 yılına kadar günde 100 ton'a kadar yükselmiştir. 2018 yılında biriken atık maddelerinin sayısı kesin olarak bilinmemekte ve yeterli listeler teslim edilmiştir (atık depolama miktarı yaklaşık 2017'da toplam 36.500 ton). Eski atık kütlesi tahminler doğrultusunda belirlenmiştir. Atık birikme süresinin sonu gaz prognoz programının sınır değerinden dolayı 2031 yılı ile belirlenmiştir. Fakat uygulamada daha uzun bir atık birikme süresi mümkün görünmektedir.

Gaz prognozları belirlenirken geçmişteki değerlere bağlı olarak senaryolar belirlenmiştir. Çalışmalarımıza iki senaryo ile devam ederek ilk olarak temel güvenli senaryo değerleri incelenmiştir. Mesela 2013-2016 arasında çöp miktarındaki yıllık artışlar % 10 büyüme civarında olmuştur. Gelecek tahminlerinde ise maksimum büyüme rakamını % 3 civarında tutarak güvenli bir senaryo ışığında çalışmalarımıza devam ettik. Aşağıdaki tabloda, temel güvenli senaryoda çöp gazı prognozu için analiz edilen ve beklenen atık birikim verileri tabloleştirilmiştir.

Tablo 5.1. Modelliyeyeğimiz çöp sahasının temel güvenli senaryoda 2013'den 2031 yıllarına kadar günlük ve yıllık çöp miktarı bilgileri

Yıl	Yıllık Çöp Miktarı (Ton)	Günlük Çöp Miktarı (Ton)	Yıl	Yıllık Çöp Miktarı (Ton)	Günlük Çöp Miktarı (Ton)	Yıl	Yıllık Çöp Miktarı (Ton)	Günlük Çöp Miktarı (Ton)
2011	Oncesinde Ölçüm Yapılmadı		2021	41.975	115	2031	52.925	145
2012	Oncesinde Ölçüm Yapılmadı		2022	43.070	118	2032	0	0
2013	27.010	74	2023	44.165	121	2033	0	0
2014	30.295	83	2024	45.260	124	2034	0	0
2015	33.215	91	2025	46.355	127	2035	0	0
2016	36.500	100	2026	47.450	130	2036	0	0
2017	37.595	103	2027	48.545	133	2037	0	0
2018	38.690	106	2028	49.640	136	2038	0	0
2019	39.785	109	2029	50.735	139	2039	0	0
2020	40.880	112	2030	51.830	142	2040	0	0
Toplam	283.970		Toplam	469.025		Toplam	52.925	
Genel Toplam		805.920						

Temel güvenli senaryoda çöp gazı prognozu için 2031 yılına kadar 805 920 ton atık miktarı ön görülmektedir. Aşağıdaki grafikte yıllık ve günlük çöp miktarlarının sürekli bir şekilde arttığı görülmektedir.



Şekil 5.10. Modelliyebileceğimiz çöp sahasının temel güvenli senaryoda (senaryo-1) çöp miktarlarının yıllara bağlı değişimini gösteren grafiksel bilgi

İkinci bir senaryoda, 2018 yılında günde 106 ton gelen atık miktarı yıl içinde yapılan anlaşmalarla çevre ilçelerinde çöplerinin bizim sahamıza dökülmesi sonucu günlük çöp miktarı 2019 da 206 ton olarak büyük bir artış göstermiştir. Bu anlaşmalar sonucundada 2031 yılına kadar % 0,5 lik ufak artışlarla çöp miktarımız sürekli artış göstermiştir. Bu sebeple bu senaryoya temel hedeflenen senaryo denmektedir. Senaryo 2'de çöp gazı prognozunda atık miktarının yıllara göre değişimi aşağıda tablo halinde sunulmuştur. Bu snaryoda fazla iyimser bir durum altında hesaplamalara devam edilmiştir. Bu durumun gerçekleşmesi için bölgede yer alan diğer yerel yönetimlerle yapılan bürokratik çalışmalar etkili olabilir. Bizim modellediğimiz tesisler gibi günlük atık miktarı düşük olan tesislerde istenen senaryo bu olsada pratikte uygulamak biraz zor olmaktadır.

Tablo 5.2. Modelliyeceğimiz çöp sahasının temel hedeflenen senaryoda (senaryo-2) 2013'den 2031 yıllarına kadar günlük ve yıllık çöp miktarı bilgileri

Yıl	Yıllık Çöp Miktarı (Ton)	Günlük Çöp Miktarı (Ton)	Yıl	Yıllık Çöp Miktarı (Ton)	Günlük Çöp Miktarı (Ton)	Yıl	Yıllık Çöp Miktarı (Ton)	Günlük Çöp Miktarı (Ton)
2011	Öncesinde Ölçüm Yapılmadı		2021	76.285	209	2031	77.380	212
2012			2022	76.650	210	2032	0	0
2013	27.010	74	2023	77.015	211	2033	0	0
2014	30.295	83	2024	77.380	212	2034	0	0
2015	33.215	91	2025	77.380	212	2035	0	0
2016	36.500	100	2026	77.380	212	2036	0	0
2017	37.595	103	2027	77.380	212	2037	0	0
2018	38.690	106	2028	77.380	212	2038	0	0
2019	75.190	206	2029	77.380	212	2039	0	0
2020	75.555	207	2030	77.380	212	2040	0	0
Toplam	354.050		Toplam	771.610		Toplam	77.380	
Genel Toplam		1.203.040						

5.5.2. Atık yapısı ve kalitesi

Çöp sahamıza teslim edilen ve depolanan atık parçalarının çoğu evsel atıklardır. Az miktarda yapı dolgularının bazı parçaları görülse de bunun önlemi cezalı müeyyideler ile belediyeler tarafından alınmaktadır. Atık miktarının ve çeşitliliğinin gelecekte hangi miktar ve bileşenlerde olacağını kestirmek oldukça güç olsada günümüzdeki miktar ve bileşenler bize bu süreçte yol gösterir. Bununla birlikte, çöp sahasındaki atık miktarının kaynağı insandır. Günümüzdekültür, inaç ve doğa turizmi ile dönemsel artannüfuslarsayesinde sahamıza gelecek çöp miktarında da artacaktır. Toplanan atık parçalarının incelenmesi sonucu yüksek kalitede atık mevcuttur. Ev çöpü bu sahanın büyük bir bölümünü kaplar.Yerleşim yerlerinde ısınma tipi olarak doğalgaz kullanıldığından kül ve yanmış ürün parçaları oldukça azdır. Fakat yer yer plastik malzeme, metal parçaların yanı sıra bazı kağıt ve karton parçaları da gözlemlenmektedir. Bu karışımın içerisinde yer alan her materyal bizim elde edeceğimiz depo gazının kalitesi üzerinde fazlaca etkilidir. Organik atıkların bol olduğu bir karışım şüphesiz en ideal ortamı sağlar.



Şekil 5.11. Çöp sahasında atık bileşimini gösteren genel fotoğraflar

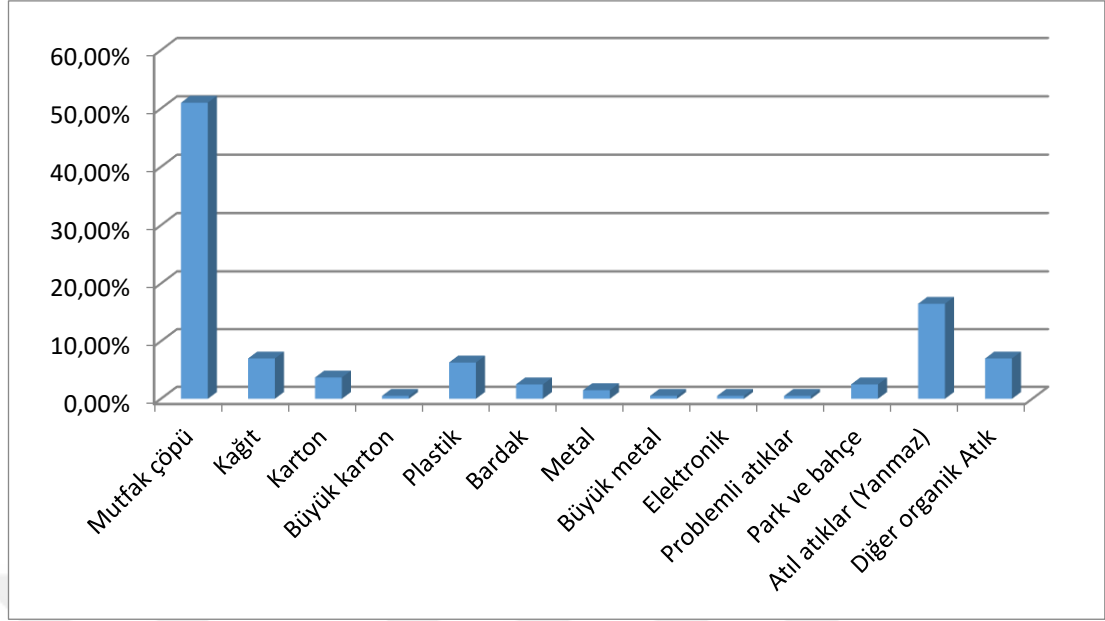
Çöp sahasındaki atıklar değişik inceleme yöntemleri ve numuneler üzerinden karışım yüzdeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken çevredeki diğer il ve

ilçelerin analiz durumlarında incelenerek bölgesel farklılıkların olup olmadığı üzerinde durulmuştur.

Tablo 5.3. Türkiye koşullarında örnek bir atık ayrıştırma analiz sonuçları

Türkiye Koşullarında Bir Çöp Sahasında Yapılan Analiz Çalışmaları							
	Atık Tipi	İçeriği	Yüzdesel Oran	Biyolojik Ayrıştırma	Ambalaj	Geri Kazanım	Diğer
1	Mutfak çöpi	Gıda atığı, yemek, meyve, sebze	51,00%	100			
2	Kağıt	Gazeteler, magazinler, kitaplar	7,00%	100	33	100	
3	Karton	Kutular: süt, meyve, su vs.	3,70%	100	95	100	
4	Büyük karton	Kutular	0,50%	100	95	100	
5	Plastik	Tüm plastikler	6,30%		33	100	
6	Bardak	Bardak, şişeler	2,50%		95	100	
7	Metal	Konserveler, tenekeler	1,50%		30	100	
8	Büyük metal	Dolaplar, hediye eşyaları vs.	0,50%		5	100	
9	Elektronik	Telefonlar, radyolar vs.	0,50%				100
10	Problemlili atıklar	Bateriler, boyalar, deterjanlar, ilaçlar	0,50%				100
11	Park ve bahçe	Dallar, yeşil alan kesimi	2,50%	100			
12	Atıl atıklar (Yanmaz)	Porselen, kum, hafriyatlar dahil	16,50%				100
13	Diğer organik Atık	Çantalar, ayakkabılar, tekstil, peçeteler, mobilya	7,00%	100			
	Total		100,00%				

Örnek analiz bize çöp sahası kuracağımız çöpün yapısı hakkındaki ipuçları vermektedir. Ayrıcadaha hasas veriler üzerinden bir senaryo çizilecekse eğer atık parçalarının bileşimi daha hassas bir şekilde kendi yerinde incelenmelidir. Yapılan atık ayırma analizleri bizlere daha doğru değerler verecektir.



Şekil 5.12. Türk atık parçalarının ortalama genel bileşimi

Çöp sahamızda bulunan atıkların kompozisyon oranları yanı sıra bu atıkların kütleleri ve parçalı kütlelerin ihtiva ettiği TOC (BTOC) oranında çöp prognozunda önemli bir etkindir. Aşağıdaki tablo Türkiyede uzun yıllar boyunca yapılan incelemeler sonucu oluşmuş genel verileri temsil eder. Bizim sahamızda uygulayabileceğimiz yol gösterici bu değerler toplam metan miktarını hesaplamamızda bizlere yardımcı olacaktır. Bu hesaplamalar yapılırken 5.4 numaralı tabloda yer alan biyolojik parçalanma gösteren kalemler üzerinden gidilecektir. Diğer maddelerin sağladığı gaz miktarı ve kayıplar ihmal edilerek değerler oluşturulacaktır.

Tablo 5.4. Farklı bölgelerdeki atık ayırma analizlerinin sonucu

Atık Kompozisyonu	Yüzde	İyi Durum	Kötü Durum
Organik kısım (Hızlı ayrışanlar)	%	53,00%	50,3%
Selülozik kısım (Yavaş ayrışanlar)	%	18,00%	16,20%

Sahamızda mevcut durumlar için net bir şey belli olmadığı için bizler BTOC miktarını hesaplariken yukarıdaki tabloda yer alan değerlerin ortalaması alınarak hesaplamalarımıza devam edeceğiz. Yani, karışık atık parçalarının organik içeriği ortalama bir değer olarak tahmin edilecektir. En önemli hususlardan biriside, organik zengin atık parçası iki farklı parçalanabilir organik içerir. Özellikle atık çok suya doymuşsa ve nakliye atık kompresörlü kamyonlarla meydana gelirse, bazı

maddeler çözelti haline getirilir ve biyolojik olarak bozunabilir süreç değiştirilir. Bir parça, çok kısa bir yarılanma zamanı olan maddeleri içerir bunlar organik atıklardır.(çabuk bozunabilir). Diğer parçalar uzun süreli bozunabilir işlem için kullanılabilir bunlarsa genelde selülozik parçalardır.(normal parçalar). Her iki fraksiyonun BTOC oranları dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplamalarımıza dahil edilmiştir. Aşağıdaki tablo ile BTOC miktarı için hızlı bozulabilir ve selülozik esaslı parçalar için genel bir bakış sunmaktadır

Tablo 5.5. Farklı türde atıklar ile edile edilen BTOC miktarı tablosu

Tahmin edilen biyolojik olarak parçalanabilir TOC (BTOC)		
BTOC (toplam)	29,12	[%]
BTOC (toplam)	299,9	kg/ton
BTOC (Selülozik parçalar)	3,45	[%]
BTOC (Selülozik parçalar)	35,5	kg/ton
BTOC (Organik parçalar)	25,67	[%]
BTOC (Organik parçalar)	264,4	kg/ton

Yapılan teorik hesaplamalar sonucu toplam biyolojik olarak parçalanabilir BTOC değeri, atık çöp tonu başına 299,9kg (% 29,12) ile tespit edilmiştir. Bununla birlikte, organik atık diye sınıflandırdığımız atık parçalarının çok kısa yarı süreleri vardır. Sahaya gelen atıkların atık bölgeleri hemen gazın alınması işlemine dahil edilerek depo gazının çekilmesi gerekir. Bu gazdan arındırma sisteminin derhal uygulanması ve sahanın durumuna göre sürekli olarak genişletilmesi gerekir.

Sahamızdaki atık yapısına baktığımızda organik hızlı bozulabilen parçacıklarlada hesap yapmamız mümkündür. Eğer bu şekilde bir yol izlersek BTOC miktarımız 264,4 kg veya % 25,67 olur. Bununla birlikte deşarj sisteminin kesintisiz ve uyarlanmış bir uzantısı göz önüne alındığı zaman 35kg lik bir ek değer hesaplarımıza dâhil olur.

5.5.3. Sızıntı suyu durumu

Çöp sahası ile öncelikle bir havza oluşturulur. Daha sonra drenaj sistemi ile donatılan sahadan emilen çöp suları saha kotundan daha düşük kotta bir yerde havuz halinde toplanır. Toplanan bu suların yer altı sularına karışmaması çevresel faktörler açısından oldukça önemlidir.



Şekil 5.13. Çöp sahasının güneyine modellenen sızıntı suyu havuzu

Sahamıza gözlenen iklimsel koşullar ile daha öncedende bahsettiğimiz gibi fermantasyon açısından yağış miktarı ve buna bağlı su miktarı oldukça yeterlidir. Yaz aylarının kurak dönemlerinde ise havuzdaki suyu bir pompa yardımıyla tekrardan sahaya basarak gerekli su miktarı optimum değerlere ulaştırılabilir. Bu çözüm ile gaz toplama sisteminde bir olumsuz senaryo ön görülmemektedir (Seyfert ve Elfruth, 2017).

5.5.4. Yangın ve diğer olaylar

Modelliyeceğimiz çöp sahası sayesinde yangın ve patlama olaylarında önlenmiş olacaktır. Vahşi depolama alanlarında geçmişte defalarca yangın olayları görülmüştür. Gaz emiş sistemi ile donatılmayan çöp sahalarında depo gazı sıkışmalarıyla oluşan patlamalar ve yangınlar oldukça tehlikelidir. Modelliyeceğimiz yeni saha ile önceden biriken atıkların taşınma işlemi yapılmayacağından geçmişte oluşan yangınlarında bizim gaz potansiyelini hesaplamamız açısından bir değeri bulunmamaktadır.

5.5.5. Gaz toplama derecesi

Düzeltilme faktörlerinden biri olarak değerlendirilmeyen gaz toplama derecesi, aslında birçok zor tahmin edilebilir faktörlere bağlı olarak sürekli değişken bir şekilde yerel ve zamansal koşullara göre değişir. Bunlar belirlenirken daha çok önceki uygulamalardan elde edilen tecrübeler ve teknik bilgilere ihtiyaç duyulur. Gaz toplama derecesini belirlerken bizlere yol gösterecek bazı değişkenler aşağıda listelenmiştir

- Gaz toplama sisteminin mevcut durumu yaşı,
- Gaz toplama sisteminin işletilme durumu ve bakım çalışmaları,
- Depolama sahasında bulunan atıkların durumu ve bileşenleri,
- Kapama işlemleri, toprak yapısı ve dolguların durumu,
- Atıkların yapısal ve fiziksel özellikleri

Yukarıda yazılanların dışında bazen özel durumlarda oluşabilir mesela gaz toplama sisteminin kademeli olarak uzatılmasıyla miktarın artırılabilmesi düşünülmelidir. Çöp sahası ilerleyen zamanlarda atıkla dolarsa, gazın alınması için derhal gazın giderilmesi sistemi genişletilmelidir. Bu sebepten ötürüde gaz toplama eğrisi gerçek değerleri yansıtmayarak bu değeri kademeli olarak artacaktır. Çöp depolama sahamızda gaz toplama derecesinin artırılmasına yardımcı olan bazı yerel faktörlerin oluşabileceği gibi bazende gaz toplamaya engel olacak faktörler oluşabilir. Bizim modelleneceğimiz sahada karşımıza çıkan olumlu faktörler, çöp toplama sahamız güzel bir eğimle yamaçlandırılmış bir çukur halinde hazırlanmıştır. Bir güzel yanında yerleşim yerlerinden gelen atıklar ayrıştırılmadan buraya dökülerek yabancı maddelerin ayrıştırılması direk bu sahada yapılmaktadır. Fakat gaz toplama işlemi için bu faktörleri değerlendirirken en önemli aşamada bu mevcut gazın çekilmesi işlemidir. Gaz emiş sistemi tasarlanırken emiş için 5m mesafeyi aşılmasına dikkat edilerek saha modellenmelidir. Bu sebeple bacalar ile gaz emişi yerine daha özel olarak tasarlanmış bir gaz giderme sistemi uygulanmalıdır. Bu tarz bir modellemeyle dizayn edilen bir sahadan çok daha yüksek bir gaz toplama derecesi (%75) elde etmek mümkündür. Bu sistemi oluşturma adına gerekli tesbitlere ve mühendislik hesaplarına ihtiyaç duyulacaktır .

5.6. Çöp Gazı Prognozu

5.6.1. Atık dolgu miktarının tahmini

Gaz oluşum sürecine etki eden faktörleri daha önceki başlıklarda açıklamıştık. Bunun yanı sıra sahada bulunan mevcut atık kütlesi ve dolum konseptinin bileşimi ne odaklanarak çalışmalara devam edilmiştir. Bu faktörlerde gaz oluşumu için oldukça önemli etmenlerdendir (Seyfert ve Elfruth, 2017).

5.6.2. Tahmin programı teknik parametrelerinin belirlenmesi

Karbon faktörü - fa

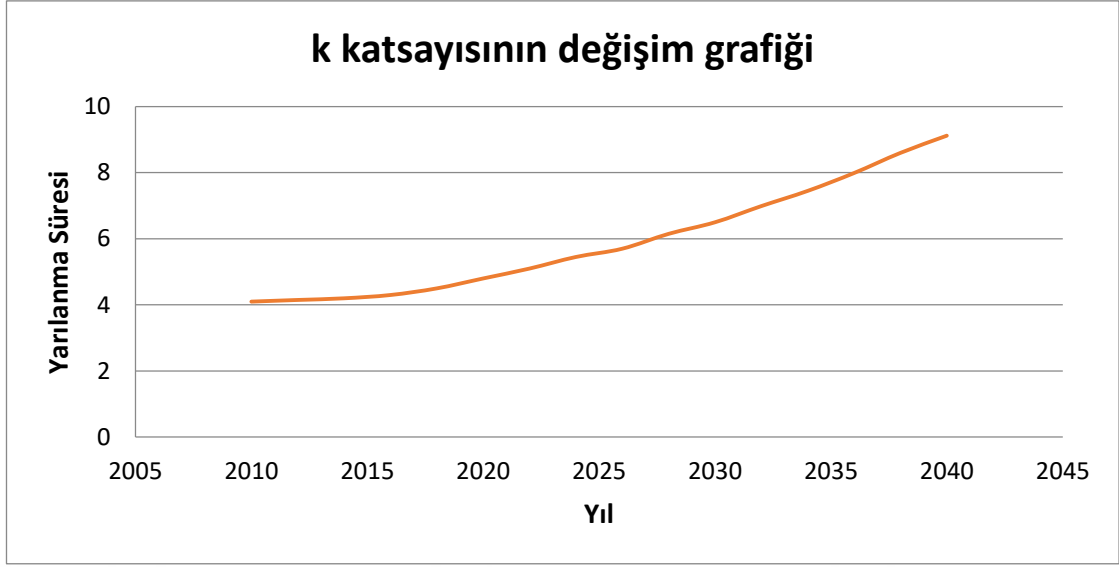
Bu faktörde esas anlatılmak istenen çöp sahasında depo gazı bileşiminde en büyük oran ile yer alan metan gazının kaynağıdır. Bu miktarda belirleyen organik atıklardır. Depolama sahasında herhangi ates bulunmamaktadır. Fakat bu yangın riskinin hiç olmadığı anlamına gelmez. Dolayısıyla bu faktör 0,8 ile belirlenecektir (Seyfert ve Elfruth, 2017).

Parçalanma optimizasyon faktörü – fo

Bu faktör ile sahada bulunan atıkların küçük parçalara ayrılması kastedilmektedir. Daha önceki başlıklarlada değinildiği gibi gerek fiziksel gerek kimyasal faktörler bakımından modelliyeceğimiz sahada herhangi bir olumsuzluk ile karşılaşılacaktır. Bu tarz durumlarda parçalanma faktörünün optimum değeri olan 0,7 değeri alınır (Seyfert ve Elfruth, 2017).

Yarılanma süresi – k (bozunma sabit faktörü)

Sahamızdaki atıklar için 4,5 yıl yarılanma ömrü ön görülmüştür. Bu süre Avrupadaki tesislere göre oldukça düşüktür. Yarılanma süresi k kat sayısı ile adlandırılır. K-değeri sabit bir değer değildir, aşağıdaki grafikte görüldüğü gibi parabolik bir eğri oluşturur (Seyfert ve Elfruth, 2017).



Şekil 5.14. Yarılanma süresinin yıllara göre değişimi

Başlama zamanı faktörü— fao

Aerobik biyolojik bozulmanın süresinin uzun sürdüğü koşullar ve geniş biriktirme alanları gibi faktörler başlama zaman faktörünü olumsuz etkileyen etmenlerdir. Sahamızda bu tarz olumsuzluklar minimum seviyede tutularak anarebik safhaya hızlı geçiş sağlanmaktadır. Bu sebepten ötürü bu faktör 0,85'lik bir seviyede değerlendirilecektir.

BTOC — toplam organik içerik

Modellenen sahamızda BTOC miktarı önceki başlıklarda hesaplanmıştır. Gaz tahmini için, hesaplama sırasında 299,9 kg / ton TOC değeri (264,4 + 35,5) öngörülmüştür.

Seçilen çöp gazı tahmin parametrelerine ve olası aralıkların göstergesine veya değerlerin varyasyonlarına genel bakış:

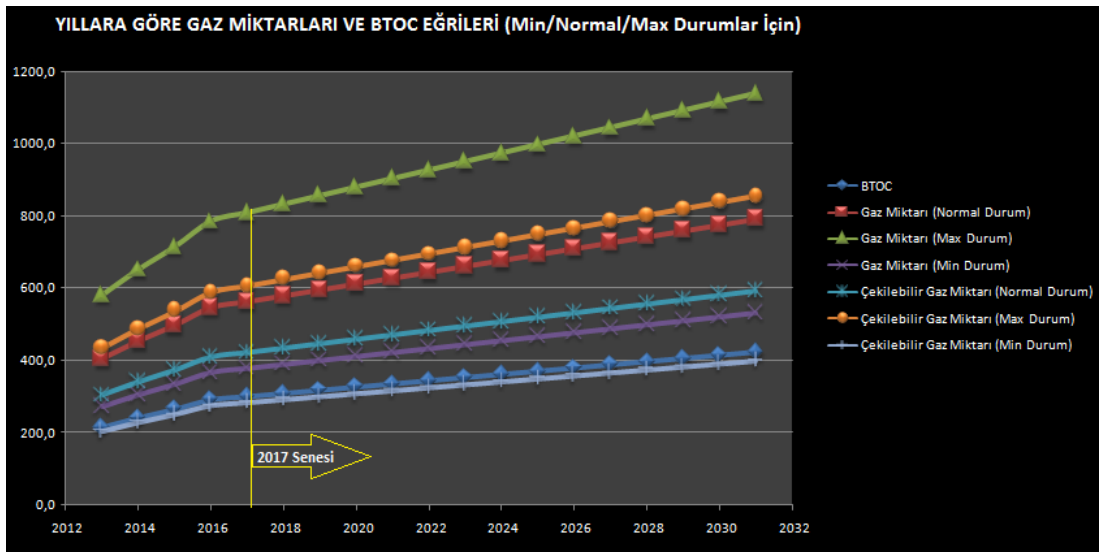
Yukarda bahsettiğimiz parametrelerle esas amaç gaz oluşumu için önemli başlıkları irdelemektir. Aşağıdaki tabloda seçilen orta ve maksimum ve minimum dağılımlar gösterilmektedir. Minimum ve maksimum değerleri belirlerken mühendislik hesaplarının çoğunda faydalandığımız %5-10'luk artış ve azalışlar ile değerlendirilmiştir.

Tablo 5.6. Değerlendirilen gaz prognoz parametresi ile dağılım aralıkları

Faktör	Tanım	Öngörülen Değer	Max Değer	Min Değer	Açıklama
BTOC	Toplam organik içerik (ayırışabilir)	299,9	314,89	284,9	Organik maddeyi hesaba katar (çabuk bozunan fraksiyonlar çıkarılır ve ayrı olarak hesaplanır)
fa	Ayrışma faktörü	0,7	0,77	0,63	Hiçbir (daha az) yangın veya ek organik kayıplar dikkate alınır
fo	Ayrışma optimizasyon faktörü	0,7	0,73	0,67	Yeterli veya sadece hafif azaltılmış su durumunu, ayrıca düzenli dolum gövdesinde normal bir sıcaklık Seviyesini yansıtmaktadır.
k	Yarılanma süresi faktörü	4,5	4,1	4,9	Özel şartlar nedeniyle Türk şartları irdelenerek belirlendi.
fao	Başlangıç zamanı faktörü	0,85	0,89	0,81	Orta olarak kabul edilen oksidasyon ile organik parça ayrıştırıldı.

5.6.3. Temel senaryoda çöp gazı prognozu sonuçları

Belirlenen BTOC değerlerine bağlı, organik içerik ve yukarıda belirtilen şartlara göre, ilerleyen süreçlerde sahada oluşması muhtemel depo gazı tahmini gerçekleştirilmiştir. Farklı birikim senaryolarına bağlı olarak maksimal, orta ve minimal gaz üretim eğrileri türetilmiştir. Bu oluşan eğrilerin hepsinin bir grafiğe dökülmüş hali aşağıda görülmektedir



Şekil 5.15. Gaz Miktarı ve BTOC miktarının yıllara göre değişim eğrileri

Grafiğe bakıldığında yeşil eğri, LFG tesisi inşası için etkili faktörlerin fazlasıyla olumlu olduğu durumundakigaz oluşum eğrisini işaret ediyor. Kırmızı eğri, tam ters durum yani gaz üretiminin kötü koşullarındaki oluşumu tanımlar. Mavi eğri ise bizlere bu hesabın yapılmasında en önemli ekiye sahip olan BTOC miktarı eğrisini sunar. Tabiki sahadan fermentasyon sonucu oluşan tüm gazların çekilmesi uygulamada pek mümkün değildir. Buna bağlı olarak turkuaz, mor ve lila renklieğriler, varsayılan gaz toplama derecesi dikkate alınarak ilgili hatlardır. Bu eğriler sahadan elde edilecek gaz miktarı eğrilerinin altında kalır. Çünkü burada gaz emiş katsayısı devreye girer. Grafikte sunulan eğriler, her yıl saatlik olarak üretilen ve toplanabilir gaz miktarlarını göstermektedir. Maksimum gaz üretimi, atık sektöründeki son atık girdisi yapılan son sene olan 2031 de ortaya çıkar. Sonuç olarak, gaz oluşum eğrilerinde parabolik bir eğri oluşur ve sürekli artan bir eğilim gösterir (Seyfert ve Elfruth, 2017).

Tablo 5.7. Değerlendirilen gaz prognoz sonucu oluşan gaz miktarlarının farklı senaryolarda değerlendirilmesi

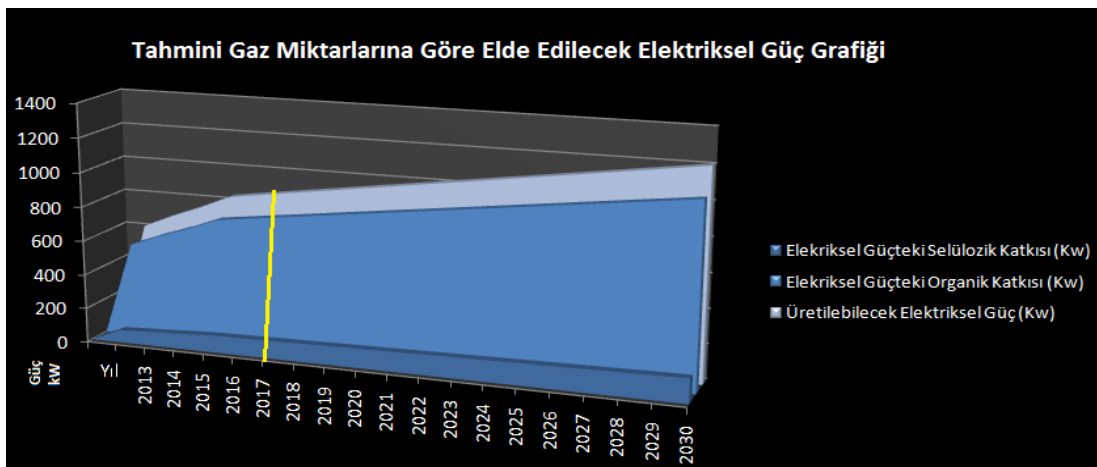
Yıl	Yıllık Çöp Miktarı (Ton)	Günlük Çöp Miktarı (Ton)	BTOC	Gaz Miktarı (Normal Durum)	Gaz Miktarı (Max Durum)	Gaz Miktarı (Min Durum)	Çekilebilir Gaz Miktarı (Normal Durum)	Çekilebilir Gaz Miktarı (Max Durum)	Çekilebilir Gaz Miktarı (Min Durum)
2013	27010	74	215,5	403,8	581	271,8	302,9	435,7	203,9
2014	30295	83	241,7	452,9	651,6	304,9	339,7	488,7	228,7
2015	33215	91	265	496,6	714,5	334,3	372,5	535,8	250,7
2016	36500	100	291,2	545,7	785,1	367,3	409,3	588,8	275,5
2017	37595	103	299,9	562,1	808,7	378,4	421,6	606,5	283,8
2018	38690	106	308,6	578,5	832,2	389,4	433,8	624,2	292
2019	39785	109	317,4	594,8	855,8	400,4	446,1	641,8	300,3
2020	40880	112	326,1	611,2	879,3	411,4	458,4	659,5	308,6
2021	41975	115	334,8	627,6	902,9	422,4	470,7	677,2	316,8
2022	43070	118	343,6	643,9	926,4	433,5	483	694,8	325,1
2023	44165	121	352,3	660,3	950	444,5	495,2	712,5	333,4
2024	45260	124	361	676,7	973,5	455,5	507,5	730,2	341,6
2025	46355	127	369,8	693,1	997,1	466,5	519,8	747,8	349,9
2026	47450	130	378,5	709,4	1020,6	477,5	532,1	765,5	358,2
2027	48545	133	387,2	725,8	1044,2	488,6	544,4	783,1	366,4
2028	49640	136	396	742,2	1067,8	499,6	556,6	800,8	374,7
2029	50735	139	404,7	758,5	1091,3	510,6	568,9	818,5	382,9
2030	51830	142	413,5	774,9	1114,9	521,6	581,2	836,1	391,2
2031	52925	145	422,2	791,3	1138,4	532,6	593,5	853,8	399,5

Yukarıdaki tabloda hesaplama sonuçlarına bakacak olursak modelliyeceğimiz çöp sahasının 2017 yılı boyunca 808,7 m³ / h ile 378,4 m³ / h aralığında bir gaz

üretebileceği tahmin edilmektedir. Bu süre sonunda, 2032 yılına kadar 2029 yılında atık biriktirme sona erdikten sonra gaz üretimi 1138,4 m³ / h ila 532,6 m³ / h aralığına kadar yükselecektir.

Bu teorik hesaplamalar yapılırken birde mevcut sahada oluşan kayıplar ve gaz emiş sisteminin oluşan LFG yi çekebilmesi için % 75'lik bir gaz toplama derecesini dikkate almamız gerekmektedir. 2017 yılında 606,5 m³ / saat ile 283,8 m³ / sa arasında bir gaz miktarı tahmin edilebilmektedir. Orta prognoz eğrisinde, 421,6 m³ / h'lik bir gaz oluşturma potansiyeli 2017 yılı için ön görülmektedir. Normal durum gaz oluşumunda 2017 yılı boyunca yaklaşık 371,69 m³ / saat'lik miktar yakalanabilir. Bu durumda, toplanabilir çöp gazı miktarı toplam 230 m³ / saate kadar hızlı bozulabilen organik parçacıklardan sağlanmaktadır. Uzun sürede bozulan kısımlardan ise 49,9 m³ / saate varan gaz oluşumu sağlanmaktadır. Turkuaz eğri, daha sonraki yansımalarda basitleştirmek için kullanılan ortalama bir üretim oranını normal durumu göstermektedir. Tabiki bu değerler teorik hesaplamalar sonucu ortaya çıkan değerlerdir. Uygulamada farklı sonuçların gözlenebilmesi muhtemel senaryo dâhilindedir.

Sahamızda elde edilecek gaz miktarı göz önüne alındığında, aşağıdaki elektrik gücü eğrisi türetilir. Bu hesaplamalar yapılırken bazı kabuller ve sabit değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Isıl değeri 5000-5600 kcal/m³ olarak alınmıştır. Ayrıca yeni nesil gaz motorlarının elektrksel verimleri %40 civarına çıkmış olsada bizim hesaplama metodumuzda elektrksel verim %35 lerde tutularak elektrksel güç hesaplanmıştır.



Şekil 5.16. Değerlendirilen gaz prognoz sonucunda elde edilecek elektriksel güç eğrisi

Grafik analizi yapıldığında, selülozik maddelerin sağladığı ilave güç miktarının yaklaşık 101,4 kW (el) olduğunu görülmektedir.2017 yılı sonunda 858kW (el) kadar bir güç potansiyeli oluşmaktadır. 2018'de 883 kW'ya ulaşacak bir kapasite öngörülmektedir. 2031'de yaklaşık 1207 kW (el) maksimum güç miktarına ulaşılması tahmin edilmektedir Tabiki bu değerler için % \pm 10'luk bir emniyet katsayısı göz önüne alınmalıdır çünkü kısa raporlama periyodu ve teorik hesaplama yöntemleri bu durumu gerektirir.

Yapılan teorik hesaplama yöntemleri ile yaklaşık 800 kW (el) elektrik gücüne sahip olan bir gaz motoru ile kurulabilecek biyogaz tesisi, normal durum senaryoları gaz oluşturma oranı dikkate alındığında uygulanabilir haldedir. Eğer çevredeki yerleşim birimlerinde atıklarının mevcut sahaya dökülmesi adına anlaşmalar yapılırsa bu güç dahada artabilir. Bu durum oluşmasa dahi ilerleyen süreçlerde gaz miktarının artışı ile 800 kW lık gaz motorumuzun yanına ikinci bir gaz motorunu kurmamız olağan süreçte ön görülmektedir.

Yıllık elektrik üretim miktarının belirlenmesi:

Günümüzde biyogaz tesislerinde kullanılan gaz motorlarının verimliliği yaklaşık% 40'dır. Fakat bu değer çoğu kez labaratuvar koşullarında ve özel durumlar (deniz seviyesi gibi) gerektiren hallerde sağlanır. Özellikle çöp tesislerinde bu verimi etkileyen uygulamada bir çok etmen bulunmaktadır.Bu sebepten ötürü bizler bu verim değerini yaklaşık % 35 ler civarında ön görmekteyiz.Bu, mevcut güç prognozunda düşünülmüştür. Modern biyogaz tesislerinin ortalama kullanılabilirliği genellikle yılda 8000 saattir. Buda yıllık kullanımın% 90'dan fazla aktif şekilde çalışması demektir. Günümüzde bazı modern tesislerde, artırılmış depolama gazı gazının kesintisiz bir şekilde verilmesi garanti edilirse, 8.400 çalışma saatinden daha uzun sürebilir. Bu süre doğalgaz ile çalışan gaz motorlarının çalışma süresine denktir ve oldukça güzel bir değerdir. Bizim sahamız için mevcut prognozda 8000 saatlik bir değer ön görülmüştür.

Santral kurulum masraflarının kabaca hesaplanması:

Yapılan bu çalışma yaklaşık maliyet çalışması olup ne rakamları yansıtmamaktadır. 800 kW'lık bir gaz motoru ve yardımcı ekipmanları inşaat ve yapı işleri çöp

sahasından gazın çekilerek temizlenmesi ve üretilen elektriğin şebekeye basılması için gerekli tüm masraflar göz önünde bulundurulmuştur. Eğer biraz daha mücadele gerekiyorsa (örneğin, yüksek standartta yürütme veya zor koşullar) maliyetler önemli ölçüde artabilir. Sistem tek motorlu kojenerasyon sistemi olarak geliştirilmiştir. Tabiki buna ek olarak, takip eden yıllarda, tesisin büyütülerek ikinci bir gaz motorunun tesise eklenmesi gerekebilir. Bu tarz bir tasarımı ilk başta 400 kW lık iki motor ile dizayn yaparak servis ve bakım dönemlerinde gazı maksimum verimde kullanabilirdik. Fakat bu tasarımda maliyette bizle için önemli olduğundan en optimum çözümlerle sahamızı modelledik. Yapılan çalışmalar teorik hesaplara dayalı olduğu için proje uygulama aşamasında farklılıklar göstermesi ise muhtemeldir. Aşağıdaki yaklaşık maliyetler TL cinsinden hesaplanmıştır.(Bu maliyette yer alan Nisan 2018 tarihli döviz kuruna bağlı hesaplanmıştır.)

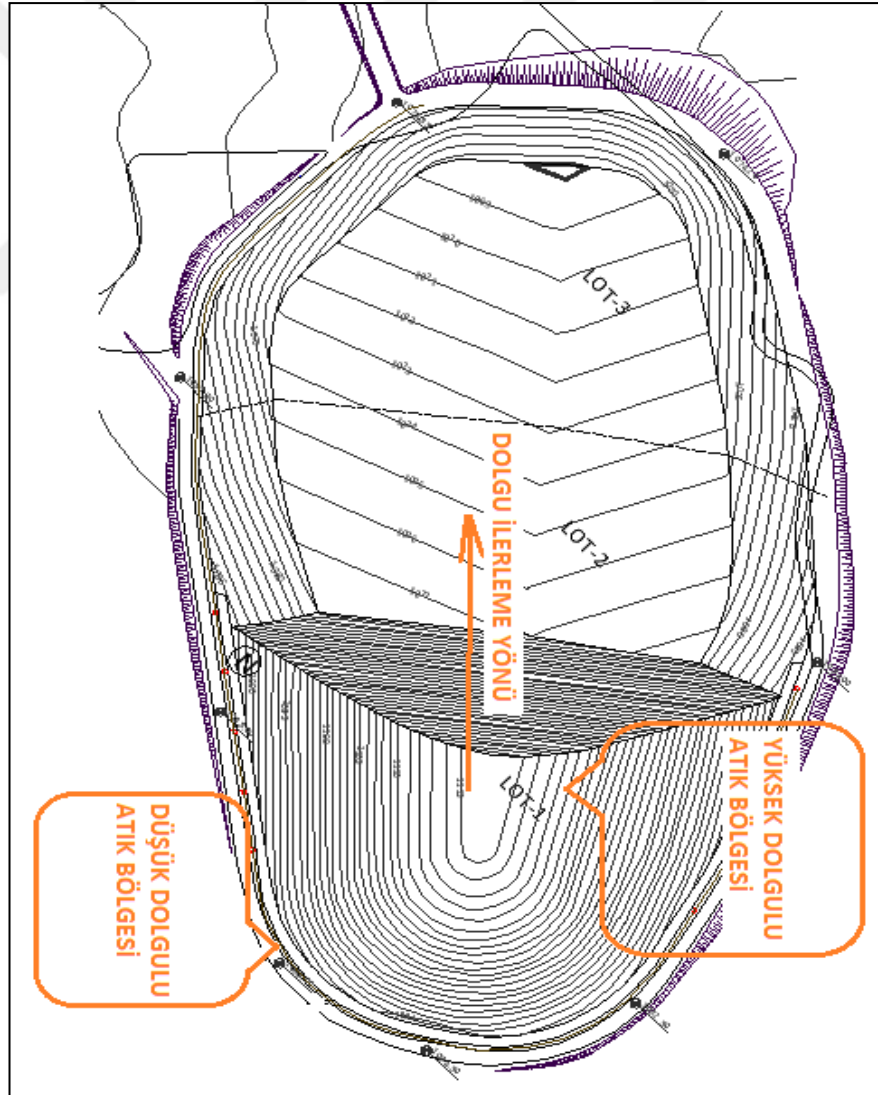
Tablo 5.8. Tesis kurulum maliyetleri hakkında genel bakış

MODELLEDİĞİMİZ BİYOGAZ TESİSİ MALİYET KALEMLERİ							
1	Genel. Poz.1	Fizibilite-Planlama-Projelendirme	Ad	1,000	250.000,00	250.000,00	İnceleme Araştırma Bakanlık Proje Onay süreci
2	İnşaat. Poz.1	İnşaat Yapım İşleri	Ad	1,000	500.000,00	500.000,00	Biyogaz Tesisi binası, Nizamiye Binaları..vs.
3	Mekanik. Poz.1	Yatay Borulama Sistemi Yapılması İşİ	m	2183,0	287,98	628.680,00	Lot.1 Üzerinde yapılacak borulama işlemi
4	Mekanik. Poz.2	Ana Borulama Sistemi Yapılması İşİ	m	556,00	270,00	150.120,00	Lot.1 Üzerinde yapılacak borulama işlemi
5	Mekanik. Poz.3	Emme Sistemi BorulamasıYapılması İşİ	m	2025,00	112,00	226.800,00	Lot.1 Üzerinde yapılacak borulama işlemi
6	Mekanik. Poz.4	Gaz Toplama Merkezleri Yapılması İşİ	Ad	2,000	28.000,00	56.000,00	Lot.1 Üzerinde yapılacak Gas Stationlar kurulumu
7	Mekanik. Poz.5	Gaz Temizleme İyileştirme Ekipmanları Temini İşİ	Ad	1,000	125.000,00	125.000,00	Biyogaz Tesisi Girişinden önce yer alan booster chiller flair..vs.
8	Mekanik. Poz.6	Gaz Motoru ve Yardımcı Ekipmanların Temini İşİ	Ad	1,000	2.500.000,0	2.500.000,0	Gaz Motoru,Soğutucular , Baca-Susturucu, Mekanik Tesisat
9	Elektrik. Poz.1	Elektriksel Ekipmanlar ve Şebekeyle İlişkilendirme İşİ	Ad	1,000	1.000.000,0	1.000.000,0	Trafo,Hücre,Kablo, varsa ENH,Topraklama, Paratoner, Korumalar
10	Genel. Poz.2	Ön Görülemeyen Maliyetler	Ad	1,000	200.000,00	200.000,00	Tesisin kurulumundan ön görülemeyen işler için bütçe
• Birim fiyatlar Nisan 2018 tarihlidir.				TOPLAM (TL):		5636600,00	

5.7. Gazdan Emiş Sistemi Uygulaması

5.7.1. Gazdan emiş sistem alanı seçimi ve gazdan arındırma sistemi

Çöp sahamızın her bölümüne uygulanabilecek yüksek dereceli bir gaz toplama sistemine ihtiyacımız bulunmaktadır. Aşağıdaki kot çalışmalarına bakacak olursak bazı bölgelerde tepelenmeler oluşmuş haldedir. Bununla birlikte, daha yaşlı ve daha genç atık depozisyon bölgeleri bulunmaktadır. Sahamızda yatay bir toplama sistemi düşünülmektedir. Gazdan arındırma sistemi uygulanması, yeni dolum alanındadaha programlı ilerliyecektir. Sağ yan alan ve LOT.1 dış çevresi gelecekte tekrar atıklarla kaplanacaktır. Dolayısıyla, gaz çıkarma sistemi mevcut depolama alanının bu kısmı için tasarlanacaktır.



Şekil 5.17. Çöp sahasında atık depolama bölgelerinin genel görünüşü

5.7.2. Gazdan emiş sistemi uygulaması için hazırlıklar

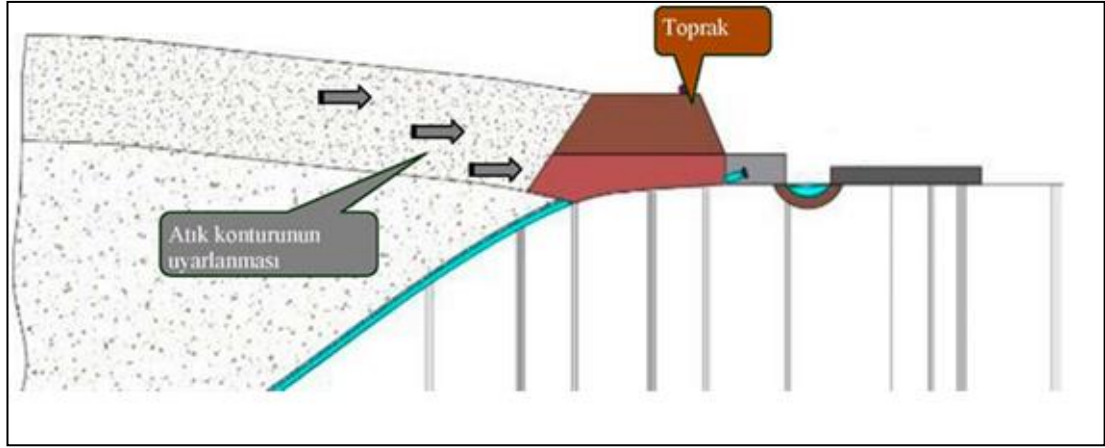
Atık dolgu standı

Gaz emiş sistemi tasarlanırken şüphesiz hedef maksimum verim ile çalışabilmektir bunun içinde uygun bir rigol tesisatı tasarımı ve en uygun koşullarda çalışabilme adına atık dolum stratejisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için çöken atıkların uygun yerlere tahliyesi ile işe başlanabilir.



şekil 5.18. Gaz emiş sisteminin uygulanması için gerekli hazırlık alışmaları

Ayrıca, emme işlemi sırasında drenaj bölgelerindeki hava girişini engellemek için drenaj sisteminin u kısımları toprak veya kil ile sızdırmazlık önlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kil sızdırmazlığın önünde, mevcut çakıl dilimi çevresel bölgelerde uygulanır. Bu setlerin başka bir amaç içinde kullanılır. Bazı bölümlerde, bazı gaz çıkarma boruları için tanımlanmış yeterli eğim sağlanamadığında yeterli desteğin bu setler sayesinde sağlanması hedeflenmektedir.



Şekil 5.19. Sahanın çevresine, drenaj kanallarına halka şeklinde sızdırmazlık barajı yapılması (Seyfert ve Elfruth, 2017).

Modellediğimiz sahada LOT.1 in alt üst ve sağ kısmında bu şekilde kil-toprak tabakasına ihtiyaç vardır. Uygulamadan sonra, bazı alanlarda sızdırmazlık bölgeleri ve toprak barajı atık toplama alanının sürekli düşüşünü garantilemek için barajın arkasına ilaveler gerekebilir.

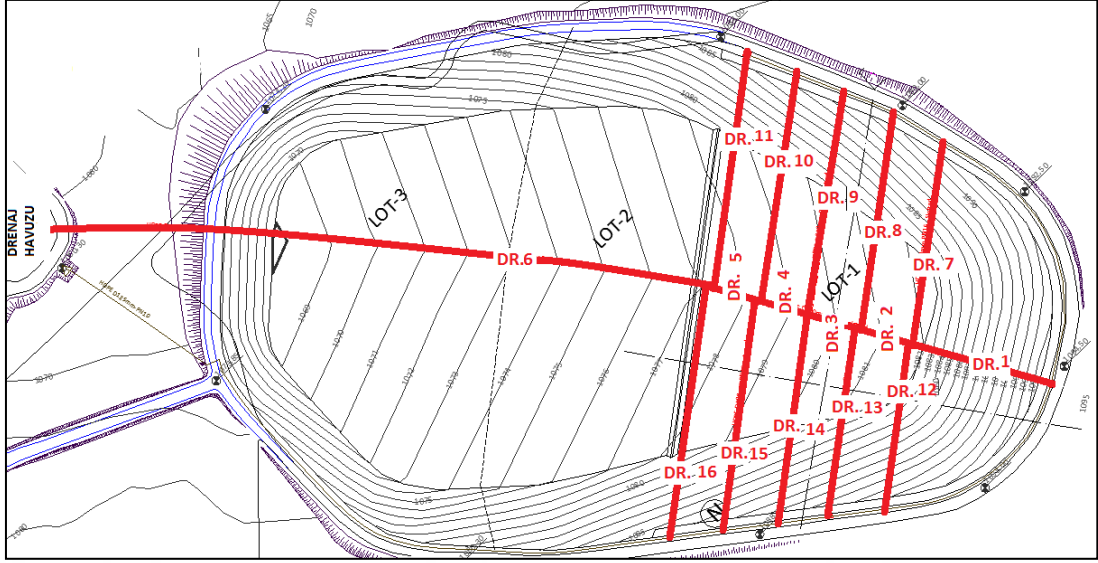
5.7.3. Gaz emiş sisteminin tasarımı

Çöp sahamızda LOT yüzeyleri oldukça geniştir. Böylelikle atık dolgu yükseklikleride çok fazla oluşmadığından bu tarz sahalarda dikey emiş sistemi uygulanmaz. Mevcut atık depolama sahasında öncelerden kalan ve yatay emiş sisteminde manî herhangi bir olumsuzlukta bulunmamaktadır. Bu sebeplerden ötürü sahamızda yatay gaz emiş sistemi tasarlayacağız.

Mevcut drenaj borularının gaz çıkarma sisteminde uygulanması

Drenaj borularının sayısı ve yeri

LOT 1 alanında çöplerin alt suları, atıklarla taşınan sıvılar ve yağmur suları tabana iner ve bu sularıda sahamızın dışında bulunan drenaj havuzuna taşımamız gerekir. Aşağıda çöp sahası genel yerleşim planında kırmızı renkle işaretli drenaj boruları, eğimli üst bölgeden, aşağıdaki çizimde gösterildiği gibi bir drenaj noktasına eşit mesafede yerleştirilerek modellenir. Drenaj borularının rotası havuzda son bularak kendi cazibesıyla ulaşması adına uygulamada eğimler verilmiştir. Bir önemli hususta eşit mesafelerle dizilmelidir.



Şekil 5.20. Mevcut drenaj borularının sayısı ve yeri

Gaz emiş sistemi için kullanılan toplamda 16 drenaj borusu (DR1 – DR16) bulunmaktadır. Drenaj boruları, yaklaşık 30 m'lik bir uzaklığa göre ağ oluşturulmuştur. Değişken uzunlukta oluşan bu ağın en büyük parçasını drenaj havuzuna bağlayan hat oluşturmaktadır.

Bu sistem sayesinde çöp sahasındaki suların emişi sağlanacak şekilde tasarım yapılmıştır. Böylelikle sızıntı suyu bertarafı drenaj borularıyla direk sağlandığı gibi, yapılacak bağlantılarla oluşacak depo gazında tahliyesi sağlanacaktır. Bu nedenle drenaj boruları, sistem konfigürasyonu sırasında dikkate alınması gereken çok küçük bir emme basıncıyla gaz emiş sistemine bağlanabilir. Gaz emiş sisteminde en az 8 boru bağlanacaktır. Bununla birlikte, bağlı olan tüm borular, gaz çıkarma sisteminde başarılı bir şekilde gaz emerek depo gazı miktarını arttıracaktır.

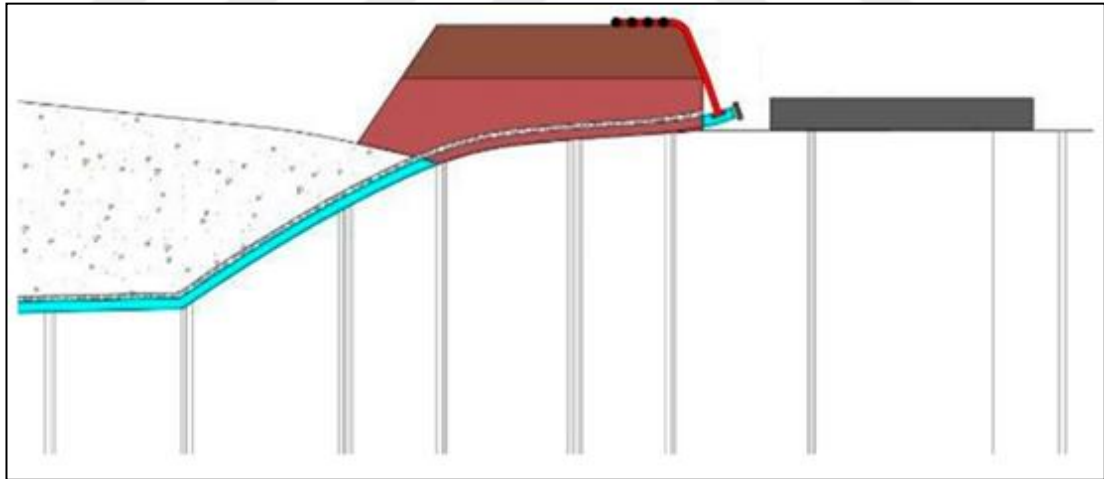
Drenaj borularının gaz çıkarma sistemine bağlanması

Modellediğim sahada olası güçlü iklim koşulları nedeniyle, tüm borulardan emilen depo gazları gaz toplama istasyonlarının yardımıyla toplanan depo gazı (açık tek boru bağlantıları yok) ana hat yardımıyla tesise ulaştırılacaktır. Bununla birlikte, depolama sahasının güney ve kuzey bölgelerde sistem bağlantısı için farklılıklar vardır. Güney tarafındaki drenaj boruları (DR12 – DR16) ana boruya ayrı bir toplama istasyonu ile bağlanacaktır. Drenaj borularında biriken gaz böylelikle kısmen boşaltılacaktır. Boru uçlarının uzatılmasından sonra bir kör flanşın yanı sıra bir eyer kelepçesi

eklenecektir. Boru uçları ise bir dirsek (60 °) ile yön yukarıya doğru dikey yönde dönecektir. Böylece kil ve çakıllarla yapılan baraj alanına bir emme borusu eklenerek bu borulara gaz toplama istasyonu için yeterli derecede eğim verilmelidir. Bağlantı detayı aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.21. Drenaj borularının gaz toplama sistemine bağlantı noktası (Seyfert ve Elfruth, 2017).

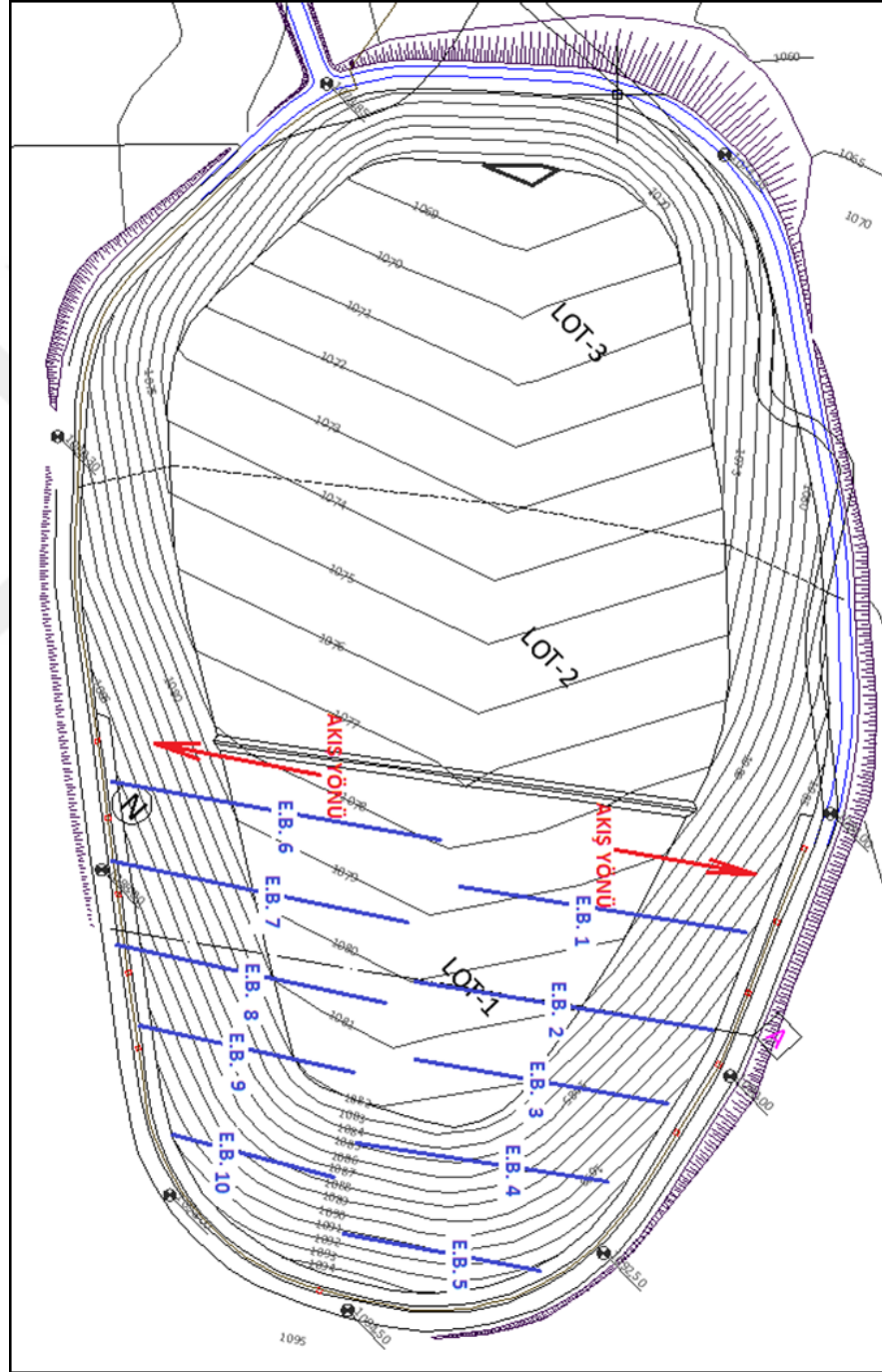


Şekil 5.22. Drenaj borularının gaz toplama istasyonuna tek boru ile bağlanması (Seyfert ve Elfruth, 2017).

Gaz Emiş Sisteminin tasarlanması

LOT 1 de rigol uygulaması yapılacak olup atık dolgu miktarı göz önünde bulundurularak dizayn yapılacaktır. Şuanda atık depolama yapılmayan LOT 2 LOT 3 de ise herhangi bir rigol uygulamasının planlaması yapılmayacaktır. İlk uygulama aşamasında, kuzey bölgede 5 adet rigol, güney bölgede 5 adet emiş rigolü

uygulanacaktır. Eşit ölçüde olmayan bu rigoller doğu istikamete gittikçe boyları küçülmektedir. Yaklaşık 35m mesafe ile oluşturulan bu gaz emiş sistemi ağı ile sahadaki depo gazı emişinin maksimum seviyede olması hedeflenmektedir. Aşağıdaki resim, ilk aşamadaki genel rigol uygulama planını göstermektedir (Seyfert ve Elfruth, 2017).

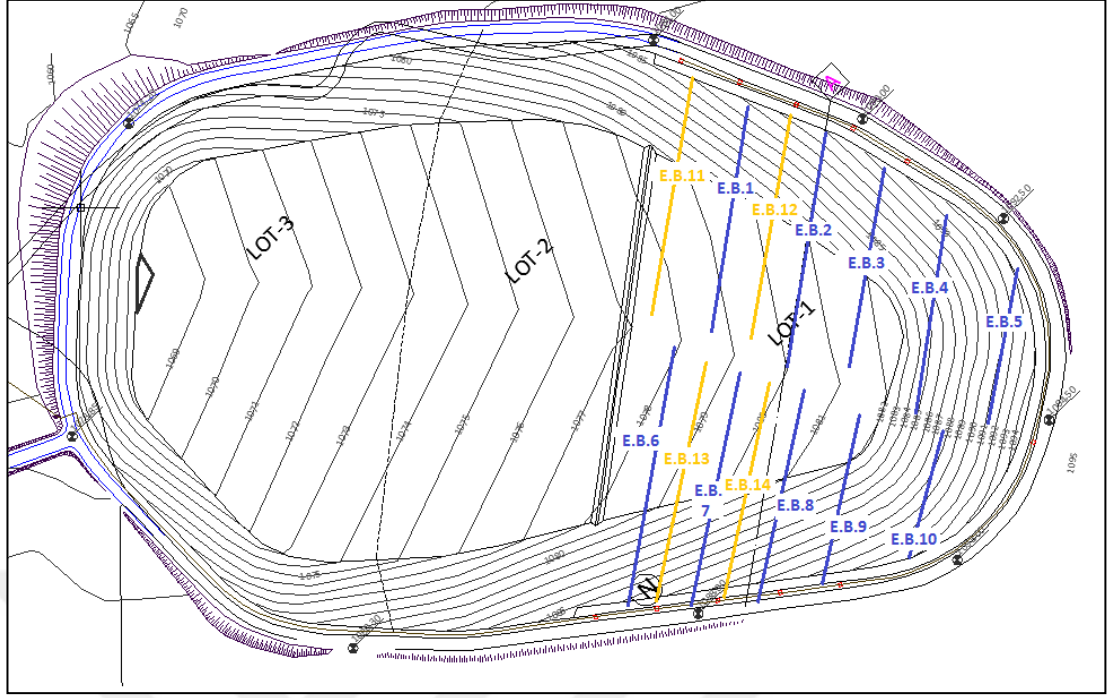


Şekil 5.23. LOT 1 alanındaki rigollerin uygulanması



Şekil 5.24. Rigol kanalı açma, boru serme ve kanal kapama işlemleri uygulanması

Bu rigollerin yanında ikinci aşamada, E.B.11 den E.B.14'e kadar olan katmanlar arasındaki ara boşluklara ek olarak 4 rigol (E.B.11 den E.B.14'e) uygulanacaktır. Bu rigoller aşağıdaki çizimde sarı renklerle işaretlenmiştir. Bu katmandada rigollerin mesafesi yaklaşık 35m ile de seçilecektir. Böylelikle yüksek dolgulu bölümlerde rigollerin arasındaki mesafe aşağı yukarı 15m civarında tutulacaktır



Şekil 5.25. Depolama alanının yüksek dolgulu bölümlerine ikincil rigollerin (E.B.11–E.B.14) uygulanması

Sarı ile işaretlenmiş rigoller (E.B.11 – E.B.14) yüzeyde bir tür "düz kanal" rigol olarak uygulanacaktır. Bu rigollerin gaz emişleri mavi renkle işaretlenmiş rigollere göre farklılık gösterecektir. Çünkü ikinci aşamada serilen rigoller yüzeyeyakın üzerinde hafif dolgu ile kaplıysa, uygulanmasından sonra az miktarda gaz yakalayacaktır. Bununla birlikte, bu rigollerin tam kapasitesi ancak yeni bir atık dilimiyle kaplandıktan sonra beklenebilir. Bu nedenle rigol uygulaması sonrasında atık depolama stratejisi oldukça önemlidir, rigol güzergahlarına dikkat edilmelidir. Yüksek dolgulu kısımlarda depo gazı emişi daha verimli olacaktır, çünkü rigoller gaz giderme sisteminde adım adım uygulanabilir. Depolama alanımızda LOT 1 alanında toplam 16 gaz rigölü uygulanacaktır. Yaklaşık maliyet çalışmaları için modellenen emiş sistemi rigollerin tam uzunluğu ve gerekli boru malzemesi aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Bu metraj çalışmalarında yatay uzunlukların yanı sıra önemli bir hususta yatay eğim açısını hesaba katmamız gerektiğidir. İlgili açılar ve gerçek uzunluklarda hesaplanarak tabloya girilmiştir. Rigollerin koordinatları ataşmana eklenir.

Tablo 5.9. Rigollerin ve uygulamadaki boru uzunluğununmetraj çalışması

RİGOL METRAJ ÇALIŞMASI PE 100.DA160 SDR13,6						
	İhtiyaç Olan Boru Boyu	Bağlantı İçin Boru Boyu	Delikli Boru Boyu	Eğim Yüzdesi	Uygulamadaki Delikli Boru Metrajı	Uygulamadaki Bağlantı için Boru Boyu
E.B.1	141	10	131	3	134,93	10,3
E.B.2	133	10	123	3	126,69	10,3
E.B.3	125	10	115	3	118,45	10,3
E.B.4	120	10	110	3	113,3	10,3
E.B.5	95	10	85	3	87,55	10,3
E.B.6	130	0	130	3	133,9	0
E.B.7	116	0	116	3	119,48	0
E.B.8	100	0	100	3	103	0
E.B.9	84	0	84	3	86,52	0
E.B.10	72	0		3	74,16	0
ORTA BOY					149	5,2
ARA TOPLAM 1					1246,98	56,7
E.B.11	130	0	130	3	133,9	0
E.B.12	127	0	127	3	130,81	0
E.B.13	127	0	127	3	130,81	0
E.B.14	109	0	109	3	112,27	0
ORTA BOY					60	0
ARA TOPLAM 2					567,79	0
GENEL TOPLAM					1814,77	56,7

LOT 1 de delikli boru uzunluğundaki planlanan rigoller için 1.815m PE100, DA160 SDR13,6'daki gerekli olacaktır. Bağlantılar içinde rigol uçlarına yaklaşık 57 m PE100, DA160 SDR13,6 katı borular gerekecektir.

Drenaj çıkış borularının uygulanması:

Rigoller başlangıç noktasından arka noktaya kadar en az% 3'lik bir düşüşe sahip olacaktır. E.B.7, E.B.8, E.B.9 ve E.B.10 rigollerinden gelen son noktalara bir redüksiyon parçası ile boru uçları DA160 / 110 haline getirilmelidir. Drenaj çıkış boruları için bir DA110 borusu bir kanal boyunca bitiş noktasından ortak bir drenaj noktasına kadar yönlendirilecektir.

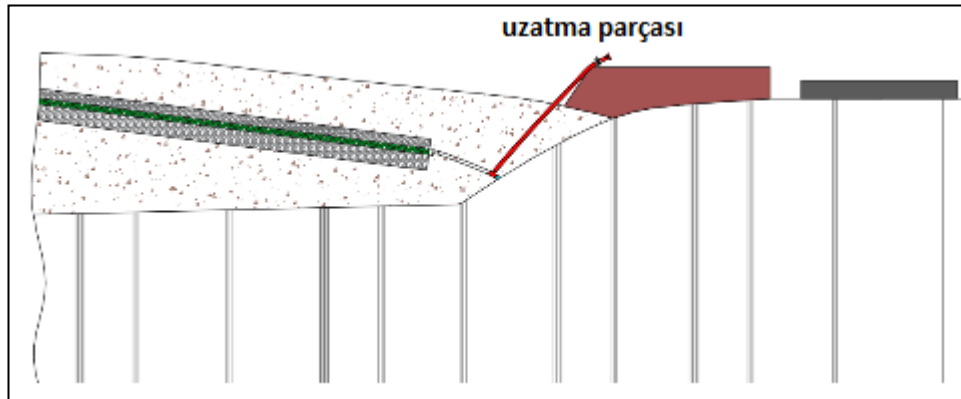
Bu drenaj boruları bir sifon çıkışı ve bir kontrol musluğu ile kapatılmalıdır. Sifonun uygulanması aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 5.26. E.B.7'den E.B.10'a kadar olan rigollerin ortak sifon akışı (Seyfert ve Elfruth, 2017).

Sahamızda uygulanacak bu tasarımda, 4 rigol'ten ortak bir su alma kutusuna (yaklaşık 1,5 x 1,5 x 1,0 m) birleştirilmiş drenaj akışı sağlanacaktır. Bu işlem sırasında akışkanın kendi cazibesıyla inmesi için eğim oldukça önemlidir. Ayrıca bağlantı noktalarında sızdırmazlık açısından kil ve topraklarla bir baraj oluşturularak desteklenmesi alınacak önlemlerdendir.

Diğer rigoller için (E.B.7'den E.B.10'a kadar olanlar dışındakiler) eğim alanı olarak daha derin bir bitiş noktasına sahiptirler. Bu sebepten ötürü hatların uç noktaları atık örtüsü ile kapalı haldedir. Bizler yinede bir DA110 SDR11 kontrol borusu ile bağlantı yapmak durumundayız. Yapılan bu bağlantıdan sonra bu boru, cadde / baraj alanına kadar götürülmeli ve aşağıdaki çizimde gösterilen gibi bir kör flanş ve kontrol musluğu ile sonlandırılmalıdır. Bu bağlantıda esas amaç boru daha sonra herhangi bir su tutma olmazsa, ilerleyen süreçlerde hattın uzatılmasında bağlantı noktası olarak kullanılabilir.



Şekil 5.27. Sifon bağlantısı olmayan rigollere uygulanan uzatma/kontrol borusu montajı (Seyfert ve Elfruth, 2017).

Bu amaç ile rigollere eklenen uzatma/kontrol boruları için gerekli boru uzunluğu aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Seyfert ve Elfruth, 2017).

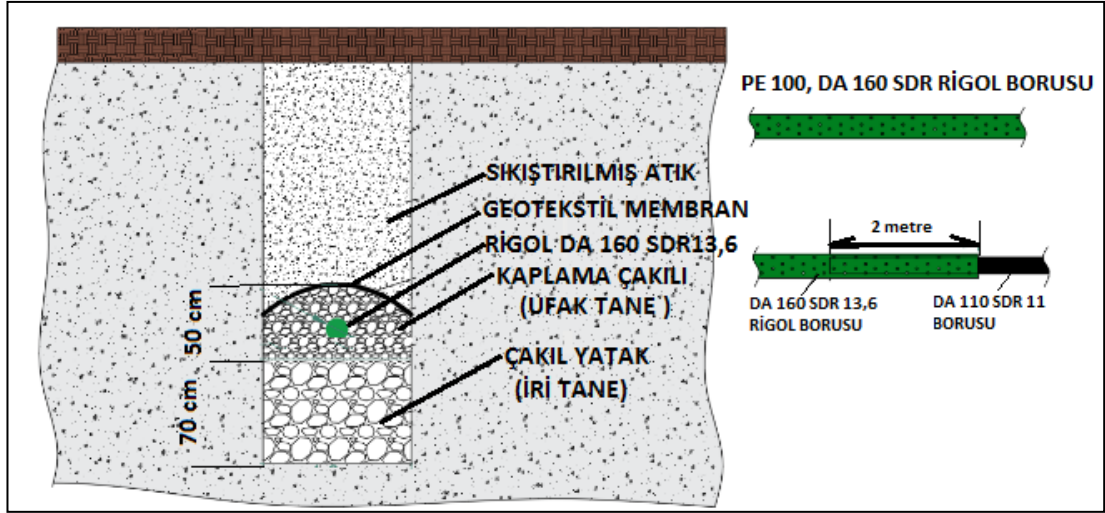
Tablo 5.10. Drenaj çıkışına drenaj borusu bağlantıları için metraj çalışması

DRENAJ UZATMA BORULARI METRAJ ÇALIŞMASI PE 100.DA110 SDR11			
	İhtiyaç Olan Boru Boyu	Eğim Yüzdesi	Uygulamadaki Delikli Boru Metraji
E.B.7	35	10	36,1
E.B.8	8	10	8,8
E.B.9	13	10	14,3
E.B.10	27	10	29,7
ORTA BOY			55
ARA TOPLAM 1			143,9
E.B.11	19	10	20,9
E.B.12	11	10	12,1
E.B.13	12	10	13,2
E.B.14	13	10	14,3
ORTA BOY			6,4
ARA TOPLAM 2			66,9
GENEL TOPLAM			210,8

Drenaj borusu bağlantısı için yaklaşık 211 m PE100, DA110 SDR11 boru borusu ihtiyaç olacaktır. Drenaj çıkışı için ilave boru malzemesi gerekecektir. İlavenen bu sifonlarda biriken suyu drenaj hattında bağlamak içinde ekstra metrajlar oluşabileceğinden bir miktar daha boru ihtiyacını arttırmamız gerekebilir.

Rigitollerin genel olarak uygulanması

Rigol kanallarının genel uygulanışı aşağıdaki çizimde gösterilmektedir. GR1'den GR8'e kadar olan makinelerde açmalar yaklaşık 1,0 ila 1,2 m genişlikte ve 2,5 m derinlikte gerçekleştirilecektir. Rigol yüksekliği (çakıl yatağı yüksekliği) 1,2m'den daha az olmayacaktır. Bu, gerekli uzun vadeli istikrarı ve etkin gaz yakalama oranını karantinaya alacaktır. Genel yürütme aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 5.28. Çakıl yatağı olan bir rigol kanalının kesit alanı

Uzun yıllar boyunca sahadan gaz akış oranını yüksek tutma adına çakıl bölgelerine delikli bir borular yerleştirilerek sistem tasarlanmıştır. İsteğe bağlı olarak, birim alan başına uygun kütleli bir jeotekstil, rigolleri yalnızca üst bölgede atık katından ayırır. kuru eski atık fraksiyonlarıyla bir kaplama gerçekleştirilirse, jeotekstil malzemesi kullanılmayabilir.

Rijigol boruları delikli borular PE100, DA160 SDR13,6 (PN 12) 'dir. Basınç aşaması SDR13,6, daha fazla (hafif) atık kaplamasında yeterli sıcaklık direncinin yanında yeterli boru stabilitesini sağlayacaktır. Katı atıklar içerisinde oluşan gazın deliklerden içeri girerek taşınması için PE borular üzerinde yaklaşık 15mm lik deliklerin sık açılması gerekir. Bu delme işlemi yapılırken boru mukavemetinin azalması göz önüne alınarak hasas şekilde uygulanmalıdır.

Stabilize dolgu elemanı seçerken CaCO₃ içermeyen 32/45 yuvarlak taşları kaplayan çakıl ve düşük fraksiyonlu (<% 5) içerikli çakıllar sahamıza getirilecektir. Ayrıca çakıl yatağı ve drenaj paketleri için de çöktüğü 45/64 daha büyük fraksiyonlu taşlarda kullanılabilir. Rigoller tabanı ve etrafı stabilize dolgu elemanlarıyla doldurulduktan sonra üst tarafının taban seviyesinden uzaklığı 2 m'den az olmayacak şekilde atıklar ile sıkıştırılmalıdır. Stabilize yerine eğer toprak kullanılırsa sızdırmazlık dahada artacaktır.

E.B.11-E.B.14de rigollerin sahaya serilmesinde farklı yöntemler uygulanacaktır. Bu emiş sisteminde tam kapasite ile verimli gaz emişi ancak rigol uzunluğunun tamamen

5.7.4 Gaz toplama ve taşıma

Ana boru lokasyonu

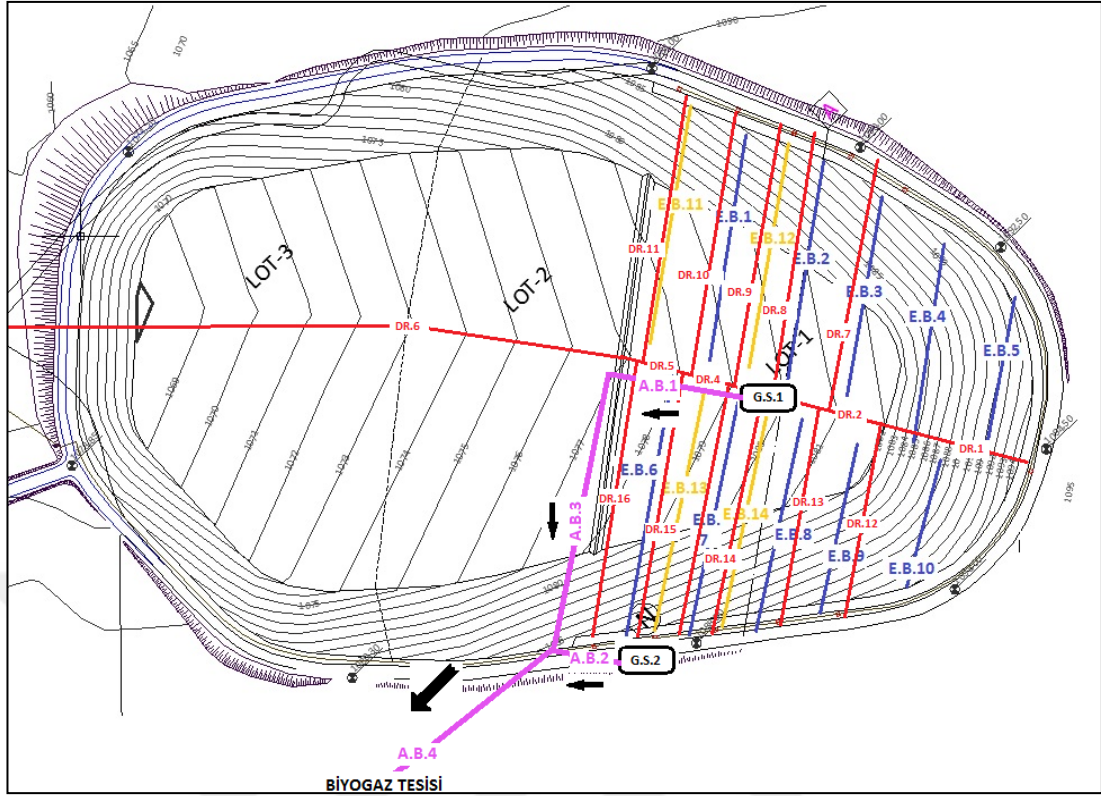
Ana boru rigollerle emilen gazların topladığı gaz toplama merkezi ile depo gazının yakıldığı tesisin girişinde bulunan gaz temizleme/iyileştirme birimi arasında yer alan borudur. Ana boru yerleşimi gaz toplama merkezlerinin yerleri ilerki dönemlerde atık depolama stratejisi göz önüne alınarak belirlenmelidir. Boru çapı belirlerken gelecekteki senaryolar göz önünde bulundurulmuştur.

Ana boru yerleşiminde en önemli husus eğer atık alanın dışına yerleştirilirse, emniyetli ve uzun vadeli istikrarlı bir gaz taşınması mümkün olacaktır. Modellediğimiz sahada çöp toplama alanının etrafındaki yolun kenarından sahayı saran bir halka şeklinde dizayn etmemiz mümkündür. Sahamızın kuzey güney istikametler kot farklılığı oldukça aza indirgenerek ilk aşamada dolgu çalışmaları yapıldığından eğim fazla bulunmamaktadır. Dolayısıyla, boru genellikle aşağıdaki çizimlerde gösterildiği gibi farklı duvar yüksekliklerinde hazırlanmış sahayı çevreleyen duvar sınır bölgelerine yerleştirilmelidir.

Gaz toplama merkezleri ile ilişkilendirdiğimiz gazdan emiş sisteminin ilk adımında yalnızca kısa bir halka ana borusu parçası uygulanacaktır. Bu hat yeni LOT lar açıldıkça büyüyecek ve sahayı kplme çevreleyecektir. Fakat şuanda planlanan kısa bağlantı nedeniyle boru çapı DA250 ile seçilecektir.

Bu borunun yanında, LOT 1'in orta bölgesine bir saplama ana borusu uzatması yapılacaktır. Bu boru aynı zamanda PE100, DA250 SDR17 boru olarak ve ana boruya bir T - parçası ile bağlanacaktır.

Emme ve drenaj boruları ana boruya bağlanacağı nokta boru uçlarının yüksekte olan noktalarıdır. Ayrıca gaz toplama istasyonlarının yerleri mevcut sahanın kotundan daha yüksek yerler olarak seçilmelidir. Bu husus özellikle ana borunun son noktasının, bu alandaki diğer atık çökmesine izin vermek için çevresindeki yüzey seviyesinden yaklaşık 2 m daha yüksek olarak sağlanır.

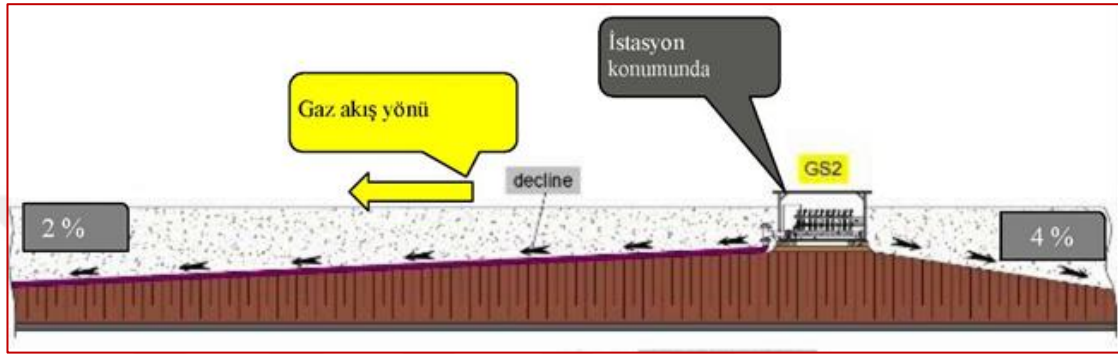


Şekil 5.31. Gaz toplama merkezlerinin yerleşimi ve ana boru güzergâhı



Şekil 5.32. Gaz toplama merkezlerinin 2m yüksekliğe konuşlandırılması

Gaz toplama merkezinin 2m yüksekte kurulmasının haricinde bir önemli noktada aşağıdaki resime uygun eğimler verilerek sahanın dizayn edilmesidir. Yani toplama merkezinden çıkan gaz gaz akış yönünde % 2, gaz akışı yönüne karşı en az% 4'ün üzerinde bir eğim verilmelidir. Bizim modellediğimiz sahada şu anda sadece boru gradyan yönünde bir gaz aksışı gerçekleştirilmektedir. Bu döşeme deseni aşağıdaki çizimde gösterilmiştir.



Şekil 5.33. Kesintisiz olarak istasyonlara ana boru bağlantısı (Seyfert ve Elfruth, 2017)

Ana boru bağlantısının tüm parçaları için gerekli boru uzunluğu aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Seyfert ve Elfruth, 2017).

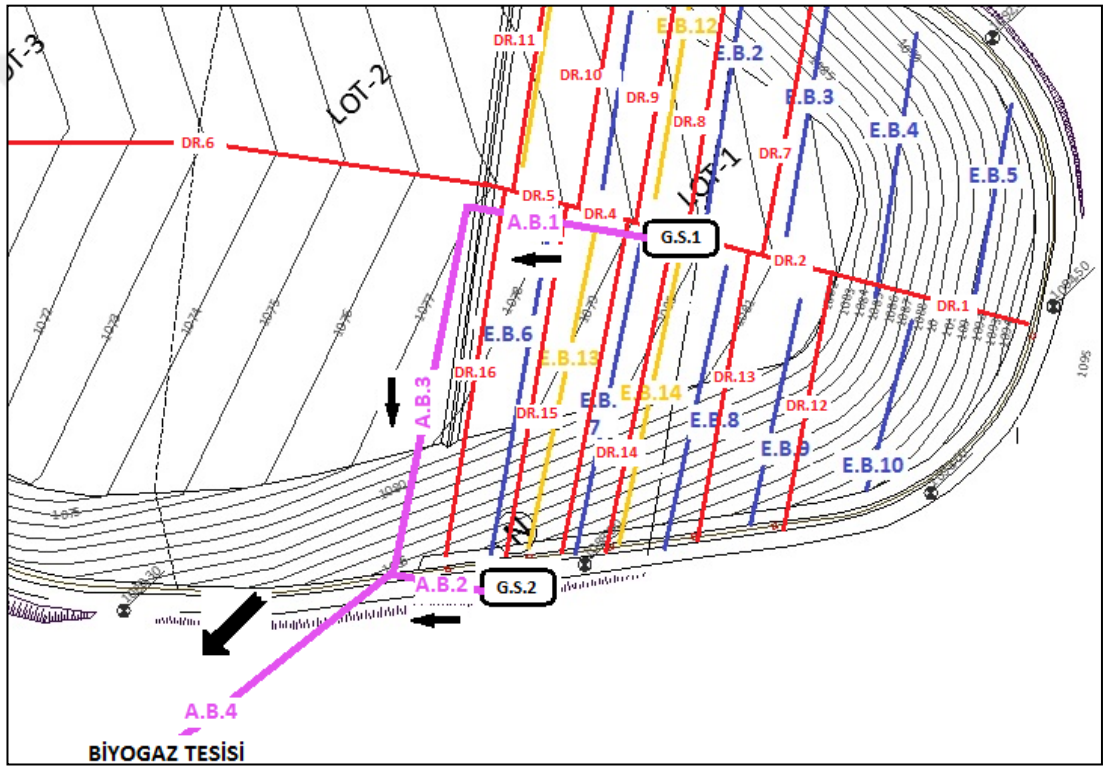
Tablo 5.11. Ana borunun çalıştırılması için gerekli boru uzunluğu

ANA BORULARIN METRAJ ÇALIŞMASI DA250			
	İhtiyaç Olan Boru Boyu	Eğim Yüzdesi	Uygulamadaki Ana Boru Metrajı
A.B.1	90	3	91,1
A.B.2	146	3	147,1
A.B.3	64	3	65,1
A.B.4	202	3	203,1
ORTA BOY			50
GENEL TOPLAM			556,4

Ana boru bağlantısı için 557 m PE100, DA250 SDR17 boru boru uzunluğu gerekmektedir. Gaz toplama istasyonuna Z tipi bağlantı boruları ve ıskartaya ayrılan parçaları göz önüne aldığımız zaman PE100, DA250 SDR17 boru metrajına ilave 10 m ile eklenmelidir.

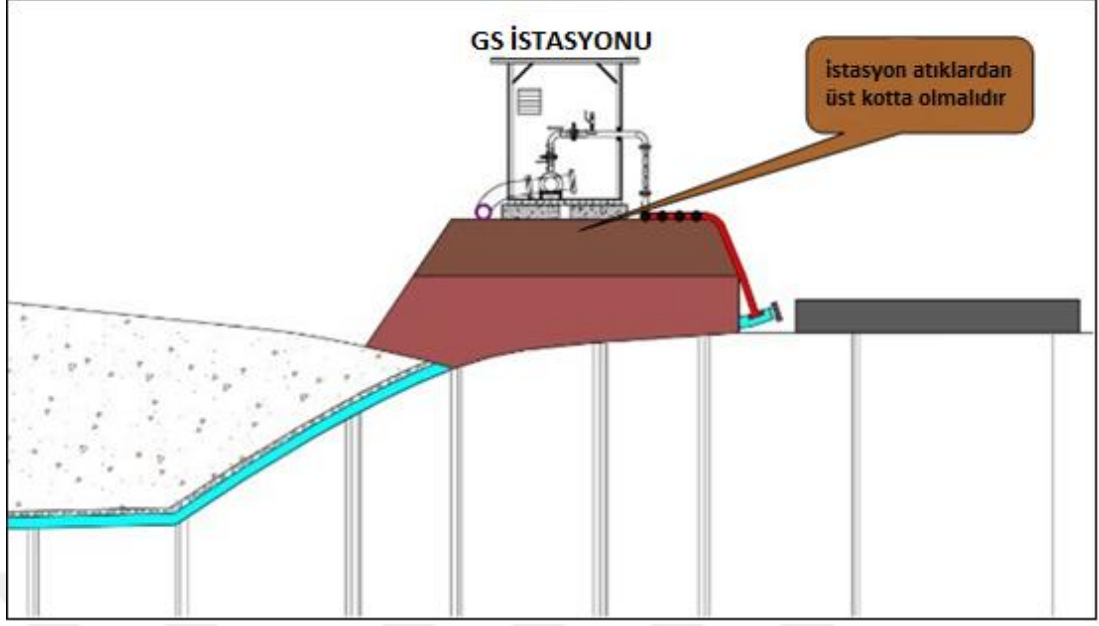
Gaz toplama merkezleri

Rigollerle sahadan emilen depo gazının toplandığı ve kojenerasyon tesisine bir boru ile gönderilmesini sağlayan merkeze gaz toplama istasyonu denir. Biz sahamızda iki adet gaz toplama istasyonuna ihtiyaç duyarak tasarım yapacağız. Gaz toplama istasyonları için seçilen yerler aşağıdaki çizimde gösterilmektedir. Atık toplama alanının çevresinde caddede bir istasyon ve mevcut çöp toplama alanının ortasında bir istasyon bulunacaktır. Her ikisine gaz toplama istasyonu yerleştirilecek alanlar yükseltilecek ve beton atılarak montaja hazır hala getirilecektir.



Şekil 5.34. Gaz toplama istasyonlarının sayısı ve yerleri (GS1 ve GS2)

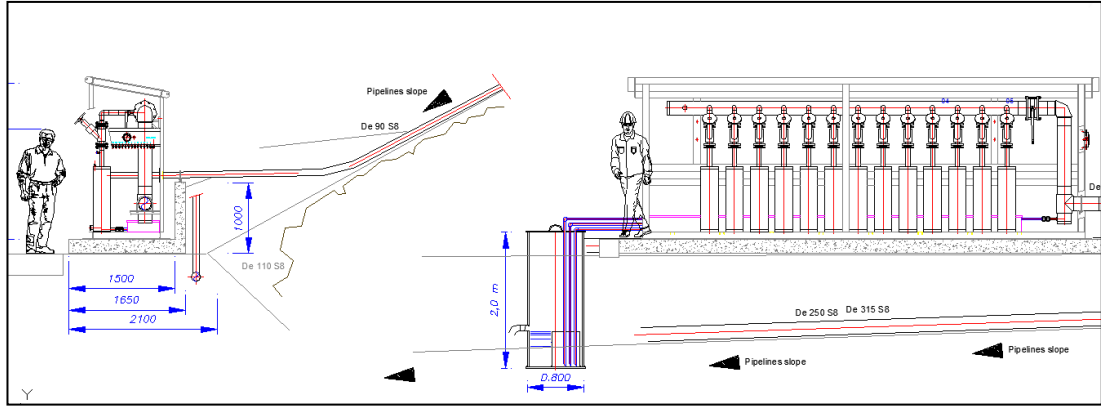
Öncelikle istasyonların koordinatları belirlenmeli ve harita mühendislerince koordinat ve kot çalışmaları yapılmalıdır. Gaz toplama istasyonlarının önerilen yüksek konumu ve ana boru bağlantısı aşağıdaki çizimlerde gösterildiği gibi uygulanacaktır.



Şekil 5.35. Sahadaki emiş borularının gaz toplama istasyonlarına bağlantısı (Seyfert ve Elfruth, 2017).

GS2 toplama istasyonu depolama alanının etrafındaki yolda, kot seviyesi yükseltilerek bir baraj üzerine konuşlandırılmıştır. GS2 istasyonu, en yüksek baraj noktasında bulunur ve emme boruları, baraj üzerinde, istasyona ile bağlanır ve drenaj sistemiyle ilişkilendirilir.

Gaz toplama istasyonları sahadan emilen gazların rigoller ile birleşerek artık buradan tek bir ana hat olarak depo gazının transferinin sağlandığı merkezdir. Burada bir önemli husus, gelecekte ek gaz rigollerinin uygulanması düşünülmelidir. Ayrıca, yüksek (orta) tarafta bir emme sorunu olması durumunda, uygulanan rigoller çift taraflı olarak bağlanabilir şekilde tasarlanmalıdır. Bu nedenle bizler ilerleyen süreçte ilave rigoller düşünerek gaz toplama istasyonlarını, en az 12 emiş borusu bağlantı parçası olarak seçtik. Aşağıdaki çizimde 6,5 m uzunluğunda bir istasyon gövdesi versiyonu ile gösterilmektedir.



Şekil 5.36. 12 emiş borusu bağlantılı gaz toplama istasyonu

Gaz toplama istasyonundaki basınç düşüşünü azaltmak için ölçüm ve düzenleme parçaları DA 90 olarak kullanılacaktır. Tek bir rigolden yaklaşık $100 \text{ m}^3 / \text{h}$ lik bir depo gazı debisi gerçekleşmesi ön görülmektedir. Ayrıca gaz toplama istasyonunun bizlere sağladığı en büyük avantajlardan biri olarakta, her bir rigoldeki gaz akışını düzenlemek için veya gaz akışını durdurmak için kelebek vana ile donatılmalıdır. (bir kademeli düzenleme mümkün olmalıdır ve ikinci açık / kapalı versiyon yeterlidir).

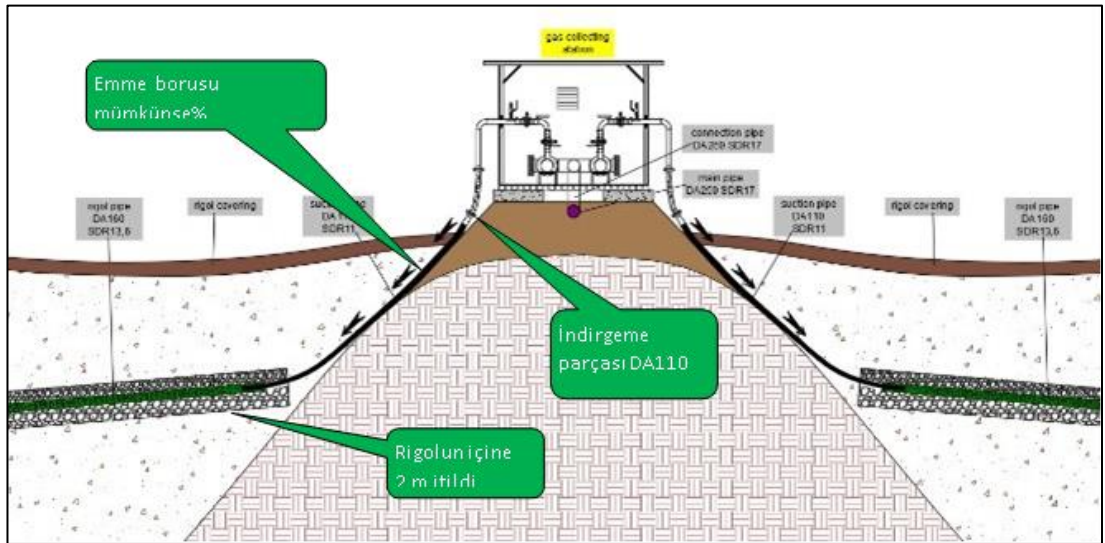
Gaz akış oranını ve miktarını ölçmek oldukça önemlidir. Bu amaçla sistemin gaz basınçlarının kontrol edildiği noktalar da tasarlanmalıdır. Gaz toplama istasyonunun temeli beton döşemelerden yapılmalıdır. Bu tasarım için statik hesaplar ile inşaat ekibinden yardım almak gerekmektedir. Bu tasarım yapılırken planlanan gaz toplama istasyonunun kaç ağızlı olduğu oldukça önemlidir. Bu bilgiler doğrultusunda istasyonun kendi ağırlığı ve oluşacak yükler doğrultusunda atık alanı kotundan daha üst kot seviyesinde bir gaz toplama istasyonu temeli planlanmalıdır. Gaz toplama istasyonlarının genişletilmiş ana boruya bağlantısı PE100, DA250 SDR17 boru ve bağlantı noktasında azaltılmış bir T-parçası kullanılarak gerçekleştirilir. Modellenen sahamızda depolama alanının ortasındaki istasyon, aşağıdaki çizimde gösterildiği gibi yaklaşık 12 bağlantı parçası olan çift taraflı bir istasyon olarak tasarlanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda gaz toplama istasyonumuz konumlandırılmıştır.



Şekil 5.37. GS1 olarak düşünülen toplama istasyonu kurlumu tamamlanmış hali

Emme borusu bağlantısı

Rigollerden gaz toplama istasyonlarına olan emiş boruları PE100, DA110 SDR11 boruların yardımı ile sağlanacaktır. Gaz toplama istasyonuna bağlanacak bu borular delikli rigol borusuna yaklaşık 2 m içerisine itilerek (teleskopik bağlantı) bağlantı sağlanır.



Şekil 5.38. Gaz toplama merkezine bağlanan boruların rigollerle ilişkilendirilmesi(Seyfert ve Elfruth, 2017)

DA110 borusu, istasyonlardan rigollere en az% 5 eğimle hazırlanan kil ve toprak tabakası ile örtülü kanala serilecektir. Sahada kullanılan hiçbir boruda dirsek kullanılmayacaktır. Geçişler ve dönüşler zemine verilen eğimlerle S lerle sağlanacak olup sadece elektürofizyon kaynak kullanılacaktır. Emme borularının gaz toplama istasyonlarına bağlantı noktalarında flanşlı bağlantı uygulanmıştır. Aşağıdaki fotoğrafta flanşlı bağlantı ağızları görülmektedir. Sahadaki çöp durumuna göre şunda 2 adet bulunan gaz toplama istasyonları ilerki aşamalarda artırılabilir bir alt yapı ile modellenecektir. İlerde LOT2 ve LOT 3 açıldıkça yeni rigoller E.B. 15 den devam edecek ve sahanın durumuna göre GS 3 konumlandırılarak yeni gaz toplama istasyonları kurulacaktır (Seyfert ve Elfruth, 2017).



Şekil 5.39. Rigollerden gaz toplama istasyonlarına olan emiş borusu bağlantısı



Şekil 5.40. Gaz toplama istasyonları Z lerin montajı ve emme borularıyla irtibatlanması

Emme borularının rigollere teleskop bağlantı yapılmasından ötürü ek boru metrajları oluşacaktır. İstasyon tarafında, tam bölümlü borular, DA 110/90 redüksiyon parçası ile donatılmış olacak ve toplama istasyonundan emme borularının flanşına bağlanacaktır. Bu bağlantı sayesinde emme boruları işletme esnasında oluşabilecek problemlerde bu noktalardan müdahale edilebilir hale getirilecektir. Z boru imalatları 90 derece dirseklerle yapılduktan sonra bir ucu GS istasyonuna bir ucuda emme borularına bağlanacaktır.

Aşağıdaki çalışmada modellenen saha için emme borusu uzunluğu, rigol ve drenaj borusu bağlantıları için gerekli PE100, DA110 SDR 11 boru metrajları sunulmuştur.

Tablo 5.12. Drenaj Boruları ve Emme Borularının Gaz toplama istasyonuna bağlantı için gerekli emme borusu metrajları

Drenaj Boruları ve Emme Borularının GS lara Bağlantı Metrajları PE100, DA110 SDR 11						
		Uzunluk çizim	Eğim [%]	Ekleme uzunlukla rı	Toplam	
GS1	DR7	110,0	1,0	2,0	113,1	
	DR8	115,0	1,0	2,0	118,2	
	DR9	120,0	1,0	2,0	123,2	
	DR10	125,0	1,0	2,0	128,3	
	DR11	135,0	1,0	2,0	138,4	
	DR12	90,0	1,0	2,0	92,9	
	DR13	95,0	1,0	2,0	98,0	
	DR14	100,0	1,0	2,0	103,0	
	DR15	105,0	1,0	2,0	108,1	
	DR16	115,0	1,0	2,0	118,2	
	Toplam [m]					1141,1
	EB1	58,1	5,0	5,0	66,0	
	EB2	32,3	5,0	5,0	38,9	
	EB3	12,7	5,0	5,0	18,3	
	EB4	11,3	5,0	5,0	16,9	
	EB5	57,9	5,0	5,0	65,8	
	ARA TOPLAM[m]					1347,0
GS2	DR1	80,0	1,0	2,0	82,8	
	DR2	30,0	1,0	2,0	32,3	
	DR3	30,0	1,0	2,0	32,3	
	DR4	30,0	1,0	2,0	32,3	
	DR5	30,0	1,0	2,0	32,3	
	DR6	370,0	1,0	2,0	375,7	
	Toplam [m]					587,7
	EB6	62,0	5,0	5,0	70,1	
	EB7	34,8	5,0	5,0	41,5	
	EB8	8,9	5,0	5,0	14,3	
	EB9	39,2	5,0	5,0	46,2	
	EB10	67,1	5,0	5,0	75,5	
	ARA TOPLAM[m]					835,3
GENEL TOPLAM[m]					2182,3	

Modelleyeceğimiz sahada emme borularının bağlantısı için yaklaşık % 5, drenaj borularının montajı içinde %1'lik bir eğim le yataklama yapılacağı planlandığı

takdirde, 2183 m PE100 DA110 SDR11 boru gaz toplama istasyonlarına bağlantı için gereklidir.

5.8. Gazın Kullanım Alanına Ulaşması

Sahadan son olarak ana borularla taşınan depo gazı bazı işlemlerden geçmek üzere biyogaz tesisimize ulaştırılacaktır. LOT 1 in güney doğusunda kurulacak olan biyogaz tesisi için yeterli miktarda boş alan bulunduğundan yer planlaması rahat bir şekilde yapılacaktır.

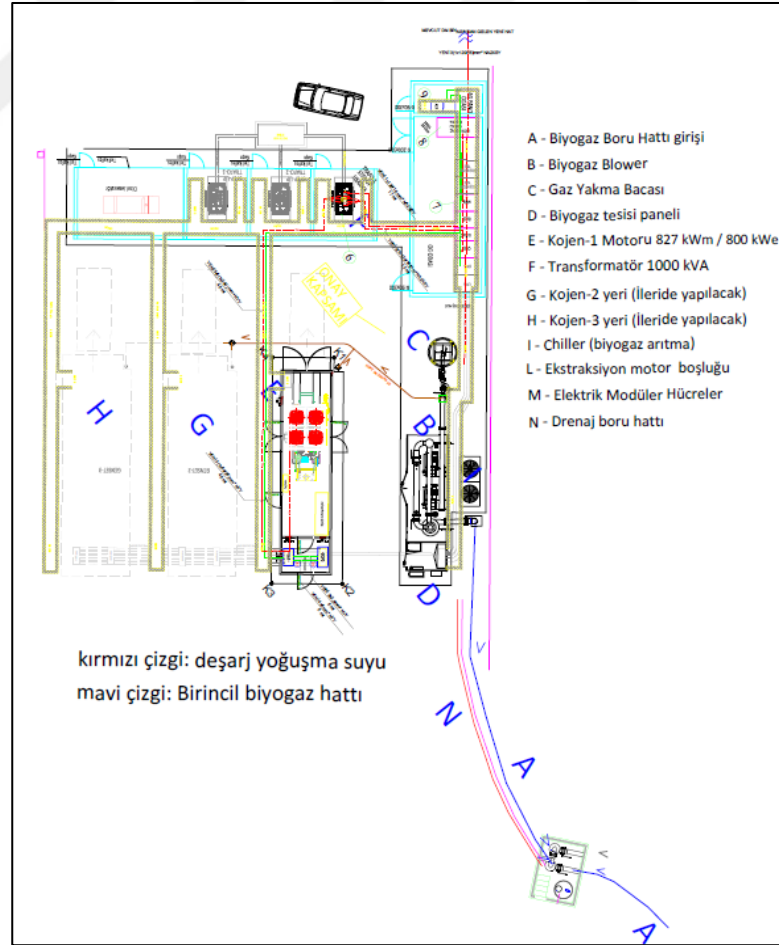
Depo gazının tesisimize ulaşmasının ardından enerji üretimine esas ana ve yardımcı bazı ekipmanlara ihtiyaç duyacağız. Tüm bu ekipmanlar için hasas hesaplarla mühendislik kuralları çerçevesinde ilerleyen aşamalarda mekanik ve elektriksel tasarım yapılacaktır. Tesisi konuşlandırırken göz önüne alınması gereken bir hususta bağlantı ana borusu, gaz kullanım alanına sürekli düşüş ile ilerlemektedir. Bu nedenle biriken ve yoğunlaşan su, tesise gelmeden bir ağız yardımıyla drenaj havuzuna yönlendirilmelidir. Bizler bu durumları da göz önüne alarak tesisi daha üst kotlarda inşa ederek su faktörünü tamamen tesisimizden uzaklaştıracaktır.



Şekil 5.41. Gaz Toplama İstasyonlarından santral istikametinde giden ana hat



Şekil 5.42. Enerji üretim santralinin yüksek kotta konuşlandırılması



Şekil 5.43. Enerji üretim santraline ait genel yerleşim planı ve lejantı

5.9. Depo Gazı Temizleme Prosesi

Depo gazının içerisinde gazın ısı kapasitesini düşüren, gazın iletiminde ve yakılma prosesinde yer alan ekipmanlarda hatalara ve korozyona neden olan bazı bileşenler vardır. Bu etkenler ayrıca gazın basınçlandırılmasını ve depolanmasını engelleyen, motorlarda ve enerji çevrim ünitelerinde tutuşmasını, yanmasını, motor verimsiz çalışmasına sebep olan, insan sağlığı ve çevre açısından büyük riskler taşırlar. Bu Zararlı faktörlerin depo gazı gaz motoruna girip yakılmasından önce bazı proseslerden geçerek depo gazının saflaştırılması gerekir. Aşağıda biyogazın gaz deposu ve bağlantı elemanlarında korozyon etkisi görülmektedir (Çelik, 2014).



Şekil 5.44. Biyogazın gaz deposu ve bağlantı elemanlarında oluşturduğu korozyon

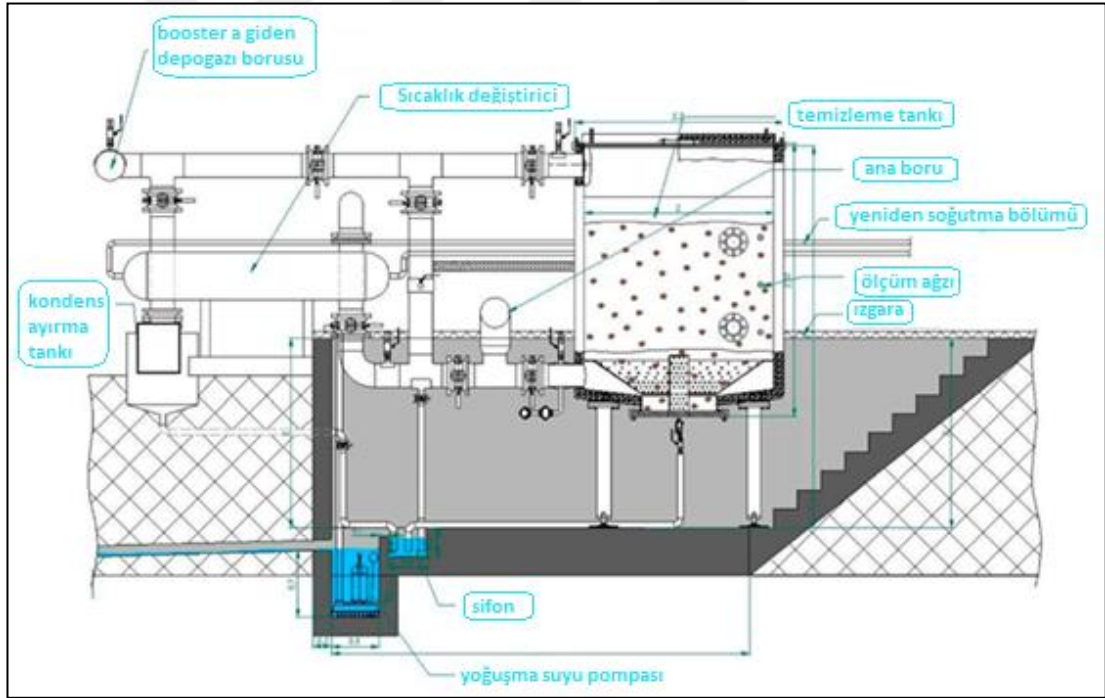
5.9.1. Hidrojensülfür ayrıştırma işlemi

Sülfürizasyon işleminde amaç biyogaz içinde bulunan zararlı bir gaz olan hidrojen sülfür gazının uzaklaştırılmasıdır. Koku alma duyusuna zarar veren bu gaz çürük yumurta kokusuna benzer ve esasında patlayıcı bir gazdır (Çelik, 2014).

H₂S insan sağlığına zararlı etkileri olan bir gaz olup, makine teçizatlarında da CO₂ ve su buharı ile tepkimeye girerek, metal aksamlara ciddi zarar verir. Biyogazda H₂S azaltılması; kükürt dioksit emisyonları, ekipman korozyonları ve kirlenmeyi azaltır. H₂S azaltılması ayrıca daha düşük bakım ihtiyacı sayesinde maliyet tasarrufu sağlar ve artan enerji üretimi için daha fazla enerji kazamını ile sonuçlanır (Smith ve Fontana, 2007).

Biyogaz tesislerinde hidrojen sülfür gazı yaklaşık %0,4 oranda biyogaz içinde bulunması halinde gaz motorunun yağ özelliklerini bozarak yağ değişim periyotlarını aşağılara çekmektedir. Bu sürenin değişmesi mekanik akşamlarda korozyona sebep olmakta ve bakım maliyetlerini yüksek rakamlara çıkarabilmektedir (Öğüt, 2007).

Modelliyeceğimiz sahada normal bir H₂S yükü gözönüne alınarak, genel olarak, bir temizleme tankı 10 m³ lük bir tank yeterli görülmektedir. İlerleyen süreçte artan depo gazı yükleri söz konusu olduğunda, tesisin ilave bir gaz temizleme tankına daha ihtiyaç duyulacaktır. Bununla birlikte, gaz temizleme tekniği modüler olarak uygulanabilir. İki temizleme tankı için sahada yeterli yer bulunduğundan palanlama aşamasında sıkıntı olmayacak ve ilk yapım aşamasında mahaller hazırlanacaktır. Ekipman ve bağlantı kesiti aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.45. Gaz temizleme ve soğutma cihazı genel görünümü (Seyfert ve Elfruth, 2017)

5.9.2. Karbondioksit ayrıştırma işlemi

Her sahada depo gazının barındırdığı CO₂ miktarı, sahadaki atık durumu, bekleme süresine, pH ve sıcaklık seviyesine, yağış miktarına, bekleme süresine bağlı olarak değişmektedir (Edelmann, 2002).

Biyogazın içindeki karbondioksitin giderilmesi veya temizlenmesi, biyogazın dahada kalitelenmesi anlamına gelmektedir. Depo gazının içindeki CO₂ miktarı metandan sonra en yüksek oranda bulunan gazdır. Bu durum büyük ölçüde biyogazın enerji seviyesini düşürür ve enerji seyreltici olarak değerlendirilir.

Depo gazının CO₂ içeriği, su buharıyla birlikte zayıf asit oluşturur ve korozyona sebebiyet verir. Ayrıca basınçlanma işlemi sırasında kompresör içinde kuru buz oluşumuna neden olur (Vijayalekshmy, 1985).

Biyogazın metan oranının artırılması, kalorifik değerinin yükseltilmesi içerisindeki CO₂'nin karışımdan uzaklaştırılmasıyla mümkün olmaktadır. Böylece bu karışım gazın metan oranının artmasıyla birlikte, gazın ısıl değeri artmakta ve daha düşük hacimli depolama tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır (Eyidoğan. 2008).

Günümüzde biyogaz içerisindeki CO₂' in ayrıştırılması için birçok farklı yöntem uygulanmaktadır. Bunlar, suda çözme, polietilen glikol ile ayrıştırma, karbon moleküller elek kullanma yöntemi ve membranla ayrıştırma dır.

Modellediğimiz sahada kullanılan temizleme cihazı suda ayrıştırma mantığı ile çalışmaktadır. Biyogazın su ile saflaştırılmasında, biyogazın içerisinde geçirildiği su sıcaklığı, su sütünü yüksekliği, biyogazın suda geçme süresi ve hızı, su değişim süresi, suda geçirilen gaz debisi ve biyogazı oluşturan moleküllerin kendi aralarında ve suda buluna elementlerin kimyasal bağları ve etkileşimleri etkilidir.

Suyun yoğunluğu normal şartlar altında 1 kg/m³ göre değerlendirildiğinde metan gazının yoğunluğu 0,72 kg/m³ olup sudan daha hafiftir. Fakat depo gazı bir karışım gaz olduğundan içerisinde bulunan CO₂ ve HidrojenSülfürün yoğunlukları sırasıyla 1,977 kg/m³ ve 1,19 kg/m³ dür. Yani sudan özgül ağırlıkları daha fazladır. Biyogaz sudan geçirildiğinde içerisindeki metan sudan daha hafif olduğu için sudan geçer, ancak sudan daha ağır olan karbondioksit ve hidrojen sülfür dibe çökerek burada toplanır (Kapdi ve ark. 2005).

5.9.3. Su buharı ayrıştırma işlemi

Biyogazın birleşiminde %5 düzeyinden doyma derecesine kadar değişen oranlarda su buharı bulunur. Biyogazın içerisinde 35 °C'de yaklaşık 35 gr/m³ su buharı bulunmaktadır. Bu değer 20°C için yaklaşık 17 gr/m³'dür (Munoz ve Lopez, 2000).

Su buharı hidrojen sülfür ve karbon dioksit ile birleşerek çok güçlü korozif bir asit oluşturur. Su buharının biyogaz üzerine olumsuz etkileri vardır. Bunların başında biyogazın tutuşma sıcaklığının yükselmesi, kalorifik değerinin azalması ve stoikometrik veya hava/yakıt oranının azalması gelmektedir. Su buharının depo gazının içerisinden uzaklaştırılmasıyla beraber karışım gazın ısıl değerinde yaklaşık %10 değerinde bir artış olur. Ayrıca tutuşma sıcaklığında iyileşmelere sebep olurken metal yüzeylerde oluşacak korozif etkide minimum seviyelere indirilir. Depo gazında bulunan su buharını ayrıştırma metodları günümüzde oldukça gelişmiştir. Bizler modellediğimiz sahada depo gazının soğutulması esnasında oluşacak yoğuşma ile su buharını ayrıştıracağız. Yoğuşan suyu bir drenaj havuzunda toplayarak yer altı sularına karışmasını önlemek oldukça önemlidir (Kaya ve Oztürk, 2012).



Şekil 5.46. Gaz Arındırma ve Soğutma Sisteminin Uygulamadaki hali

5.9.4. Gazın chiller ile soğutulması

Depo gazı toplanma sırasında gaz sıkıştır ve sıkışan gazın sıcaklığı yükselir. Bu durum oldukça tehlikeli bir hal alabilir. Bu sıcaklık 450C olduğu zaman patlama riski oluşur. Ayrıca depo gazı çeşitli temizleme işlemlerinden geçtiği içinde sıcaklığı artar. Tabi bu sıcaklığın artmasına dış ortam koşullarında etki eder. Temizleme işlemleri sonucunda depo gazı sıcaklığı 45 C civarlarına kadar yükselir Bu değer gaz motoruna gönderilemsi için oldukça yüksektir. Soğutma işlemi sırasında eşanjor mantığı ile çalışan bir chiller sistemine ihtiyaç vardır. Sistem dâhilinde borunun bir ucundan soğuk hava girer ve diğer ucundan depo gazı ile temas etmeden çıkarak gazı soğutmuş olur. Böylece 45 C lerdeki depo gazı sıcaklığı 15 C lere kadar düşürülür. Gaz soğutma unitesinde ise bu ısınan hava eşanjor modelinde sürekli soğutulur. Genelde su soğutma amacıyla kullanılan bu yöntem tesiste gaz soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Depo gazının içinde barındırdığı nem muhteviyatıda böylece arındırılır. Temizlendikten sonra soğutulan depo gazının karışım miktarı ve basıncının ayarlanması gerekir. Bir sonraki süreçte gaz motorunun emme basıncını ayarlayıp kojenerasyon ünitelerine gönderilmesi amacıyla aşırı basınç oluşturmak için güçlendirici istasyona gelir. Bu istasyona bloower denir. Bloowerde karışım oranı ve basıncı ayarlanan depo gazı artık sürekli bir şekilde gaz motorlarına yakılmaya hazır hale gelir. Bununla birlikte, bu ekipmanların kapasiteleri seçilirken daha sonraki yıllarda artacak gaz miktarındaki artışta dikkate alınmalıdır (Polat, 2011).

5.10. Emniyetli Yakma Amaçlı Flare Modellenmesi

Modellenen sahamızda depo gazının biriktirilmesi için herhangi bir depolama alanı planlanmamıştır. Yani gaz üretildikçe gaz motoru çalışacak gaz motoru çalıştığı süreçte elektrik üretimi hedeflenmiştir. Fakat işletmede bazen bu senaryoların dışına çıkılabilir. Mesela gaz motoru planlı yada plansız bir şekilde bakım yapılması veya arıza giderilmesi amacı ile durdurulabilir. Bu senaryoda sahadan sürekli çelilen gazı yakamıyaçımıza göre bu duruma bir çözüm bulmamız gerekecektir.

Depo gazı içerisinde bulunan metan gazının diğer gazlarla karşılaştırıldığında, direkt atmosfere verdiğinde çevresel zararın 21 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden depo gazı; beklenenden fazla gelmesi veya tesisin arıza sebebiyle

alışmaması durumunda flare denilen sisitemde yanarak atmosfere atılması gerekmektedir. Yakma sistemi (flare) içerisinde bulunan ateşleyiciekipman ile depo gazı kontrollü bir şekilde yakılır. Yakılan bu depo gazı sonucunda oluşan CO2 atmosfere verilir.



şekil 5.47. Yakma Bacası (Flare) Sistemi uygulamadaki hali

Bu sistem ile çevreye verilecek zararların önüne geçilir. Tesisin çalışmaması durumunda atmosfere ve doğaya çok zararı olan metan gazı çevreye verilmez ve emisyon değerlerinin dūřürölmesine katkı sağlanır.

6. 800 kWe GÜCÜNDEKİ BİR BİYOGAZ YAKMA TESİSİ TASARIMI

6.1. Mekanik Sistem Tasarımı

Sahamızda elde edilecek gaz miktarı göz önüne alındığında, ön görülen biyogaz miktarına bağlı olarak 800 kW gücünde bir gaz motoru seçimi ön görülmüştü. Tesisin mekanik tasarımı yapılırken bazı kabuller ve sabit değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler için serbest piyasada satış yapan gaz motoru disbiritörlerinden yardım alınmıştır. Herhangi bir markaya ait 800 kW gücündeki gaz motoru tedarikçisinin data sheedlerinden faydalanılarak aşağıdaki girdiler toplanmıştır.

Tablo 6.1. Gaz motoru ve yardımcı ekipman teknik girdileri

Ana Ekipman	Yardımcı Sistemler
GENSET Ünitesi (Toplam Elektrik Güç(Pe): 800 kWe = 0,8 MWe Toplam Termal Güç(Pt): 848 kWt Ana Güç Ünitesi: Gaz Motoru - Jeneratör Seti (Genset) Ünite Sayısı: 1 adet	Kuru Soğutucu (2 adet) Motor Çeketi Soğutma Sistemi - HT (1 adet) İntercooler Soğutma Sistemi - LT (1 adet) Baca ve Susturucu Tertibatı (1 adet)

6.1.1. Kapasite uygunluklarının irdelenmesi

Modellenen tesisimizde esas enerjinin sağlandığı biyogaz enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü ekipman gaz motorudur. Kojenerasyon sistemlerinde doğalgaz yakarak enerji sağlayan bu ekipman tesisimizde metan ağırlıklı temizlenmiş çöp gazı yakarak enerji üretecektir. Yapılacak hesaplamalar için herhangi bir gaz motoruna ait datalara ihtiyaç duyulacaktır.

Tablo 6.2. Gaz motoru ve yardımcı ekipmanlar data sheet bilgileri

<p>Gaz Motoru Teknik Özellikleri</p> <p>Marka: MWM</p> <p>Model: TCG 2016 V16C</p> <p>Silindir Sayısı: 16 (V motor)</p> <p>Devir Sayısı: 1.500 d/d</p> <p>Elektrik Gucu: 800 kWe (tam yukte)</p> <p>Yakıt Tüketimi (kW): 1.891</p> <p>Elektrik/Termal Verim (%): 42,3/41,1</p> <p>Egzoz Gazı Cıkış Sıcaklığı: 418 °C</p>	<p>Jenerator Teknik Özellikleri</p> <p>Marka: Marelli</p> <p>Model: MJB 450 MB4</p> <p>Devir Sayısı: 1.500 d/d</p> <p>Guc: 800 kWe (tam yukte)</p> <p>Verim: %95,9 (PF:0,8 tam yukte)</p> <p>Voltaj/Frekans: 400 V / 50 Hz</p>
<p>Motor Soğutma Sistemi Teknik Özellikleri</p> <p>Soğutucu Akışkan: hacimsel olarak %35 etilen glikol + %65 su</p> <p>Motor Ceket Soğutucusu Hacmi ve Debisi: 43 dm³, 42 m³/h</p> <p>İntercooler Soğutucu Hacmi ve Debisi: 10 dm³, 10 m³/h</p> <p>Motor Ceket Soğutucusu Giriş-Cıkış Sıcaklığı: 78/88 °C</p> <p>İntercooler Soğutucu Giriş-Cıkış Sıcaklığı: 40/47 °C</p>	<p>Motor Egzoz Gazı Özellikleri</p> <p>Egzoz Gazı Akış Debisi: 4.362 kg/h</p> <p>Egzoz Gazı Cıkış Sıcaklığı: 418 °C</p> <p>Motor Egzoz Gazı Isısı Geri Kazanım sistemi;</p> <p>Tesisimizde gaz motoru egzoz gazının ısısının geri kazanımına yönelik bir techizat yoktur. Atık gaz bacaya yönlendirilmektedir. İlerleyen süreçte verim artırma amaçlı bu ısı değerlendirilecektir.</p>
<p>Gaz Motoru Soğutma Sistemi Özellikleri</p> <p>Bu tarz gaz motoru ile enerji üreten sistemlerde iki tür soğutma işlemi gerçekleştirilir. Tesisin bulunduğu konum sebebiyle kuru tip soğutma ön görülmüştür. Motor Ceket Soğutma Sisteminden 88 °C’de alınan 42 m³/h debide akışkanın sıcaklığı bir hava soğutmalı HT kuru soğutucu vasıtasıyla 78 °C’ye düşürülüp tekrar motora gönderilerek motor soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. İntercooler soğutma sisteminden 47 °C’de alınan 10 m³/h debide akışkanın sıcaklığı bir hava soğutmalı LT Kuru Soğutucu vasıtasıyla 40 °C’ye düşürülüp tekrar motora gönderilerek İntercooler soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir.</p>	

6.1.1.1. Gaz motoru ceket suyu soğutucusu (HT radyatör seçimi)

Motor Ceket Soğutucusu olarak %35 Etilen Glikol (Ethylene glycol) ve %65 Su karışımı kullanılmıştır. 88 °C’de alınan 42 m³/h debide akışkanın sıcaklığı bir hava soğutmalı HT Kuru Soğutucu vasıtasıyla 78 °C’ye düşürülüp tekrar motora gönderilerek motor soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Motor Ceket Soğutucu akışkanının soğutulması amacıyla FRITERM marka FDH 2E 8013 D131 SD model HT kuru soğutucu dataları kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. HT Kuru Soğutucu teknik verileri aşağıda görülmektedir.

Tablo 6.3. HT kuru soğutucu teknik özellikleri

HT Kuru Soğutucu Teknik Özellikleri
Marka: Friterm
Model: FDH 2E 8013 D131 3 SD
Sıcak Taraf Akışkanı: Hacimsel olarak %35 Etilen Glikol + %65 Su
Soğuk Taraf Akışkanı: HavaSu/Hava Akış Debisi: 42/63.780 m ³ /h
Su/Hava Giriş Sıcaklıkları: 88/40 °C
Su/Hava Çıkış Sıcaklıkları: 78/71,17 °C
Su/Hava Ozgul Isısı (cp): 1,0/0,24 kcal/kg°C

Termal Güç Hesabı

Sıcak taraf akışkanı (%65 Su + %35 Etilen Glikol karışımı) için Isıl Güç hesabı yapılırsa (tam yükte);

$$Q = m \times cp \times \Delta T \rightarrow 42.000 \times 1,0 \times (88 - 78) = 420.000 \text{ kcal/h} \quad (6.1)$$

$$Q = 488,46 \text{ kw} \quad (6.2)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu yaklaşık 490 kW bir HT Soğutucu radyatör ile gaz motoru ceket suyu devresinin soğutulması için stabil çalışma ortamı sağlanması mümkündür.

6.1.1.2. Gaz motoru intercooler soğutucusu (LT radyatör seçimi)

İntercooler Soğutucusu olarak %35 Etilen Glikol (Ethylene glycol) ve %65 Su karışımı kullanılmıştır. İntercooler Soğutma sisteminden 47 °C’de alınan 10 m³/h debide akışkanın sıcaklığı bir hava soğutmalı LT Kuru Soğutucu vasıtasıyla 40 °C’ye düşürülüp tekrar motora gönderilerek İntercooler soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. İntercooler Soğutucu akışkanının soğutulması amacıyla

Hesaplamalarda Friterm marka FDH 2E 9111 E351 3 SD model LT kuru soğutucu verileri kullanılmıştır. LT kuru soğutucu teknik verileri aşağıda görülmektedir.

Tablo 6.4. Kuru soğutucu teknik özellikleri

Kuru Soğutucu Teknik Özellikleri
Marka: Friterm
Model: FDH 2E9111 E351 3 SD
Sıcak Taraf Akışkanı: hacimsel olarak %35 etilen glikol + %65 su
Soğuk Taraf Akışkanı: hava
Su/Hava Akış Debisi: 10/28.280 m ³ /h
Su/Hava Giriş Sıcaklıkları: 47/32 °C
Su/Hava Çıkış Sıcaklıkları: 39,29/42,56 °C
Su/Hava Özgül Isısı (cp): 1,0/0,24 kcal/kg °C

Termal Güç Hesabı

Sıcak taraf akışkanı (%65 Su + %35 Etilen Glikol karışımı) için ısı güç hesabı yapılırsa (tam yükte);

$$Q = m \times c_p \times \Delta T \rightarrow 10.000 \times 1,0 \times (47-39,29) = 77.100 \text{ kcal/h} \quad (6.3)$$

$$Q = 89,66 \text{ kw} \quad (6.4)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu yaklaşık 90 kW bir LT Soğutucu radyatör ile gaz motoru İntercooler devresinin soğutularak stabil çalışma ortamı sağlanması mümkündür.

6.1.1.3. Gaz motoru egzoz hattı tasarımı (Baca seçimi)

Tablo 6.5. Baca teknik özellikleri

Baca Yüksekliği: 570 cm
Gaz Motoru Güç Üretimi (tam yükte): 1.648 kW
Egzoz Gazı Motor Çıkış Sıcaklığı: 418 °C
Termal Verim (tam yükte): % 41,1
Tam Yükte Gerekli Yakıt Gücü: 1.891 kW
Deniz Seviyesi Dış Hava Basıncı (P lo) : 101.320 Pa
Yerçekimi İvmesi (g): 9,81 m/s ²
Hava Gaz Sabiti (RL): 287 J/kgK
Dış Hava Sıcaklığı (TL): 258 K (- 15 °C Tesisin Kurulacağı Lokasyon)Jeodezik
Yükseklik (Z): 1.250 m (Tesisin Kurulacağı Lokasyon)

Dış Hava Basma (P_L)

$$P_L = P_{LO} \times e^{(-g_{xz})/(R_L \cdot T_L)} - 4.300 \rightarrow 1001.320 \times e^{(-9,81 \cdot 1.250)/(287 \cdot 288)} - 4.300$$

$$P_L = 82.919,79 \text{ Pa} \quad (6.5)$$

Dış Hava Yoğunluğu (ρ_L)

$$\rho_L = P_L / (R_L \cdot T_L) \rightarrow 82.919,79 / (287 \cdot 288)$$

$$\rho_L = 1,0032 \text{ kg /m}^3 \quad (6.6)$$

Tablo 6.6. Baca hesabı için teknik veriler

Atık Gaz Yoğunluğu (ρ):0,426 kg/m ³
Akış Emniyet Katsayısı (S _E): 1,2
Atık Gaz Sabiti (R _G): 300 J/kgK
Atık Gaz Özgül Isısı (C _p): 1.100 J/kgK
Atık Gaz Debisi (m): 4.362 kg/h = 1,211 kg/s

Geçici Çap Tayini (D_h):

Baca Çapı (D_h): 0,40 m

Baca Kesit Alanı (A'): 0,038 m²

Bacada Ortalama Akış Hızı (w):

$$w=m/(A' \cdot \rho)$$

$$w=1,211/(0,038 \times 0,426)$$

$$w=22,64 \text{ m/s} \quad (6.7)$$

Soğutma Sayısı (K_s):

Bacanın Çevresi (U): 0,69 m

Atık Gaz Debisi (m): 4.362 kg/h = 1,211 kg/s

Baca Uzunluğu (H_L): 5,7 m

Isı Geçiş Katsayısı (K_b): 23 W/m²K (Dışarda)

$$K_s=(U \times H_L \times K_b)/(m \times C_p)$$

$$K_s=(0,69 \times 5,7 \times 23)/(1,211 \times 1.10)$$

$$K_s=0,068 \quad (6.8)$$

Atık Gazın Ortalama Sıcaklığı (T_m):

Baca Girişinde Atık Gaz Sıcaklığı (T_w): 418 C = 691K

Baca Girişinde Atık Gaz Sıcaklığı (T_e):

$$T_e=T_L+(T_w-T_L) \times e^{(-K_s)}$$

$$T_e=258+(691-258) \times e^{(-0,068)}$$

$$T_e=662 \text{ K}=389 \text{ C} \quad (6.9)$$

$$T_m=T_L+\left(\frac{T_e-T_L}{K_s}\right) \times (1-e^{(-K_s)})$$

$$T_m = 258 + \left(\frac{389 - 258}{0,068} \right) \times (1 - e^{(-0,068)})$$

$$T_m = 649 \text{ K} = 376 \text{ C} \quad (6.10)$$

Baca Çıkışında Atık Gaz Sıcaklığı (T_0):

$$T_0 = T_L + (T_e - T_L) \cdot e^{-Ks}$$

$$T_0 = 258 + (662 - 258) \cdot e^{-0,068}$$

$$T_0 = 636 \text{ K} = 363 \text{ C} \quad (6.11)$$

T_0 sıcaklığı 90 C üzerinde olması istenir, bu değer 90 C üzerinde olduğu için baca üzerinde herhangi bir yoğunlaşma gözlenmeyeceğinden seçtiğimiz baca çapı ve yüksekliği tesisimiz için ön görülen ölçüler teknik olarak uygun olacaktır.

Atık Gaz Ortalama Yoğunluğu (ρ_m):

$$\rho_m = P_L / (R_G \times T_m)$$

$$\rho_m = 82919,79 / (300 \times 691)$$

$$\rho_m = 0,399 \text{ kg/m}^3 \quad (6.12)$$

Bacanın Doğal Çekişi (P_{HV}):

Gaz Motor Çıkışı Baca Girişi Yüksekliği (H_V): 1,7 m

$$P_{HV} = H_V \times g \times (\rho_L - \rho_m)$$

$$P_{HV} = 1,7 \times 9,81 \times (1,0032 - 0,399)$$

$$P_{HV} = 41,6 \text{ Pa} \quad (6.13)$$

Baca Direnç Hesabı (P_E):

Sürtünme Sayısı (Ψ): 0,044

Baca Kayıpları Toplamı ($\Sigma\zeta$): 1,65 kPa

$$P_E = (\Psi \times \left(\frac{H_B}{D_h}\right) + \sum \zeta) \times (\rho_m \times \frac{w^2}{2}) \quad (6.14)$$

$$P_E = (0,044 \times \left(\frac{5,7}{0,4}\right) + 1,65) \times (0,399 \times \frac{22,6^2}{2})$$

$$P_E = 232 \text{ Pa} \quad (6.15)$$

Baca Basınç Kaybı (P_R):

Akış Emniyet Katsayısı (S_E): 1,1 ön görülmüştür,

$$P_R = S_E \times P_E \quad (6.16)$$

$$P_R = 1,1 \times 232 \quad (6.17)$$

$$P_R = 255,2 \text{ Pa} \quad (6.18)$$

Duman Kanalları Basınç Kaybı (P_{dk}): 150 Pa,

Susturucu Basınç Kaybı (P_{sk}): 1.500 Pa olarak imalatçı firma değerleri göz önünde bulundurularak seçilmiştir,

$$\text{Toplam Basınç Kaybı} = P_E + P_R + P_{dk} + P_{sk} - P_{HV} \quad (6.19)$$

$$\text{Toplam Basınç Kaybı} = 232 + 255,2 + 150 + 1500 - 41,6$$

$$\text{Toplam Basınç Kaybı} = 2.095,6 \text{ Pa} \quad (6.20)$$

Gaz motorunda atık gaz karşı basıncı genset datasheetlerinden 3.000 Pa olarak belirlendiğinde toplam basınç kaybı miktarı gaz motorundaki karşı basınçtan küçük olduğundan gaz akışı için ideal koşullar sağlanmış olacaktır.

6.1.1.4. Gaz motoru atık ısı hesabı (Kazan seçimi)

Modellediğimiz santralde ilk aşamada termal gücü herangi bir ısı geri kazanım cihazı ile kazanma fikri bulunmamaktadır. Bu yüzden motor egzoz ısının geri kazanımı olmadığından egzoz direk atmosfere atılacaktır. Fakat tesisin ileriki dönemlerde veriminin artırılması amacıyla atık ısının değerlendirilebileceği göz önüne alınarak atık ısı miktarımızı hesaplayacağız. Bu devrenin mühendislik hesaplarına uygun

olarak tasarlanması gerekmektedir. Tasarımın yapılabilmesi için aşağıda listelenen girdilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 6.7. Termal güç hesabı için teknik veriler

Motor Egzoz Gazı Özellikleri
Egzoz Gazı Debisi: 4.362 kg/h
Egzoz Gazı Motor Çıkış Sıcaklığı: 418 °C
Egzoz Gazı Baca Çıkış Sıcaklığı: 150 °C
Egzoz Gazı Özgül Isısı (cp): 0,24 kcal/kg °C

Termal Güç Hesabı

Egzoz devresi göz önünde bulundurulursa;

$$Q = m \times cp \times \Delta T \rightarrow 4.362 \times 0,24 \times (418-150) = 280,563 \text{ kcal/h} \quad (6.21)$$

$$Q = 326,3 \text{ kw} \quad (6.22)$$

İlerleyen süreçte tesise yaklaşık 350 kw gücünde bir atık ısı kazanı akuple edilmesi sonucunda egzoz ile atmosfere atılan ısı enerjisi işletmeye kazanç olarak geri dönecektir.

6.1.2. Biyogaz santrali verim uygunluk kontrolü

Gaz Motoru - Generatör setinin (Genset) tam yükteyken toplam elektriksel güç üretimi değeri 800 kWe ve termal güç üretim değerleri sırasıyla 460 kW, 70 kW ve 318 kW olarak teknik data sheedlerden alınmıştır. Sistemin toplam verimlilik değerinin yakıt tüketimini dikkate alarak hesaplanması gerekmektedir.

Sisteme verilen güç katı atık kaynaklı biyogaz tüketimiyle ilişkilidir ve toplam yakıt tüketimi değeri tam yükte 1.891 kW olarak taahüd edilmiştir. Sistemden alınan güç ise elektrik ve termal güçlerin toplamıdır. Ayrıca radyasyon yoluyla ve diğer yollarla olan kayıplarda dikkate alınarak sistemin toplam verim değeri bulunabilecektir. Buna göre farklı yükteki veriler dikkate alınarak verim hesabı yapılmıştır.

Tam Yükte (%100) Verim Hesabı:

Tablo 6.8. Verim hesabı için gerekli teknik veriler

Elektrik Gücü: 800 kWe
Motor Ceket Soğutucusu Isıl Gücü: 460kW
Intercooler Isıl Gücü: 70 kW
Atık Isı (Sıcak Su) Kazanı Isıl Gücü : İlk Etapta Bulunmamaktadır
Yakıt Tüketimi: 1.891 kW
Gaz Motoru Radyasyonla Olan Isı Kaybı:30 Kw
Generatör Radyasyonla Olan Isı Kaybı:24 kW

Elektriksel Verim:

$$\eta = \frac{800}{1.891} = 0,4233 = 42,33\% \quad (6.23)$$

Modellenen sahamızda ilk etapta sadece elektrik enerjisi üretimi hedeflenmiştir. İlerleyen süreçte tesisteki atık ısılar ile verimi artırma yoluna gidilebilir. Bu durumda verim değeri oldukça yüksek seviyelere çıkacaktır.

Toplam Verim:

$$\eta = \frac{800+460+70+318-30-24}{1.891} = 0,843 = 84,3\% \quad (6.24)$$

6.2. Elektriksel Tasarımı

Tesisimizde kullanılacak gaz motor çıkış gücümüz 827 kWe olmakla beraber jeneratör çıkış gücümüz 800 kWe'dir. Biyogaz önce gaz motorunun turbo şarj kısmına giriş yapar. Burada uygun oranda hava-yakıt karışımı sağlanır ve bu karışım gaz Motoru yanma odasına gider. Yanma odasında yakıttaki enerji mekanik enerjiye çevrilir. Bu mekanik enerji, Gaz Motoruna akuple jeneratör vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Farklı gaz motorlarında teknik özellikler farklı karakteristik özellikler sergilediğinden ötürü seçtiğimiz motora ait data sheedler doğrultusunda elektriksel tasarımı irdeleyeceğiz.

Santralde bulunan motor 1 ünite olup 16 silindire sahiptir. Motorun ilk kalkış anında 24 V DC, 286 Ah'lik bir akü batarya grubuna ihtiyaç duymaktayız. Generator Çıkış

Gerilimi 0,4 kV'tur. Generator Güç Faktörü ise 0,8'dir. 1560 kW için hesaplanan elektrik verimi % 42,50 (ISO standartları doğrultusunda) ve bizim tasarımımızda 1357 kW için % 43,0 olarak ön görülmektedir.

Modellediğimiz tesiste, elektrik projesi hazırlanırken aşağıda listelenen faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

- YG-AG kısa devre,
- Gerilim düşümü,
- Primer teçhizat seçimi,
- Röle koordinasyonu,
- İletken kablo seçimi,
- Topraklama ve yıldırımdan korunma.

Tesisin elektrik şebekesi sistemine entegrasyonunu anlatmak gerekirse, trafo merkezinden dağıtım merkezine buradan da en yakın bağlantı noktasındaki trafoya gelişi ile beraber seksiyoner direğinden trafo tüketim merkezimize gelmekte ve trafomuza giriş söz konusudur.

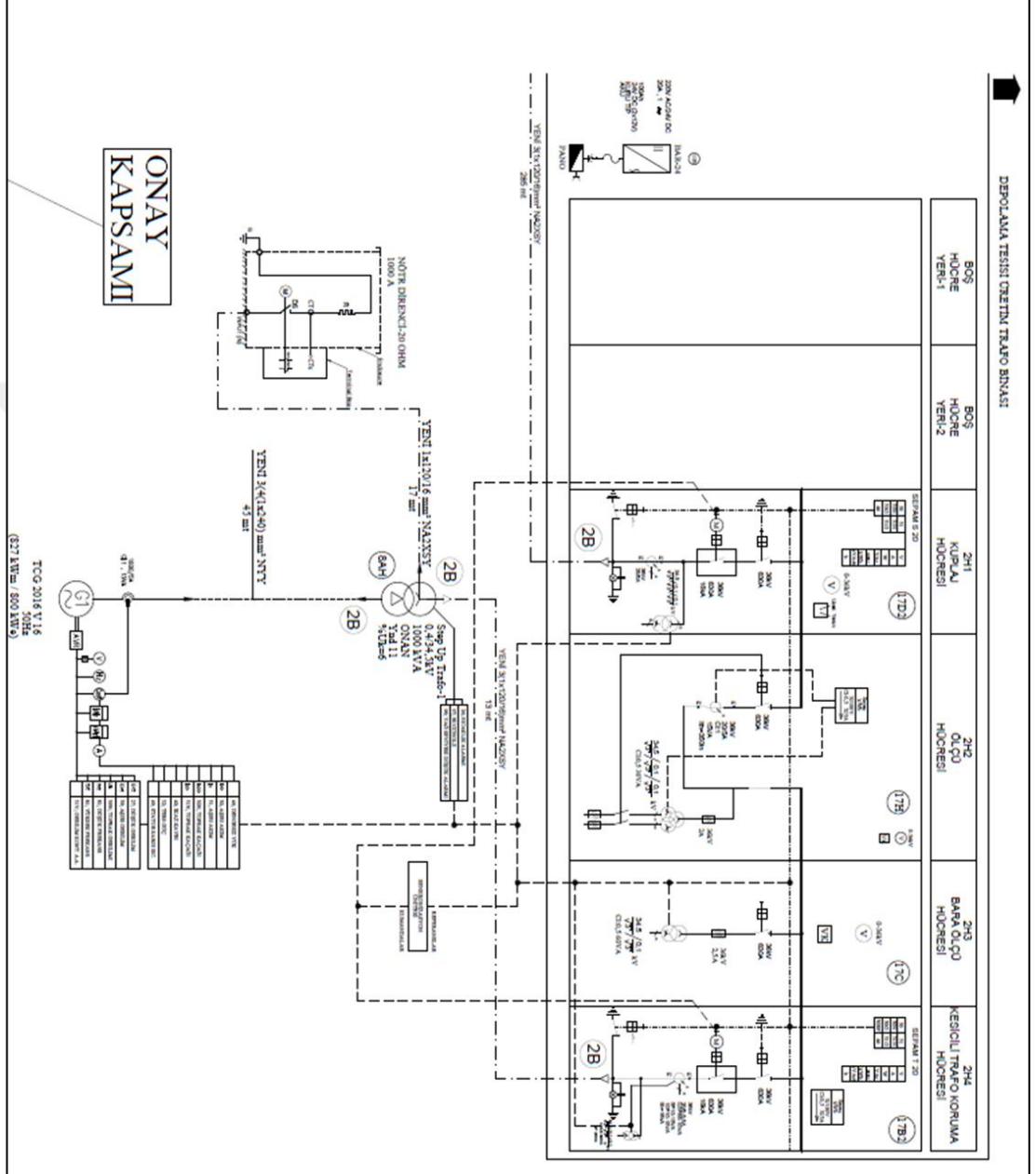
Şebeke noktasında 154 kV olmakla beraber indirici trafo ile elektrik 34,5 kV a düşürülmektedir. Sonraki süreçte bizim transformatörümüze kadar bu şekilde devam etmekte olup, 0,4 kV olarak düzenlenmektedir.

Elektrik sistemlerinde 25 MVA gücün üstündeki 154/34,5 kV transformatörlerin 34,5 kV yıldız noktaları dirençle topraklıdır. Eğer fiderler havai hatla çıkıyorsa direnç değeri 60 Ohm olup 300 Amper ile sınırlıdır. Eğer fiderler yer altı kablosu ile çıkıyorsa direnç değeri 20 Ohm olup 1000 Amper ile sınırlıdır.

Sistemimizde havai hat, yer altı kablosu, dağıtım trafosu, oluşabilecek arıza akımları (faz-toprak arası), şebeke ve trafo empedanslarının gerekli elektriksel hesaplamaları yapılmalıdır.

Yüksek gerilim ve alçak gerilimde gerekli elektriksel hesaplamalar sonucu oluşturulan tek-hat şeması elektriksel tüm tasarımı ortaya koymalıdır. Proje ve hesaplarla modellenen tesisin saha ile birebir uyumluluğu çok önemlidir. Proje kapsamında seçilen ekipmanların kapasite uygunluğunun yanı sıra oluşan elektrik

enerjisinin taşındığı hatların hesabı yapılarak kablo çapları ve tipleri belirlenmesi gerekir.



Şekil 6.1. Tesise ait Tek Hat Projesi

6.2.1. Gerilim kaybı/güç düşümü irdelenmesi

Elektrik tesisinde kablo kesitinin seçilmesi; gerilim düşümünün hesabı, kullanılacak kablunun kurulacak gücü ne kadar uzağa taşıyabildiği ve kullanılacak kablunun maksimum taşıyabileceği akım göz önünde bulundurularak modelleme yapılmalıdır. Seçilen gaz motoru elektriksel datalarından alınan verilere göre jeneratör gücü 800

kWe, tesisin gücü:1000 kVA olacak şekilde yola çıkılmıştır. Santaralde üretilecek akım ($I=s/(\sqrt{3} \times V)$) ve kablo kataloglarından taşıyabileceği akıma göre kablo seçimi yapılarak bulunur.

Burada kablo seçiminde gerilim düşümü hesabı da çok önemlidir. Özel bir transformatör tesis edilmiş ve bu transformatörden hat çekilecekse, transformatörden yükünüze kadar çekeceğiniz hattın toplam gerilim düşümü %5 değerini aşmamalıdır.

Gerilim düşümü hesabı üç fazlı ve tek fazlı hatlar için ayrı ayrı formüller bulunmaktadır.

3 fazlı hatlar için;

$$\%u = 0,0124 \times L \times N / S \text{ veya} \quad (6.25)$$

$$\%u=N \times L \times K \text{ (K sabit katsayı)} \quad (6.26)$$

Bu formülüzasyonda gerilim düşümünü hesaplayabilmemiz için bizlere gerekli üç değişkene ihtiyaç vardır. Bunlardan birincisi kablo uzunluğu (L) iki nokta arasında çekilecek iletken uzunluğunu gösterir. İkincisi elektriksel güç (N) taşınacak elektriksel yükü gösterir. Üçüncü değişken olarakta iletken çapı (S) iki nokta arasında elektriksel yükün taşındığı kablonun kesit alanını ifade eder.

Uygun hesaplamalar ve malzeme seçimi doğrultusunda gerilim düşümü ve güç kaybı minimize edilmiş olacaktır. Modellememize göre ;

A-Trafo merkezi ile dağıtım merkezi arası (11 km)- 3X(1x266) mm² Havai Hat

B-dağıtım merkezi ile ana trafo arası (1 km)- 1X(3X(1X95)) mm² XLPE Cu

C-ana trafo ile seksiyoner arası (2,4 km)- 3X(1X3/0) mm² Havai Hat

D-seksiyoner ile tüketim trafosu arası (0,05 km)- 1X(3X(1X95)) mm² XLPE Cu

E-tüketim trafosu ile üretim trafosu arası (0,285 km)- 1X(3X(1X120)) mm² XLPE Al

F-üretim trafosu ile step up trafo(1000 kVA) arası (0,013 km)- 1X(3X(1X120)) mm² XLPE Al

Tablo 6.9. Gerilim düşümü hesap tablosu

Gerilim Düşümü	A	B	C	D	E	F
Hat Gücü	1000	1000	1000	1000	1000	1000
% Diversite	100	100	100	100	100	100
Diversiteli Hat Gücü	1000	1000	1000	1000	1000	1000
K Katsayısı ($\times 10^4$)	0,093333	0,232115	0,127333	0,232115	0,279768	0,279768
% $\Delta U = N.L.K$	0,102667	0,023211	0,03056	0,001161	0,007973	0,000364
Gerilim Düşümü(%)						
Toplam % $\Delta U =$	0,17%	<7%	Gerilim düşümü yönünden uygundur!			

Tablo 6.10. Güç kaybı hesap tablosu

Güç Kaybı	A	B	C	D	E	F
Diversiteli Hat Gücü	1000	1000	1000	1000	1000	1000
C Katsayısı ($\times 10^6$)	0,059931	0,162151	0,094266	0,162151	0,21256	0,21256
% $\Delta P = N.L.C.125$	0,082406	0,020269	0,02828	0,001013	0,007572	0,000345
Güç Kaybı (%)						
Toplam % $\Delta P =$	0,14%	<5%	Güç kaybı yönünden uygundur!			

Tesis dahilinde ön görülen metrajlar kullanıldığında gerilim düşümü ve güç kaybı yönünden tesisin elektriksel tasarımı uygun olacaktır.

Primer teçhizat seçimimizde, kısa devre gücünü hesaplayarak kesici seçimi yapmamız gerekmektedir. Burada esas amaç arıza anında tesisimiz zarar görmeden kesicinin emniyetli bir şekilde açmasını sağlayacaktır. (Not: kısa devre akımları, gerekli elektriksel hesaplamalarla ortaya konulmaktadır.)

$$\begin{aligned} \text{Kısa Devre Gücü} &= \sqrt{3} I_{K3} \times U_n \rightarrow \sqrt{3} \times 2,848 \times 34,5 \\ &= 170,19 \text{ MVA minimum olması gereken güç miktarıdır.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kesici Kısa Devre Gücü} &= \rightarrow 16 k_A \times 34,5 \times \sqrt{3} \\ &= 954,96 \text{ MVA bulunur.} \end{aligned}$$

Buradan $170,19 < 954,96$ olduğu için uygundur.

Bunula beraber, trafonun sekonder tarafındaki şalter (0,4 kV bara) seçimi;

$$\text{Kısa devre gücü} = \sqrt{3} I_{AG} \times U_n \rightarrow \sqrt{3} \times 21,95 \times 0,4$$

= 15,21 MVA bulunur.

3 fazlı kısa devre akımı ve faz toprak kısa devre akımlarının da hesaplanması sonucunda, şalter kısa devre akımı 28,27 kA olarak hesaplanmıştır. Yani elektriksel tasarımda bu değerden fazla akım kapasiteli 32 kA'lık şalter seçilerek sahamıza uygulanacaktır. Şalterin bu şekilde emniyetli aralıkta seçilmesi arıza anında tesisin zarar görmemesini sağlar. Bu da iş ve işçi güvenliği için önem arz etmektedir.

Sahamızda transformatörün OG sargısının anma akımı 16,73 Amper olduğu için akım transformatörlerinde çevirme oranı 20/5 Amper olacak şekilde seçilmiştir. Transformatörün sınıfı 1 klas olmalıdır. Akım transformatörleri, ölçü devreleri için kullanılmakla beraber sayaçlarımızın arızalanmasını ve ölçü devresinin kontrolü için kullanılmaktadır.

Primer teçizatta yer alan aynı zamanda gerilim trafosu da yüksek gerilimden dolayı kullanılmakta olup, akım transformatörleri gibi ölçü devresinin sağlıklı çalışması için gereklidir. Bunun da çevirme oranı 34,5/0,1 olacaktır.

Gerilim devresinde 2 adet sayaç ve röle mevcuttur. 2 adet sayaç kullanılmasının amacı, sayaçlardan bir tanesinin arızalanması durumunda diğeri üzerinden inceleme yapabilmek içindir. Sargı gücü 30VA seçilmeli ve sınıfı 0,5 olmalıdır.

Topraklama ve yıldırımdan korunma konuları özellikle malzeme ve tesis güvenliği ile işçi sağlığının korunmasında çok büyük bir yer teşkil etmektedir. Topraklama ikiye ayrılmakla beraber; işletme ve koruma topraklaması olarak adlandırılmaktadır.

İşletme topraklaması; aşırı gerilimleri önlemek veya zararsız hale getirmek için yapılmaktadır. Tesisimizde enerji nakil hatlarının ve şebeke hatlarının nötr iletkenleri ile generatör ve trafoların yıldız noktaları topraklanmaktadır. Burada özellikle trafomuzun yıldız noktasının topraklanmasının nedeni, meydana gelebilecek dengesiz yükler sonucu yıldız noktasında oluşabilecek, elektriksel kaymaları engellemek ve tesisimizin güvenliğini sağlamaktır.

Koruma topraklaması; gerilim altında bulunmayan metal kısımların topraklanmasıdır. Bu topraklama sayesinde işçilerin herhangi bir dokunma gerilimine maruz kalmasını engellemektir.

Yıldırımdan korunma; tesisimize düşebilecek bir yıldırım darbesi en kısa anda sistemimize ulaşır bütün sistemimize zarar verebilir. Bunu engellemek için parafudr kullanmak gerekmektedir. Parafudrlarda seçiminde önemli bazı kriterler bulunmaktadır. Tesisimizin gerilimi, üzerinden geçen akım çeşidi, faz sayısı, toprak yapısı ve kurulacak tesisin risk analizlerine bu hususta dikkat edilmelidir.

Tek Hat projesinde de gösterildiği üzere trafo tüketim binasında bazı elektriksel teçizatlar ihtiyacı duyulmaktadır. Bu bölümde, 1 adet 36 kV 630 A 16 kA metal muhafazalı otoprodüktör fider kriterlerine göre donatılmış kesicili modüler hücre, 1 adet 36kV 630A 16kA, akım gerilim ölçü hücresinin içerisine 2 adet (1 tanesi yedek) olmak üzere dijital uzaktan okunabilir çift yönlü sayaç, 3 adet 36 kV 20/5-5A Cl:1,15VA,Ith=350In akım trafosu ve $(34,5/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})$ Cl:0,5 30VA gerilim trafosu, 1 adet 36 kV 16 kA 630 A, LPCT 5.1250A akım trafolu, SF6 Gazlı kesicili çıkış hücresi, 1 adet 36 kV 16 kA 630 A, LPCT 5.1250A akım trafolu, SF6 Gazlı kesicili trafo koruma hücresi montajı yapılacaktır.

Tüketim Trafo Binası içerisinde 34,5 / 0,4kV 630kVA trafo ve pano olacaktır.

Üretim Tesisi içerisinde yapılacak olan OG Hücre odası içerisinde yapılacak ekipmanlar ise, 2 adet boş hücre yeri (Scada Sistemi), 1 adet 36kV 630A 16kA, 25/5A akım trafolu, $(34,5/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})$ gerilim trafolu Kuplaj hücresi, 1 adet 36kV 630A 16kA, 20/5A, Cl:1,15VA,Ith=350In akım trafolu, $(34,5/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})$ Cl:0,5 30VA gerilim trafolu, dijital uzaktan okunabilir tek yönlü sayaçlı TEDAŞ akım gerilim ölçü hücresi, 1 adet 36kV 630A 16kA, 36kV 2,5A , $(34,5/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})$ Cl:0,5 60VA gerilim trafolu Bara ölçü hücresi, 1 adet 36kV 630A 16kA, 20/5-5-5A, 0,5FS5-10VA, 5P10-15VA, 10P10-15VA, Ith=16kA akım trafolu, $(34,5/\sqrt{3})/(0,1/\sqrt{3})/(0,1/3)$ Cl:0,5 60VA 3P20VA gerilim trafolu, dijital uzaktan okunabilir tek yönlü sayaç, kesicili trafo koruma hücresine montajı yapılacaktır.

Üretim Tesisi içerisinde 0,4kV / 34,5kV 1000 kVA Step-Up trafo ve AG pano için ayrı ayrı oda yapılması gerekmektedir. Tüketim Trafo Binası içerisinde, kesicili Trafo Koruma hücresi 36 kV 4(1x50/16)mm² XLPE kablo ile 34,5 / 0,4kV 630 kVA trafoya irtibatlanacaktır. Kesicili Çıkış Hücresi ile üretim tesisi içerisindeki OG odası içerisindeki kuplaj hücresi ile 36 kV 285 mt, 3(1x120/16)mm² NA2XSYP kablo ile

birbirine bağlanacaktır. OG odası içerisindeki Kesicili Trafo Koruma Hücresi ile 0,4kV / 34,5kV 1000 kVA Step-Up trafo arasına 36 kV 13 mt 3(1x120/16)mm² NA2XSY kablo montajı ön görülmektedir.

827 kWm / 800 kWe gücündeki kojen ile 0,4kV / 34,5kV 1000 kVA Step-Up trafo arasına 45 mt 3(4(1x240) mm² NYY kablo çekilecektir. 34,5/04 kV 1000 kVA trafonun yıldız bağlantısı, 36 kV (1x120/16) mm² NA2XSY 17 mt kablo ile 36 kV 20 ohm, 1000A dirençle topraklanacaktır. YG-AG ekipmanı tamamı topraklama yönetmeliğine uygun olarak ayrı ayrı projesinde gösterildiği gibi topraklanacaktır.



7. NÜFUSU 100.000 OLAN BİR YERLEŞİMDE LFG TESİSİ AMORTİSMAN SÜRESİNİN HESABI VE SİSTEMİN YAPILABİLİRLİĞİ

7.1. Santral Gelirlerinin Hesaplanması

Biyogaz tesisinde üretilen elektrik enerjisi tüketiciye ulaşılması amacıyla şebekeyle ilişkilendirilir. 6094 sayılı Kanunla değişik 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK Kanunu) kapsamında hazırlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (YEKDEM Yönetmeliği) gereğince, YEK Destekleme Mekanizmasına tabi biyogaz tesislerinde, 10 yıl süre alım garantisi ile çöp gazından üretilen elektrik enerjisi 13,3 \$ cent/kWh fiyatından ücretlendirilerek şebekeye iletilecektir.

Modellediğimiz sahada öncelikle 800 kW'lık bir gaz motoruyla elektrik üretimine başlanacaktır. Üretilen elektriğin yaklaşık 50 kW iç ihtiyaç için düşüldüğünde saatlik elektrik üretimimiz 750 kW civarlarında olacaktır. %100 kapasitede çalıştığı iyimser senaryoda ön görülürse eğer tesisimiz bir günde 18 MWh ayda 540 MWh elektrik üretmiş olacaktır. YEK göre üretilen elektrik 13,3 \$ cent/kWh dalım garantisi ile devlet tarafından desteklenmemektedir.

$$\text{Santral Kazancı} = \text{Üretilen Enerji} \times \text{Verim} \times \text{Çalışma Saati} \quad (7.1)$$

$$(\text{Santral Kazancı} = 287.998,0 \text{ TL/Ay}) \quad (7.2)$$

7.2. Santral Giderlerinin Hesaplanarak Geri Dönüş Süresinin Hesaplanması

Tesiste oluşacak giderlerin belirlenmesinde yerel yönetimlerle yapılan anlaşmalar oldukça önemlidir. Bu anlaşmalar personel giderleri ve iş makinası giderleri üzerinde oldukça belirleyici olmaktadır. Bizler sahamızda en olumsuz duruma göre giderleri planlayıp bir maliyet çıkaracağız.

Personel masrafları: Modellenen sahamızda işletme esnasında 1 adet tesis sorumlusu mühendis, 1 adet elektrik teknisyeni, 2 adet makine teknikeri, 1 adet saha sorumlusu

tekniker, 1 adet güvenlik,1 adet kantar personeli, 2 adet yemekhane sorumlusu personel ile sorunsuz bir işletme hedeflenmektedir. Personel maaşları için yaklaşık 50.000 TL bir masraf öngörülmektedir. (Gider(1)=50.000 TL/Ay)

Gaz motoru bakım maliyeti: 800 kW gaz motoru üreten distribütörlerden bakım maliyeti araştırmasına göre aylık ortalama 9.000 TL'lik bakım masrafı ön görülmektedir. Bu miktar gaz motorunun kullanım süresine ve özel durumlara göre değişkenlik arz etmektedir. (Gider(2)=9.000 TL/Ay)

Santral bütçesi: Bu kalemde sahada ön görülemeyen durumlar için belirli ve santralin sabit masraf kalemleri adına bir bütçe ayrılmıştır. Tesislerde çalıştırılan iş makinalarının bakımları ve arızaları, depo gazı emiş sistemi gaz temizleme prosesi, gaz yakma üniteleri ve elektriksel ekipmanlar üzerinde oluşabilecek sorunlar için aylık 25.000 TL bir harcama planlanmıştır. Sabit giderler kapsamında yemek, çay ocağı, temizlik, araç kiralama bedelleri için 10.000 TL harcama planı ile toplamda masraf kalemi için 35.000 TL'lik bir bütçe öngörülmüştür. (Gider(3)=35.000 TL/Ay)

Yakıt Giderleri: Yerel yönetimlerle yapılan anlaşmada sahada kullanılan dozer, kepçe, ekskavatör ve diğer iş makinalarının çalıştırılmasında kullanılan yakıt masrafları, personel araç yakıt masrafları, bakım esnasında iç tüketimi karşılamak için kullanılan black start jeneratör yakıt masrafları için aylık 15.000TL' lik bir masraf kalemi öngörülmektedir. (Gider(4)=15.000 TL/Ay)

Aylık hesaplanamayan durumlar görülmediği takdirde gelir/gider durumu ve basit geri dönüş hesabı aşağıda hesaplanmıştır,

$$(Toplam\ Giderler=Gider(1)+Gider(2)+Gider(3)+Gider(4)=109.000,0\ TL/Ay) \quad (7.3)$$

$$(Toplam\ Gelirler=Santral\ Kazancı(1) = 287.998,0\ TL/Ay) \quad (7.4)$$

$$(Kurulum\ Maliyeti=Biyogaz\ Tesisi\ Maliyeti(800kW) =5.636.600\ TL/Adet) \quad (7.5)$$

$$Basit\ Yatırım\ Geri\ Dönüş\ Süresi(Ay) = \frac{Santral\ Kurulum\ Maliyeti}{Aylık\ Gelirler - Aylık\ Giderler} \quad (7.6)$$

$$\text{Basit Yatırım Geri Dönüş Süresi(Ay)} = \frac{5.636.600,0}{178.998} \quad (7.7)$$

$$\text{Basit Yatırım Geri Dönüş Süresi(Ay)} = 31,48 \text{ (Ay)} \quad (7.8)$$



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyadaki nüfusun hızla artması, tüketime bağlı yaşam tarzı benimsenmesi ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi tüm dünya üzerinde atık problemini ortaya çıkarmıştır. Bu tarz sorunların çözülmesi için tüm dünyada modern teknolojiler uygulanmaktadır. Ayrıca bu atıkların bertaraf edilmesi esnasında ekonomiye ve enerji açığına katkıda bulunabileceğimiz yöntemlerde geliştirilmiştir. Atıklar artık insanların yaşadığı alanlardan uzakta bir bölgeye dökülerek çevresel ve güvenlik faktörlerinin göz ardı edildiği vahşi depolama alanlarında depolanmayıp, düzenli depolama alanlarına dökülen atıklardan elde edilen depo gazının yakılmasıyla ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Kentsel katı atıklar böylelikle hem çevresel hem de ekonomik açıdan faydalı hale gelecektir. Böylece kentsel atıklardan enerji üretimi sadece bir yenilenebilir enerji uygulaması olmayıp, aynı zamanda sera gazı emisyonlarını azaltarak doğaya fayda sağlanmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde enerji üretildiği yerde tüketilerek gerek enerji kayıpları gerek enerji nakil hattı maliyetleri düşürülebilmektedir. Üretilen enerjiyi sadece elektrik enerjisi olarak değerlendirmeyip, atık ısıdan faydalanan tesisler daha kısa sürelerde geri dönüşünü tamamlayarak verim değerlerini %80 lere ulaştıracaktır.

Bu çalışma ile nüfusu 100.000 olan katı atık organik miktarı yüksek her il ve ilçeye kurula bilecek biyogaz santrali tasarımı ve fizibilite çalışması yapılmıştır. 81 ili yaklaşık 1.000 ilçesi, 80.000.000 nüfusa sahip ülkemizde büyük şehirlerde yaygınlaşmış olsa da küçük şehirler ve ilçeler için çöp gazından enerji üretim santrallerinin yapılmasının ne kadar ekonomik ve çevresel yatırımlar olacağı incelenmiştir. Saha araştırmalarıyla yeni projelerin geliştirilmesi, nüfusu az ilçelerin katı atık depolama sahalarını birleştirerek atık miktarının artırılmasıyla ekonomik projelerin geliştirilmesi arzulanmaktadır. Bu projelerin enerji ve çevre politikalarıyla desteklenerek geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması ülke ekonomisi adına da en büyük hedeflerimizdendir.

KAYNAKLAR

Armağan B., Demir İ., Demir Ö., Gök N., *Katı Atıkların Ekonomide Değerlendirilmesi*, İTO Yayınları, İstanbul, 2006.

Aydın A., Türkiye’de Depo Gazından Enerji Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 349854.

Beyhan M., Isparta Evsel ve Ticari Katı Atıklarından Geri Kazanılabılır Maddelerin Potansiyelinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997, 67726.

Bilgili M.S., Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, 128624.

Borat M., Katı Atık Yönetimi, Ders Notları, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2001.

Chao-Ming L., Guang-Ruei K., Meng-Yu C., Potentials of Food Wastes for Power Generation and Energy Conservation in Taiwan, *Renewable Energy*, 2009, **34**, 1913-1915.

Christensen T.H., Cossu R., *Basic Processes in Landfills*, Cagliari, Italy, 1998.

Coşkuner M., Evsel Atıktan Enerji Üretimi Gaziantep Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2015, 416868.

Çelik S. İ., Tokat Şartlarında Kentsel Atıkların Biyogaza Dönüştürülmesi ve Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 411421.

Çevre ve Orman Bakanlığı., *Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012)*, Çevre Yönetim Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008.

Çiçek B.N., Öztürk M., Özek N., Renewable Energy Market Conditions and Barriers in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, **13**(6-7), 1428-1436.

Gören S., Anıl İ., Camcı F., Şengül A.B., Aras Mehan H.N., Modeling the Quantity of Municipal Solid Waste in Istanbul by Using Artificial Intelligence and Statistical Techniques, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, **3**, 165-175.

Kaya D, Öztürk HH, *Biyogaz Teknolojisi Üretim-Kullanım-Projelendirme*, Umuttepe Yayıncılık, Kocaeli, 2012.

Kiriş A, Saltabaş F., Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazı (LFG) Yönetimi ve Uygulamaları, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2011, **3**, 210-211.

Llaneza Coalla H., Blanco Fernândez J.M., Mons Morân M.A., Lopez Bobo M.R., Biogas Generation Apple Pulp. *Bioresource Technology*, 2009, **100**, 3843-3847.

Lou X. F., Nair, J., The Impact of Landfilling and Composting on Greenhouse Gas Emissions–A Review, *Bioresource Technology*, 2009, **100**, 3792-3798.

Milli Eğitim Bakanlığı. *Çevre Koruma-Katı Atık Toplama*, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 2009.

Nastev M., Modelling Landfill Gas Generation and Migration in Sanitary Landfills and Geological Formations, PhD Thesis, Université Laval Faculté Des Sciences et de Génie, Québec, 1998.

Özçakıl M., Türkiye’de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazanım Tesislerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001, 104228.

Öztuncay M. K., Türkiye’de Biyogaz Enerjisinin Kullanılabilirliği ve Ekonomikliği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 243855.

Polat D., Depogazı (LFG) Kojenerasyon Sistemlerinin Teknoekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 302571.

Resmi Gazete., Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Sayı 20814, 14 Mart 1991.

Seyfert A. Elfruth T., *Çöp Sahası Akşehir Ön Fizibilite Çalışması ve Düzenli Çöp Gazı Tahsisi ve Kullanımı İçin Kabaca Planlama Konsepti*, SEF-Energi-technik-GmbH, Zwickau, 2017.

Singh S. P., Prerna P., Review of Recent Advances in Anaerobic Packed-Bed Biogas Reactors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, **13**, 1569-1575.

Smith J, Fontana C., Economical and Effective Biogas Process To Purify Alternative Fuels For Power Generation., *EMG International, Biogas Clean-Up Technologies Innovations in Agriculture*, New York State ERDA, Presented in Syracuse, New York, 2007.

Speece R.E., *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*, Archae Press, Nashville, 1996.

Şahin C., Serin N., Isparta Kenti Eski Çöp Depolama Alanının Bitkilendirilmesi Üzerine Araştırmalar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2008, **1**, 121-133.

URL-1: <http://www.gidabilimi.com/tr/forum-146/43-makaleler/2478-biyogaz-nedir> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-2: http://sarkislaeml.meb.k12.tr/tema/icerikler/icerikler/biogaz_30995.html (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-3: <http://enerjiuretimsistemleri.blogspot.com.tr/2011/10/biogaz-enerjisi.html> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-4: <http://altbilgi.com/biogaz-enerjisi-hakkinda-bilgi.html> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-5: <http://www.eie.gov.tr> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-6: <http://www.fizibilite.info/biyogaz-uretim-hammadde/> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-7: <http://www.enerjigunlugu.net> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-8: <http://www.istac.com.tr/cevre-veegitim/cevre-makaleleri.aspx> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-9: <http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/EylemPlan/atikeylemlani.pdf> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-10: <http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogram/alanprogramlari/cevrekoruma/beceri/coptoplama.html> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-11: <http://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atiklar/duzenli-depolama> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-12: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18776> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

URL-13: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.enerjiatlasi.com%2Fbiyogaz%2F&date=2016-10-21> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2005).

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Topcu E., Kaya D., Nüfusu 100 000 Olan Bir İlçeye Kurulabilecek Çöpten Elektrik Üretim Santrali Modellenmesi ve Fizibilite Çalışmalarının Yapılması, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, 23-25 Kasım 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Emrah TOPCU 1987’de Ankara’da doğdu. Lise öğrenimini Aydınlikevler İnönü Lisesi’nde tamamladı. 2004 yılında girdiği Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2008 yılında ikincilik ile mezun oldu. 2014 senesine kadar özel sektörde enerji alanında şantiye deneyimi edinerek yönetici konumunda çalıştı. 2014 yılında TEDAŞ Genel Müdürlüğü’nde kamu hizmetine başladı. 2015 yılı içinde Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde az nüfuslu il ve ilçelere kentsel atık kaynaklı biyogaz santrali tasarımı üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. 2014 yılından bu güne kadar Lisanssız Enerji Üretim Santrallerinin proje onayı ve geçici kabullerinin yapılması devreye alınması işlerinde aktif olarak görev almaktadır.