T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPOGAZI (LFG) KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ

DAVUT POLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
ENERJİ PROGRAMI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ.DR. SÜLEYMAN HAKAN SEVİLGEN

İSTANBUL, 2011

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPOGAZI (LFG) KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ

Davut POLAT tarafından hazırlanan tez çalışması 14.12.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGEN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Aykut SAFA

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri artık kişi başına kullanılan enerji ile ölçülmeye başlanmıştır. Enerjiyi verimli ve daha ucuz maliyetlere üretmek ve kullanmak gerekmektedir. Bu amaçla devlet tarafından 5627 sayılı Eenrji Vermliliği Kanunu, 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu çıkarmıştır. Devlet yenilenebilir enerji üretimini yaygınlaştırmak ve teşvik amacıyla yüksek alım fiyatları belirlemiştir. "Biyokütleye dayalı üretim tesisi için (çöp gazı dâhil) 13,3 dolar sent" alım garantısı getirilmiştir. Ülkemizde enerjinin büyük bir kısmıda konutlarda ısıtma maçlı kullanılmaktadır. Konutlarda ısıtma türü olarakda enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda devlet tarafından yapılan çeşitli kanuni düzenlemelerde merkezi ve bölgesel ısıtma sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırma çalışmaları yapılmaktadır.

Ülkemizde, Atık Isıdan Bölgesel Isıtmanın ilk örneği İstanbul-Esenyurt Doğalgaz Santralı dir. Buna ilaveten ülkemizde sadece elektrik üretimi yapan termik santrallerin atık ısılarından da bölgesel ıstma yapma amacıyla 2006 yılından beri TÜBİTAK-MAM Malzeme Enstitüsü ve Yıldız Teknik Üniversitesi ortaklığıyla "Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması (TSAD)" projesi yürütülmektedir. TÜBİTAK 1007 fonları ile desteklenen projede, termik santral atık ısılarını ekonomik olarak faydaya dönüştürecek yöntemlerin araştırılması, geliştirilmesi ve bina ısıtmasında uygulanması için atık ısının geri kazanılabilir bir enerji kaynağı olduğu bilincinin yerleştirilmesi ve ısı enerjisini verimli kullanma kullanma yöntemlerinin ülke çapına yayılması hedeflenmektedir.

Bu amaçla büyükşehirlerdeki katı atıkların düzenli depolanarak ortaya çıkan depogazının (LFG) elektrik üretiminde değerlendilmesi amaçlı kurulan santralin atık ısısının bölgesel ısıtmada değerlendirilebilirliğinin araştırılması amaçlı araştırma konusunu veren ve katkılarıyla çalışmayı yöneten Sayın Yrd. Doç Dr. Süleyman Hakan SEVİLGEN'e ve Makina Mühendisi Şaban ATABEY'e teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2011

Davut POLAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ Viii

KISALTMA LİSTESİ X

ŞEKİL LİSTESİ Xi

ÇİZELGE LİSTESİ Xii

ÖZET XV

ABSTRACT XVi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 3

1.3 Bulgular 4

1.3.1 Katı Atık Nedir? 5

1.3.2 Depogazı (LFG) Nedir? 5

1.3.3 Atık Isı Nedir? 6

1.3.4 Bölge Isıtması Nedir? 7

BÖLÜM 2

KATI ATIK 9

2.1 Katı Atık Miktarları ve Konsantrasyonu 9

2.2 Katı Atıkların Sınıflandırılması 15

2.2.1 Bileşimine Göre Katı Atıklar 15

2.2.2 Kaynaklarına Göre Katı Atıklar 16

2.3 Katı Atıkların Depolanması 17

2.3.1 Vahşi Depolama 17
2.3.2 Düzenli Depolama 18
2.3.2.1 Katı Atık Sahasının Düzenli Depolama için Hazırlanması 20
2.3.2.2 Atıkların Doldurulması 21
2.3.2.3 Atıkların Örtülmesi 22
2.3.2.4 Son Örtü 23

BÖLÜM 3

3.DEPOGAZI (LFG) 24

3.1 Depo Gazı (LFG) Bileşenleri 24
3.2 Depo Gazı (LFG) Oluşumu ve Safhaları 26
3.3 LFG Oluşumunu Etkileyen Faktörler 29
3.3.1 Oksijen 30
3.3.2 Hidrojen 30
3.3.3 ph ve Alkaline 30
3.3.4 Sülfat 31
3.3.5 Nitrojenler 32
3.3.6 İnhibitörler 33
3.3.7 Sıcaklık 33
3.3.8 Nem Muhtevası 34
3.3.9 Dane Boyutu 35
3.4 Depo Gazı (LFG) Miktarının Hesaplanması 35
3.4.1 Depo Gazı (LFG) Miktarını Hesaplamada Kullanılan Yöntemler 36
3.4.1.1 Test Kuyuları Sonuçları İle Hesap 36
3.4.1.2 Yaklaşık Tahmin Metodu 37
3.4.1.3 Matematiksel Modeller Yöntemi İle Hesap 37
3.5 Depo Gazı (LFG) Değerlendirme Örnekleri 40
3.5.1 Türkiye Depo Gazı (LFG) Uygulama Örnekleri 40
3.5.1.1 Depo Gazı (LFG) İstanbul Uygulaması 41
3.5.1.2 Depo Gazı (LFG) Ankara Uygulaması 42
3.5.1.3 Depo Gazı (LFG) Bursa Uygulaması 42
3.5.1.4 Depo Gazı (LFG) Gaziantep Uygulaması 43
3.5.1.5 Depo Gazı (LFG) Bolu Uygulaması 44
3.5.1.6 Depo Gazı (LFG) Adana Uygulaması 45
3.5.2 Dünyadaki Depo Gazı (LFG) Uygulama Örnekleri 46
3.5.2.1 Danimarka Depo Gazı (LFG) Uygulamaları 48
3.5.2.2 Almanya Depo Gazı (LFG) Uygulamaları 49
3.5.2.3 Fransa Depo Gazı (LFG) Uygulamaları 50
3.5.2.4 İtalya Depo Gazı (LFG) Uygulamaları 50
3.5.2.5 Hollanda Depo Gazı (LFG) Uygulamaları 50
3.5.2.6 İngiltere Depo Gazı (LFG) Uygulamaları 50
3.5.2.7 İsveç Depo Gazı (LFG) Uygulamaları 50
3.5.2.8 ABD Depo Gazı (LFG) Uygulamaları 51

BÖLÜM 4

DEPOGAZI (LFG) KOJENERASYON TESİSİ 52

4.1 Kemerburgaz-Odayeri Depogazı (LFG) Elektrik Üretim Santrali 54

4.1.1 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi 56
4.1.2 Depo Gazı Oluşum Potansiyeli 57
4.1.3 Depo Gazı Kuyu Detayları 57
4.1.4 Kuyu Başlıkları 60
4.1.5 Etki Alanı 60
4.1.6 Manifoldlar 61
4.1.7 Pompa Ekipmanı Detayları 62
4.1.8 Kondens Tankı ve U Tüpü 62
4.1.9 Vakum Pompaları (Booster) 62
4.1.10 Yakma Bacası (Flare) 63
4.1.11 Soğutma ünitesi 64
4.1.12 Gaz Motoru Ünitesi 66
4.1.13 EPA LandGEM Modeli İle Odayeri Depo Sahası Metan (CH_4) Miktarının Tespiti 67
4.1.14 Odayeri Depogazı Santralinde Üretilen Elektrik Miktarı 69

4.2 Atık Isılı Bölgesel Isıtma Sistemi 71

4.2.1 Bölgesel Isıtma Ekipmanları 72
4.2.1.1 Atık Isı Kazanları 72
4.2.1.2 Eşanjörler 73
4.2.1.3 Ön İzolasyonlu Borular 74

4.3 Odayeri Depogazı Santrali Atık Isı Geri Kazanımının Teknoekonomik Analizi 75

4.3.1 Atık Isı Hesabı ve Atık Isı Kazanı 82
4.3.2 Motor Soğutma Suyu Isı Geri Kazanım Hesabı ve Eşanjör 83
4.3.3 Dikişli Boru ve Çap Hesabı 86
4.3.3.1 Boru Basınç Kayıp Hesabı 87
4.3.4 Pompa Türü ve Seçimi 90
4.3.5 Ön İzolasyonlu Boru Seçimi ve Hesabı 90
4.3.6 Denge Tankı 92

4.4 Maliyet Modeli 93

4.4.1 Maliyet Kalemleri 93
4.4.2 Yatırım Masrafları 95
4.4.3 İşletme ve Bakım Masrafları 99
4.4.3.1 Isı Kaybı Masrafları 100
4.4.3.2 Pompa İşletme (Pompalama) Masrafları 102
4.4.3.3 Bakım Masrafları 104
4.4.3.4 Üretim Masrafları 105

BÖLÜM 5

ALTERNATİF SİSTEM KARŞILAŞTIRMALARI 107

5.1 Doğalgaz Yakıtlı Merkezi Isıtma Sistemi 107

5.1.1 Maliyet Kalemleri 107
5.1.2 Yatırım Maliyeti 107
5.1.3 Yakıt Maliyeti 110
5.1.4 B&O Maliyeti 111
5.1.5 Pompa İşletme (Pompalama) Maliyeti 112

5.2 Depogazı Santral Atık Isısının Kış Isıtma Döneminde Değerlendirilmesi 114

5.3 Doğalgaz Kaynaklı Bölgesel Isıtmanın Kış Döneminde Çalışması 115

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve ÖNERİLER 117

KAYNAKLAR 120

ÖZGEÇMİŞ 124

SİMGE LİSTESİ

A	Borular arası mesafe [m]
$A.I.K_f$	Birim Atık Isı Kazan fiyatı,
A.I.K	Atık Isı Kazan adedi
C_b	Boru birim fiyatı [TL/m]
C_{bir}	Boru birleştirme fiyatıdır [TL/adet].
$C_{kazı}$	Birim kazı fiyatıdır [TL/m^3].
$C_{P(su)}$	Suyun özgül ısısı (kj/ kg.^oC)
$C_{P(egzoz\ gazları)}$.	Egzoz gazlarının özgül ısısı (kj/ m^3.^oC)
C_t	Birim taşıma masrafıdır [TL/m^3].
$d_{dış}$	Boru dış çapı[m].
$d_{iç}$	Boru iç çapı [m].
$D_{izolasyon}$	Ön izolasyonlu borunun dış çapı [m]
E_f	Birim eşanjör fiyatı,
E_a	Eşanjör adedi
e_b	ısı enerjisi fiyat eskalâsyonu
e_e	elektrik fiyat eskalâsyonu
E_p	İletim hattı pompa yıllık elektrik talebi [kW_eh/yıl]
F_b	Birim ısı enerjisi fiyatı [TL/kW_th]
F_e	Birim elektrik fiyatı [TL/kW_eh]
H	Basma yüksekliği [m]
L	Birim boru uzunluğu [m].
L_i	İletim hattı boru sisteminin toplam uzunluğu [m]
L_s	Üretici standart boru boyu [m]
m_{egzoz}	Motor Soğutma Suyu debisi (m^3/h)
m_{egzoz}	Egzoz gazlarının bacadan çıkış debisi (Nm^3/h)
N	Gaz motor sayısı
P_a	Pompa adedi
P_f	Pompa fiyatı [TL/adet]
$T_{egzoz\ giriş.}$	Egzoz gazlarının Atık Isı Kazanına giriş sıcaklığı (^oC)
$T_{egzoz\ çıkış}$	Egzoz gazlarının Atık Isı Kazanından çıkış sıcaklığı (^oC)
$T_{su\ çıkış}$	Soğutma suyunun motordan çıkış sıcaklığı (^oC)
$T_{su\ giriş}$	Soğutma suyunun motora giriş sıcaklığı (^oC)
V_{hendek}	Hendek hacmi [m^3/m]
V_{kum}	Kum hacmi [m^3/m]
Q_{egzoz}	Atık ısı miktarı (kW)

$Q_{\text{toplam egzoz}}$	Santralin toplam atık ısı miktarı
Q	Debi [m^3/s]
Q_{maks}	Yıllık toplam ısı ihtiyacı [$kW_th/yıl$]
$Q_{\text{mtr soğtm suyu ısı}}$	Motor soğutma ısısı (kW)
$Q_{\text{tplm m soğtm ısı}}$	Santralin toplam motor soğutma suyu ısısı
η_p	Pompa verimi
γ	Özgül ağırlık [N/m^3]
$\zeta_{\text{(eşanjör verimi)}}$	Eşanjör Verimi
$\zeta_{\text{(atık ısı kzn vr)}}$	Atık Isı Kazan Verimi

KISALTMA LİSTESİ

CAA	Clean Air Act
CEV	Clean Energy and Vehicle)
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İSTAÇ	İstanbul Çevre Koruma A.Ş
KAAK	Kentsel Katı Atık Karakterizasyonu
KAAP	Kentsel Katı Atık Proğramı
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNDP	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
YEK	Yenilenebilir Eenrji Kanunun
YMÇYP	Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 İstanbul Katı Atık Miktarları 12
Şekil 2.2 İstanbul için 2010-2030 arasında tahmin edilen toplam katı atık miktarı....12
Şekil 2.3 KAAP Projesi Atık Kompozisyonu belirleme çalışması sonucu....14
Şekil 2.4 Vahşi Depolama 18
Şekil 2.5 Düzenli Depolama 18
Şekil 2.6. Evsel Katı Atık Depolama Sahası Tabanı Sızdırmazlık Sistemi....20
Şekil 2.7 Atık tabakalarının yukarıdan aşağıya doğru sıkıştırılarak oluşturulması 21
Şekil 2.8 Atıkların dolgu eğiminin aşağısına doğru itilerek serilmesi 22
Şekil 3.1 Tipik Depo Gazlarının Üretim Fazları 27
Şekil 3.2 Anaerobik bir filtrede pH'ın rölatif metan oluşum hızı (R) üzerinde etkisi...31
Şekil 3.3 Depo sahalarında SO_4- ile gaz bileşimi arasındaki ilişki 32
Şekil 3.4 CO2'in kısmi basıncına bağlı olarak bazı substratların ayrışma oranları....33
Şekil 3.5 Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki 35
Şekil 3.6 Gaziantep depo gazı (lfg) tesisi 44
Şekil 3.7 Adane-sofular depo gazı (lfg) santral elektrik üretim binası 46
Şekil.4.1 Gaz Motoru Atık Isı Kaynakları....53
Şekil 4.2 Gaz Motorlu Bölgesel Isıtma....53
Şekil 4.3 Gaz motorlu Buhar ve Sıcak Su Üretimi....54
Şekil 4.4 Gaz Motorlu Trijenerasyon Tesisi 54
Şekil 4.5 Odayeri depo sahası örtü çalışmaları....55
Şekil 4.6 Kemerburgaz- odayeri enerji üretim tesisi 56
Şekil 4.7 Fore kazık yöntemi ile kuyu hazırlanması 58
Şekil 4.8 Gaz toplama borusu döşenmesi 58
Şekil 4.9 Kuyu hazırlanması 59
Şekil 4.10 Montajı bitmiş gaz kuyusu 59
Şekil 4.11 Dikey Kuyu Profili 60
Şekil 4.12 Kuyu etki alanı.... 60
Şekil 4.13 Gaz borularının toplanıp manifolda iletilmesi 61
Şekil 4.14 Gaz kuyusu manifoltta birleşerek ana gaz hattına bağlanması 61
Şekil 4.15 U-Tube ve yoğuşma suyu toplama tankı.... 62
Şekil 4.16 Vakum pompaları (booster).... 63
Şekil 4.17 Gazın tesise iletildiği ø800mm'lik ana gaz borusu.... 63
Şekil 4.18 Yakma bacası (Flare) 64
Şekil 4.19 Gaz soğutma ünitesi.... 64
Şekil 4.20 Depo gazı içerik analizi.... 65

Şekil4.21 Su soğutma ünitesi 66
Şekil 4.22 Gaz motorları 67
Şekil.4.23 Enerji üretim iş akış şeması 70
Şekil 4.24 Depogazı Santrali Atık Isısından Bölgesel Isıtma 72
Şekil 4.25 Plakalı ısı değiştiricisi 73
Şekil 4.26 Ön izolasyonlu boru ve boru kesiti 74
Şekil 4.27 İstanbul 1990-2020 tahmini nüfus değerleri 77
Şekil 4.28 Egzoz gazları sıcaklık değerleri 80
Şekil 4.29 Gaz motor soğutma suyu basınç ve sıcaklık değerleri 80
Şekil.4.30 Depogazı Santral Atık Isı Geri Kazanım Projesi 81
Şekil 4.31 Atık Isı Kazanı Hesap Değerleri 83
Şekil 4.32 Eşanjör ebatları 86
Şekil 4.33 Kuru Rotorlu Sirkulasyon ve Tek Kademeli Santrifuj Pompası 90
Şekil 4.34 Bölge ısıtma sistemi esanjör, denge tankı ve pompalar 92
Şekil 4.35 Denge tankı 92
Şekil 4.36 Ön izolasyonlu boruların yerleşimi 96

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Türkiye'deki karakteristik belediye gruplarının tanımlaması 09
Çizelge 2.2 Model bölgeleri için kişi başı katı atık miktarı 10
Çizelge 2.3 Bazı şehirlerin yazlık kışlık kişi başına düşen ortalama çöp miktarı ve toplam atık içerisindeki geri kazanım oranı 11
Çizelge 2.4 İstanbul anadolu ve avrupa 2007 kış dönemi kka karakterizasyonu 13
Çizelge 2.5 İstanbul anadolu ve avrupa 2007 yaz dönemi kka karakterizasyonu 14
Çizelge 2.6 Bazı ülkelerde evsel katı atık karakterizasyonu 15
Çizelge 2.7 Belediyeler tarafından toplanan katı atık bertarafı 19
Çizelge 3.1 Tipik düşük enerjili yakıtların kompozisyonu ve fiziksel özellikleri 25
Çizelge 3.2 Depo gazlarının gazların, yoğunluğu, moleküler ve özgül ağırlığı 26
Çizelge 3.3 A.B.D.' deki bazı depo sahalarında ölçülen CH4 oluşum hızlarİ.....36
Çizelge 3.4 EPA modeli parametreleri 39
Çizelge 3.5 Türkiyede yapımı devam eden ve tamamlanan depo gazı kaynaklı kojenerasyon tesisleri 40
Çizelge 3.6 Dünya genelinde depo gazı uygulama projelerinin dağılımı 47
Çizelge 3.7 Avrupa Birliği ülkelerinde depo gazı uygulama projelerinin dağılımı 48
Çizelge 3.8 Fransada depo gazını enerji olarak geri kazanan 5 tesisin özellikleri 48
Çizelge 3.9 Almanya'da depo gazını enerji olarak geri kazanan 5 tesisin özellikleri ..49
Çizelge 3.10 Amerika'da depo gazını enerji olarak geri kazanan 5 tesisin özellikleri...51
Çizelge 4.1. Çeşitli proses sonucu atılan egzoz gazlarının sıcaklık aralıkları 52
Çizelge.4.2 İstanbul ili atık özellikleri (% yaş ağırlık olarak).....57
Çizelge 4.3 Odayri depo sahası katı atık ve depo gazı (lfg) miktarları 67
Çizelge 4.4 Depogazı oluşumu 69
Çizelge 4.5 Odayeri depogazı santrali elektrik üretim değerleri 70
Çizelge 4.6 2010 yılı elektrik üretim grafiği 71
Çizelge.4.7 İstanbul-Avrupa 2010-2040 Yılları Arası Tahmini Nüfus-Çöp Miktarları..76
Çizelge 4.8 Depo gazı üretim ve geri kazanım projeksiyonları 78
Çizelge 4.9 EPA modeli kullanılarak 2010-2049 yıları lfg miktarları 79
Çizelge 4.10 Suyun termal özellikleri.....84
Çizelge 4.11 Plakalı eşanjör dizayn değerleri.....85
Çizelge 4.12 Çelik borular için boru sürtünmesi grafiği.....88
Çizelge 4.13 Su tesisatları için yerel kayıp tablosu 89
Çizelge 4.14 Yatırım maliyet tablosu 97
Çizelge 4.15 Yatırım maliyetinin yıllık eşit geri ödeme planı 99
Çizelge 4.16 Ön izolsyonlu borularada çesitli çaplardaki ısı kayıpları 101

Çizelge 4.17 Isı kaybı masrafları 102
Çizelge 4.18 Pompalama masraflar 103
Çizelge 4.19 Bakım masrafları 104
Çizelge 4.20 Birim ısı maliyeti 105
Çizelge 4.21 Birim ısi maliyetini etkileyen kalemler 106
Çizelge 5.1 Çelik sıcak su kazanlı bölgesel ısıtma sisteminin yatırım maliyeti 108
Çizelge 5.2 Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtmanın eşit geri ödeme planı 109
Çizelge 5.3 Yıllık yakıt maliyeti 110
Çizelge 5.4 Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtmanın b&o maliyeti 112
Çizelge 5.5 Pompalama masrafları 112
Çizelge 5.6 Birim ısı maliyeti 113
Çizelge 5.7 Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtmanın ısı maliyeti etkileyen kalemler 114
Çizelge 5.8 Depogazı santral ısı enrjisinin 4000 sa. çalışmada birim ısı maliyeti 115
Çizelge 5.9 Depogazı santral ısı enrjisinin 4000 sa. çalışmada birim ısı maliyet 115
Çizelge 5.10 Doğalgaz yakıtlı 4000 saat üretim için birim ısı maliyeti 115
Çizelge 5.11 Doğalgaz yakıtlı 4000 saat üretim için birim ısı maliyeti 116
Çizelge 5.12 Birim ısı maliyetler karşılaştırma tablosu 116

ÖZET

DEPOGAZI (LFG) KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ

Davut POLAT

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGEN

Gelişmiş ve nüfus yoğunluğu fazla olan kentlerde kentsel atıklar büyük sorun teşkil etmektedirler. Ketsel atıkların toplanması, geri dönüşümü, depolanması veya farklı şekillerde ekonomiye kazandırılması üzerine çalışmalar artmaktadır. Kentsel atıkların düzenli depolanarak oksijensiz ortamda depogazı (landfill gas) oluşumunu sağlamak bu gazdan elektrik üreterek ekonomiye kazandırmak çok yaygın bir yöntemdir. Ayrıca kentsel atıklardan elde edilen depogazı (landfill gas) kullanarak üretilen elektrik enerjisi günümüzde büyük bir önem arz eden enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli katkı sağlamaktadır.

Enerjinin büyük bir kısmı ısıtma amaçlı tüketilmektedir. Isıtma yöntemlerinden biri olan bölge ısıtması gelişmiş dünya devletleri tarafından ısıtmada çok fazla tercih edilen bir yöntemdir.

Bu çalışmada ilk bölümlerinde kentsel atıklar, atık türleri, atık kapasitesi, düzenli depolanması, depogazı üzerine temel bilgiler verilmiştir.

Daha sonraki bölümlerde depogazı tanımı, oluşumu, depogazının oluşumunu etkileyen faktörler depogazının miktarını belirleme yöntemleri, dünyada ve ülkemizde depogazı faydalanma örnekleri, bölgesel ısıtma sistemi ve ekipmanları tanımlanmıştır.

Kemerburgaz –Odayeri depo gazı santrali ve santral verileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yeni kurulacak santrallerle model teşkil edecek şekilde İstanbul Avrupa yakası için 2010 yılında düzenli çöp depolamaya başlandığı ve 2040 yılına kadar sahanın

işletildiği varsayımı ile TÜİK öngörülerindeki nüfus artış oranı dikkate alınarak kişi başına üretilen ve çöp miktarından hareketle elde edilebilecek depo gaz miktarı LandGAM programı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan gaz miktarına bağlı olarak gaz motor sayısı belirlenmiştir. Bu gaz motorlarının ceket suyundan ve egzoz gazından alınabilecek ısı enerjisi hesaplanarak 5 km uzaklıktaki yerleşim yerine veya seraya iletimi modellenmiştir. Bu modellemede birim ısı maliyeti amaç fonksiyon olarak alınmıştır. Isının bölgede değişik amaçlar ile 8000 saat kullanımı veya sadece ısıtma amaçlı 4000 saat çalışma senaryoları, alternatif ısıtma sistemi olarak alınan yerleşim yeri yakınında kurulan doğal gaz yakıtlı bölgesel ısıtma sistemi ile karşılaştırılmıştır.

Son bölümde sonuçlar değerlendirilmiş ve düzenli depolama sahasına yakın yerlerde toplu konutların veya seraların kurulması bu yerlerin ısıtma ihtiyaçlarının depogazı santrali atık ısıdan sağlanması hem tüketiciler için ekonomik hem de enerjide dışa bağımlı olan ülkemiz için faydalı olacağı önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı atıklar, depogazı, bölgesel ısıtma sistemi, yatırım ve işletme maliyetleri, birim ısı enerjisi maliyeti.

ABSTRACT

LANDFILL GAS (LFG) TEKNO ECONOMIC ANALYSIS OF COGENERATION SYSTEMS

Davut POLAT

Department of Machine Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGEN

Urban waste is a very big problem in advanced and crowded cities. Urban waste's collection, recycling, storage or work on the concept of sustainability is growing in different ways. To produce landfill gass in an anaerobic atmosphere is a very common way to gain the economy by generating electricity with regular storing of urban waste. Also generating electricity with using landfill gas is very significant to supply energy needs.

A large part of the energy consumed for heating purposes. One method of the heating to heating zone is a very popular way which is using by developed states.

This studies first part gives basic information about urban wastes, waste types, waste capacity, establishment of the landfill gasses.

In later sections, landfill definition, formation, factors affecting the formation of landfill gasses, methods of determining the amount of the landfill gas, samples to benefit from landfill gas in the world and in our, identified in district heating systems and equipment.

In the fifth section, Odayeri Depogazı Power Plant is examined and located in a case study on the production of electrical energy. Electricity Generation power plant waste heat Odayeri be released on the work has been done teknoekenomik.

A techno economic study has made for district heating by using waste heat taken from Odayeri Landfill Power Plant.

Kemerburgaz-Odayeri gas plant and power plant's data are examined in details. The newly built power plants to serve as a model for the European side of Istanbul started regular garbage storage area in 2000 by 2040 TUIK account with the assumption that the rate of increase of population, derived from the amount of garbage produced per person by taking into consideration the amount of gas storage that calculated with the Land-GAM program. Calculated on the amount of gas was determined as the number of gas engines. Gas engine heat energy taken by jacket water and exhaust gas calculated and modeled the transmission of 5 km away from the place of residence or a greenhouse. This modeling objective function is taken as the unit cost of heat. The use of heat in the region at different purposes for 8000 hours and only for heating purpose 4000 hours of operation, as an alternative to heating system was established near the settlement of natural gas-fired district heating system was compared with

In the last chapter, the results were evaluated and the establishment of public housing or greenhouses near sanitary landfill site is proposed to be beneficial for our country for cunsomers and our country dependent on foreign energy

Key words: Solid waste, landfill gas, district heating system, investment and operating costs, cost of district heating.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Turan YAMAN, İstanbul'da Kentsel Katı Atık Yönetimi ve Geri Kazanım Potansiyelinin Belirlenmesi adlı çalışmasında;

Katı atık bertaraf metotları ve geri kazanım potansiyeli İstanbul örneği verilerek incelenmiştir.

İstanbul'da 1996 yılında oluşan katı atık miktarı 1.751.065 ton iken 2006 yılında 5.047.067 tona kadar yükselmiştir. Anadolu yakası'ndan toplanan katı atık miktarı toplam atığın %32'sini ve Avrupa yakası'ndan toplanan katı atık ise toplam atığın %68'ini oluşturmaktadır. Geri kazanım fayda maliyet analizi sonucunda sadece kâğıt, cam, plastik ve metallerin ekonomik değerinin 270 milyon YTL'den yüksek olduğu hesaplanmıştır. 1 ton atığın taşıma ve depolama maliyeti 20 YTL'den fazladır. Katı atık yönetim sisteminin başarısı geri kazanım oranının yüksekliği ve depolama sitemine giden atığın azaltılmasına bağlıdır. Depolama sahasına gereksiz bir şekilde taşınan organik atıklar kompost ve biyogaz üretmek için kullanılmalıdır. Katı atık yönetim maliyetlerinin 396 milyon YTL civarında olduğu göz önüne

alındığında geri dönüşümün önemi daha iyi anlaşılacaktır. Bu bağlamda kaynakların optimun kullanımıyla ve atıkların yeniden işlenerek veya doğrudan kullanılarak daha az birincil kaynak tüketilmesi hedeflenmelidir[2].

Nergiz AKPINAR, Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi adlı çalışmasında;

Bu çalışmada kentsel katı atıklardan enerji üretim teknolojileri değerlendirilmiştir. Atıkları enerjiye dönüştürmek için çeşitli teknolojilerden bahsedilmiştir. Bunlar düzenli depolama,

yakma, gazlaştırma ve anaerobik çürütmedir. Üretilen gaz içten yanmalı motorlar veya boylerler kullanılarak enerji üretimi için değerlendirilir. Tüm teknolojilerin avantaj ve dezavantajları vardır. Teknoloji seçimi atığın bileşimine, miktarına ve lokal şartlara bağlıdır. Trabzon-Rize bölgesi için katı atıklardan enerji üretimi üzerine bir örnek çalışma yer almaktadır. Hesaplanan çöp miktarları ve gaz miktarları göz önüne alınarak kurulacak tesisten 15 yıl süreyle yararlanmak mümkündür. Tesisin kapasitesi 3.7 MW olarak belirlenmiş. Buna göre tesiste 4 adet 800.000 kcal/h (930 kW) kapasiteli doğal gaz kazanı kullanılabilir. Gazın kazan sistemine taşınması için HDPE borular kullanılmış. Isı iletimi için gerekli boru hattı 7,5 km olarak alınmıştır. Bu şekilde elde edilecek ısı depolama sahası yakınındaki köylerde konutların ısıtılmasında kullanılabilir. Maliyet hesabı yapılırken "Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2005 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları esas alınmış, yaklaşık maliyeti 1.500.000 € (2.400.000 YTL) hesaplanmıştır [3].

Özge DEMİR, "Yatağan Termik Santrali Baca Gazı İle Bölgesel Isıtma olanaklarının analizi" adlı tez çalışmasında;

Yatağan ilçesinde henüz inşaat halinde olan bir kooperatifin Yatağan Termik Santralinin baca gazı ile ısıtma olanakları araştırılmıştır. Kooperatifin ısı yükü hesaplanmış, bu ısı yüküne göre kurulması gereken baca gazı ile ısıtma sisteminin ve katı yakıt ile ısıtma sisteminin maliyeti hesaplanmıştır. Katı yakıt ile ısıtma sistemi hem bağımsız ısıtma sistemi hem de merkezi ısıtma sistemi olarak düşünülmüştür. Yatağan Termik Santrali bacalarından bir tanesinden çıkan gazın 1/55'inin alınarak termik santral bacası dışarısında bulunan bir eşanjöre aktarılması ve bölge ısıtılmasında kullanılması değerlendirilmiştir. Maliyetleri, avantajları ve dezavantajları belirlenen sistemler Analitik Hiyerarşi Yöntemi yardımıyla birbiriyle kıyaslanmış, bu kıyaslama sonucunda kooperatifin Yatağan Termik Santrali baca gazı ile ısıtılmasının avantajlı olduğuna karar verilmiştir [4].

Fatih SALTABAŞ; "Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazı (Lfg) Yönetimi Ve İstanbul Uygulamaları" adlı makalesinde;

İstanbul'un Avrupa yakasındaki (Odayeri – EYÜP) ve Asya yakasındaki (Kömürcüoda – ŞİLE)düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazının bertaraf edilmesi ve aynı zamanda değerlendirilmesi maksadı ile 'Depo Gazından Enerji' projeleri başlatılmıştır. Odayeri düzenli depolama sahasında yaklaşık 32 000 000 ton katı atık depolanmıştır. Bu depolama sahası için

ilk etapta yaklaşık 25 MW Kurulu kapasite öngörülmüştür. Kömürcüoda düzenli depolama sahasında yaklaşık 15 000 000 ton katı atık bertaraf edilmiş, bu depolama sahası için ise ilk etapta yaklaşık 10 MW kurulu kapasite öngörülmüştür. Kurulu kapasiteler çerçevesinde her iki depolama sahasındaki tesislerin altyapı ve inşaat çalışmaları tamamlanarak elektrik enerjisi üretimine başlanmıştır [60].

Bo Asmus Kjelgaard, "Isı Tedariki, Çevre ve Kopenhag Örneği" adlı makalede;

Kopenhag'ın 1988 yılından 1998 yılına kadar karbondioksit emisyonlarını %20 düşüren dünyadaki tek başkent olduğu belirtilmiştir. Bunda en büyük payın bileşik ısı güç santralleri ile yapılan bölgesel ısıtmanın olduğu belirtilmektedir. 2000 yılından 2010 yılına kadarki yeni hedefin %30 olduğu belirtilmektedir. Danimarka Hükümeti'nin enerji politikaları doğrultusunda 2002 yılında Kopenhag şehrinin %90'ının bölgesel ısıtma ile ısınması hedeflendiği belirtilmektedir. Makalede Danimarka enerji politikasının 1970 yılındaki dünya genelinde ortaya çıkan petrol krizinden sonra şekillendiği ve ilk ulusal enerji planının 1976 da yayınlandığı anlatılmakta. Hükümetin, ilk olarak enerji santrallerinde petrole olan bağımlılığının dönüştürülmesi politikası yürüttüğü ve Kuzey Denizi Sahasından çıkarılan doğalgaz ile çalışır hale getirildiği, bununla beraber santralden faydalanma oranının arttırılması yoluna gidilerek aynı zamanda ısıtma yapacak şekilde yeniden düzenlenmesini yaptığı anlatılıyor. Ayrıca atık yakma tesisleri ve endüstri tesisleri de bölgesel ısıtmaya dahil edildiği anlatılıyor. Tüm bu bahsedilenlerin nasıl yapıldığı anlatılmaktadır [5].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada depo gazının (LFG) çevre ve halk sağlığında meydana getirdiği olumsuz etkilerden dolayı etkili bir gaz kontrol sistemi ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Depo gazının büyük bir kısmını metan ve karbondioksit oluşturur. Metanın yüksek kalorifik değere sahip olmasından dolayı geri kazanılması söz konusudur. Depo gazından faydalanma metotlarından en yaygın ve karlı olanı elektrik üretimidir. Bu metot son zamanlarda dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada depo gazından elektrik üretimi konusu incelenmiş ve Türkiye'de bulunan depo gazından elektrik üretim tesisleri verilmiştir. Bu tesislerden şu ana kadar üretilen elektrik miktarlarına bakıldığında, metanın enerji eldesi bakımından önemli bir kaynak olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca bu tesislerin büyük bir kısmında açığa çıkan atık ısılarının

kullanılmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada atık ısı olarak adlandırdığımız sıcak egzoz gazları ile ceket suyu ısısından sıcak su elde elde edilecektir. Kemerburgaz –Odayeri depo gazı santrali ve santral verileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yeni kurulacak santrallerle model teşkil edecek şekilde İstanbul Avrupa yakası için 2010 yılında düzenli çöp depolamaya başlandığı ve 2040 yılına kadar sahanın işletildiği varsayımı ile TÜİK öngörülerindeki nüfus artış oranı dikkate alınarak kişi başına üretilen ve çöp miktarından hareketle elde edilebilecek depo gaz miktarı Land-GAM programı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan gaz miktarına bağlı olarak gaz motor sayısı belirlenmiştir. Bu gaz motorlarının ceket suyundan ve egzoz gazından alınabilecek ısı enerjisi hesaplanarak 5 km uzaklıktaki yerleşim yerine veya seraya iletimi modellenecektir.

1.3 Bulgular

Depo gazının içerdiği yüksek miktardaki metandan dolayı doğrudan atmosfere verilmesi bölgesel ve küresel olarak çevre ve insan sağlığı açısından olumsuzluklar meydana getirmektedir. Bu olumsuzlukların başında; koku problemi, bitkilerin kuruması, metandan kaynaklanan patlama ve yangın riski ile küresel sera etkisi gelmektedir. Ayrıca içerdiği yüksek konsantrasyondaki metan nedeniyle depo gazının geri kazanılması ve enerji elde edilmesinde kullanılması söz konusu olmuştur. Depo gazı bir enerji kaynağı olduğu için önemli bir kazanç kaynağıdır. Birçok depo alanı ve çöplük için üretilen gazın değeri geri kazanma için yapılan yatırım maliyetinden çok daha fazladır. Dünyada depo alanları giderek artmakta ve oluşan metan gazı kazanç getirecek şekilde geri kazanılmaktadır. Bu şekilde depo alanları yıllarca temiz ve kârlı bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir.

Depo gazının geri kazanılması, yeşil enerji kazanımı, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve sera etkisinin azaltılması ile ekonomiye katkı sağlamaktadır. Ayrıca koku ve sis oluşumunun yanında depo sahasındaki patlama ve yanma risklerini de azaltmaktadır. Metanın geri kazanılması neticesinde atmosferdeki konsantrasyonun hızla artması engellenmiş olur. Atmosferdeki metanın kaynağının bataklık ve çöplük alanları gibi yerler olduğu düşünülürse bir katı atık depolama tesisinde üretilen metanın kontrol altına alınmasının ne denli önemli olduğu açıkça görülmektedir.

1.3.1 Katı Atık Nedir?

Katı atık teriminin literaturde birçok tanımı vardır. Genel olarak; bir değer ödeyerek alınan maddi varlıkların, işe yaramadığı veya fonksiyonunu yitirdiği düşünülerek çöpe atılan ekonomik olarak ömrünü yitirmiş cam, metal, plastik, tekstil vs. gibi materyallere katı atık denir. Başka bir tabirle, yaşadığımız ortamdan uzaklaştırılması gereken, kullanma süresi dolan ve ömrünü yitirmiş her türlü katı maddelere katı atık denir

Sahibinin istemediği ancak ekonomik değeri olan ve toplumun menfaati gereği toplanıp fen ve sanat kurallarına, bilimsel esaslara, mühendislik prensiplerine göre bertaraf edilmesi gereken katı şeylere Katı Atık denir [1].

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre 'Üreticisi tarafından atılmak istenen, toplumun huzuru ile, özellikle çevrenin korunması bakımından düzenli şekilde bertaraf edilmesi gereken katı madde ve arıtma çamurlarının tümü katı atık olarak tanımlanmaktadır. Yönetmenlikte verilen tanımdan başka birçok yayında da katı atık farklı ifadelerde tanımlanmaktadır. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı'nın yayınında katı atık '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 [28].

1.3.2 Depogazı (LFG) Nedir?

Depo gazı; şehir katı atıklarının toplandığı yerlerde, çöplerin toprak altına gömülerek oksijensiz parçalanması sonucu açığa çıkar. Depo gazı temel olarak metan (~%55), karbondioksit (~%35) azot (~%10) ve az miktarda kokulu gazlar içerir. Metan yanıcı ve patlayabilir bir sera gazıdır; böylece çöplüklerde ortaya çıkan bu zararlı gazlar motorlarda yakılarak elektrik üretilirken çevreye ve atmosfere vereceği zararlardan da kurtulmuş olunur[80].

Depo gazı, büyük miktarlardaki esas gazlar ile az miktarlardaki eser gazlardan meydana gelir. Esas gazlar evsel katı atıkların organik ayrışması sonucunda, eser gazlar ise depo sahasına gelen zehirli bileşiklerin etkileri sonucunda oluşmaktadır. Eser gazlar az miktarlarda olmalarına karşın, esas gazlar kadar halk sağlığını tehdit edici niteliktedirler (Varınca 2003).

Katı atık depolama sahaları, tıpkı bir arıtma tesisindeki anaerobik çürütücü gibi bir biyokimyasal reaktör olarak çalışmaktadırlar. Depo alanına katı atığın depolanmasıyla birlikte

depo içerisinde ayrışma da başlamakta, oluşan anaerobik ortamda organik maddelerin bozunması sonucunda bozunma gazları meydana gelmekte ve oluşan bu gazlar Depo Gazı olarak adlandırılmaktadır.

1.3.3 Atık Isı Nedir?

Atık ısı, kavram olarak, genellikle sanayi tesislerinden sıcak su veya gaz şeklinde çevreye atılan ve geri kazanma imkânı bulunan ısı için kullanılır [6].

Herhangi bir enerji kaynağının kalitesi işe dönüşebilme potansiyeli ile ölçülür. Bu açıdan bakıldığında enerji türlerinin (mekanik, elektrik, iç enerji, ısı, vb.) hepsi aynı kalitede değildir. Verilen bir enerjinin işe dönüştürülen kısmına kullanılabilir enerji (ekserji) ve dönüştürülmesi imkânsız olan kısmına kullanılamaz enerji (anerji) denilmektedir. Bir kaynaktaki enerji başka bir enerjiye dönüştürüldüğünde ya da bu enerjiden herhangi bir prosesi gerçekleştirmek için faydalandığında geriye kalan enerjinin (atılan enerji) şartları, çevre şartlarından daha yukarıda ise hala iş potansiyeli vardır. Sonuç olarak atılan enerji, endüstride herhangi bir prosesten sonra çevreye atılmasına rağmen kullanılabilir enerji potansiyeli (ekserjisi) olan enerjidir. Atılan enerji şartları çevre şartlarına yaklaştıkça iş potansiyeli (ekserji) azalır ve kullanılamaz enerji (atık enerji/anerji) artar. Atılan enerji şartları çevreyle dengeye ulaştığında kullanılamaz enerji yani atık enerji haline gelir Yukardaki açıklama literatürde ve uygulamada çok defa karıştırılan atılan enerji kavramı ile atık enerji kavramı arasındaki farkı açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Atılan enerji çoğunlukla sıvı ya da gaz fazındaki akışkanlar ile çevreye atılmaktadır [48]

Atık enerjinin değerlendirilmesiyle enerji verimliliğinin arttırılması, mevcut enerji kayıplarının minimize edilmesi sağlanarak ekonomik kalkınma ve sosyal refaha katkıda bulunulacaktır. Atılan bu enerjinin geri kazanımı ile ülke ekonomisini sağlanan desteğin yanı sıra çevre kirliliği de azaltılarak ekolojik dengenin bozulmasına engel olunacağı açıktır. Günümüzde birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde dışarı atılmaktadır [6].

1.3.4 Bölge Isıtması Nedir?

Bölge ısıtma sistemleri, merkezi bir santralde üretilen ısının, on yalıtımlı borular vasıtasıyla birden çok sayıda konuta dağıtılarak konutların ısıtma ve sıcak kullanım suyu ihtiyaçlarının sağlandığı sistemlerdir.

Bir bölge ısıtma sistemi genel olarak;

Santralda üretilen ısı enerjisini sıcak su veya buhar şeklinde yerleşim bölgesine taşıyan İletim Hattı;

İletim hattı ile taşınan ısıyı kullanıcılara dağıtan Dağıtım Hattı;

Üretilen ısı enerjisini kullanan Konutlar ve Konut Bağlantı Sistemlerinden (Bina Alt İstasyonları) oluşmaktadır [7].

Klasik bölge ısıtmasında bir ısı merkezinde üretilen ısı, boru şebekesi ile primer devre akışkanı tarafından ısıtılacak binalara taşınır. Bölgesel ısıtma sistemleri işletme maliyetlerinin daha düşük, çevreyi daha az kirleten, yakıt ve kül taşıma problemleri olmayan, daha tehlikesiz, daha sağlıklı ve konforlu bir ısıtma sağlayan sistemlerdir. Fakat dağıtım hattı maliyetleri, sistem maliyetleri, otomasyon zorlukları gibi problemler bu tür sistemlerin ılıman bölgelerde tercih edilmemesine yol açmaktadır. En çok kullanılan sistemler koojenerasyon ve jeotermal bölge ısıtmasistemleridir [8].

Özellikle İskandinav ülkelerinin yoğunlukta olduğu pek çok ülkede elde edilen deneyimlere bağlı olarak bölgesel ısıtma sistemlerinin ekonomik, güvenilir ve diğer ısıtma sistemlerine göre çevreye daha çok duyarlı olduğu ispatlanmıştır [9].

Bölgesel ısıtma, en büyük çaplı merkezi ısıtma sistemidir. Günümüzde merkezi ısıtma sistemlerinin başta maliyet olmak üzere en uygun ısınma yöntemi olduğunun bilimsel olarak da ispatlanmıştır. Bölgesel ısıtma sistemlerine birçok ülkede rastlamak mümkündür. Eski Sovyetler Birliği'nden beri süre gelen doğu bloğu ülkelerinde en eski yöntem olan galeriler içerisinden boruların yürütüldüğü, ısıtıcı akışkan olarak buharın kullanıldığı sistemler görülürken, Orta ve Kuzey Avrupa'ya doğru geldiğimizde günümüz teknolojisine göre kurulmuş toprağa direk gömülebilen boru hatlarından meydana gelen sıcak sulu sistemleri gözlemlemekteyiz. Amerika Birleşik Devletleri, Çin gibi diğer bölge ve ülkelerde ise her iki türde eski ve modern sistemleri görmek mümkündür.

Günümüzde Danimarka, bu sistemin en yaygın ve en gelişmiş olarak uygulandığı ülkelerdendir ve teknolojisinin üretimi ve geliştirilmesinde de dünyaya liderlik etmektedir. Danimarka'da enerji kaynağı olarak bileşik ısı güç santralleri, çöp yakma tesisleri, endüstriyel tesislerin atık ısıları, talaş v.b. bitkisel yakıtlar kullanan merkezi ısıtma santralleri ve hatta güneşten faydalanılmaktadır. Tüm bu bahsettiğimiz kaynaklardan toplanan ısı enerjisi, büyük şehirlerde ve bazen birkaç şehri kapsayan bölgelerde yüksek basınç ve sıcaklıkta işletilen bir üst iletim hattında toplanmakta ve belirli bölgelerde kurulan düşürme istasyonları vasıtasıyla son tüketici binalara ulaştıran düşük sıcaklık ve basınçla çalışan dağıtım hatlarına aktarılmaktadır. Bunun yanı sıra çeşitli küçük şehir ve kasabalarda lokal o bölgeye hizmet eden bir çöp yakma tesisi, bileşik ısı güç santrali ve bunlara entegre güneş kolektörleri ile beslenen daha küçük sistemlerde mevcuttur [10].

BÖLÜM 2

KATI ATIK

2.1 Katı Atık Miktarları ve Konsantrasyonu

Ülkemizde farklı özelliklere sahip çok sayıda belediye olmasından dolayı, çöp miktarları da farklılık göstermektedir. Türkiye için Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması (YMÇYP) Projesi'nde iller, benzer demografik ve sosyo-ekonomik özellikleri temsil eden alt bölgelerde gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma yapılırken illerin nüfus, nüfus yoğunluğu, ortalama kişi başı GSYİH ve ortalama hane büyüklüğü verileri dikkate alınmıştır. Sonuç olarak 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.

Çizelge 2.1 Türkiye'deki karakteristik belediye gruplarının tanımlaması

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
2e		Diğer Belediyeler, Akdeniz / İç
3a	Doğu Anadolu/ Güneydoğu	Gaziantep (Büyükşehir)

Bu model bölgeleri (bölge ve alt bölgeler) için proje kapsamında kişi başı atık miktarı belirlenmiştir (çizelge 2.2). Buna göre yıllık atık miktarı 28,7 milyon tondur.

Çizelge 2.2 Model bölgeleri için kişi başı katı atık miktarı [11]

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 (*) belediye tarafından toplanmadan önce, gayri resmi kişiler tarafından ayrıştırıldığı gerçeğinden yola çıkılarak, günlük kişi başına oluşan atık miktarına Büyükşehir belediyelerinde %10, diğer belediyelerde %5 oranında ambalaj atığından dolayı ilave bir artış yapılmıştır.

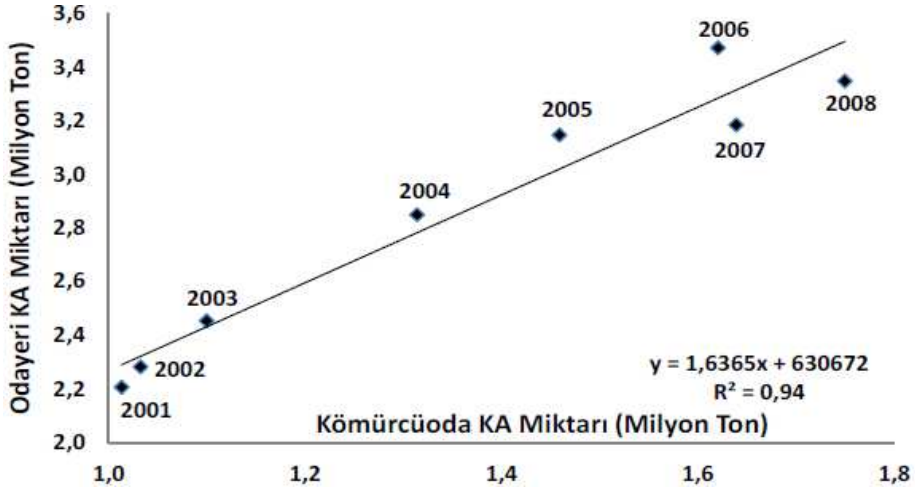
Katı atık miktarları ülkeden ülkeye ve hatta aynı ülkede kentten kente, yerel koşullara, mevsimlere ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. 2006 yılı Belediye Katı Atık Temel Göstergelerine göre; anket uygulanan 3.225 belediyeden 3.115' inde katı atık hizmeti verildiği belirlenmiş olup, katı atık hizmeti verilen belediyelerde yaklaşık 25,3 milyon ton katı atık toplanmış ve kişi başı ortalama katı atık miktarı günlük 1,21 kg olarak belirlenmiştir. Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak, katı atıkların kompozisyonunda da değişiklikler ortaya çıkmaktadır. 1993 yılında Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) tarafından Temmuz ayında 10515 haneye, Aralık ayında 10565 haneye "Çöp Kompozisyon Araştırması Çalışması" 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 üzeri gerekli uyarılar yazılıdır.) 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 2.3'de gösterilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere çöp miktarlarındaki değişim insanların sosyo-ekonomik yapısı ile ilgili olmakla beraber, en çok gelir seviyesiyle tüketim ve kullanım alışkanlıklarına bağlıdır.

Çizelge 2.3 Şehirlerin yazlık-kışlık kişi başına düşen ortalama çöp miktarı ve toplam atık içerisindeki geri kazanım oranı [12]

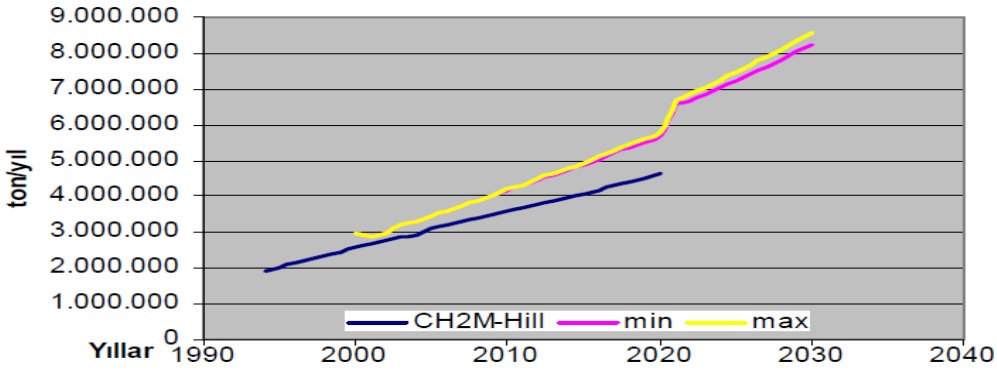
İl	Yazlık Çöp Miktarı	Geri Kazanım	Kışlık Çöp Miktarı	Geri Kazanım
Adana	865	22,91	473	12,93
Ankara	615	16,77	635	4,25
Bursa	613	19,51	793	8,3
Diyarbakır	365	9,64	250	5,56
İskenderun	597	20,94	443	15,57
İstanbul	554	18,18	514	8,77
İzmir	724	14,86	484	10,84
Kayseri	752	11,52	374	3,74
Konya	683	8,42	539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

Üretilen toplam katı atık miktarından hareketle kişi başı atık miktarı hesaplanırken atık miktarı toplam nüfusa bölünür. 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 başı KKA miktarları araştırılmıştır. Buna göre 2007 yılında İstanbul'da kişi başı ortalama katı atık üretimi 445 kg/kişi-yıl veya 1,22 kg/kişi-gün alınabilir. 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 [12].



Şekil 2.1 İstanbul katı atık miktarları [14]

İstanbul'da kentsel katı atık üretimi 2010-2015 ve 2016-2030 planlama dönemlerinde sırasıyla öngörülen %2,07 ve %2,19'luk KKA artış hızı baz alınmıştır. Model hesaplarında da görüleceği üzere KKA artış hızı modelin temel girdilerinden olan GSYİH, enflasyon ve nüfus artış hızı ve kişi başı ortalama gelirin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca sokak toplayıcıları tarafından sistemden çekilen KKA miktarı da hesaplara dahil edilmiş ve buna göre 2020'ye kadar bu durumun geçerliliğini sürdüreceği ve 2021'den itibaren sokak toplayıcılarının tamamen sistem dışı kalacağı ve oluşan atığın %100 oranında atık yönetimi sistemi içinde kalacağı göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre İstanbul için 2010-2030 arasında tahmin atık yönetim sistemine giren toplam atık miktarı ve kişi başı KKA oluşumu şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 İstanbul için 2010-2030 arasında tahmin edilen toplam katı atık miktarı

Çöp üretimi ülkeden ülkeye değiştiği gibi, aynı ülkede bölgeden bölgeye ve aynı şehirde semtten semte değişmektedir. Örneğin Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre İl bazında bakıldığında Artvin ilinin çöp üretim hızı 1 kg/kişi.gün iken, Ankara ilinin 1,6 kg/kişi. gündür.

Bölge bazında bakıldığında doğu Karadeniz bölgesi çöp üretim hızı 1 kg/kişi. gün iken, batı Marmara bölgesinin 1.9 kg/kişi. gündür. Türk istatistik kurumu 2004 yılı verilerine göre ülkemizde kişi başı günlük ortalama katı atık miktarı, yaz mevsimi için 1,34 kg, kış mevsimi için 1,33 kg, yıllık ortalama ise 1,34 kg olarak hesaplanmıştır.

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

Çizelge 2.4 İstanbul anadolu ve avrupa yakası 2007 kış dönemi kka karakterizasyonu [16]

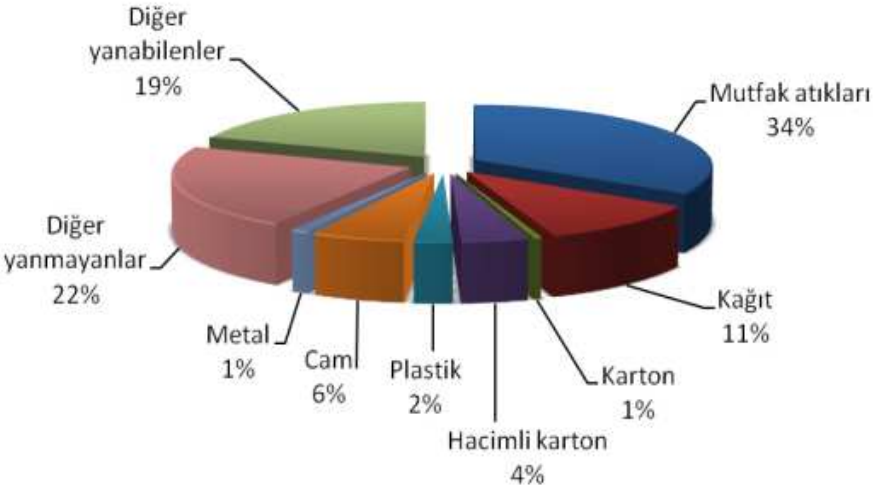
Malzeme	**Anadolu %**	**Avrupa %**
Kağıt- Karton	10,70	13,43
Renkli Cam-Renksiz Cam	5,92	5,93
Pet	1,03	1,39
Poşet	8,32	7,33
Plastik	1,87	3,25
Çuval	0,29	0,06
Demir	0,69	0,97
Aliminyum	0,37	0,85
Diğer Metal	0,00	0,11
Org. Mad.	56,34	56,34
Çocuk Bezi	4,54	3,84
Odun(tahta)	0,13	0,28
Elk. Alet	0,02	0,00
Pil-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
Taş	0,50	0,04
Toplam	100,00	100,00

Çizelge 2.5 İstanbul anadolu ve avrupa yakası 2007 yaz dönemi kka karakterizasyonu,[16]

Malzeme	Anadolu %	Avrupa %
Kağıt-Karton	11,72	13,23
Cam	2,93	4,70
Pet	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	58,06
Çocuk Bezi	4,95	4,06
Odun(tahta)	0,32	0,15
Elk. Alet	0,00	0,00
Pil-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**

2006 yılında düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilen atığın %66' sı karışık belediye atıklarından, %7'si kâğıt ve karton atıklardan, %6' sı mineral atıklardan oluşmuştur. 2005 yılı istatistiklerine göre ise; düzenli depolama tesislerine getirilen atıkların %96' sı evsel ve benzeri atıklardan, %4' ü diğer atıklardan oluşmaktadır [17].

Katı Atık Ana Planı Projesi kapsamında yapılan katı atık kompozisyon belirleme çalışmasının sonucu aşağıdaki Şekil 2,3'de verilmektedir.



Şekil 2.3 KAAP Projesi Atık Kompozisyonu belirleme çalışması sonucu [17]

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.

Çizelge 2.6 Bazı ülkelerde evsel katı atık karakterizasyonu [18]

Katı Atık Bileşimi	Belçika	Almanya	Fransa	İstanbul	İsveç	ABD
Kül	48	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	8
Cam	3	10	4	1.5	15	6
diğerleri	3	15	14	6.5	12	11

2.2 Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıkların kaynağına, bileşimine ve özelliklerine göre sınıflandırılması; toplama, taşıma ve bertaraf sistemlerinin tasarımı, tesisi ve işletilmesi, geri kazanılabilir maddelerin ekonomiye kazandırılması ve bu atıklardan enerji üretimi açısından son derece önemlidir. Bileşimine ve özelliklerine göre katı atıklar ve kaynaklarına göre katı atıklar olarak iki şekilde sınıflandırabilir.

2.2.1 Bileşimine Göre Katı Atıklar

Organik 1: kompostlanabilir ve yanabilir organikler (bitkisel, hayvansal, kağıt, tekstil atıkları...)

Organik 2: biyokimyasal ayrışması imkanız yada çok yavaş olan organikler (odun, kağıt, deri, lastik, kemik, plastik atıklar) İnert maddeler: yanmayan maddelerdir.(cam, porselen, taş, kil atıkları)

2.2.2 Kaynaklarına Göre Katı Atıklar

2.2.2.1 Evsel Atıklar

Evsel atıklar, evlerden atılan mutfak çöpleri, park, bahçe gibi alanlardan gelen, tehlikeli atık olmayan normal, belediye hizmeti ile toplanıp taşınan çöp depolama sahalarında bertaraf edilebilen, ayırma yolu ile geri kazanılabilen kompost yapılabilen veya yakılabilen evsel veya endüstri kökenli atıklardır. Günlük faaliyetler sonucu ev ortamında oluşabilecek tehlikeli ve zararlı atık sınıfına girmeyen her türlü katı atık evsel katı atık sınıfına girer.

2.2.2.2 Endüstriyel Atıklar

Her türlü endüstri tesislerinde açığa çıkan istenmeyen nitelikteki katı madde ve arıtma çamurları endüstriyel katı atık kapsamına girmektedir. Bu tür atıklar kaynaklarına göre iki grup altında toplanabilir.

2.2.2.3 Tehlikeli Atıklar

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği; 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 çoğunlukla sanayi kuruluşları, araştırma merkezleri, hastaneler, kısmen konutlar v benzeri yerlerden kaynaklanmaktadır. Evlerden gelen basınçlı kaplar, sanayi atıkları içerisindeki birçok kimyasallar, hastanelerden kaynaklanan radyoaktif atıklar hep tehlikeli atık sınıfına girerler.

2.2.2.4 Tıbbi Atıklar

Hastane çöpü olarak adlandırılan ve hastane veya benzeri sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıklardır.

2.2.2.5 Özel Atıklar

Katı atık kategorisinde dışında kalan ve farklı yöntemlerle toplanması, taşınması, bertaraf edilmesi gereken atıklardır. Bu atıklar; atık yağlar, jips, yakma fırını külleridir. Özellikle atık

yağlar son yıllarda hem miktar hem de kullanımı açısında sıklıkla gündeme gelmektedir. Atık bitkisel yağlar biyodizel üretiminde kullanılmakta, madeni yağlar ise bir takım arıtma işlemlerinden geçirildikten sonra sanayide tekrar kullanılabilmektedir.

Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliğinde özel işleme tabi atıklar listesinde yer alırlar [20].

2.3 Katı Atıkların Depolanması

Nihai bertaraf noktasına gelen çöpler genellikle, herhangi bir modern depolama yöntemine uyulmaksızın, belediyelerin rasgele seçtikleri boş arazilere sıhhi depolama teknikleri uygulanmadan atılmaktadır. Bazı büyük şehirlerimizde ise, toplanan organik kökenli çöpler kompost tesislerinde işleme tabi tutulmakta ve elde edilen kompost satılmaktadır. Ülkemizde halen modern toplama, geri dönüşüm, değerlendirme, yeniden kullanma teknolojisi yeterince gelişmemiştir. Ülke genelinde toplanan değerli çöplerin ancak 1/3'ü toplama istasyonlarına gelmekte, geri kalan kısmı ise toplayıcı kişiler tarafından daha önceden alınmaktadır [21].

2.3.1 Vahşi Depolama

Vahşi depolama atıkların açık araziye rastgele boşaltılmasıdır. Türkiye'de yaygın olarak kullanılan bu yöntemde çöpler hiçbir önlem alınmadan bir alana atılıp bırakılmaktadır. Atıkların herhangi bir önlem alınmaksızın kontrolsüz bir şekilde bertaraf edildiği bu yöntem birçok probleme neden olmaktadır. Çöpler geniş bir alana dağılarak çevre ve görüntü kirliliğine sebep olmaktadır. Çöp sahasında rüzgârında etkisiyle toz bulutları oluşmakta ve meydana gelen gazlarla birlikte hava kirliliğine neden olmaktadır. Depo sahalarına boşaltılan çöpün organik kısımları 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 etkilere sebep olurlar. Depo sahalarında oluşan sızıntı suları yeraltı ve yerüstü sularına karışarak bu kaynakların kirlenmesine neden olurlar. Ayrıca vahşi depo sahaları fare, sinek ve diğer zararlı canlılar için uygun bir barınma ve çoğalma yerleridir ki buralardan beslenen kuşlar ve diğer canlılar bulaşıcı hastalıkların yayılmasına neden olmaktadır [22].





Şekil 2.4 Vahşi depolama

2.3.2 Düzenli Depolama

Düzenli depolama, maliyetinin düşük olmasının yanında, atıkların kontrollü şartlar altında inert ve stabilize olmuş maddelere dönüşünceye kadar ayrışmasına da imkan sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı düzenli depolama katı atık bertarafında en çok tercih edilen metottur [23].



Şekil 2.5 Düzenli depolama [24]

2006 yılında belediyeler tarafından toplanan katı atıkların %60'ı vahşi depolama, %37'si düzenli depolama, %1' i kompostlaştırma, %1'i ise diğer yöntemler kullanılarak bertaraf edilmiştir. 2005 yılı istatistiklerine göre ise; düzenli depolama tesislerine getirilen atıkların %96' sı evsel ve benzeri atıklardan, %4' ü diğer atıklardan oluşmaktadır. Türkiye'de atık bertarafı için yeterli seviyede tesis

olmaması ile birlikte, düzenli depolama tesislerinin sayısı ve kapasiteleri hızla artmaktadır. 2008 yılı itibariyle 34 düzenli depolama tesisi 450 belediyede 29 milyon nüfusa hizmet vermekte iken, 2012 yılına kadar bu oranların 1.130 belediyede 130 düzenli depolama tesisiyle 57 milyon nüfusa hizmet vermesi planlanmaktadır [24].

Çizelge 2.7 Belediyeler tarafından toplanan katı atık bertarafı [11]

Yıl	2001	2002	2003	2004	2006
Toplam	25134	25373	26014	25014	25280
Düzenli Depolama	8304	7047	7432	7002	9428
Vahşi Depolama	16167	17525	17873	17405	15280
Kompostlaştırma	218	383	326	351	255
Diğer	445	417	487	256	316

Düzenli depolama 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 kontrol edilerek toplanmasını ve aynı şekilde oluşacak sızıntı suyunun da kontrolünü ifade eder.

Düzenli depolamanın özellikleri kısaca şöyledir:

Katı atıklar çevreye kötü kokular yaymaz.

Katı atıklar rüzgarla etrafa yayılıp çevreyi kirletmez.

Zararlı ve hastalık yapıcı canlılara barınma ve çoğalma ortamı ortadan kalkar.

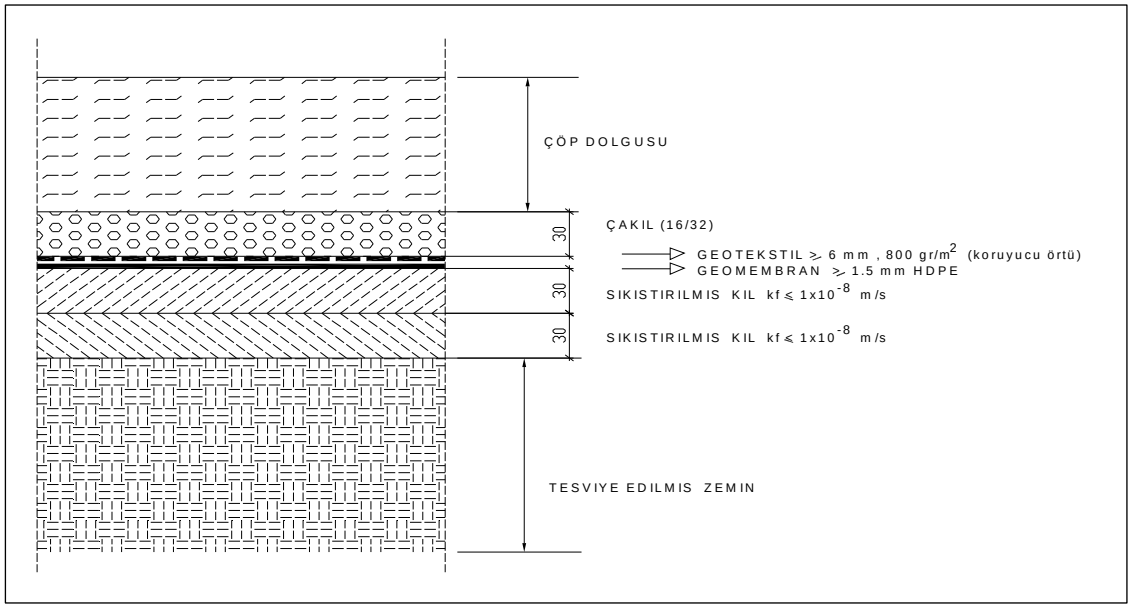
İçinde başlıca karbondioksit ve metan bulunan depo gazının çıkışı pasif ve aktif yöntemlerle kontrol altına alınmıştır. Her iki grup yöntemle depo gazının çevreye, konut içlerine yayılması engellenir.

Süzüntü ve sızıntı suları kontrol altına alınıp arıtılmakta olup yer altı ve yerüstü suları kirlenmeye karşı korunur.

Depo tesisine evcil ve yabani hayvanların girmesi, orada barınıp beslenmelerine ve çoğalmalarına engel olunur [23].

2.3.2.1 Katı Atık Sahasının Düzenli Depolama için Hazırlanması

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre evsel nitelikli 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 getirilir. Bu geçirimsizliği sağlamak için tabii ve suni malzemeler kullanılır.



Şekil 2.6. Evsel katı atık depolama sahası tabanı sızdırmazlık sistemi

Depo sahasının üst kısmındaki bitkisel toprak temizlenip yeraltı suyu drenajı sağlanır. Yeraltı suyu drenaj kanalları ile saha dışına drene edilir ve zemin alt yapı sıkıştırma tekniğine uygun olarak tekrar sıkıştırılır.

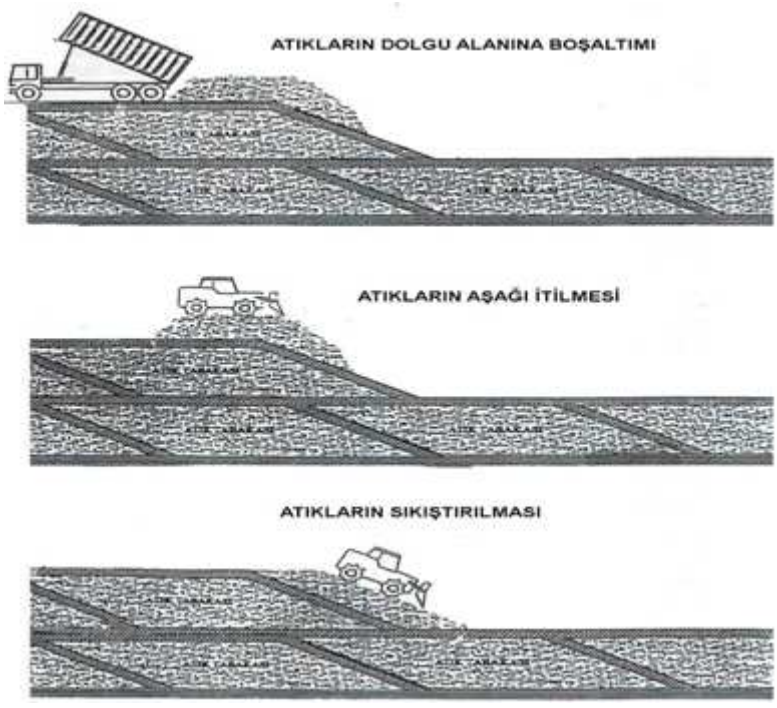
Çevre sularının girmemesi için gerekli önlemler alınıp uygun eğime getirilen tabii zemin üzerine her biri 15 cm kalınlığında kil tabakası serilerek depo tabanının yüksekliği 60 cm olacak şekilde sıkıştırılır. Oluşan bu zemin üzerine 2 mm kalınlığında yüksek yoğunluklu polietilen folyo (geomembran) kaplandıktan sonra üzerine koruyucu tabaka olarak geotekstil serilir. Bu işlemlerden sonra çöp sızıntı suyu toplama işlemleri yapılır. 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 yerleştirilerek kullanıma hazır hale getirilir. Mevcut sahada gaz çıkışının fazla olduğu yerlere gaz bacası yapılarak oluşan gazların tahliyesi sağlanır. Mali açıdan mümkünse oluşan gazlar geçici toplama sitemi ile toplanarak flareda yakılmalıdır.

Ayrıca, atık getiren araçların sahada döküm yapacağı bölgelerin uygun yerlerine, platform şeklinde yükseklikler yapılır.

2.3.2.2 Atıkların Doldurulması

Geçirimsiz taban teşkili yapıldıktan sonra atık depolama çalışmalarının belirli sınırlar içerisinde gerçekleştirilmesi için her kademe atıklar sınırları belirlenmiş bir dizi atık hücresine depolanır.



Şekil 2.7 Atık tabakalarının yukarıdan aşağıya doğru sıkıştırılarak oluşturulması

Kullanıma hazır hale gelen alanların geçirimsizlik tabakası üzerine ilk yumuşak katı atık tabakasının kalınlığı 1,5-2 m olmalıdır. İlk atık tabakasının içinde alttaki taban örtüsüne ve sızıntı suyu toplama sistemine zarar verecek büyük kütleli cisimler uzun tahta parçaları, borular vb. keskin maddeler bulunmamalıdır. Atık boşaltılırken, seçilirken ve sıkıştırılırken taban örtüsüne

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 silindirli kompaktörlerle sıkıştırılır. Her serme işleminden sonra mutlaka sıkıştırma yapılır. Nihai düzenlemenin arkasından 60 cm kalınlığında kil ve/veya bitki türüne bağlı olarak bitkisel toprak serilerek yeşillendirme ve ağaçlandırma uygulamasına geçilir.



Şekil 2.8. Atıkların dolgu eğiminin aşağısına doğru itilerek serilmesi

2.3.2.3 Atıkların Örtülmesi

Uçuşabilecek maddelerin rüzgârla sürüklenmesinden, kemirgenlerden, taşıyıcı hayvanlardan, haşerelerden ve kokudan kaynaklanan sorunları önlemek için bütün açık atık yüzeyleri her günün sonunda 15 cm kalınlığında bir toprak tabakasıyla örtülmelidir. Atıklar planlanan hücre yüksekliğine ulaştığında bir ara örtü oluşturmak için 15 cm lik ek bir toprak örtüsü serilmelidir. Ara örtü 30 cm kalınlığında olacak ve bir ay üzerine atık boşaltılamayacak alanlara serilecektir. Günlük hücrelerin büyüklüğü belirlenirken, atığın kapladığı yüzey alanının minimum düzeyde olması günlük örtünün daha az yapılmasına dolayısıyla ekonomik fayda sağlamasına katkıda bulunur.

Sızmaları ve erozyonu önlemek için ara örtünün tesviyesi yapılmalıdır. Üzerindeki örtü çatlak, yıpranmış olan veya düzgün eğimde olmayan bütün atık depolama alanlarına periyodik olarak ilave örtü uygulanmalıdır.

2.3.2.4 Son Örtü

Atık yüksekliği işletme planında belirtilen maksimum yüksekliğe ulaştığında atığın üzerine 30 cm daha bir ara örtü serilmelidir. Bu tabakanın üst eğimleri %5 ile %15 arasında olacak şekilde yapılmalıdır. Tasarım tesviyesi gerçekleştiğinde, 60 cm kalınlığında bir kil tabakası serilir. Kil tabakasının geçirgenliği 1x10-8yada daha az olmalıdır. Kilin üstüne yeşil alanların oluşturulmasına olanak sağlayacak kalitede ve yeterli kalınlıkta (1,5-2 m) bitkisel toprakla örtülmelidir.

Örtünün sağladığı faydalar;

1. Rüzgârda uçuşabilecek atıkların çevreye yayılmasının önlenmesi
2. Kokunun kontrol altına alınarak azaltılması
3. Taşıyıcı hayvanların mikrop taşımasının engellenmesi
4. Kontrol dışı yapılabilecek ayıklamanın önlenmesi
5. Sivrisineklerin üremesinin azaltılması
6. Kontrolsüz depo gazı sızmalarının önlenmesi
7. Atık tabakalarının hava ile teması kesilmesi sebebiyle anaerobik faaliyetlerin hızlanmasına ve atıkların kısa sürede stabilize olmasına katkı sağlanmasıdır.
8. Katı atıklar rüzgârla etrafa yayılıp çevreyi kirletmez.
9. Zararlı ve hastalık yapıcı canlılara barınma ve çoğalma ortamı ortadan kalkar.
10. İçinde başlıca karbon dioksit ve metan bulunan depo gazının çıkışı pasif ve aktif yöntemlerle kontrol altına alınmıştır. Her iki grup yöntemle depo gazının çevreye, konut içlerine yayılması engellenir.
11. Süzüntü ve sızıntı suları kontrol altına alınıp arıtılmakta olup yer altı ve yerüstü suları kirlenmeye karşı korunur.
12. Depo tesisine evcil ve yabani hayvanların girmesi, orada barınıp beslenmelerine ve çoğalmalarına engel olunur[16].

BÖLÜM 3

DEPOGAZI (LFG)

Katı atık depolama sahaları, tıpkı bir arıtma tesisindeki anaerobik çürütücü gibi bir biyokimyasal reaktör olarak çalışmaktadırlar. Depo alanına katı atığın depolanmasıyla birlikte depo içerisinde ayrışma da başlamakta, oluşan anaerobik ortamda organik maddelerin bozunması sonucunda bozunma gazları meydana gelmekte ve oluşan bu gazlar Depo Gazı olarak adlandırılmaktadır.
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 [26].

3.1 Depo Gazı (LFG) Bileşenleri

Depo gazları, hemen hemen eşit oranda metan ve karbondioksit ile çok sayıda eser miktarda uçucu organik bileşikten meydana gelmektedir. Katı atık depo sahalarında kaynaklanan metan ve karbondioksit global ısınmaya neden olan en önemli gazlardır. Metan (CH4) gazı karbondioksite (CO2) göre güneş ışığını 21 kat daha fazla absorbe etme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca, kapalı ortamda metan (CH4) hava ile %5/15 oranlarında karıştığında patlayıcılık özelliğine sahiptir. Depo gazlarının diğer bileşenleri ise insan ve çevre sağlığı üzerinde hava kirliliği ve istenmeyen kokular gibi çeşitli etkilere sebep olurlar. Bu nedenle depo gazları doğru olarak yönetilmezse çevresel bir problem olarak değerlendirilmektedir [27].
Düzenli depolama sahası içindeki gazlar ve özellikleri çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Tipik düşük enerjili yakıtların kompozisyonu ve fiziksel özellikleri [64]

Component	Symbol	Units	Natural Gas	Landfill Gas	Biogas
Methane	CH_4	vol %	92.3	45-60	50-75
NMOC	---	vol %	2.5	---	---
Carbon Dioxide	CO_2	vol %	---	40-65	25-50
Oxygen	O_2	vol %	---	0-1	0-2
Nitrogen	N_2	vol %	3.5	2-5	0-10
Hydrogen and Hydrogen Compounds	H_2, H_2S, etc.	vol %	---	0-0.2	0-1
Others	NH_3, F, Cl, Siloxane, etc.	vol %	1.8	0.1	0-3
Lower Heating Value	LHV	MJ/Nm^3	33.2	14-20	15-25

Metan (CH4), renksiz ve kokusuz bir hidrokarbondur. Metan gazı depo gazının hacimce ortalama % 55.ini oluşturur. Yoğunluğu, depo sahasındaki sıcaklık aralıklarında 0.6-0.7 kg/m3 arasında değişir. Bu değerler atmosferik havanın yoğunluğunun hemen hemen yarısına eşit olduğundan, CH4 rahatlıkla depo sahası sınırları dışına çıkabilir. Gaz toplama sistemiyle tutulmayan CH4'in büyük bir kısmı atmosfere yayılır. CH4, O2.nin mevcut olduğu durumlarda patlayıcı bir gazdır. Havada %5 oranında CH4 bulunması en düşük patlayıcılık sınırı (LEL) olarak adlandırılır. LEL seviyesine eşit veya daha yüksek konsantrasyonlar, binalar, kanallar veya depo sahasına yakın diğer yapılar için tehlikelidir. CH4 konsantrasyonları bu kritik seviyeye ulaştığında, atık içerisindeki O2 tamamen tükenmiş olduğundan depo sahalarında patlamaların meydana gelmesi gibi direkt bir tehlike söz konusu değildir. Ancak bazı durumlarda depo gövdesinde ve sahada yangınlar çıkabilir. CH4.ın daha az ancak yine de önemli bir kısmı, sahanın yakınında toprak örtüsüne doğru hareket eder veya saha içerisindeki veya civardaki boşluklarda birikir. Ayrıca CH4.ın global ısınmaya etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. CO2 ve su buharından sonra, infrared ışınlarını tutan üçüncü önemli gaz CH4.dir. Her bir CH4 molekülü, bir CO2 molekülünün absorblayabileceği infrared fotonlarının 23 kat daha fazlasını absorblayabilir. Ancak, atmosferde 83 kat daha az miktarda CH4 molekülü bulunduğundan, CH4.ın sera etkisi CO2.nin sebep olduğu sera etkisinin 1/4.ü kadardır [29].

Öte yandan, depo sahalarından oluşan CH4'in bir enerji kaynağı olarak kullanılması düşüncesi, son yıllarda ortaya çıkmıştır. CH4 konsantrasyonu hacimce %35 olduğunda gazın bu amaçla kullanılması ekonomiktir. Doğal gazın ısıl değerinin 30,8 MJ/m3 (29,2 Btu/ m3) olduğu göz önüne alındığında, %50 CH4 ihtiva eden depo gazının, ısıl değeri 15,1 MJ/m3 (14,3 Btu/m3) olan orta dereceli bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir [31].

Depolama sahası gazının en önemli özelliği metan içeriğinden dolayı enerji değeridir. Ortalama alt kalorifik değer metre küp başına 20.000 kj/m3 civarında gerçekleşmektedir. Bununla birlikte depolama sahası gazının yoğunluğunun havaya oranı 1,04'dür. Depolama sahası gazının önemli özeliği potansiyel patlayıcılığı, boğuculuk ve zehirlilik özelliği ve kötü kokusudur. Depolama sahası gazındaki diğer önemli bir gaz da renksiz, kokusuz ve yanıcı olmayan karbon dioksittir. CO2, havadan daha ağırıdır. "Zehirli-olmayan" özelliğine karşın karbon dioksit solunum sisteminde oksijenin yerini alarak hayat için tehlikeli özellik göstermektedir. Hidrojen (H2), organik maddenin biyolojik ayrışmasının ilk aşamalarında oluşmakladır. Hidrojen en hafif gazdır ve atmosfere doğru yükselme eğilimindedir. Yüksek miktarda yanıcıdır ve havada hacimce %4-7 oranında patlayıcılık aralığına sahiptir. Azot ve oksijen, depolama sahası gazında ancak atmosferik havanın girişiyle bulunmaktadır. Azot inert bir madde olup metanın yanıcılığı üzerindeki etkisinden dolayı önem taşımaktadır. Hidrojen sülfür (H2S), yüksek miktarda zehirli ve yanıcıdır ve keskin bir kokuya sahiptir, Karbon monoksit (CO), yüksek zehirliliğe sahip bir gazdır. Renksiz, kokusuz ve yanıcı özellik göstermektedir. Karbon monoksit depolama sahası gamda yaklaşık hacimce %0,001 oranında bulunmaktadır [32].

Çizelge 3.2 Depo gazlarının gazların moleküler ağırlığı, yoğunluğu ve özgül ağırlığı

Gaz	Formül	Molekül Ağırlığı	Yoğunluk (g/L)	Özgül Ağırlık kg/m^3
Hava		28,97	1,2928	1,2943
Amonyum	NH_3	17,03	0,7708	0,7721
Karbondioksit	CO_2	44,00	1,9768	1,9783
Karbonmonoksit	CO	28,00	1,2501	1,2511
Hidrojen	H_2	2,016	0,0898	0,0897
Hidrojen Sülfür	H_2S	34,08	1,5392	1,5394
Metan	CH_4	16,03	0,7167	0,7176
Azot	N_2	28,02	1,2507	1,2527
Okisjen	O_2	32,00	1,4289	1,4289

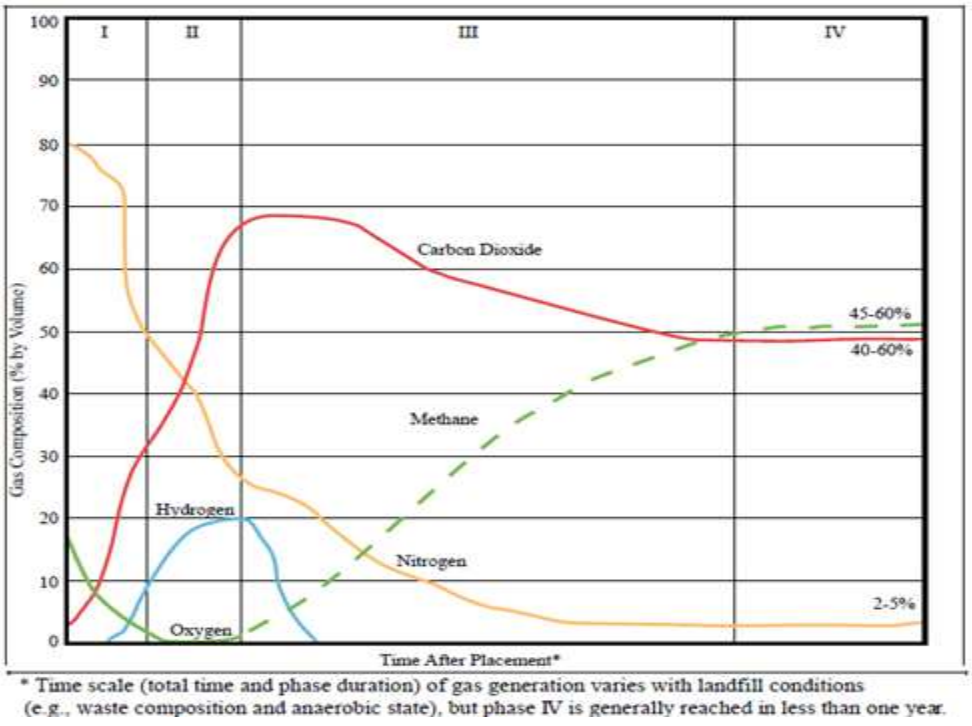
3.2 Depo Gazı (LFG) Oluşumu ve Safhaları

Katı atıklar düzenli depo sahasına depolandıkları ilk anda, boşluklarda oksijen (O2) mevcuttur ve bu durum biyolojik olarak ayrışabilen maddelerin (suda çözünebilir yapıdaki organik maddelerin) aerobik şartlar altında ayrışmasına sebep olmaktadır. Depo gövdesi içerisinde O2'in önemli ölçüde azalması, anaerobik ayrışma fazının başladığını gösterir. Bir düzenli depo sahası

ekosisteminde, başlangıçta kısa süreli aerobik ayrışma fazı ve daha sonra daha uzun süren ve gaz oluşumu nedeniyle daha önemli olan anaerobik ayrışma safhası oluşur.

Yapılan çalışmalarda gaz bileşiminde zamanla meydana gelen değişimler 5 safha olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar, aerobik safha, anaerobik metanojenik olmayan safha, anaerobik metanojenik kararsız safha, metanojenik kararlı safha ve aerobik şartlara geçiş safhası olarak sayılabilir.

Düzenli depolama sahalarında meydana gelen ayrışma ve gaz oluşum safhaları Sekil 3.1'de verilmiştir. Ancak, atıkların biyolojik ayrışması her zaman burada gösterildiği gibi sırayla gerçekleşmeyebilir. Bazı safhalar gerçekleşmezken bazıları da aynı anda meydana gelebilir. Depolanan atığın bileşenlerine ve dane boyutlarına, ayrışabilir organik maddelerin özelliğine, ortamın pH'sına ve ortamdaki nem muhtevasına bağlı olarak değişir. Ayrıca, çevresel şartlara bağlı olarak bir veya iki safha baskın hale gelebilir. Bunun yanında, atıkların heterojen yapısına bağlı olarak, aynı anda depo sahasının farklı bölgelerinde farklı prosesler de meydana gelebilir [27].



Şekil 3.1 Tipik depo gazlarının üretim fazları [33]

Başlıca depo gazlarının oluşması bir dizi faz neticesinde gerçekleşir. Bu fazlar aşağıda belirtilmiştir [34].

Faz 1-İlk Uyum: İlk adaptasyon fazı olan Faz 1'de evsel katı atıklardaki organik maddeler çöp depo alanına dökülür dökülmez mikrobiyal ayrışmaya maruz kalırlar. Bu fazda biyolojik ayrışma aerobik şartlar altında gerçekleşir. Çünkü belli bir miktar hava depo alanında tutulur. Atıkların ayrışmasını sağlayan aerobik ve anaerobik olan organizmaların esas kaynağı günlük olarak atıkların üzerine dökülen nihai toprak örtüsüdür. Bu organizmaların diğer kaynakları çürütülmüş atık su arıtma tesisi çamurları ve geri devrettirilen sızıntı sularıdır [35].

Faz 2-Geçiş Fazı: Geçiş fazı-Faz 2'de oksijen tüketilir ve anaerobik şartlar gelişmeye başlar. Depo alanı anaerobik olduğunda, biyolojik dönüşüm reaksiyonlarında elektron alıcısı olan nitrat ve sülfat, azot gazına ve hidrojen sülfüre'e indirgenir. Anaerobik şartların başlangıcı atıkların oksidasyon/redüksiyon potansiyeli ölçülerek izlenebilir. Nitratın ve sülfatın indirgenmesi için yeterli olan indirgenme şartları 50–100 milivolt civarında gerçekleşir. Oksidasyon redükyon potansiyeli 150–300 arasında gerçekleşir. Oksidasyon–redüksiyon potansiyeli azalmaya devam ederken organik maddelerin metan ve karbondioksite dönüşümünü gerçekleştiren mikrobiyal topluluk kompleks organik maddelerin organik asitlere ve diğer ara kademe ürünlere dönüştürüldüğü üç - kademe prosesine başlar. Faz–2'de oluşan sızıntı suyunun pH'ı organik atıkların mevcudiyeti ve depo alanındaki CO2'nin artmasının etkisi ile düşer [35].

Faz 3-Asit Fazı: Bu fazda, Faz 2'de başlayan mikrobiyal aktivite önemli miktarda organik atıkların ve az miktarda hidrojen gazının oluşması ile hızlanır. Üç kademe prosesinin birinci kademesi, yüksek moleküler yapılı bileşiklerin (Yağlar, Proteinler, Polisakkaritler, Nükleik asitler vs.) mikroorganizmalarda karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmaya uygun bileşiklere dönüştüğü kademedir. Prosesteki ikinci kademe (asit oluşumu), birinci kademede oluşan bileşenlerin asetik asit ve düşük konsantrasyonlu fulvik asit ve diğer daha karmaşık organik asitlere dönüştüğü mikrobiyal dönüşmeyi ihtiva eder. CO2 Faz 3'de oluşan başlıca gazdır. Ayrıca daha az miktarlarda H2 gazı oluşabilir. Oluşan sızıntı suyunun pH'ı organik asitlerin mevcudiyeti ve CO2'nin artması sebebiyle 5 ve daha düşük değerlere inecektir. Faz- 3 boyunca organik atıkların sızıntı suyunda çözünmesi nedeniyle sızıntı suyunun BOİ5, KOİ ve iletkenliği önemli miktarlarda artacaktır. Sızıntı suyunun pH'ının düşük olması sebebiyle bazı inorganik bileşenler, özellikle ağır metaller çözünebilir olacaktır. Faz 3'te birçok önemli nutrientler sızıntı suyundan çıkar. Eğer sızıntı suyu geri devredilmez ise sistemden gerekli nutrientler kaybedilecektir [34].

Şu da önemli bir noktadır ki eğer sızıntı suyu oluşmaz ise, Faz 3 boyunca oluşan dönüşüm ürünleri depo alanı içinde kalır ve saha kapasitesi olarak tanımlanarak suda tutulur [35].

Faz 4-Metan Fermantasyon Fazı: Bu fazda asit fazında oluşan asetik asit ve hidrojeni CH4 ve CO2'ye çeviren ikinci grup mikroorganizmalar çoğunlukta olur. Bazı durumlarda bu organizmalar Faz 3'ün sonuna doğru gelişmeye başlar. Bu dönüşümü gerçekleştiren mikroorganizmalar metanojenler olarak adlandırılan anaeroblar'dır. Faz 4'de metan ve asit oluşumu aynı anda gerçekleşir. Ancak bununla beraber asit oluşum hızı oldukça önemli miktarda Asitler ve hidrojen gazının CO2 ve CH4' e dönüşmesiyle depo alanı içindeki pH 6,8–8 arasında değişerek daha nötr bir değere yükselir. Sızıntı suyu oluştuğu takdirde pH'ı yükselir, BOİ5 ve KOİ konsantrasyonu ve iletkenliği azalır. Ayrıca sızıntı suyunda mevcut bulunan ağır metal konsantrasyonu azalacaktır [35].

Faz 5-Olgunluk Fazı: Bu Faz mevcut ayrışabilir maddeler Faz 4'de CH4 ve CO2'ye dönüştükten sonra kolayca gerçekleşir. Faz 5'te depo gazı oluşum hızı oldukça azalır. Çünkü önceki Fazlar etrafında mevcut nutrientlerin önemli bir kısmı sızıntı suyu ile giderilir ve depo alanında kalan besin maddeleri yavaş ayrışabilenlerdir. Bu Fazda yavaş yavaş gelişen gazlar CO2 ve CH4'dür. Az miktarlarda azot ve oksijen de bulunabilir [34].

Fazların Süresi: Depo gazının her bir fazın süresi; organik bileşenlerin depo alanındaki dağılımı, nütrientlerin mevcudiyeti, atığın nem muhtevası, nemin depo alanı boyunca hareketi ve ilk sıkışma gibi faktörlere bağlıdır. Örneğin birçok yığın çalılık bir arada depolanıp sıkıştırılırsa, C/N oranı ve nutrient dengesi gaz oluşumu için uygun seviyede olmayabilir. Keza yeterli miktarda nem olmadığı zaman gaz oluşumu yavaşlar. Sahaya dökülen maddelerin yoğunluğunun artması nemin atık içinde her noktaya ulaşabilmesini azaltır. Böylelikle biodönüşüm hızı ve gaz oluşumu azalır [34].

3.3 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 faktörlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1 Oksijen

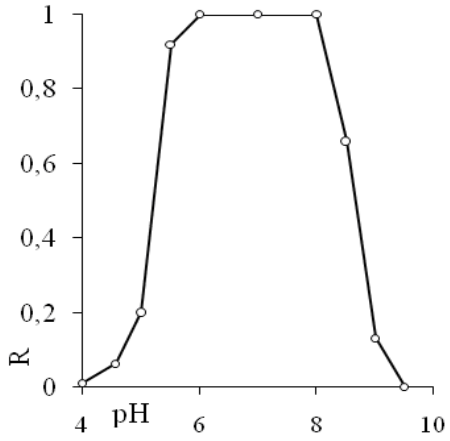
Anaerobik bakterilerin ayrışma proseslerini gerçekleştirmesi için ortamda serbest oksijenin bulunmaması gerekli ve zorunlu bir şarttır. Metanojenik bakteriler, O2'e en duyarlı bakterilerdir. Depo ahası yüzeyine her zaman etki eden oksijen depo sahası yüzeyindeki aerobik bakteriler tarafından tüketirler. Metanojenik bakterilerin spor oluşturan formu belirlenmemiş olmasına rağmen, metanojenik topluluklar ortama O2 girişiyle tamamen yok olmazlar. Aerobik çamurun ve aerobik toprağın anaerobik inkübasyonu CH4 oluşumuyla sonuçlanır [36].

3.3.2 Hidrojen

Hidrojen fermantatif ve asetojenik bakteriler tarafından üretilir ve üretilen H_2'in basıncı biyokimyasal dönüşümleri etkiler. Fermantasyon bakterileri, hidrojen basıncı düşük olduğunda H_2, CO_2 ve asetik asit üretirken, yüksek H_2 basınçlarında ise H_2 ve CO_2 üretirler. Etanol, butirik asit ve propiyonik asit gibi organik bileşikler H2 basıncı çok yüksek değilse asetojenik bakteriler tarafından da oluşturulabilir. Propiyonik asitin oluşabilmesi için H_2 basıncının 9*10-5 atm.'in altında olması gerekmektedir. Yani H2 basıncı yüksek ise propiyonik (ve bütirik) asit oluşacak fakat bu bileşikler daha fazla ayrışmayacaktır. Hidrojen, metanojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler tarafından tüketilir. 10-5 atm. den düşük basınçlar, H_2 ve CO_2'den CH_4 oluşumu için uygundur [36].

3.3.3 ph ve Alkaline

Metan bakterileri pH 6-8 aralığında faaliyet gösterirler. Optimum CH_4 oluşumu pH 7.0-7.2 aralığında görülmektedir. pH değerinin 6 nın altına düşmesi metan bakterileri üzerinde toksik etki gösterebilir. pH değerlerinin nötr olması durumunda atık ayrışma proseslerinin daha hızlı gerçekleştiği gözlenmiştir. Şekil 3.2'de farklı metanojen kültürlerinin karışımı için pH'a bağlı olarak CH_4 üretim oranları (R) verilmiştir [36].



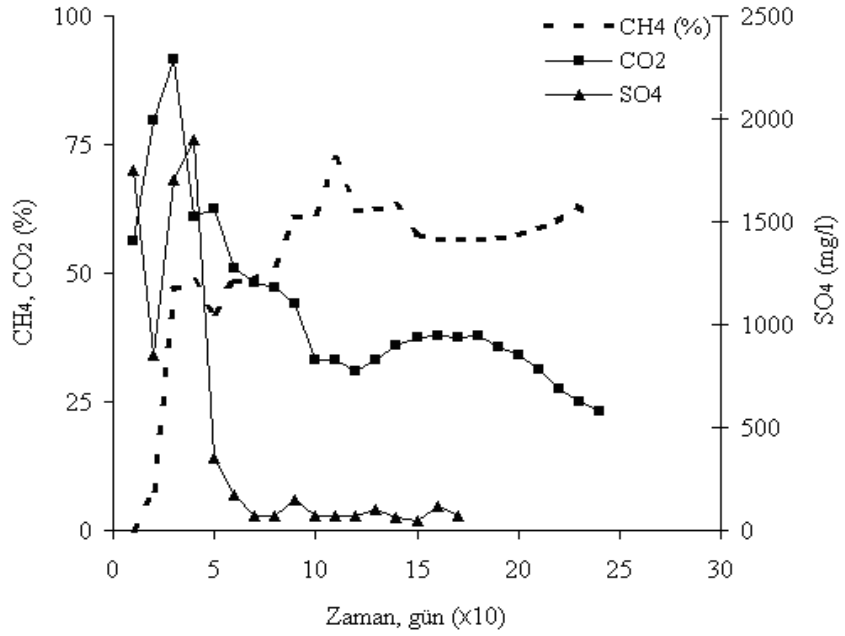
Şekil 3.2 Anaerobik bir filtrede ph'ın rölatif metan oluşum hızı (r) üzerinde etkisi

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 aktiviteyi durdurabilirken, yüksek alkalinite değerleri sistemi düzensiz pH değişimlerine karşı korur. Alkalinitenin düşük olması uçucu yağ asitlerinin birikmesine yol açar. Evsel atıksu çamurunun anaerob ayrışması için gerekli toplam alkalinite değeri 2000 mg/l $CaCO_3$ civarında olduğu belirlenmiştir [37].

3.3.4 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. 3.3'de depo gazı bileşimi ile sızıntı suyundaki SO_4 konsantrasyonlarının zamana göre değişimi verilmiştir [67].

Şekilden de görüldüğü gibi, CH_4 oluşumundaki artış ile sülfat konsantrasyonlarındaki azalma aynı anda meydana gelmektedir.



Şekil 3.3 Depo sahalarında so_4- ile gaz bileşimi arasındaki ilişki

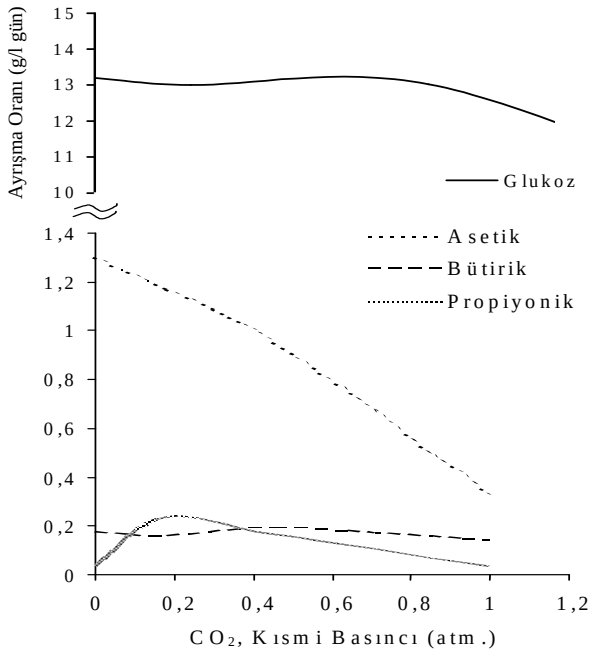
Metan oluşumunun sülfatla ilişkisi, sülfatın metanojenik bakteriler üzerindeki herhangi bir toksik etkisiyle bağdaştırılmamış, sadece substrat rekabetiyle ilişkilendirilmiştir. Metan bakterilerinin az olduğu kültürlerde sülfat, metan oluşumunu etkilemez, ancak eğer ortamda Desulfovibrio gibi sülfat indirgeyen gruplar varsa, sülfatın indirgenmesi çok fazla enerji gerektiren bir reaksiyon olduğundan bir sınırlandırma söz konusudur [38].

3.3.5 Nitrojenler

Anaerobik mikroorganizmalar için gerekli olan mikronütrientlerin tamamı (sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, çinko, bakır, molibden ve selenyum gibi) hemen hemen tüm depo sahalarında mevcuttur. Anaerobik ekosistemlerde substratın sadece küçük bir kısmı yeni hücreler tarafından özümsenir, bu nedenle aerobik sistemlerden çok daha az miktarlarda azot ve fosfor gereklidir. Organik maddeler (KOİ), azot ve fosfor arasındaki optimum oranlar; 100:0,44:0,08 olarak belirlenmiştir. 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. Fosfor, anaerobik ayrışma prosesini sınırlandıran en önemli nütrienttir.

3.3.6 İnhibitörler

Oksijen, hidrojen ve sülfatın metan oluşumu üzerinde bir inhibisyon etkisi olduğu bilinmektedir. Uçucu yağ asitlerinin metan oluşumu üzerine etkisi pek çok araştırmaya konu olmuştur. Asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin toplam konsantrasyonlarının 6000 mg/L 'nin üzerinde olmaması gerekmektedir. Ayrışma proseslerinin çoğunda CO_2 üretilir. CO_2'in CH_4 oluşumu üzerindeki inhibisyon etkisi çamur yataklı kesikli reaktörlerde belirlenmiştir. 3.4'de CO_2'ini kısmi basıncının asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin ayrışma oranları üzerine etkisi verilmiştir. Asetik asitin ayrışma oranı CO_2'in kısmi basıncından önemli ölçüde etkilenir. Depo sahalarındaki CO_2'nin kısmi basıncı başlangıç fazlarında 0,9 atm. çıkabilir ve daha sonra 0,5 atm. seviyesine düşer. Amonyumun inhibisyon etkisi serbest amonyumdan kaynaklanmaktadır ve pH'nın artmasıyla artmaktadır [36].



Şekil 3.4 CO_2'in kısmi basıncına bağlı olarak bazı substratların ayrışma oranları

3.3.7 Sıcaklık

Diğer bütün mikrobiyolojik proseslerde olduğu gibi anaerobik ayrışma da sıcaklıktan çok fazla etkilenmektedir. Metan bakterileri 40 ^oC civarında yaşayan bir mezofilik grup ve maksimum 70 ^oC civarında yaşayan termofilik bir gruptan oluşurlar.

Atıkların aerobik ve anaerobik ayrışmaları ısı veren reaksiyonlardır, ancak anaerobik ısı oluşumu genellikle ihmal edilebilir seviyededir. Buna örnek olarak glikozun aerobik ve anaerobik ayrışması

verilebilir. Reaksiyonlar neticesinde anaerobik ayrışma ile aerobik ayrışmadan oluşan ısının sadece %7'sinin açığa çıktığı görülmektedir.

Depo gövdesinin sıcaklığı yoğunluk, yüzey alanı, nem muhtevası vb. gibi faktörlerden etkilenir. Biyolojik ayrışmanın ilk safhasında 70 ^{o}C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Anaerobik ayrışma safhası başladığında ise sıcaklık düşer ve 30-35 ^{o}C civarında sabit kalır. Bu sıcaklık değerleri mezofilik metan bakterileri için optimum sıcaklıklardır. Sıcaklığın yükselmesi, genellikle gaz üretiminin de arttığının bir göstergesi olarak kabul edilir [68].

Biyolojik ayrışma ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi ampirik bir ifadeyle belirtmiş ve depo sahalarında metan oluşumu için optimum sıcaklığın 41 oC olduğunu belirlemiştir.

Buna göre;

$$\ln \frac{G_2}{G_1} = E_a \frac{T_2 - T_1}{RT_1T_2} \qquad (3.1)$$

olup, burada G1 ve G2, T1 ve T2 sıcaklıklarındaki (^{o}K) gaz oluşumları; R, gaz sabiti (1.987 cal/oK/mol) ve Ea= aktivasyon enerjisini (20 kcal/mol) ifade etmektedir. Bu ifadeye göre sıcaklık arttıkça biyolojik ayrışma da logaritmik olarak artacaktır.

3.3.8 Nem Muhtevası

Nem muhtevası, besi maddesi miktarıyla birlikte depo gazı oluşumunu kontrol eden en önemli faktördür. Şekil 3.5'de depo gazı oluşum hızıyla atığın nem muhtevası arasındaki ilişki gösterilmiştir.

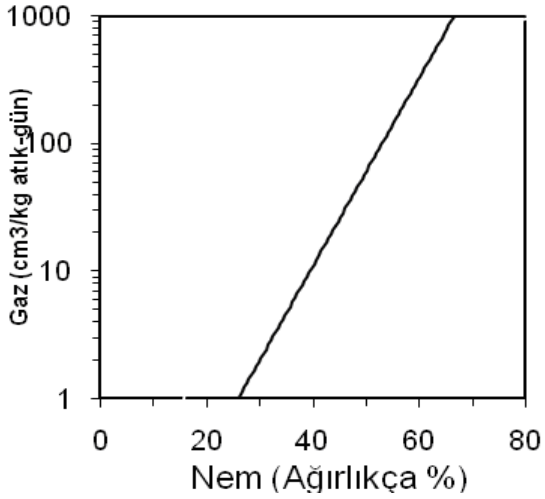
Katı atıklar depo sahalarına ilk depolandıklarında % 30-40 arasında nem muhtevasına sahiptirler. Suya doygun olmayan atıklardan daha çok H_2 üretilirken, suya doygun atıklar daha çok CH_4 ve CO_2 oluştururlar. Birim katı atık başına oluşan biyogaz üretimi ile nem oranı arasında logaritmik bir ilişki vardır. Depo sahasında metan üretiminin optimize edilebilmesi için atıkların suya doygun olması gerekir.

Nem oranının %20-70 arasında olması halinde günlük gaz üretiminin,

$$y = 0.024 \times e^{(0.15 \times \%H_2O)} \qquad (3.2)$$

eşitliği ile tesbit edilebileceğini belirlemiştir. Burada,

y : cm^3 biyogaz/kg katı atık-gün' dür.



Şekil 3.5 Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki

3.3.9 Dane Boyutu

Dane boyutlarının azalması gaz üretimini arttırmaktadır. Dane 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 [39].

3.4 Depo Gazı (LFG) Miktarının Hesaplanması

Depo sahasının ömrü boyunca gaz oluşum hızı üniform değildir. Atıklar depolandıktan sonraki ilk birkaç yıl içerisinde gaz oluşum hızı en yüksek değerlere ulaşır ve daha sonra yavaş yavaş düşer. Gaz oluşum hızlarıyla ilgili en doğru sonuçlar düzenli depo sahalarında yapılan ölçümlerden veya özel olarak hazırlanmış test hücrelerinden elde edilebilir. Bu şekilde elde edilen veriler çok değişik faktörlerden etkilenebilir.

Depo sahalarında yapılan gaz ölçümleri, gaz bacalarından belirli bir süre gaz çekilerek gerçekleştirilir. Daha sonra çekilen gaz veya gazın içerisindeki CH_4 miktarı gazın çekildiği süreye ve gaz bacasının etkin olduğu bölgedeki atık kütlesine bölünerek gaz oluşum hızı hesaplanır. Bu metodun en önemli dezavantajları gaz çekme hızının oluşum hızına eşit kabul edilmesi, atığın miktarının tahmin edilmesi, gaz bacasının etkin olduğu bölgenin tam olarak belirlenememesi ve oluşan gazın tamamının bacada toplanamayıp bir kısmının atmosfere yayılmasıdır. Bu nedenle literatürde çok farklı gaz oluşum hızlarına rastlanmaktadır. Gaz oluşum hızlarıyla ilgili A.B.D.' deki bazı depo sahalarında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar tablo 3.3'da 'de verilmiştir.

Çizelge 3.3'de A.B.D.' deki bazı depo sahalarında ölçülen CH_4 oluşum hızları [39].

Depo Sahası	Atık Miktarı($t*10^6$)	CH_4 Oluşum	Depo Sahası	Atık Miktarı($t*10^6$)	CH_4 Oluşum
Azuza	6	2,5	Industry	2,6	2
Coyote	19,6	2,5	Puente	42	7,1
Hewitt	5,6	2,5	Calumet	7	7,3
Palos	3,4	3,1	Monterey	18	4,4
Olinda	10	2,1	Toyon	16	3,1
Bradley	17	2,9	Penrose	9	5,4

3.4.1 Depo Gazı (LFG) Miktarını Hesaplamada Kullanılan Yöntemler

Depo gazı hesaplaması için üç grup veri gereklidir. Bunlardan ilki, atık miktarı ve organik olarak ayrışabilen madde bileşiminin bilinmesidir. İkincisi halen ne kadar atığın döküldüğünün bilinmesi gereklidir. Üçüncü olarak da, atığın organik maddesinin birim kuru ağırlığının ne kadar depo gazı üreteceğinin bilinmesi gerekir [34].

Oluşan depo gazı miktarı depo alanından depo alanına farklılık gösterir. Çünkü metanojenik mikrobiyal faaliyet birçok çevresel faktöre karşı farklılık gösterir. Teorik olarak 1 ton çöpün ayrışması neticesinde %55 metan ihtiva eden ve 19750 kjoule/m^3 düşük kalorifik değere sahip 400 m^3 depo gazı oluşur [32].

Pratikte depo alanındaki şartlar organik madde ayrışması için uygun değildir. Bu nedenle dökülen atıkların organik kısmının sadece dörtte biri ila yarısı kadarı ayrışır. İyi projelendirilmiş ve iyi yönetilen depo alanlarında bile organik maddelerin ayrışması ile elde edilen depo gazının ancak hacimce % 70'i aktarma kuyularında tutulur. Kötü çalıştırılan tesislerde bu değer % 25'lere kadar düşer [35].

3.4.1.1 Test Kuyuları Sonuçları İle Hesap

Bir depo alanında oluşacak gaz miktarını hesaplayabilmek için en güvenilir metot atık içerine test kuyuları açmak ve bu kuyulardan oluşan gazı ölçmektir. Depo alanındaki atık homojenliğine ve saha büyüklüğüne göre temsil edici bölgeler içerisine uygun sayıda test kuyuları açılır. Her bir kuyudan toplanan gazın kalitesini ve debisini ölçmek için ayrı ayrı testler yapılır. Gazın kalitesinin ölçülmesi işletme ve enerji geri kazanımı sisteminin tasarlanmasına yardımcı olur. Gelişmekte olan ve test kuyuları açarak gaz miktarı hesaplayan ülkelerde uygulanan genel bir kural da test kuyularından toplanan gaz miktarının yarısını devre dışı bırakmaktır. Çünkü atıklar sahada gevşek

bir biçimde sıkışmış veya homojen olarak dağılmamışlardır. Ayrıca bu bölgelerde gaz toplama sistemiyle elde edilen rakamların artmasına sebep olan gaz göçü de yaygın bir problemdir. Ayrıca elde edilen değerin yarsını kullanmak gaz geri kazanımı sisteminin büyüklüğünü belirlemede daha gerçekçi bir değer elde edilmesini sağlar [35].

3.4.1.2 Yaklaşık Tahmin Metodu

Bir depo alanından elde edilebilecek gaz miktarını hesaplamak için kullanılabilecek en basit metot her bir ton atığın yılda 6 m^3 gaz üreteceğini varsaymaktır. Bu tahmini değer işletilmekte olan birçok depo alanından elde edilmiştir. Bu değer bir enerji geri kazanımı projesinin desteklediği ortalama bir depo alanını yansıtır. Depo alanındaki atık ve, iklim ve diğer karakteristik özellikleri tam olarak yansıtmayabilir. Bu yaklaşımdan elde edilen sonuçlar artı eksi %50 oranında değişir. Atıklar ideal olarak 10 yıldan genç olmalıdırlar. Sahaya bağlı olarak gaz oluşumu 5-10 yıl sürebilir [35].

3.4.1.3 Matematiksel Modeller Yöntemi İle Hesap

Test kuyuları belirli zamanlarda sahadaki gaz üretim hızlarına dair gerçek veriler sağlamasına karşılık, matematiksel model hesapları sahadaki depolama esnasında ve kapatılmasından sonra gaz üretimine ilişkin veriler ortaya koymaktadır. Bu modeller tipik olarak depolama zamanı, depolanan atığın miktarı ve atıkların özellikleri gibi verilere ihtiyaç göstermektedir. Katı atık depo sahalarında oluşan gazın belirlenmesiyle ilgili birçok model geliştirilmiştir. Bu modellerden üçü aşağıda açıklanmıştır.

Tabasaran/Rettenberger Modeli

Gaz üretiminin hesabı için Tabasaran/Rettenberger tarafından geliştirilen matematik model kullanılmaktadır. Model denklemi aşağıda gösterilmiştir. Bu bağıntı kumülatif bir artış göstermektedir.

$$Gt = 1{,}868 \cdot Gorg \cdot (0{,}014T + 0{,}28)\,(1 - 10^{-kt}) \qquad (3.3)$$

Gt :t zamanına kadar üretilen gaz miktarı (m^3/ton)

Gorg : Organik karbon içeriği (kg/ton atık)

T : Sıcaklık (^oC)

t : Zaman (yıl)

k : Ayrışma sabiti (yıl -1)

Modelin uygulanmasında en önemli husus parametrelerin seçimidir. Gorg değeri evsel katı atıklar için 170-200 kg/t arasında değişmektedir. Sıcaklık depo gövdesinde çoğunlukla 25-35 ^{o}C arasındadır. Üstü örtülmemiş sahalarda bu sıcaklığın üzerine çıkıldığı tespit edilmiştir. k değeri %75 organik madde indirgenmesi ve 12-24 yıl dolgu süresi için 0,025-0,05 arasında seçilmektedir. Almanya'daki depolama sahalarında yapılan ölçümler sonucu bu değer 0,035-0,04 olarak verilmektedir [40].

EPA LandGEM (Landfill Gas Emission Model) Modeli

Depo gazı emisyonları modeli depolama sahalarından kaynaklanan metan, karbondioksit ve düşük konsantrasyonlarda bulunan diğer hava kirleticilerin emisyonlarının miktarını belirlemek için tasarlanmıştır. Depolama sahasından kaynaklanan emisyonların tahmin edilebilmesi için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır:

Depolama sahası kapasitesi

Depolanan yıllık atık miktarı veya depo alanında bulunan toplam atık miktarı

Metan üretim hızı (k)

Potansiyel metan üretim kapasitesi (L0)

Depolama sahasının açıldığı yıl

Depolama sahasının tehlikeli atık bertarafı için de kullanılıp kullanılmadığı

Modelde depo gazı oluşma hızı birinci derece bozunma denklemine dayanmaktadır. Depolama sahalarındaki atığın miktarı, yası ve bileşimine ait mevcut verilerin yetersizliğinden dolayı daha karmaşık bir yöntem kullanılmamıştır. Modelde kullanılan denklem aşağıdaki gibidir.

$$QCH_4 = L_0 \cdot R \cdot (e^{-k.c}.-e^{-kt}) \qquad (3.4)$$

QCH_4 : t anındaki metan üretim hızı (m^3/yıl)

L_0 : Potansiyel metan üretim kapasitesi (m^3 CH_4/ ton atık)

R : Depolanan yıllık atık miktarı (ton/yıl)

k : Metan üretim hızı sabiti (yıl -1)

c : Saha kapatıldıktan sonraki yıl sayısı (yıl)

t : İlk atık depolanmaya başlamasından sonra geçen süre (yıl)

Model, CO_2 ve CH_4 emisyonlarının aynı oranda olduğunu kabul etmektedir, yani depo gazı miktarının metan emisyonunun iki katı olduğu varsayılmaktadır. Depolama sahasından kaynaklanan metan k ve L_0' ın fonksiyonudur. k değeri atığın nem içeriği, nutrient içeriği, pH değeri ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. L0 değeri ise depolama sahasında bulunan atığın tipine bağlıdır. Atığın selüloz içeriği arttıkça, L0 değeri de artmaktadır. Modelde sahaya özgü bir k ve L0 değeri girilemiyorsa, modelde hazır olarak verilen iki set değer mevcuttur. Bunlar CAA ve AP-42 değerleridir. CAA değerleri depolama sahası emisyonları için Clean Air Act (CAA) yönetmeliklerinin uygulanabilirliği esasına dayanmaktadır. AP-42 değerleri ise EPA'nın Compilation of Air Emission Factors'dan alınmış değerlere dayanmaktadır. k değerleri için bir kuraklık kriteri mevcuttur. k değerleri yılda 640 mm'den daha az yağış alan bölgeler için farklılık gösterir. CAA ve AP-42 değerleri tablo 3.4 de gösterilmiştir

Çizelge 3.4 EPA Modeli parametreleri

Parametre	**CAA**		**AP-42**	
	P>640 mm	P<640mm	P>640 mm	P<640mm
k (1/yıl)	0,05	0,02	0,04	0,02
L_0 (m^3/ton)	170	170	100	100

Multi-Phase Modeli

Depo gazı oluşumunun tahmin edilmesi için kullanılan modellerden biri de multi-phase modelidir. Model katı atıkların büyük bir kısmının düzenli depolama metodu ile bertaraf edilen Hollanda'da geliştirilmiştir. Model, atık içindeki biyolojik ayrışabilen organik karbon oranı ve kumülatif atık miktarını esas almaktadır.

Modelin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$\alpha t = \zeta \Sigma 1{,}87.A.C0,i.kt,i.e^{-kt}$,it(3.5)

A: Kumülatif atık miktarı (ton)

αt: Depo gazı olusum miktarı (m3/yıl)

ζ: Üretim faktörü

kt,i :Model değişkenleri

C0,i: Yavaş, orta ve hızlı ayrışan organik karbon miktarları (kg C/ ton katı atık)

t: Atık dökümünün başlamasından itibaren geçen süre (yıl)

3.5 Depo Gazı (LFG) Değerlendirme Örnekleri

Dünya nüfusunun hızla artışına ve gelişen teknolojiye paralel olarak enerjiye olan talep sürekli olarak artmaktadır. Bununla birlikte fosil enerji kaynak rezervlerinin sınırlı ve yakın bir gelecekte tükenecek olması günümüzde alternatif enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi mecburiyetini doğurmaktadır. Dünyada birçok ülke, tükenebilir enerji kaynakları yerine yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanma yoluna gitmektedir. Bu çalışmalar kapsamında, sürekliliği olan bir çalışma alanı olarak katı atık bertaraf sistemlerinden biri olan düzenli depolama alanlarında oluşan depogazından enerji eldesine yönelinmiştir. Dünyada olduğu gibi bu yöntem Türkiye'de de hızla yaygınlaşmaktadır. Bütün yönleriyle metan gazı ele alındığında dönüşüm aşamasında yaygın olarak elektrik üretimi gelmektedir. Bu yöntemle elektrik üretimi gelişmiş ülkelerde çok öncelerde başlamış ülkemizde ise ancak son yıllarda kullanılamaya başlanmıştır[24].

Bir tür biyogaz materyali olan çöpün, çöp termik santralleriyle enerji üretiminde kullanılması, özellikle kentsel çöpün ortadan kaldırılmasıyla birlikte iki tür işlevi içermektedir. Türkiye'de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji eldesine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle Büyükşehir belediyeleri çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır [42].

3.5.1 Türkiye Depo Gazı (LFG) Uygulama Örnekleri

Türkiye'de düzenli depolama sahalarında açığa çıkan depo gazının değerlendirilmesi ile ilgili olarak Ankara, İstanbul ve Bursa'da uygulamalar bulunmaktadır. Gaziantep Büyükşehir Belediyesi de bu hususta çalışma başlatmıştır. Tesislerin toplu haldeki kurulu güç ve mevcut kapasite verileri tablo 3.5'de yer almaktadır.

Çizelge 3.5'de Türkiyede depo gazı (lfg) kaynaklı kojenerasyon tesisleri

İşletenin Adı	Bölgesi	Yeri	Kapasite(MW)
Aksa Enerji	Bursa	Demirciler	1,4

ITC	Ankara	Mamak	4,2
İzaydaş	İzmit	Köseköy	5,2
ITC	Adana	Sofulu	4,2
CEV Enerji	Gaziantep	Gaziantep	3,9
CEV Enerji	Bolu	Bolu	1,1
Ortadoğu Enerji	İstanbul	Odayeri	27
Ortadoğu Enerji	İstanbul	Kömürcüoda	7
ITC	Ankara	Sincan	22,6

Türkiye'de 2007 yılı itibariyle otoprodüktör statüde gerçekleştirilen ve yapımı tamamlanan biyokütle ve atık yakıt kaynaklı kojenerasyon tesisleri; 4 MW gücünde (7 GWh/yıl kapasiteli) Kemer-burgaz (istanbul) çöp gazı santrali, 5.2 MW gücünde (37 GWh/yıl kapasiteli) Köseköy (İzmit) çöp gazı santrali, 0.8 MW gücünde (6 GWh/yıl kapasiteli) Adana çöp gazı santrali ve 3.2 MW gücünde (22 GWh/yıl kapasiteli) Belka (Ankara) çöp gazı santrali'dir. Serbest üretim şirketleri tarafından yapılan biyokütle ve atık yakıt kaynaklı kojenerasyon tesisleri ise; 1 MW gücünde (8 GWh/yıl kapasiteli) Ekolojik enerji (Kemerburgaz) çöp gazı santrali, 5.7 MW gücünde (45 GWh kapasiteli) ITC-KA Enerji Mamak (Ankara) çöp gazı santrali ve 1.4 MW gücünde (10 GWh/yıl kapasiteli) Aksa çöp gazı santrali'dir. Yani, genel toplamda Türkiye'de 21,3 MW gücünde 134 GWh/yıl 'lık kapasiteye sahip biyokütle enerjisinden elektrik üretimi söz konusudur [59].

3.5.1.1 Depo Gazı (LFG) İstanbul Uygulaması

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Hasdal düzensiz depolama sahasında 1994 yılına kadar 5,7 milyon m3 katı atık depolanmış olup, 1995 tarihinden sonra rehabilite edilerek çıkan depo gazları (% 35 Metan) 2001 yılında devreye alınan enerji santrali ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. 4 MW Kurulu güce sahip ve 6,5 milyon dolara mal olan tesiste yılda yaklaşık 8.000.000 kWh elektrik enerjisi üretilerek ulusal enerji sistemine verilmektedir. İstanbul'un Avrupa yakasındaki (Odayeri – EYÜP) ve Asya yakasındaki (Kömürcüoda – ŞİLE) düzenli depolama sahalarının kapatılan bölümlerinde oluşan depo gazının bertaraf edilmesi ve aynı zamanda değerlendirilmesi maksadı ile 'Depo Gazından Enerji' projeleri başlatılmıştır. 1995 yılından beri Odayeri düzenli depolama sahasında yaklaşık 32.000.000 ton katı atık depolanmıştır. Bu depolama sahası için yaklaşık 28 MW kurulu kapasite öngörülmüştür. Aynı şekilde Kömürcüoda düzenli depolama sahasında yaklaşık 15.000.000 ton katı atık bertaraf edilmiş, bu depolama sahası için ise yaklaşık 7 MW kurulu kapasite öngörülmüştür. Her iki sahada yaklaşık 40 MW kapasiteye varan enerji üretim

potansiyeli ortaya konmuştur. Projelerin ilk safhası kapsamında 2008 yılı sonunda, Odayeri'nde 17 MW'lık kapasite kurulmuş olup, 7 MW'lık aktif kapasite kullanılarak enerji üretilmektedir. Kömürcüoda'da ise 7 MW'lık kapasitede enerji tesisi kurulmuş olup tesisin deneme ve devreye alma çalışmaları devam etmektedir. Üretilen enerji, millî elektrik şebekesine 34,5 kV enerji nakil hatları ile iletilmektedir. Bu projeler ile elektrik satışlarına ek olarak karbon emisyonu azaltımı geliri de sağlanmaktadır. Avrupa yakası Göktürk-Odayeri ve Asya yakası Şile- Kömürcüoda düzenli depolama sahası gaz toplama ve enerji üretim projesi ile yıllara sari olarak 2030 yılına kadar 3.400 GWh elektrik üretilmesi planlanmaktadır. Ayrıca yıllık 1.000.000 ton eş-CO_2 emisyon azaltımı sağlanmaktadır [43].

3.5.1.2 Depo Gazı (LFG) Ankara Uygulaması

Ankara Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Ankara'nın katı atık bertaraf tesislerinin kurulması, işletilmesi ve Mamak düzensiz katı atık depolama sahasının ıslahı işini bir özel firmaya ihale etmiştir. Ağustos/2006'da 4,2 MW'lık kapasiteyle kurulan enerji santrali ıslah çalışmalarının tamamlanması paralelinde Temmuz/2007'de 5,6 MW kapasiteye ulaşılmıştır. Depo gazının toplanması ile ilgili kapasite artırımı çalışmaları devam etmektedir. Sürdürülen ıslah çalışmaları neticesinde 2007 yılı ilk yarısında toplanan depo gazı ile çalıştırılacak enerji santralinin kapasitesi 11,2 MW'a ulaşmıştır. Mamak Katı Atık Bertaraf Tesisinde evsel katı atıklardan ayrıştırılan sebze, meyve, park ve bahçe atıkları gibi organik atıklar 2 adet anaerobik reaktörde işlenmektedir. Böylece, 2008 yılı sonu itibari ile enerji santralinin kapasitesi 22,6 MW'a ulaşmıştır [43].

3.5.1.3 Depo Gazı (LFG) Bursa Uygulaması

1960-1996 yılları arasında 36 yıl boyunca kullanılan Demirtaş'ta yer alan düzensiz depolama sahası 16 ha alana sahip olup; 2 milyon m3 atık bulunmaktadır. Saha 10 yıl süreyle kiralama yoluyla çıkan metan gazlarının toplanıp değerlendirilerek elektrik enerjisine dönüştürülmesi amacıyla ihale edilmiştir. Kuyu başına ortalama CH_4 miktarı % 55,8 olarak belirlenmiştir. 51 düşey gaz bacası 12 adet kolektör merkezinde toplanmıştır. Sistemde 278 kW'lık 5 adet jeneratör vardır. Tesisin kurulu gücü 1,4 kW/h, gaz emme kapasitesi 900 m^3/saat'tir. Ancak bu tesis 2008 itibarı ile faal değildir.

4MW biogaz yakıtlı enerji santrali 5 adet MAN 278kW gaz motoru kullanılmıştır. European Investment Bank tarafından proje finansmanı ile ödüllendirilmiş Türkiye'deki ilk biogaz enerji

santralidir. Çöp atıklarından üretilen metan gazı ile çalışmaktadır. 1997 yılından itibaren 12 yıl boyunca otoprodukter olarak Bursa Belediyesi'de çalışmaktadır. Aksa Enerji Üretim A.Ş.'ne ait, 1997 yılında Bursa-Demirtaş kentsel atık bölgesinde kurulmuş olan 1.4MW gücündeki Türkiye'nin ilk biogaz santralinin lisansı bölgedeki biogaz stoğunun bitmesi nedeniyle, Şubat 2011 tarihinde talebimiz üzerine sonlandırılmıştır [44].

3.5.1.4 Depo Gazı (LFG) Gaziantep Uygulaması

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, bir özel firma tarafından yürütülen ve 2010 yılı içinde devreye alınması planlanan ''Katı Atık Düzenli Depolama Alanının Rehabilitasyonu ve Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG) & Elektrik Üretim Tesisi Projesi'' ile 29 yıl süreyle atıklardan elde edilen depogazından elektrik üretimi planlanmıştır. 3,393 MW Kurulu güce sahip olan tesiste, ilk etapta 1,13 MW'lık elektrik üretilmesi öngörülmüştür [43].

Gaziantep'te Güney Kore merkezli CEV-ENERJİ firmasının üstlendiği Katı Atık Depolama Alanında oluşan Metan Gazından (Çöp Biyogazı-LFG) Enerji Üretim Projesi' faaliyete geçti. Projenin 10 ay gibi bir sürede ülkemizde bu konuda en hızlı gerçekleştirilen projelerden biri olmuştur. Proje kapsamında depolama alanında bulunan yaklaşık 3 milyon ton katı atıktan çıkan gazların toplanması amacıyla, 8 metre ile 41 metre arasında değişen derinliklerde 800 mm çapında 38 adet sondaj kuyusu açılarak içerisine delikli 200-250 mm lik HDPE borular yerleştirilmiş ve gaz toplama bacaları oluşturulmuştur. Açılan bu 38 adet dikey gaz toplama bacasından çıkan gazların merkez noktalara taşınması için toplam 7643 metre boyunda 110 mm çapında HDPE borularla yatay borulama yapılmış ve üzerleri sızdırmaz toprak tabakası ile kapatılmıştır. Yatay ve dikey borular arasındaki bağlantıları oluşturmak üzere 110 mm çapında 274 metre HDPE boru kullanılmış ve toplanan gazların taşınması sisteminde birikebilecek suları engellemek için 38 adet tekli,2 adet ikili, 1 adet 3 lü,1 ad 10'lu, 1 ad.13'lü,1 ad.15'li J-Trap (Deve boynu) yerleştirilmiştir. Proje içerisinde yatay boruları ana kanala toplama merkezi olan 3 adet manifold istasyonu yapılmıştır.



Şekil 3.6 Gaziantep depo gazı (lfg) tesisi

Yap-İşlet yöntemiyle yapılmakta olan bir proje olduğunu hatırlatarak, "Kurulu güç kapasitesi 3,3 MW olan projeyle yaklaşık olarak yıllık 130,000 ton karbon emisyonu azaltılmış olacaktır. Kurulu güç kapasitesi 3,3 MW olup EPDK'dan "Üretim Lisansı" alınmıştır. Güney Koreli CEV (Clean Energy and Vehicle) firmasının yürüttüğü proje kapsamında 2010 Temmuz ayından bu yana katı atıkların bedelsiz depolanması işine başlanması ile Gaziantep Büyükşehir Belediyemizin katı atıkların depolanması için her yıl ayırdığı 2,5 milyon doları yeni yatırımlarda kullanma imkânına kavuşmuş oluyoruz. Firma kurduğu tesiste 29 yıl süreyle çöplerden elde ettiği gazla elektrik üretirken, yaklaşık 58 milyon dolar Gaziantep halkı için yeni yatırma dönüşecektir [45].

3.5.1.5 Depo Gazı (LFG) Bolu Uygulaması

Düzenli depolama yönteminde çöplerin bozulması sonucu ortaya çıkan metan gazı küresel ısınmaya olumsuz etkileri olan bir gazdır. Yenilenebilir enerjinin yoğun olarak konuşulduğu günümüzde Bolu Belediyesi çöpten çıkan metan gazı kullanılarak enerji üretecektir. Güney Koreli CEV (Clean Energy and Vehicle) firması projeyi Yap-İşlet yöntemiyle tamamen firmanın kendi finansmanıyla yapılacaktır.

Bu tesis için gerekli projelendirme ve lisans işlemlerine başlanmıştır. Ayrıca depolama alanında bulunan katı atıkların detaylı analizlerinin yapılması için yurtiçinden ve Güney Kore'den teknik ekipler getirilerek analiz ve ölçümler yapılmıştır.

Kurulacak tesisle; çevre kirliliği oluşturarak küresel ısınmaya sebebiyet veren Çöp gazı (LFG) ve bunların oluşturduğu kötü kokular bertaraf edilecek olup hem çevre kirliliği önlenmiş olacak hem

de söz konusu gazlar ekonomiye kazandırılmış olunacaktır. Ayrıca zaman zaman duyulan çöp deponi alanlarının patlama riski de bertaraf edilmiş olunacaktır.

Yapılan analizlerde Bolu Katı Atık alanından çıkan çöp gazının yaklaşık % 55'nin saf Metan (CH4) olduğu tespit edilmiş ve sahada açılmakta olan Gaz toplama bacalarından maksimum seviyede 750-1000 m^3/ saat ve dolayısıyla 22,000 m^3/gün saf metan gazı elde edilmesi hedeflenmektedir. Başlangıç olarak 1,1 MW lisans başvurusunda bulunulmuştur. Zamanla bu kapasite arttırılabilecektir [45].

3.5.1.6 Depo Gazı (LFG) Adana Uygulaması

Adana Büyükşehir Belediyesi sorumluluğundaki 52 ha'lık alanda intifa hakkı karşılığı Seyhan, Yüreğir ilçelerinin ve ilk kademe belediyelerinin evsel katı atıklarının; ayıklanması, kompostlaştırılması, düzenli depolanması, mevcut katı atık alanının iyileştirilmesi, tıbbi atıkların bertarafı ve atık pil geçici depolama alanının oluşturulmasının projelendirilmesi, yapımı devreye alınması ve işletilmesini kapsayan projeyle ilgili ihale 28 Mayıs 2008 günü Adana Büyükşehir Belediyesi'nce gerçekleştirilmiştir. İhale sonucunda yüklenici olarak ITC Invest Trading & Consulting AG firmasına karar verilmiş olup, 18.07.2008 tarihinde sözleşme taraflarca imzalanmıştır. Yer teslimini takiben 2 yıl içinde inşaat süreci sözleşmeye uygun olarak tamamlanmış ve işletme sürecine geçilmiştir. İhale 30 yıllık işletme süresini kapsamaktadır. Adana Entegre Katı Atık Projesi kapsamında öncelikle mevcut atık sahasının ıslahı gerçekleştirilerek deponi gazından enerji üretimine başlanmıştır.

Haziran 2010 tarihi itibariyle 4,2 MW elektrik enerjisi üretilmektedir. Islah edilen alanlarda metan gazının patlama riskinin ortadan kaldırılması söz konusu gazdan enerji üretilmesi ve böylece karbondioksit emisyonu azaltımı sağlanması projenin yerel, ulusal ve küresel ölçekte faydaları olarak sıralanabilir.

Projenin yerel ölçekteki faydalarını başta yakındaki yerleşimler olmak üzere Adana ili hissedecek olup alternatif enerji kaynaklarının kullanılarak enerji arzı yaratılması ülkemiz enerji ekonomisini doğrudan etkileyecek olumlu bir gelişmedir. Projenin diğer belediyelere örnek teşkil etmesi ise ulusal ölçekteki bir diğer önemli olumlu sonuçtur [82].



Şekil 3.7 Adane-sofular depo gazı (lfg) santral elektrik üretim binası

3.5.2 Dünyadaki Depo Gazı (LFG) Uygulama Örnekleri

Depo gazı kontrolü ile önemli bir hava kirleticisi olan metan giderilmekte ve aynı zamanda yüksek enerji içeriğinden yararlanılarak kazanç elde edilmektedir. Dünyada bir çok ülkede enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Dünyada 700'den fazla depo gazı geri kazanma tesisi vardır.

Depo gazı ilk defa 1970'lerin sonlarında Amerika Birleşik Devletleri'nde yakıt olarak kullanılmıştır. Daha sonra Avrupa Birliği ülkeleri de depo gazını kullanmaya başlamışlardır. Depo gazının kullanılmaya başlanmasının neticesinde, depo gazı toplama ve kullanma teknolojisi de gelişmeye başlamıştır. Endüstriyel gelişme ve hükümetlerin desteklediği araştırma programları sayesinde depo gazının enerji olarak geri kazanımı bugün en başarılı yenilenebilirr enerji kaynaklarından biri olmuştur.

Bir depo alanının, bir gaz kullanma tesisini beslemek için yeterli bir gaz miktarına ulaşması birkaç yıl sürer. İyi tasarlanmış ve iyi işletilen depo alanlarında gaz oluşumu 50-100 yıl kadar sürer. Ancak sadece 10-15 yıl boyunca elde edilen gaz kullanılmaya uygundur.

Sadece iyi tasarlanmış ve iyi işletilen depo alanları gaz toplama ve enerji geri kazanımı için uygun olurlar. İyi tasarlanmamış ve kötü yönetilen depo alanları uygun olmaz. Dünya genelinde pek çok ülkede öncelikli olarak atık yönetimi uygulamaları geliştirilmeli ve iyileştirilmelidir. Bu sebeple dünya genelinde sadece 20 kadar ülkede depo gazının enerji olarak geri kazanılması yapılmaktadır. Depo gazını en çok kullanan ülkeler ABD, Kanada ve Avrupa Birliği ülkeleridir.

Avrupa birliği ülkelerinde atık bertarafının depo alanlarına boşaltılmasında ziyade "atık hiyerarşisi" olarak adlandırılan azaltma, tekrar kullanma ve geri kazanma sistemine dönüşme eğilimi olması sebebiyle depo gazı kullanımı gittikçe azalacaktır. Metan emisyonlarının azaltılması için daha fazla kontrol tedbirlerinin alınması depo alanları endüstrisini alternatif bertaraf metotları bulmaya zorlayacaktır. Avrupa Birliği ülkelerinde atık bertarafı için çok farklı metotlar kullanılmaktadır. Üye devletlerden bazıları bertaraf metodu olarak depolamayı kullanmaktadırlar ve atıklarının % 90'dan fazlasını depolamaktadırlar. Diğer üye devletler ise depo alanlarını kullanmayı azaltmaktadırlar ve 2010 yılına kadar atıklarının % 10'undan daha azını depolamayı amaçlamaktadırlar. Depo gazı geri kazanımı ve kullanılması başta Avrupa ülkeleri ve Amerika olmak üzere tüm dünyada hızla yaygınlaşmaktadır.

Çizelge 3.6 Dünya genelinde depo gazı uygulama projelerinin dağılımı

	Mevcut Kapasite MW(1996)	**Beklenen Kapasite MW(2010)**
EU[1] + EFTA[2]	573	1577
CEE[3]	0	25
CIS[4]	0	225
OECD Pacific[5]	30	199
Akdeniz	0	4
Orta Doğu	0	10
Asya	30	91
Latin Amerika	20	49

Atıklarını genel olarak vahşi döküm alanlarında depolayan gelişmekte olan ülkelerde atık bertarafı için düzenli depolama uygulamaları yeterince yaygın değildir. Bununla birlikte, patojen mikroorganizmaların yayılmasını önlemek ve atıklardan çıkan kokuyu elimine etmek için vahşi döküm alanlarını düzenli depo alanlarına çevirmeye doğru bir eğilim vardır.

Depo gazı kullanılması hemen hemen dünya çapında yaygınlaşan bir endüstri haline gelmiştir. Birçok ülkede atıklardan enerji geri kazanımı üzerine projeler hazırlanmaktadır. Tüm dünyada

[1] Avrupa Birliği Ülkeleri

[2] İzlanda, Norveç, İsviçre

[3] Arnavutluk, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Polonya, Romanya, Slovakya ve Yugoslavya

[4] Ermenistan, Azarbeycan, Beyaz Rusya, Gürcistan, Kazakistan, Kırgizistan, Moldova, Rusya, Tacikistan, Türkmenistan, Ukrayna ve Özbekistan

[5] Avustralya, Japonya ve Yeni Zelanda

depo gazını enerji kaynağı olarak kullanmak üzere birçok Araştırma ve Geliştirme projeleri geliştirilmektedir. Çizelge 3.6'de dünya genelindeki ve çizelge 3.7'de Avrupa Birliği ülkelerindeki depo gazı tesislerinin dağılımı verilmiştir [46].

Çizelge 3.7 Avrupa birliği ülkelerinde depo gazı uygulama projelerinin dağılımı

Pazar Bölgesi	Mevcut Kapasite MW(1996)	Beklenen KapasiteMW	Pazar Bölgesi	Mevcut Kapasite MW(1996)	Beklenen KapasiteMW
Avusturya	10	2	**Hollanda**	120	100
Belçika	2	27	**Portekiz**	0	2
Danimarka	10	23	**İspanya**	5	27
Finlandiya	0	11	**İsveç**	49	20
Fransa	20	69	**İngiltere**	145	589
Almanya	170	286	**Norveç**	20	27
Yunanistan	0	12	**AB**	573	1366
İrlanda	12	11	**İtalya**	10	160

Avrupa'da depo gazı kullanımı diğer ülkelere göre oldukça yaygındır. Avrupa'da geri kazanılan depo gazının % 55'i kazanlarda ve fırınlarda gazı direkt yakılmaktadır. Bu metot en yaygın olan kullanım biçimidir. Gazın % 45'i motorlarda kullanılmaktadır. Ancak depo gazını motorlarda ve türbinlerde kullanarak elektrik üretmek gittikçe doğrudan yakmanın yerini almaktadır [34].

3.5.2.1 Danimarka Depo Gazı (LFG) Uygulamaları

Danimarka'daki depo alanları genellikle küçüktür. 1981'den beri Danimarka Enerji Bakanlığı küçük depo alanlarından geri kazanılan depo gazının karlı bir şekilde geri kullanılmasının değerlendirilmesi için yapılan programları desteklemektedir. Çizelge 3.8'de Danimarka'da depo gazını enerji olarak geri kazanan 5 tesisin özellikleri verilmiştir [34].

Çizelge 3.8 Danimarka'da depo gazını enerji olarak geri kazanan 5 tesisin özellikleri

	Grindsted	***Hedeland***	***Made***	***Ostdeponie***	***Viborg***
Depo Alanı büyüklüğü (ha)	5,0	6,5	12		15
Depo Alanı derinliği (m)	5-12	15-30	18	8	8
Depolanmaya başlandığı tarih	1978	1978	1968	1980	1982
Depo alanının kapatılma tarihi	2020	1979			
Gaz kullanımının başladığı tarih	1985	1986	1989	1989	1985
Kullanılan atığın miktarı (10^6 ton)	0,25	1,0	1,4	0,4	0,37
Gaz çıkarma sistem tipi ve sayısı	Kuyu	41 kuyu	48 kuyu	24 kuyu	43 kuyu

Nihai kullanım tipi	ısı	ısı	Isı ve	Isı ve enerji	Isı ve
Gaz üretim hızı (m^3/sa)	121	100	350	200	150
Metan muhtevası (%)	50	40	40	60	45
Metan oluşum hızı (m^3/sa)	60	40	140	120	68
Gaz oluşumu (m^3gaz/atık	3,5	0,87	2,18	4,37	3,55
Metan oluşumu (m^3gaz/atık	1,75	0,35	0,87	2,62	1,60
Yıllık enerji üretimi (MW)	0,6	0,4	1,4	1,2	0,67

3.5.2.2 Almanya Depo Gazı (LFG) Uygulamaları

Federal Almanya Cumhuriyeti depo gazı enerji geri kazanma tesislerinin fazlalığı sebebiyle Avrupa ülkeleri içerisinde en ileri durumdadır. 1986'ya kadar Almanya'da 20 depo alanı gaz geri kazanma tesisi kurulmuştur. Bir yıl sonra Almanya'da 50 tane depo gazı kullanma tesisinin devreye alındığı yayınlanmıştır. 1988'in sonlarında Almanya'da depo gazından ısı üreten 28 doğrudan yakma tesisi devreye alınmıştır. Üretilen ısı ısınma amacıyla veya kağıt ve tuğla fabrikası gibi endüstrilerde proses ısısı üretmek üzere kullanılmıştır. 1988'in sonlarında 46 depo gazı kullanma tesisinde elektrik üretmek için 116 gaz motoru devreye alınmıştır. Bugün 98 tesiste depo gazı kullanımı yapılmaktadır. Almanya'da hiç gaz türbini kullanılmamıştır. Bugün Almanya ham depo gazını doğrudan kullanarak ısı ve elektrik enerjisi üretme şeklinde depo gazının nihai kullanımını gerçekleştirilmesi eğilimindedir. Çizelge 3.9 ve 3.10'da 5 depogazı geri kazanım tesisinin özellikleri verilmiştir [34].

Çizelge 3.9 Almanya'da depo gazını enerji olarak geri kazanan 5 tesisin özellikleri

	Karlruhe	***Kemna***	***Lampertheimer Wald1***	***Raistorf***	***Reinstetten***
Depo Alanı büyüklüğü (ha)	22	70	27	2,7	7
Depo Alanı derinliği (m)		Max	40	10	15
Depolanmaya başlandığı	1959	1953	1974	1977	
Depo alanının kapatılma	1994	1974	2010		
Gaz kullanımının başladığı	1984	1985	1985		1984
Atık miktarı (10^6 ton)	3,5		2,2	0,36	
Gaz çıkarma sisteminin tipi	Kuyu	7 kuyu	Kuyu	29 Hendek	Kuyu ve
Nihai kullanım tipi	Isı	Isı	Isı ve elektrik	Isı ve	Elektrik
Gaz üretim hızı (m^3/sa)	1500	110	2400	580	150-180

[1] Lampertheimer -Wald depo alanında H2S, CO2 ve N2 arıtımı yapılmaktadır.

Metan muhtevası (%)	50	50	48	50	52
Metan oluşum hızı (m^3/sa)	750	55	1152	290	
Gaz oluşumu (m^3gaz/atık	3,75	0,88	9.56	14.1	
Metan oluşumu (m^3gaz/atık	1,88	0,44	4.59	7.1	
Yıllık enerji üretimi (MW)	7,49	0,55	11,5	2,89	0,24

3.5.2.3 Fransa Depo Gazı (LFG) Uygulamaları

Fransa, depo gazından faydalanma sistemlerini tatbik etmede diğer ülkelere göre daha yavaş davranmaktadır. Fransa'da 9 depo gazı kullanma tesisi mevcuttur. Bunlardan beşinden ısı üretilmekte birinden elektrik birinden de hem ısı hem elektrik üretilmektedir. Dört depo alanında gaz çıkarılması kuyularla sağlanmıştır[34].

3.5.2.4 İtalya Depo Gazı (LFG) Uygulamaları

İtalya'da 1990 yılı itibarıyla depo gazı kullanılması yapılan 13 tesis mevcuttur. Bir tesiste gaz türbini kullanılmakta ve bir diğerinde depo gazı sera ısıtmak için kullanılmaktadır. 11 motor depo gazı ile çalışmaktadır [34].

3.5.2.5 Hollanda Depo Gazı (LFG) Uygulamaları

Hollanda'da dört tesiste depo gazı elektrik üretmek üzere yakıt olarak kullanılmaktadır. İki sistemde ise doğal gaz kalitesine getirilerek boru hattına verilmektedir. Bir tesisten çıkan gaz buhar üretmek üzere kazanda yakılmaktadır. Başka bir tesisten elde edilen gaz ise tuğla fabrikasında yakılarak kullanılmaktadır[34].

3.5.2.6 İngiltere Depo Gazı (LFG) Uygulamaları

İngiltere Almanya ile birlikte depo gazı nihai kullanıcısı olarak dünyada ikinci sırayı paylaşmakta ve Avrupa'da ilk sırada yer almaktadır. Depo gazı geri kazanımı yapılan 33 tesis vardır. 23 depo alanından çıkan gaz ısı ve elektrik enerjisi olarak kullanılmakta, 12 tesisten çıkan gaz ise yakılmaktadır [34].

3.5.2.7 İsveç Depo Gazı (LFG) Uygulamaları

İsveç'te depo gazı çıkarılması ve nihai kullanımı ile ilgili birçok makale yayınlanmıştır. 1987'de yılda 80.000 MWh termal enerji sağlayabilen 6 depo alanına sahip olan İsveç'te 1992'de bu

rakam 24'e ulaşmıştır. İsveç'te geri kazanılan depo gazının yüzde doksanı ısı, proses ısısı veya bir bölgenin ısınma ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Yüzde onu ise elektrik üretmek veya diğer ihtiyaçlar için kullanılır [34].

3.5.2.8 ABD Depo Gazı (LFG) Uygulamaları

Amerika Birleşik Devletleri depo gazı endüstrisinin lideridir. Metan gazının kullanımı 1970'lerin sonlarından beri devam etmektedir. Depo gazı kullanma projelerinin %90'ında ham depo gazı kullanılıyor olmakla birlikte %10'unda depo gazı boru hattı kalitesine getirilmektedir. En yaygın olarak nihai kullanım elektrik üretme şeklindedir. Çizelge 3.10'da Amerika'daki gaz kullanım tesislerinden 5 tanesinin özellikleri verilmiştir [34].

Çizelge 3.10 Amerika'da depo gazını enerji olarak geri kazanan 5 tesisin özellikleri

Özellikleri	**Azusa**	**Burbank**	**Industry (Convention center)**	**Martinez**	**Mountain View**[1]
Depo Alanı büyüklüğü (ha)	32	40	61	109	162
Depo Alanı derinliği (m)	48	30	12	18	12
Depolanma Tarihi	1958	1973		1954	1970
Depo kapatılma tarihi	2009	2080	1977		1988
Gaz kullanımının başladığı	1978	1988	1981	1982	1978
Atık miktarı (10^6 ton)	10	1	1,5	5	3
Gaz çıkarma sisteminin tipi	60 kuyu	26 kuyu	30 kuyu	23 kuyu	73 kuyu
Nihai kullanım tipi	Isı	Elektrik	Isı/yakıt hücresi	Atıksu arıtma	Doğal Gaz
Metan muhtevası (%)	48	41	51	57	62
Metan oluşum hızı (m^3/sa)	2690	174	325	1346	622
Gaz oluşumu (m^3gaz/atık	4,90	3,70	1,89	4,12	2,92
Metan oluşumu (m^3gaz/atık	2,34	1,52	0,97	2,35	1,81
Yıllık enerji üretimi (MW)	29,8	1,7	3,24	13,4	6,2

[1] Mountain View depo alanında H2S, CO2 ve N2 arıtımı yapılmaktadır.

BÖLÜM 4

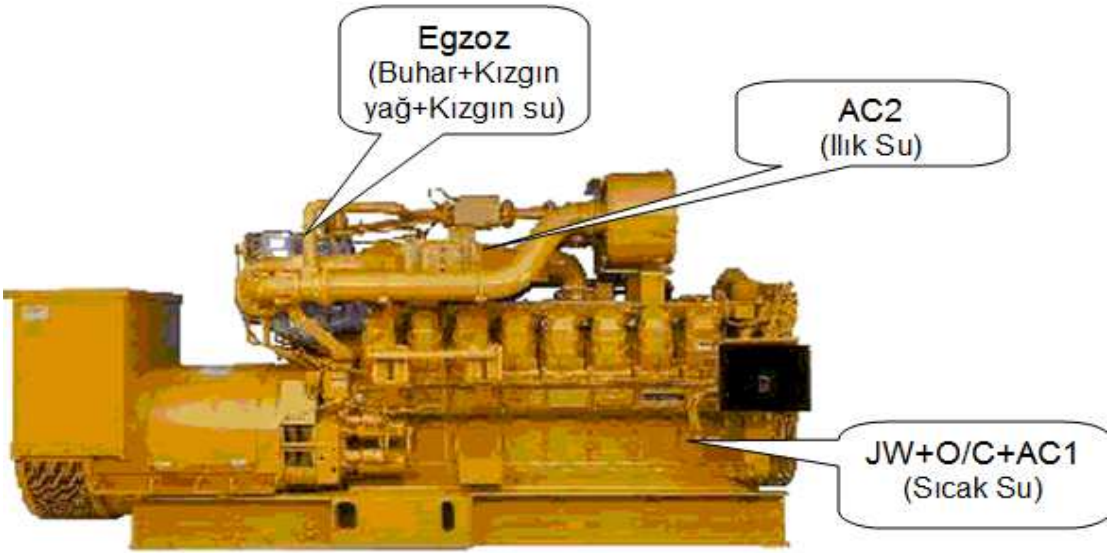
DEPOGAZI (LFG) KOJENERASYON TESİSİ

Depogazı (LFG) santrallerinde pistonlu gaz motoru ile yaklaşık olarak 1/15oranındaki hava yakıt (depogazı-LFG) karışımı yakılmaktadır. Gaz motoru ile çalışan depogazı santralinde asıl amaç elektrik üretmektir. Elektrik üretirken gaz motoru sıcak egzoz gazları ve gaz motorların gövde, yağlama yağı ve turbo şarjır ünitelerinin soğutmasından kazanılan ısı enerjisi ile buhar, sıcak su yada hem sıcak su hem buhar olarak faydalanılabilir. Gaz motoru egzoz gazı çıkış sıcaklığı 315-600^{o}C'dir. Gaz motoru gövde soğutma suyu sıcaklığı 60-120 ^{o}C arasında değişmektedir. Çizelge 4.1'de çeşitli proses sonucu atılan egzoz gazlarının sıcaklık aralıkları görülmektedir.

Çizelge 4.1 Çeşitli proses sonucu atılan egzoz gazlarının sıcaklık aralıkları [48].

Atılan Enerji Kaynağı	Sıcaklık [^{o}C]	Atılan Enerji Kaynağı	Sıcaklık [^{o}C]
Nikel Arıtma Fırını	1370-1650	**Motor Egzoz Gazı**	**315-600**
Çelik Ergitme Fırını	925-1050	Isıl İşlem Fırınları	425-650
Çimento Fırını	620-730	Kurutma-Pişirme Fırın	90-230
Cam Eritme Fırını	1000-1550	**Motor Soğutma Suyu**	**60-120**
Gaz Türbin Egzozu	370-540	Proses Buhar Kondensi	50-90

Gaz motorların gövde, yağlama yağı ve turbo şarjır ünitelerinin soğutmasında dolaşan su 90 ^{o}C 'ye ısınmış olarak sistemden dönmektedir.



Şekil.4.1 Gaz motoru atık ısı kaynakları [26].

Egzoz gazlarının bu sıcaklıkta atmosfere atılması yerine ısı değiştiriciler kullanılarak faydalı ısıya dönüştürülmesi ayrı bir kazanç olacaktır. Egzoz gazları ısı değiştiricisinden (Atık Isı Kazanı, Eşanjör) geçirilerek buhar, kızgın su ve sıcak su elde edilebilir. Isı değiştirici ile elde edilen ısı enerjisi ile bölgesel ısıtma yapılabileceği gibi organize sera ısıtması da yapılabilir.

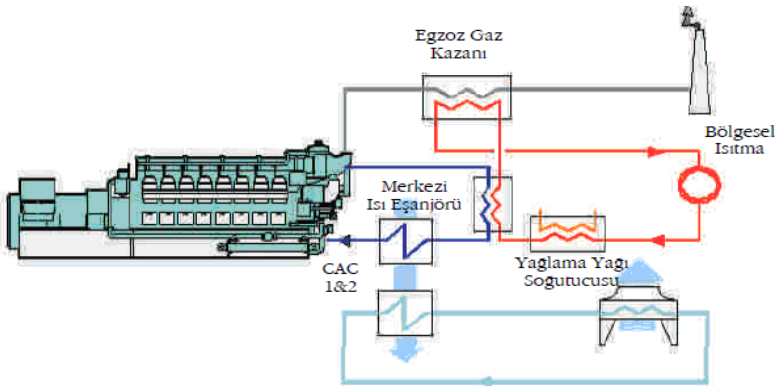
Depogazı santral atık ısısından yararlanılan sistemler aşağıdaki gibidir.

Sıcak sulu (100 ^{o}C ye kadar)

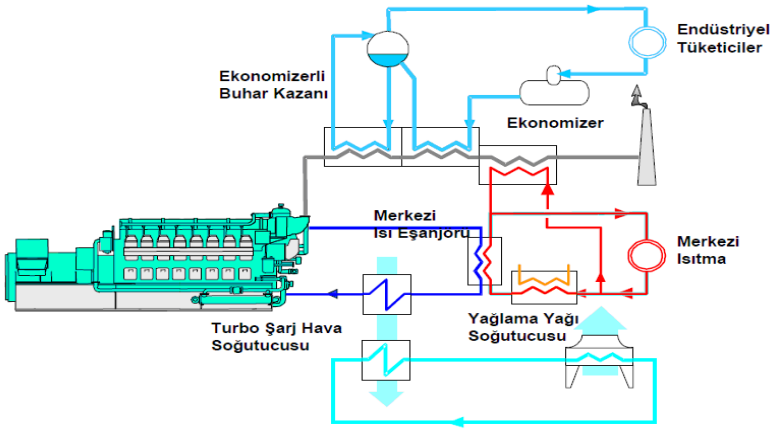
Kızgın sulu (100 ^{o}C üzerinde basınç altında)

Buharlı

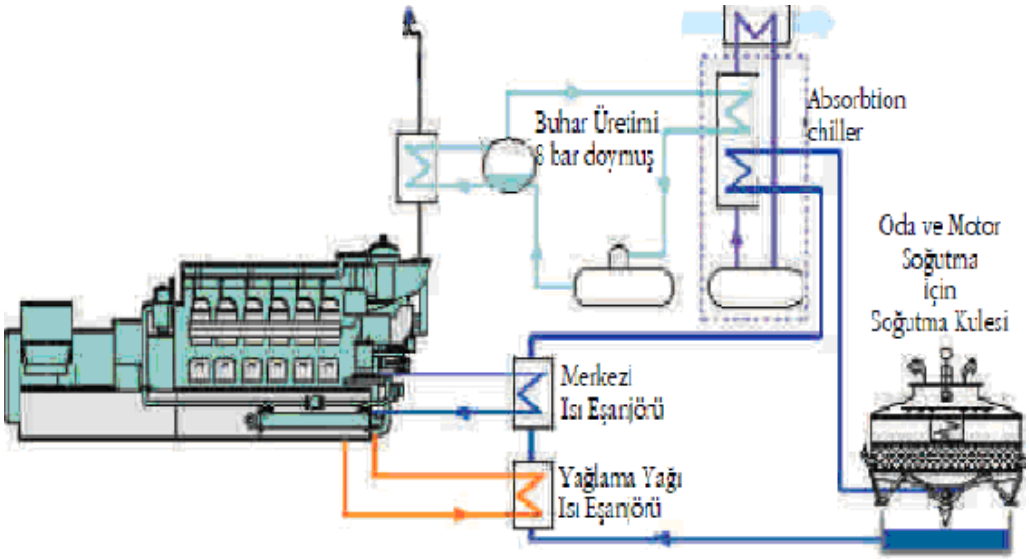
Şekil 4.2,4.3 ve 4.4'de gaz motoru kullanılan santrallerde atık ısıdan faydalanarak bölgesel ısıtma, sera ısıtması, hem buhar hem de sıcak suyun birlikte üretildiği sistemler ve trijenerasyon tesisi görülmektedir.



Şekil 4.2 Gaz motorlu bölgesel ısıtma [49]



Şekil 4.3 Gaz motorlu buhar ve sıcak su üretim [49].



Şekil 4.4 Gaz motorlu trijenerasyon tesisi [49]

4.1 Kemerburgaz-Odayeri Depogazı (LFG) Elektrik Üretim Santrali

İstanbul'da 1953 yılına kadar çöpler denize dökülmüştür. Daha sonra ise Levent-Sanayi Mahallesi, Seyrantepe, Ümraniye-Mustafa Kemal Mahallesi gibi şehre yakın yerlere çöpler vahşi döküm şeklinde dökülmüştür. Bu bölgelerin gecekondularla dolması üzerine çöp döküm alanı olarak Ümraniye-Hekimbaşı, Yakacık, Aydınlı, Halkalı, Habibler, Şişli-Feriköy ve son olarak da Kemerburgaz-Hasdal kullanılmıştır [16].

İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde günde ortalama 14.000 ton/gün katı atık üretilmektedir. Katı atıkların yaklaşık %30-35'i Anadolu yakasında bulunan üç adet transfer istasyonunda toplanmakta ve Şile Kömürcüoda Düzenli Depolama Tesisinde depolanmaktadır. Avrupa Yakası'nda da yine üç adet transfer istasyonu bulunmakta ve toplanan katı atıkların

bertarafı Odayeri Düzenli Depolama Tesisi'nde ve kapasitesi 1000 ton/gün olan Kemerburgaz Kompost Tesisinde gerçekleştirilmektedir. Bu işlem İSTAÇ A.Ş.tarafından gerçekleştirilmektedir [16].

İlk çöp kabulünü 1995 yılında yapmış olan Odayeri Düzenli Depolama Tesisi 52 hektar alanı kaplamakta olup halen 32 milyon ton çöp ihtiva etmektedir. İstanbul'a 25 km mesafededir. Maksimum çöp yüksekliği 90 m, ortalama çöp yüksekliği 30 m dir. Tesisi denizden yüksekliği yaklaşık 100 m'dir. Bağıl nem %50 civarındadır. Bölgede deniz iklimi görülmektedir ve ortalama hava sıcaklığı 15^{o}C'dır. Civar çevre çok az tahrip olmuş olup ormanlık ve yeşilliktir [60].

İstanbul'daki açık döküm alanları rehabilite edilmiş, üzerleri toprak örtüsü ile kaplanmış ve gaz çıkışının kontrol altına alınması için bacalar düzenlenmiştir. Hekimbaşı faciası rehabilitasyon işlemlerinin hızlandırılması ve çöplüklerden gaz çıkışının kontrol altına alınmasında çok etkili olmuştur [32].



Şekil 4.5.Odayeri depo sahası örtü çalışmaları



Şekil 4.6 Kemerburgaz- odayeri enerji üretim tesisi

İ.B.B tarafından 30.01.2007 tarihinde yap–işlet modeli ile Kemerburgaz-Odayeri düzenli çöp depolama sahası depogazı (LFG) kullanım ihalesine çıkılmıştır. İhaleyi Depogazı Elektrik Üretim Santrali kurulması amacıyla 13.03.2007 tarihinde 'Ortadoğu Enerji' firması kazanarak, firma ile sözleşme imzalanmiştir. Firma 05.11 2007 tarihinde EPDK'dan 28 MW gücünde depogazı (LFG) Elekrik Üretim tesisi kurma lisansı almıştır [60].

4.1.1 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi

İstanbul'da kişi başına günde 0,6-0,7 kg atık oluşmaktadır. 1990 yılı için Avrupa yakasında 0,66 kg/kişi-gün, Asya yakasında 0,58 kg/kişi-gün, ortalama olarakda 0,63 kg/kişi-gün atık oluşum değerleri tespit edilmiş olup, bu değerlerin 2010 yılında ortalama 0,64 kg/kişi-gün, 2020 ise yılında ortalama 0,68 kg/kişi-gün olacağı tahmin edilmektedir [67].

Çizelge 4.2 İstanbul toplanan katı atık muhtevası [75].

Cinsi	Ortalama Miktar *ton*	Yüzdelik değer %
Organik Maddeler	4.500	45
Kâğıt	1.450	15,5
Kül	1.500	15
Plâstik	950	9,5
Tekstil	560	5,6
Seramik-Tuğla-İnert Madde	440	4,4
Cam	380	3,8
Metal	220	2,2
Toplam	**10.000**	**100**

4.1.2 Depo Gazı Oluşum Potansiyeli

Nisan 1999 tarihinden itibaren İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından; katı atık gazları ile ilgili olarak, ilgili kuruluşlara yaptırılan araştırma aşamasında bir gaz pompalama deneyi gerçekleştirilmiştir. Katı atık gövdesinde açılan kuyularda yapılan deney sonuçlarına göre; ortalama debi: 23,1 m^3/sa ve hacimce CH_4: %56,8 ve O_2: %1,2 olarak tespit edilmiştir.

4.1.3 Depo Gazı Kuyu Detayları

Çöp Sahası içerisine yerleştirilecek düşey veya yatay borular, sahadan gazın emilmesine olanak sağlayacak şekilde delikli boru olmalıdır. Toplama boruları genellikle, 10-20 cm arasında değişen, delikli, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) borulardan oluşur. Düşey gaz toplama sistemi, 50–70 metre aralıklarla yerleştirilmiş düşey gaz kuyularından oluşur. Söz konusu kuyular, depolama sahası üzerinde 80–120 cm çaplı kuyu kazan sondaj makineleri vasıtasıyla inşa edilir. Kuyuların derinliği depolama alanının toplam derinliğinin % 50 ila %90 mertebesinde olmalıdır. Bu boruların üstte kalan 4–5 metresi deliksiz, kalanı ise gaz toplamak için delikli olmalıdır. Boru bağlantılarının ileride depolama alanında olacak çökmelerden zarar görmemesi için esnek şekilde inşa edilmeleri gerekmektedir. Delikli boruların deliksiz borularla birleştiği nokta kum/bentonit karışımı bir malzemeyle (en az 0,5 m) tıkanmalıdır. Bu işlem depolama sahasının üzerinden gelen havanın atık kütlesi içine girmesini engellemek veya toplanan depo gazı ile karışmasını engellemek amacıyla yapılmalıdır. Delikli boruların etrafındaki boşluklar çakıl ile deliksiz boruların etrafındaki boşluklar ise kum ile doldurulmalıdır [76].



Şekil 4.7 Fore kazık yöntemi ile kuyu hazırlanması



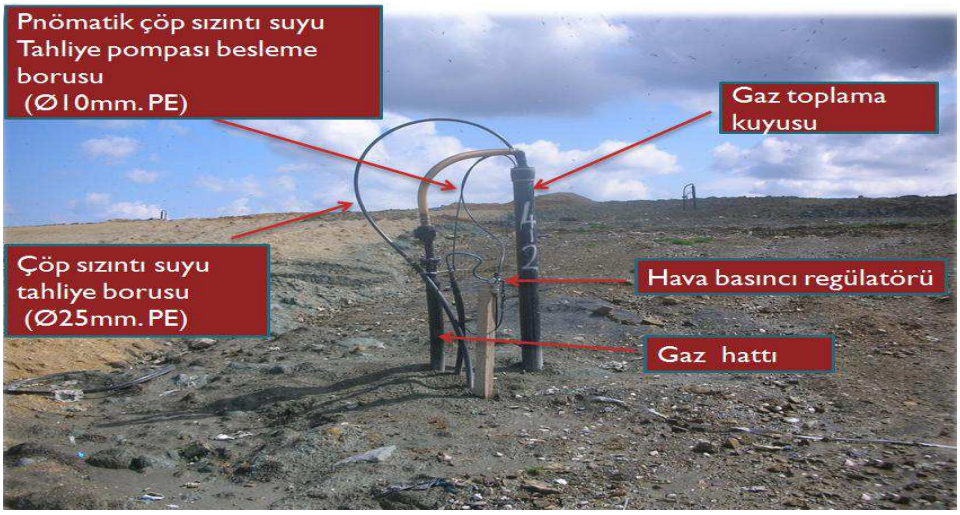
Şekil 4.8. Gaz toplama borusu döşenmesi

Yerleri belirlenen kuyular için fore kazık makinesi ile sondaj çalışmaları başlar. Açılan kuyulara çökmeyi engellemek için 80 cm. çapında silindir boru giydirilir. Açılan kuyulara hazırlanmış olan Ø200mm HDPE gaz toplama borusu döşenir.

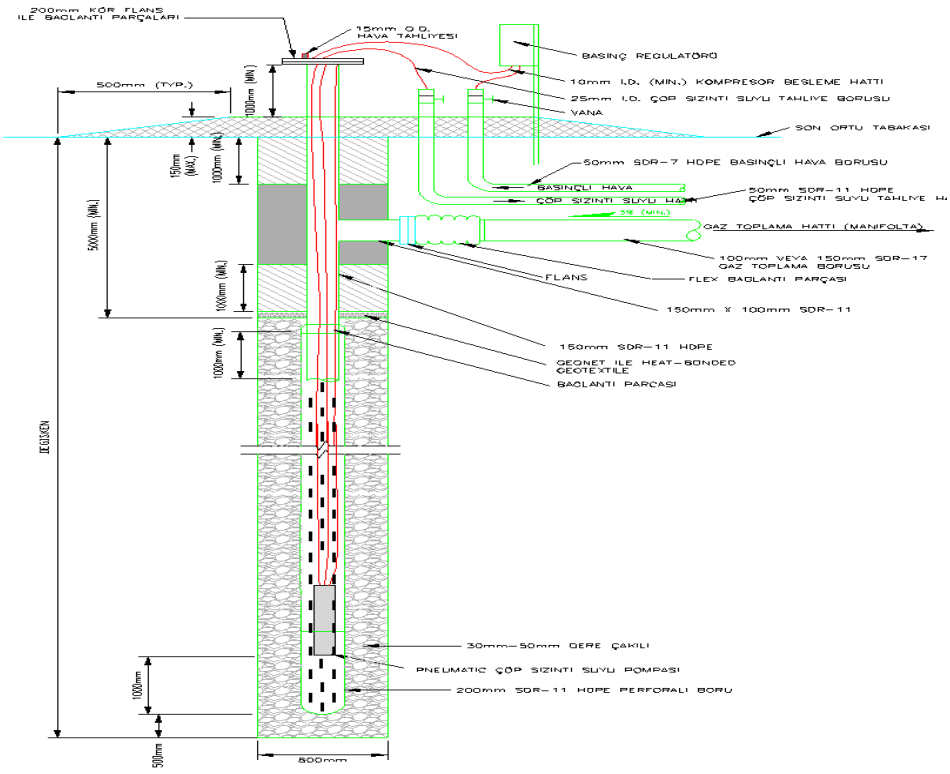


Şekil 4.9 Kuyu hazırlanması

Ø200mm boruya, en az 5m boyunda deliksiz Ø150mm boru eklenir. Hazırlanmış olan kuyu Ø(30-50) mm dere çakılı ile doldurulur.



Şekil 4.10 Montajı bitmiş gaz kuyusu



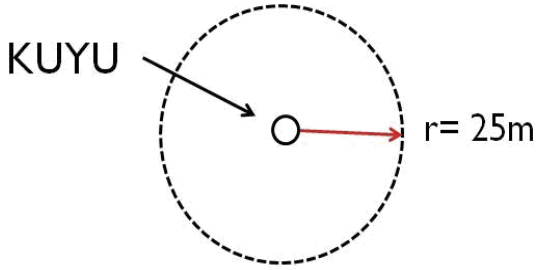
Şekil 4.11 Dikey Kuyu Profili

4.1.4 Kuyu Başlıkları

Sondaj işleminin ardından altı kuyu da kuyu başlıkları ile teçhiz edilmiştir. Kuyu başlıkları bir T-borusu içermektedir. T-borusunun üst kısmı sondaj kuyusundaki su seviyesinin belirlenebilmesi için düzeneğin aşağı kısımlara ilerlemesini sağlayacak bir burgu kapakla teçhiz edilmiştir. Delikli boru gaz bertaraf ünitesine bağlantıyı sağlamak için flanşlanmıştır. Pompa testleri sırasında sistem dengesini basitleştirmek amacıyla her bir grup kuyu için vana, debi izleme ve gaz numune bölmeleri bir manifolda bağlanmıştır [50].

4.1.5 Etki Alanı

Her bir kuyunun etkin yarı çapı (r)= 25m'dir.

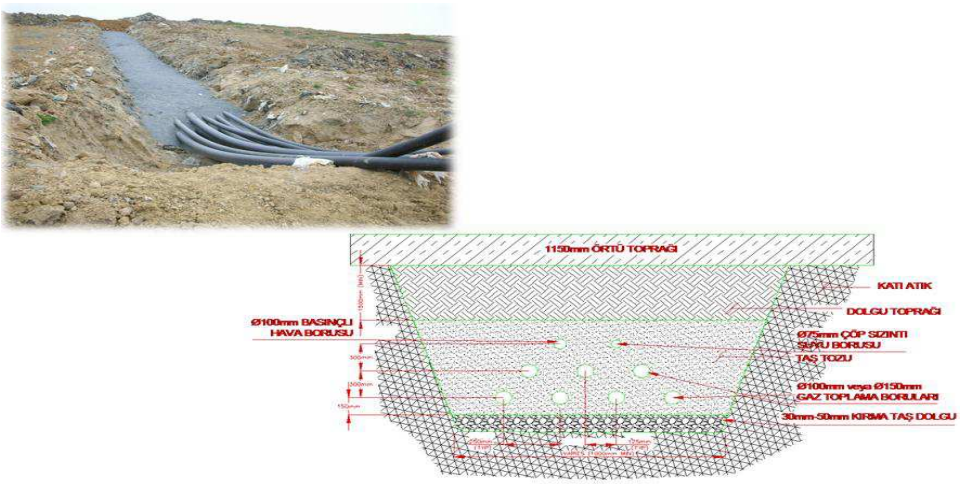


Şekil 4.12 Kuyu Etki Alanı

4.1.6 Manifoldlar

Gaz toplama kuyularından 8-10 tanesi birleşerek topladıkları gazları manifolda getirirler. Bu kısımda hava ile çalışan pompalar ve U tüpü yardımıyla sızıntı suyundan ayrılan gazların her birinin sıcaklık, basınç miktarı ile metan, CO_2, O_2 içerikleri ölçülür. Uygun standartlarda olduğu müddetçe ana gaz toplama borusuna verilmek üzere vana odasına gider orada iki koldan gelen bütün gazlar birleşerek tesise verilir.

Manifold ve vana odalarında da yoğuşma üniteleri vardır. Baca gazı gitti her proseste sızıntı suyundan ayrılmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle yoğuşturma üniteleri mevcuttur. Manifoldlarda gazın yoğunluğu dengelenir. Negatif 50 mbar'lık vakum vardır.



Şekil 4.13 Gaz borularının toplanıp manifolda iletilmesi



Şekil 4.14 Gaz kuyusu manifoltta birleşerek ana gaz hattına bağlanması

4.1.7 Pompa Ekipmanı Detayları

Kuyulara yerleştirilen gaz toplama bacaları ile birlikte sızıntı suyu da alınmaktadır. Bu su hava ile çalışan dalgıç pompalar ile depo gazından ayrı olarak yerleştirilen ve her kuyunun bağlı olduğu bir boruya iletilerek oradan konderns tanka ve sızıntı suyu arıtma tesisine iletilmektedir. Hava ile çalışan pompa kullanılmasının nedeni ise gazın yüksek patlayıcı özelliği nedeniyledir.

4.1.8 Kondens Tankı ve U Tüpü

Gaz toplama kuyusu, manifolda giriş, manifolttan çıkış, tesise giriş, tesisten çıkş vb. her kademede sızıntı suyu yoğunlaştıma işlemi uygulanır ve elde edilen sızıntı suları kondes tankı adı verilen bu tankta toplanarak arıtma tesisine iletilir.

Kuyulardan gaz ile gelebilecek sızıntı suyunu engellemek amacıyla borular, hazırlanmış olan U-tüplere bağlanarak sızıntı suyunun dibe çökmesi sağlanır; gaz manifolda, su ise kondens tankına gider.



Şekil 4.15 U-Tube ve yoğuşma suyu toplama tankı

4.1.9 Vakum Pompaları (Booster)

Odayeri çöp santralinde 7 adet 2300m^3/h kapasiteli vakum pompaları mevcuttur.



Şekil 4.16 Vakum pompaları (booster)

Sahadan toplanan gaz Ø800mm'lik ana boru ile tesise iletilir. İlk aşamada, gaz, motorlara verilecek şartlara getirilir.



Şekil 4.17 Gazın tesise iletildiği ø800mm'lik ana gaz borusu

4.1.10 Yakma Bacası (Flare)

Tesiste herhangi bir sorun oluşması durumunda gazın yakılarak atmosfere verilmesi amacıyla iki adet Flare inşa edilmiştir. Örneğin gazın fazla gelmesi durumunda bu fazla gaz basınç oluşturur ve tesise zarar verir. Bu durumun önlenmesi için fazla gelen gaz yakılır ayrıca blowerlarda oluşabilecek sorunlar durumunda da flareler kullanılır.



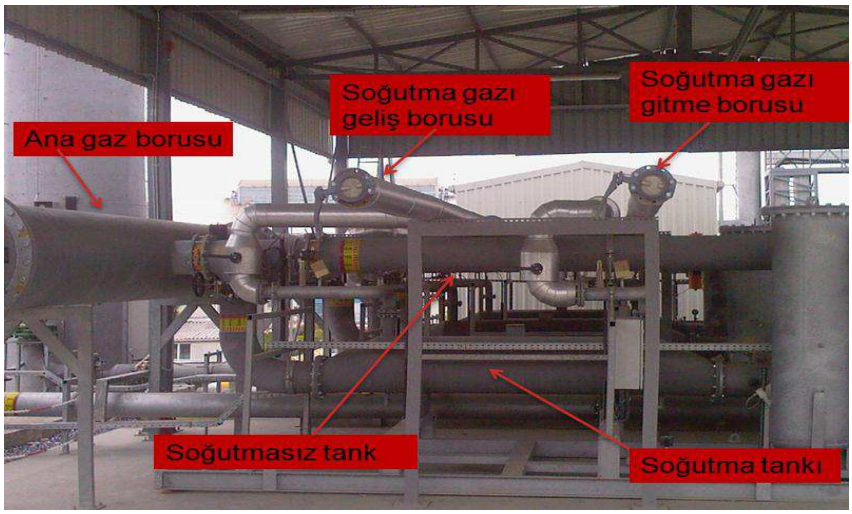
Şekil 4.18 Yakma bacası (Flare)

4.1.11 Soğutma Ünitesi

Toplanma sırasında gaz sıkışır ve sıcaklığı artar. Gazın sıcaklığı 450C olduğu zaman patlama riski olduğu için öncelikle soğutma tankına gider.

Soğutma işlemi sırasında eşanjör gibi çalışan bir sistemle borunun bir ucundan soğuk hava girer ve diğer ucundan depo gazı ile temas etmeden çıkarak gazı soğutmuş olur.

Gaz soğutma ünitesinde ise bu ısınan hava esanjör modelinde sürekli soğutulur. Genelde su soğutma amacıyla kullanılan bu yöntem tesiste gaz soğutma amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 4.19 Gaz soğutma ünitesi

Soğutulan deponi gazı blower vasıtasıyla emilir. Her blower 2500m3/h gaz emiş kapasitesindedir. Şu an 5 adet monte edilmiş blower vardır. Ancak bunların 3 tanesi aktif durumdadır.

Blowerlar ile çekilen gaz toplanarak analizi yapılır. CO_2, CH_4 ve O_2 konsatrasyonlarına bakılır. Tesis gezisi sırasında gazın %39,6 CO_2, %49 CH_4 ve %1.42 O_2 ihtiva ettiği gözlenmiştir. Metan içeriği normal şartlarda %50-55 arasında olmaktadır, minimum değeri ise %10'dur.



Şekil 4.20 Depo gazı içerik analizi

Blowerlarla toplana gaz ana boru ile motorlara verilir. Motora iletim hattında basınç dengeleyici, filtre ve su yoğunlaştırma ünitesi bulunmaktadır. Gazın içinde her zaman yoğunlaşabilecek su zerrecikleri vardır. Bu nedenle her ünitede yoğunlaştırma yapılır.

Motorların soğutulması için sürekli bir su akışı vardır. Bu ceket işleminde mavi boru ile soğuk su gelir ve kırmızı boru ile sıcak su gider. Her motor için 4 adet fan vardır. Kademe kademe devreye girerler ve motoru soğutarak motor yağını istenen sıcaklıkta tutarlar. Sıcak su 100^{o}C civarında fanlara girer ve 70 ^{o}C civarında soğuk su olarak çıkar.



Şekil4.21 Su soğutma ünitesi

Motoru dışarıdan soğutmak için ise giriş borusunun aşağısından 45^{o} eğimle vantilatör ile hava verilir. Bu motorlar hareket enerjisini elektrik enerjisine çeviren jeneratörlere bağlıdır (alternatör). Dakikada 1500 devir yapar ve 400V elektrik enerjisi elde edilir. Elde edilen bu enerji TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) standartlarında olmadığı için şebekeye verilemez ve 34500V'a(orta gerilim seviyesi) çıkarılmak için trafoya gönderilir. Trafoya gitmeden önce şalt sisteminden onay almalıdır. Zaten jeneratör ile trafo direkt olarak birbirine bağlanamaz. Trafoda standartlara uygun hale getirilen elektrik enerjisi şebekeye verilir. Şebekede elektrik kesildiğinde 1 ve 2 numaralı motorlar ada modunda çalışmaya devam eder.

4.1.12 Gaz Motoru Ünitesi

İ.B.B tarafından 520.000m^2 alan üzerine kurulu Odayeri Katı Atık Depolama Sahası Atık Depolama Sahası'nda çöp gazından elektrik üretilecek bir tesisin kurulması ve isletilmesi için açılan ihale Ortadoğu Enerji A.S. tarafından kazanılmıştır. Bu doğrultuda elektrik verimi % 41,6 Jenbacher 20 silindirli, 4 zamanlı, buji ateşlemeli, turboşarjlı, 1500 devirli, şaft gücü 1451 kW gaz motoru JGS 420 GS-L.L GE Jenbacher gaz motorları tercih edilmiştir. Tesiste dönüşümü sağlanan elektrik enerji 34,5kV gerilim seviyesine çıkarılarak enterkonnekte sisteme bağlanıp tüketime sunulmaktadır [70].



Şekil 4.22 Gaz motorları

4.2 EPA LandGEM Modeli İle Odayeri Depo Sahası Metan (CH4) Miktarının Tespiti

Depogazı içeriğinde en önemli gaz metan gazıdır. Metan gazının depo gazı içerisindeki fazlalığı gazın kalitesini ortaya koymaktadır. Metanın tipik kalorifik değeri 21.000 kJ/m^3, yoğunluğu 0,716 g/L ve ateşlenme sıcaklığı 600 ^{O}C'dir. Metan havanın oksijeni ile %5-15 arasında karıştığında patlamakta, %15 değerinin üzerinde patlamadan yanmaktadır [32].

3. bölümde "Depo Gazı (LFG) Miktarını Hesaplamada Kullanılan Yöntemler" başlığı altında EPA Landgem Modeli ile depo gazı miktarının hesaplanmasın açıklanmıştır. Bu model kullanılarak Kemerburgaz- Odayeri depo sahası için katı atık miktarı ve oluşan depo gazı (LFG) miktarı çizelge 4.3 ve 4.4'de hesaplanarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Odayri depo sahası katı atık ve depo gazı (lfg) miktarları

Katı Atık (m3/h)	Katı Atık Mıktarı (Ton)	Oluşan LFG (m3/h)	LFG Toplama Sistem	Toplanabilen LFG(m3/h)	LFG (Yıl/m3)	Gaz Motoru Sayısı (1,4MW)
524.013	524.013	0	0%	0	0	0
1.122.443	1.646.456	618	0%	0	0	0
1.521.541	3.167.997	1.850	0%	0	0	0
1.775.983	4.943.980	3.373	0%	0	0	0
2.220.225	7.164.205	4.974	0%	0	0	0
2.282.265	9.446.470	6.870	0%	0	0	0
2.205.211	11.651.681	8.568	0%	0	0	0
2.281.219	13.932.900	9.938	0%	0	0	0
2.452.350	16.385.250	11.210	0%	0	0	0
2.848.277	19.233.527	12.513	0%	0	0	0
3.145.032	22.378.559	14.109	0%	0	0	0

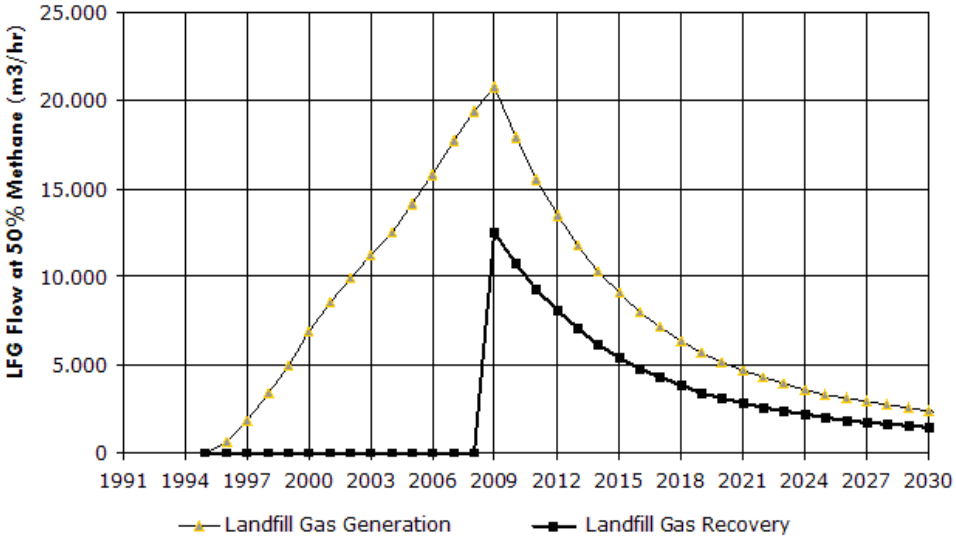
3.469.870	25.848.429	15.840	0%	0	0	0
3.469.870	29.318.299	17.720	0%	0	0	0
3.469.870	32.788.169	19.348	0%	0	0	0
0	32.788.169	20.761	60%	12.457	109.121.256	17
0	32.788.169	17.904	60%	10.742	94.102.623	14
0	32.788.169	15.497	60%	9.298	81.450.465	12
0	32.788.169	13.466	60%	8.080	70.779.102	11
0	32.788.169	11.752	60%	7.051	61.766.208	9
0	32.788.169	10.301	60%	6.181	54.142.387	8
0	32.788.169	9.072	60%	5.443	47.682.457	7
0	32.788.169	8.029	60%	4.817	42.198.181	6
0	32.788.169	7.141	60%	4.284	37.532.181	6
0	32.788.169	6.384	60%	3.830	33.552.870	5
0	32.788.169	5.736	60%	3.442	30.150.202	5
0	32.788.169	5.181	60%	3.109	27.232.136	4
0	32.788.169	4.704	60%	2.822	24.721.673	4
0	32.788.169	4.291	60%	2.575	22.554.383	3
0	32.788.169	3.934	60%	2.360	20.676.342	3
0	32.788.169	3.623	60%	2.174	19.042.406	3
0	32.788.169	3.351	60%	2.011	17.614.767	3
0	32.788.169	3.113	60%	1.868	16.361.751	2
0	32.788.169	2.903	60%	1.742	15.256.812	2
0	32.788.169	2.716	60%	1.630	14.277.690	2
0	32.788.169	2.551	60%	1.530	13.405.709	2
0	32.788.169	2.402	60%	1.441	12.625.191	2
0	32.788.169	2.268	60%	1.361	11.922.964	2
0	32.788.169	2.148	60%	1.289	11.287.955	2
0	32.788.169	2.038	60%	1.223	10.710.844	2
0	32.788.169	1.938	60%	1.163	10.183.780	2

Yukarıdaki tabloda; İ.B.B tarafından depo sahası olarak tayın edilen İstanbul-Avrupa yakası için Odayeri düzenli depo sahasına 1995 yılında ilk katı atık depolanmaya başlanarak 2008 yılında saha katı atık depolalamaya kapatılmıştır. Bu yıllar arasındaki katı atık miktarı tablo 4.3'de görülmektedir. Dördüncü sütunda EPA LandGEM modeli ile hesaplanan depo gazı miktarı görülmektedir. Depo sahasından borular vasıtasıyla çekilen gaz oluşan gazdan daha az olmaktadır. Saha dizaynı ve gaz çekme sisteminin tasarımına bağlı olarak bu oran %40-70 aralığında olmaktadır [70].

Tam kapasite durumu için 20 adet motor düşünülmüştür. Şu an sadece 11 tanesi çalışmaktadır.

Bu motorlardan her biri 1,4MW enerji üretiyor. Toplam kapasite 28MW'dır. 1 motor tam kapasite 750 m^3 gaz yakar. Yılda 224 milyon kilovat saatlik elektrik üretimi sağlanacak tesisin, yılda 15-20 milyon dolar kar getirmesi hedefleniyor. 112 bin konutun bir yıllık enerji ihtiyacının da bu tesiste üretilen elektrikle sağlanması amaçlanıyor [16].

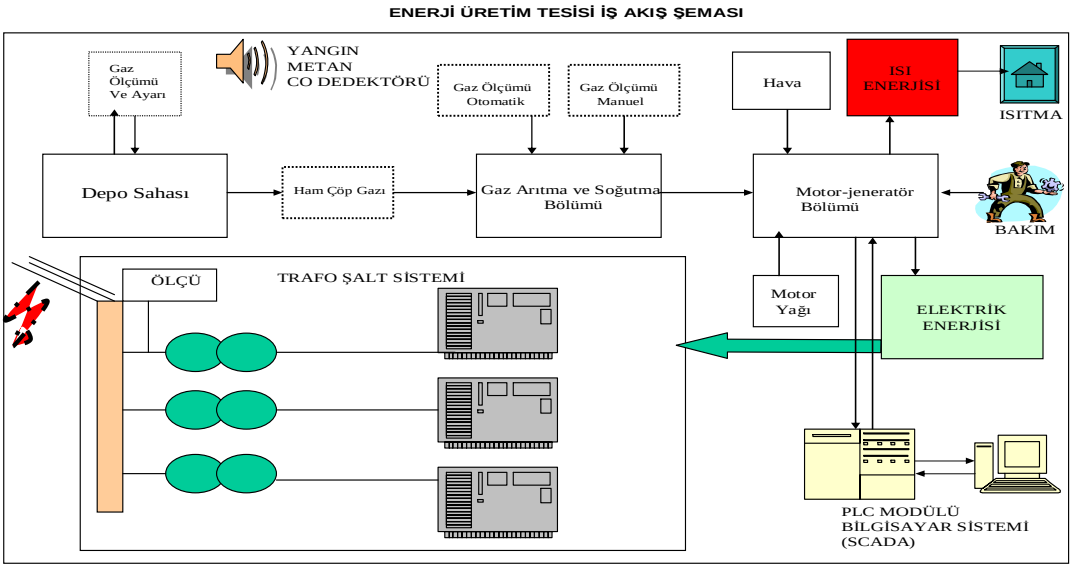
Çizelge 4.4 Depogazı oluşumu



Çizelge 4.4'de X ekseni çöp depolama başlangıç yılı ve depo gazı (LFG) üretim yıllarını ifade ekmektedir. Y ekseni ise çöp sahasının depolanmaya başlanmasından sonraki yıllarda depogazı oluşumunu ve yıllara bağlı artış ve azalışını görülmektedir.

4.2.1 Odayeri Depogazı Santralinde Üretilen Elektrik Miktarı

Avrupa Yakası DDS Yap-İşet Modeli ile ihale edilmiş 2007-2030 yılları arası toplamda 2.203 GWh elektrik enerjisi üretim projeksiyonu ortaya konmuştur. Maksimum kurulu güç 25 MW olarak tasarlanmıştır.



Şekil.4.23. Enerji üretim iş akış şeması [60]

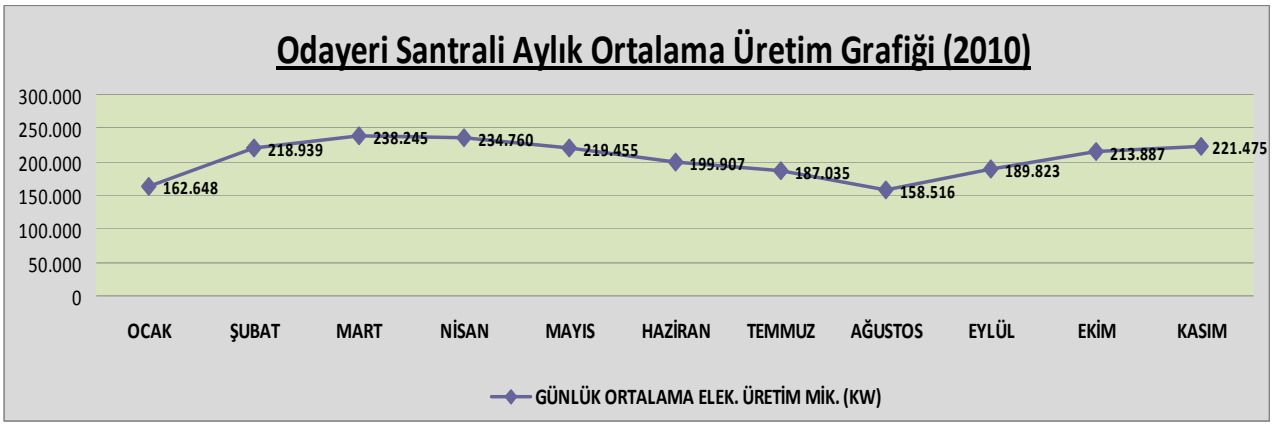
2008 yılı Aralık ayı itibari ile tesis de 17.153,40 KW/h lik bir enerji üretimi gerçekleşmiştir. 2009 yılı Ocak ayı itibarı ile ve 2010 yılı ağustos ayına kadar üretilen elektrik enerjisi üretim değerleri çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Odayeri depogazı santrali elektrik üretim değerleri [71].

YILLAR/ AYLAR	2009 ÜRETİM (kWe/h)	2010 ÜRETİM (kWe/h)	YILLAR/ AYLAR	2009 ÜRETİM (kWe/h)	2010 ÜRETİM (kWe/h)
OCAK	1.880.898	4.933.210	TEMMUZ	5.658.373	5.360.210
ŞUBAT	3.137.361	5.861.274	AĞUSTOS	5.673.128	
MART	2.956.981	7.032.466	EYLÜL	5.185.861	
NİSAN	3.292.128	6.499.703	EKİM	4.882.357	
MAYIS	4.103.389	6.499.703	KASIM	4.589.300	
HAZİRAN	5.366.820	5.826.084	ARALIK	3.924.240	

Çizelge 4.6'da İstanbul Odayerinde kurulmuş olan Depogazı Kaynaklı Elektrik Üretim Santralinin 2010 yılı ocak-Kasım aylarında üretilmiş elektrik miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 4.6 2010 yılı elektrik üretim grafiği [60]

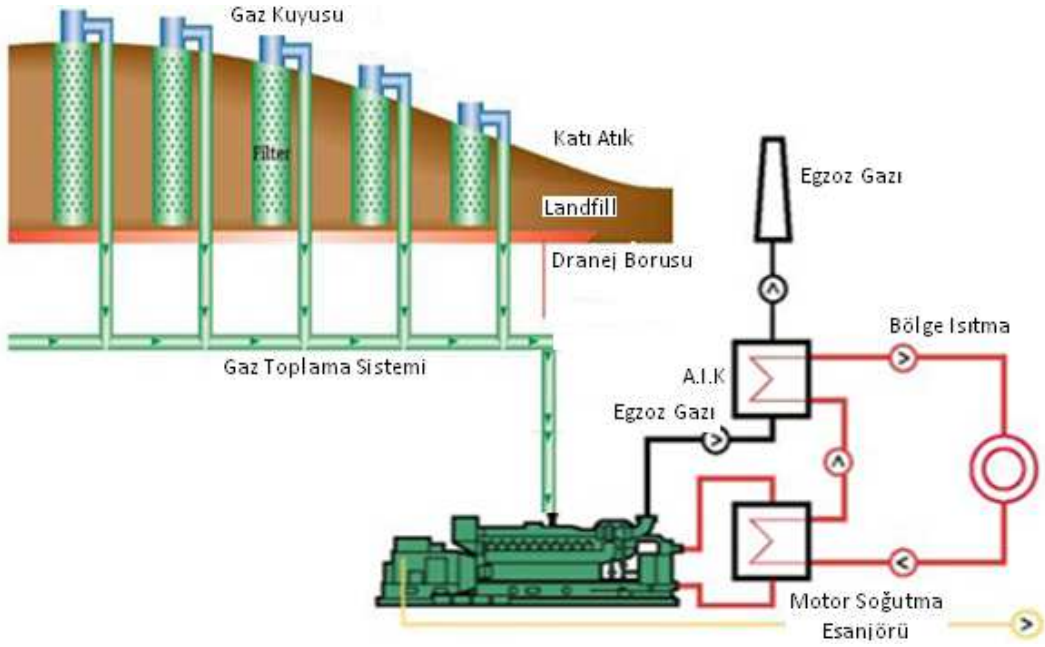


4.2.2 Atık Isılı Bölgesel Isıtma Sistemi

Ülkemizde atık ısılı bölgesel ısıtma sistemi ilk örneği Esenyurt Doğalgaz Santrali atık ısısından faydalanılarak Esenkent bölgesinin ısıtılmasıdır. Daha sonra kömür ile çalışan Termik Santral atık ısıslarının bölge ısıtmasında değerlendirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Kemerburgaz-Odayeri Depogazı (LFG) Santral atık ısısının 450-550^{o}C yüksek bir değerde olmasından dolayı bu atık ısınsın değerlendirilebileceği anlamına gelmektedir.

Bir bölgenin ısıtma ihtiyacı karşılanırken; düşük ısınma maliyetleri, kaynak güvenirliğinin sağlanması, hava kalitesinin iyileştirilmesi, ithal enerji kaynaklarının azaltılması ve bölgesel iş sahalarının artırılması göz önünde bulundurulmalıdır. Bu hususlar dikkate alındığında bölge ısıtma sistemleri önemli avantajlara sahip olduklarından tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır [7].

Bölge ısıtması, bir veya birkaç merkezde kurulan santrallerle ısıtılmasıdır. Yerleşim yeri bir site olabileceği gibi, bir mahalle veya bir kentte olabilir. Bazı uygulamalarda ısı santralleri sıcak su veya buhar üreten kazanlardan oluşur. Bazı santrallerde ise ısı ve elektrik birlikte üretilir. Bu tür santraller buhar türbini, gaz türbini veya gaz motoru kuruludur. Şekil 4.24'de depogazı santrali ile bölgesel ısıtma iş akış şeması görülmektedir.



Şekil 4.24 Depogazı santrali atık ısısından bölgesel ısıtma [61]

Sıcak sulu sistemlerde şekil 4.26'da görüldüğü üzere ön izolasyonlu borularla uzak mesafelere düşük ısıl kayıplarla taşınarak bölgesel ısıtma ve organize sera ısıtması yapılabilir. Kızgın sulu sistemler ile bölgesel ısıtma, sera ısıtması yapılabileceği gibi endüstriyel amaçlı buhar üretimde yapılabilir. Buhar ile elektrik gücü üretilebileceği gibi endüstriyel buhar kullanımında faydalanılabilir.

4.2.3 Bölgesel Isıtma Ekipmanları

Bölge ısıtma sistemi başlıca ekipmanları; özetle ısı değiştiriciler, başınçlandırma pompaları, taşıma boruları ve diğer ara elamanlardan oluşmaktadırlar.

4.2.4 Atık Isı Kazanları

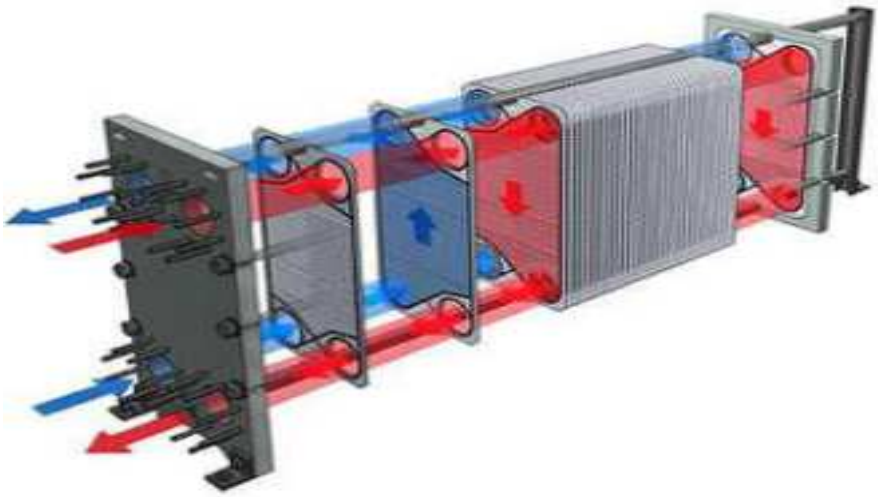
Termik prensiple çalışan santraller ortalama %35-55 verimle çalışırlar ve enerjinin %45-65'i faydasız ısı enerjisi olarak sistem dışına atılır. Bu sisteme benzer olarak depogazı (LFG) yakıt olarak kullanılan gaz motorlarındaki verimde %41 düzeylerindedir. Kalan kısmı faydasız ısı olarak dışarı atılmaktadırlar. Bu atık ısının enerjisini alıp kullanılabilir enerji haline getiren sisteme atık ısı kazanı denir.

Atık ısı kazanları, yakmasız standart bir konstruksiyonda olup, egzoz gazlarının geçtiği boru yüzeylerinden suya ısı transferini sağlarlar ve tabi ya da pompalı sirkülâsyonla kombine çevrime

girerler. Gaz türbininden veya motorundan atmosfere atılan yüksek ısı enerjisine sahip egzoz gazı, buhar veya sıcak su üretmek amacıyla atık ısı kazanlarına gönderilirler. 400–600 ^{o}C ´deki egzoz gazı atık ısı kazanında 140–160 ^{o}C de kullanılabilir sıcaklığa soğutularak istenilen şartlarda buhar veya sıcak su elde edilir. Bu sayede sisteme atık ısı kazanı ilave edilmesiyle sistemin toplam verimi arttırılmaktadır [51].

4.2.5 Eşanjörler

Plakalı ısı değiştiriciler birbirlerine cıvata veya benzeri bir bağlama aracı ile birleştirilmiş plakalardan yapılmıştır. Plakalar arasında akışkanın geçmesi için bir boşluk vardır. Plaka yüzeyinde oluklar veya çukurlar oluşturularak plakalar arasındaki mesafeler eşit tutulur. Akışkanlardan biri plakanın bir ucundaki delikten boşluğa girer ve plaka yüzeyi ile temas ederek diğer uçtaki deliğe doğru akar. İkinci akışkan da plakadaki diğer iki delikten plakanın arka yüzündeki boşluğa akar. Bu şekilde ısı plaka yüzeyi boyunca sıcak akışkandan soğuk akışkana aktarılır.



Şekil 4.25 Plakalı ısı değiştiricisi [48]

Plakalı ısı değiştiriciler, ısı transfer yüzeylerinin kirlenme ihtimalinin düşük olduğu yerlerde kullanılması uygundur. Plakalı ısı değiştiricilerin sökülüp tekrar montajı kolaydır. Bu yüzden, diğer borulu sistemlere göre temizlenmesi daha az zaman alır.

90 ºC veya daha düşük sıcaklıktaki suyun primer devrede kullanıldığı eşanjörler plaka tipli olmalıdır. Daha az yer kaplar ve daha ekonomiktir. Eşanjör kullanılan tesislerde suyun kireci mutlaka alınmalıdır. Plaka tipi eşanjörler genelde borulu tiplere tercih edilmelidir.

Bu eşanjörler üç ana bölümden oluşur. Bu bölümler;

1- Boru demetli, genellikle bakır veya çelik sorular kullanır.

2- Dış kabuk, genellikle çelik saçtan üretilir.

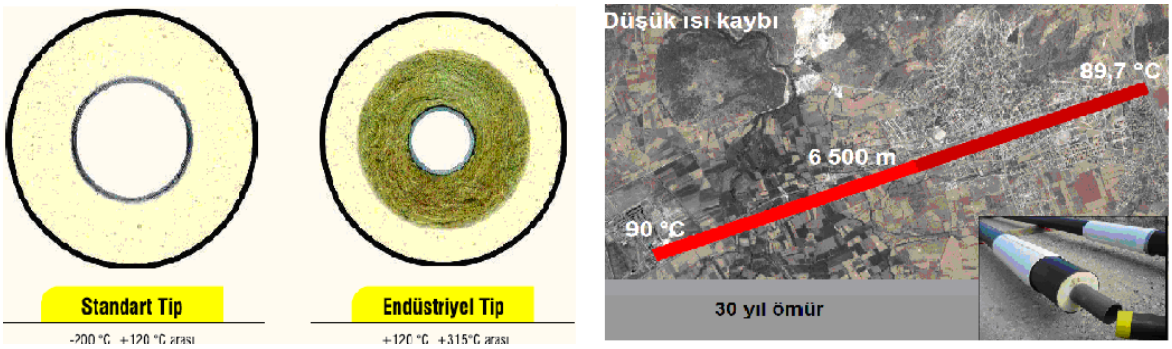
3- Su giriş, çıkış bölmeleri ve bazı tiplerde dış su geçişini yönlendiren perdeler [52].

4.2.6 Ön İzolasyonlu Borular

Sıcak veya soğuk akışkanın ısı transferini engelleyecek özellikte imal edilmiş borulardır. Boru değişik malzeme katmanlarından oluştuğu için kompozit boru sınıfına girmektedir. Boru üç katmandan oluşmaktadır. İçteki taşıyıcı boru, arada yalıtım malzemesi olarak Poliüretan (PUR) ve koruyucu kılıf olarak en dışta Polietilen (PE) borudan teşekkül etmiştir. Taşıyıcı boru malzemesi kullanım sıcaklıklarına göre farklı olabilmektedir. Polipropilen Random (PPr) boru 70 °C sıcaklık ve altında, 140 °C ve altında ise Çelik boru kullanılmaktadır.

Ön izolasyonlu borular şu özelliklere sahiptirler.

Çelik kısım malzemesi ST 37 kalitesinde ERW (boyuna kaynaklı) veya SAW (spiral kaynaklı) 'dir. Poliüretan (PUR), yoğunluk > 60 kg/m^3 ısı iletim katsayısı < 0.028 W/mK (50 ^{0}C) , izolasyon ömrü 120 ^{0}C de 30 yıl, 115 de ^{0}C 50 yıl gibi uzun ömürlüdür. HDPE UV resistant, siyah, yüksek yoğunluklu, polietilen, yoğunluk > 940 kg/m^3'dir [53].



Şekil 4.26 Ön izolasyonlu boru ve boru kesiti [53,63]

Atık ısıdan elde edilen sıcak suyun ön izolasyonlu borular vasitesi ile uzak mesafeler taşınmasında başka ekipmanlarda kullanılmaktadır. Sıcak suyun başınçlandırılmasında pompalar, debinin ayarlanmasında balans vanaları, suyun yönlendirilmesinde vanalar, ısıl dengenın oluşturulmasında denge tankı, ani basınç artışlarının karşılanmasında genleşme tankı gibi birçok ekipman kullanılmaktadır.

4.2.7 Odayeri Depogazı Santrali Atık Isı Geri Kazanımının Teknoekonomik Analizi

İstanbuldaki atıkların değerlendirildiği Odayeri ve Kömürcüoda depogazı santrallarinde şuan itibari ile sadece elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu başlıkta odayeri depogazı santral atık ısısından sıcak su eldesi ve bölgesel ısıtma kullanımı üzerine bir ekonomik değerlendirme yapılacaktır. Ancak EPA Landgem modeli ile yapılan depogazı miktar tespitlerinde gaz oluşumunun grafik 4.1'de görüldüğü üzere parabolik bir eğri olduğu görülmektedir. Odayeri depo sahasına katı atık kabulu yapıldığı yıl olan 1995 yılından 2008 yılının sonuna kadar herhangi bir gaz toplama faaliyeti olmadığından dolayı bu yıllar arasında oluşan gaz kendiliğinden atmosfere gitmiştir. 2009 yılında başlanan gaz toplama faaliyeti ile tesisde 20 adet gaz motoru bulunmakta olup motorların 17'sı çalıştırılabilecek kapasitede gaz olduğu hesaplanmıştır. 1 motor saatte 1,4MW/saatte enerji üretmekte ve iç ihtiyaç olarak 0,1 MW/saat enerji kullanmaktadır.

EPA Landgem modeli ile hesaplanan bu kapasite her geçen yılda azalarak devam etmektedir. Bu da bize atık ısıdan elde edilecek olan sıcak suyun debisinin her yıl azalacagını göstermektedir. Eğer biz atık ısıdan elde edeceğimiz suyu bölgesel ısıtmada kullanılacak ise debimizin sabit olması gerekmektedir. Dolayısı ile mevcut katı atık santralinden elde edilen atık ısının değerlendirilmesi ancak sabit debinin istenmediği sadece mevcut ısıyı kullanarak değerlendirebileceğimiz sera ısıtması gibi yerlerde kullanılması daha doğru olacaktır. Ankara Mamak Katı Atık santrali atık ısısı sera ısıtmada kullanılmaktadır [72].

Biz bu kısımda bazı kabuller yaparak atık ısıdan elde edilecek suyun debisinin sabıt olmasını amaçlayarak bölgesel ısıtma üzerine teknoekonomik hesaplamalar yapacağız. Dünyada özellikle avrupanın birçok ülkesinde yaygın olarak tercih edilen bölge ısıtmasının ülkemizdede yaygınlaştırılması için bu çalışmanın faydalı olmasını ümit etmekteyiz.

Kabuller:

- İstanbul- Avrupa için 2010-2040 yılı için Odayri Depo Sahası düzenli olarak katı atık depolanacak,
- Odayri Depo Sahası 2010-2045 yılları için Depogazı (LFG) kojenerasyon tesisi kurulması amaçlı kullanılması,
- 5 km mesafe yakınlıkta depogazı kaynaklı santral atık ısı kapasitesine bağlı olarak devlet veya özel teşebbüs tarafından toplu konut, sera veya özel tesis kurulması,

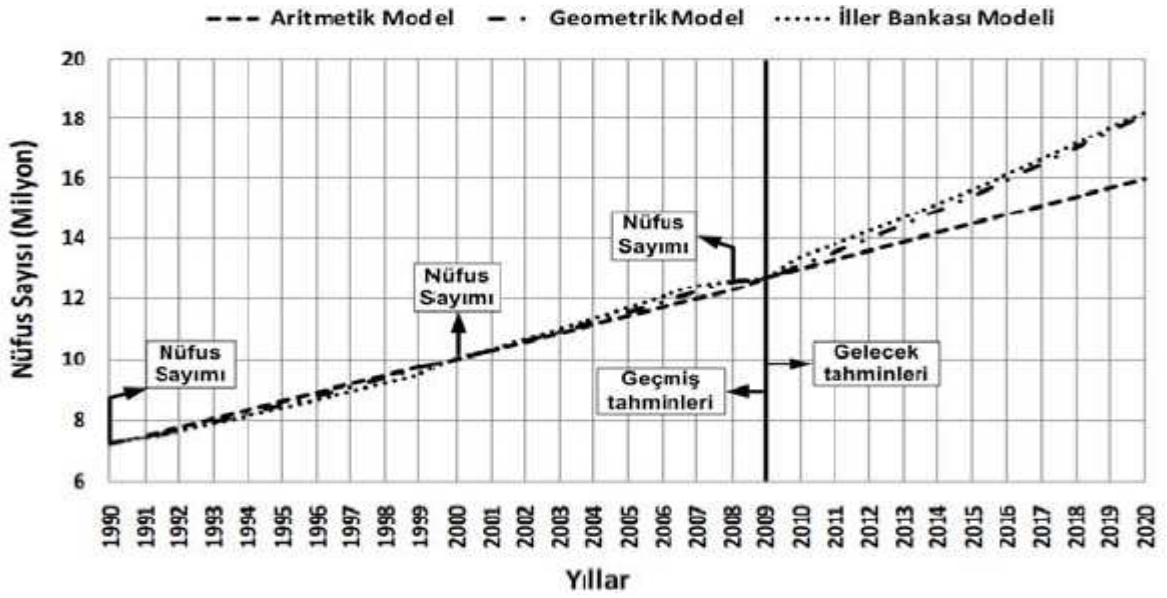
- Tesiste üretilecek olan enerji satışının devletin teşvik yasalarıyla garantilenmesi,

Bu amaçla nüfus yoğunluğuna bağlı olarak katı atık kapasitesinin dünyada ön sıralarda olduğu İstanbul-Avrupa yakası için çizelge 4.5'de Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) nüfus artış oranları ve İstanbul-Avrupa bölgesi kişi başi üretilen çöp miktarı referans alınarak 2010-2040 yılları için nüfus yoğunluğu ve açığa çıkan çöp miktarları hesaplanmıştır. Katı atık üretimini etkileyen birçok etken vardır. Bunlar içerisinde en önemlisi insanların ekonomik büyümesidir. Bu hesaplamada ekonomik büyümeye dayalı katı atık artışları dikkate alınmamaıştır.

Çizelge.4.7 İstanbul-Avrupa 2010-2040 yılları arası tahmini nüfus-çöp miktarları [73]

Yıllar	Nüfus Miktarı	Nüfus Artış Hızı %0,(TUİK)	Çöp Miktarları (0,65 kg/kişi-gün)	Yıllar	Nüfus Miktarı	Nüfus Artış Hızı	Çöp Miktarları (0,65 kg/kişi-gün)
2010	8.027.433	13	5.217.832	2026	9.477.119	7,8	6.160.128
2011	8.130.185	12,8	5.284.620	2027	9.547.250	7,5	6.205.712
2012	8.231.812	12,5	5.350.678	2028	9.615.035	7,3	6.249.773
2013	8.334.710	11,8	5.417.561	2029	9.680.418	6,8	6.292.272
2014	8.433.059	11,7	5.481.488	2030	9.742.372	6,5	6.332.542
2015	8.531.726	11,4	5.545.622	2031	9.801.801	6,2	6.371.171
2016	8.628.988	11,1	5.608.842	2032	9.858.651	5,9	6.408.123
2017	8.724.769	10,8	5.671.100	2033	9.893.896	5,6	6.431.032
2018	8.818.997	10,2	5.732.348	2034	9.945.344	5,3	6.464.474
2019	8.908.951	9,9	5.790.818	2035	9.994.076	5	6.496.150
2020	8.997.149	9,7	5.848.147	2036	10.040.049	4,8	6.526.032
2021	9.084.422	9,4	5.904.874	2037	10.083.221	4,6	6.554.094
2022	9.169.815	9,1	5.960.380	2038	10.123.554	4,2	6.580.310
2023	9.253.261	8,7	6.014.619	2039	10.162.024	3,9	6.605.315
2024	9.330.063	8,5	6.064.541	2040	10.198.607	3,7	6.629.095
2025	9.404.703	8,2	6.113.057				

Çizelge 4.7'de TUİK nüfus artış tahminlerine bağlı atık miktarları hesabı yapılmıştır. Şekil 4.27'de İstanbul nüfus artışı için yapılan tahmini bir çalişma görülmektedir.



Şekil 4.27 İstanbul 1990-2020 tahmini nüfus değerleri [14].

Modelin uygulama yöntemleri ile ilgili bilgi üçüncü bölümd ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Bu modelde depolama sahasından kaynaklanan metan iki değerin fonksiyonudur; k, metan üretim hız sabiti, ve L_0, metan üretim potansiyelidir. k ve L_0 değerleri sahada yapılan gaz ölçümleri ile hesaplanabilir.

Eğer sahada yapımı herhangi bir ölçüm bulunmuyorsa, EPA tarafından bulunan sabit değerler ile modelleme yapılabilir. k ve L_0 değerleri aşağıda gösterildiği gibidir;

CAA Ampirik Değerleri:

k :0,05 $yıl^{-1}$

L_0 :170 m^3 /Mg atık

AP-42 Ampirik Değerleri:

k :0,04 $yıl^{-1}$

L_0 :100 m^3 /Mg atık

Depolama sahası gazı, saha kapatıldıktan sonrada üretilmeye devam etmektedir. Bu nedenle modelde depo gazının kapatılana kadar ve kapatıldıktan sonraki değerleri de hesaplanmıştır. Modelin başlangıcında depo gazının yaklaşık olarak %50-60 metan ve %40-50 karbondioksitten oluştuğu kabul edilmiştir.

Katı atıklar oluştuğu mekânlardan toplama merkezine, toplama merkezinden depolama sahasına taşınması esnasında %10-15 oranında bir eksilme ile toplanma sistemi iyi bir sistemdir. Bertaraf edilen (tipik) evsel atığın her bir tonu, depolama sahasının ömrü boyunca yaklaşık olarak 170 m^3 depolama gazı oluşturmaktadır [60].

Çizelge 4.6'da ise katı atık miktarına bağlı depogazı miktarları görülmektedir. Ayrıca depogazına bağlı olarak kullanılacak gaz motoru sayısıda oldukça fazla çıkmıştır. Bu denli büyük kapasitedeki atık ısının değerlendirilerek sıcak su elde edilmesi ve bölge ıstma sitemi ile konut ısıtmasında kullanılamsı mantıklı bir değerlendirme olacaktır.

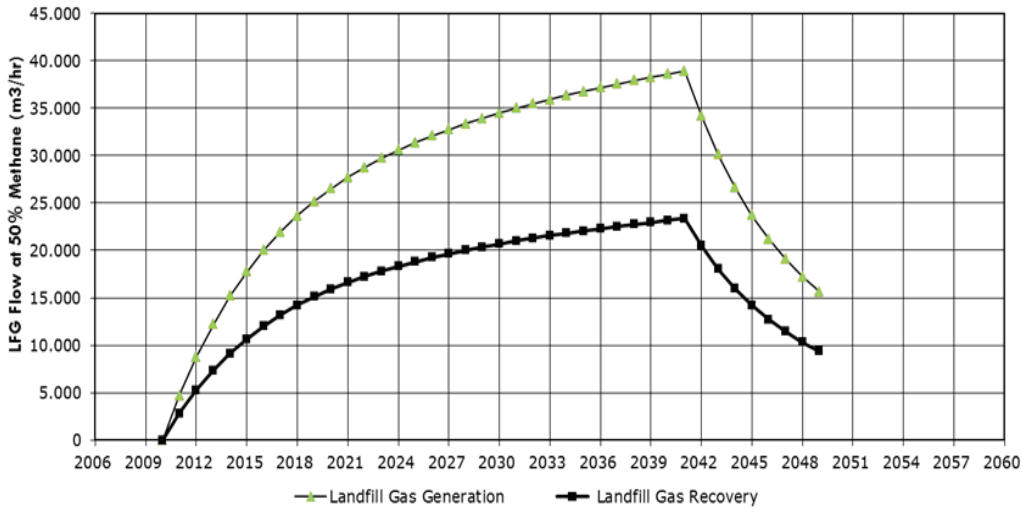
Çizelge 4.8 Depo gazı üretim ve geri kazanım projeksiyonları

Yıllar	Katı Atık (Ton/Yıl)	Toplam Katı Atık (Ton)	Depogazı Miktarı(m3/h)	Depogazı Toplama Verimi	Toplanabilen Depogazı Miktarı (m3/h)	Enerji Miktarı (MWh)	Gaz Motoru Sayısı
2010	4.002.832	4.002.832	0	0%	0	0	-
2011	4.013.239	8.016.071	4.719	60%	2.832	4,7	4
2012	4.023.673	12.039.744	8.756	60%	5.253	8,7	7
2013	4.034.135	16.073.879	12.218	60%	7.331	12,1	10
2014	4.044.624	20.118.503	15.200	60%	9.120	15,1	12
2015	4.055.140	24.173.643	17.777	60%	10.666	17,6	15
2016	4.065.683	28.239.326	20.013	60%	12.008	19,9	16
2017	4.076.254	32.315.580	21.962	60%	13.177	21,8	18
2018	4.086.852	36.402.432	23.670	60%	14.202	23,5	19
2019	4.097.478	40.499.910	25.173	60%	15.104	25	21
2020	4.108.131	44.608.041	26.504	60%	15.902	26,3	22
2021	4.118.813	48.726.854	27.689	60%	16.613	27,5	23
2022	4.129.521	52.856.375	28.749	60%	17.250	28,5	24
2023	4.140.258	56.996.634	29.704	60%	17.823	29,5	24
2024	4.151.023	61.147.656	30.570	60%	18.342	30,3	25
2025	4.161.816	65.309.472	31.358	60%	18.815	31,1	26
2026	4.172.636	69.482.108	32.081	60%	19.249	31,8	26
2027	4.183.485	73.665.593	32.747	60%	19.648	32,5	27
2028	4.194.362	77.859.956	33.365	60%	20.019	33,1	27
2029	4.205.268	82.065.223	33.940	60%	20.364	33,7	28
2030	4.216.201	86.281.424	34.479	60%	20.687	34,2	28
2031	4.227.163	90.508.588	34.986	60%	20.991	34,7	29
2032	4.238.154	94.746.742	35.465	60%	21.279	35,2	29
2033	4.249.173	98.995.915	35.919	60%	21.551	35,7	30
2034	4.260.221	103.256.136	36.351	60%	21.811	36,1	30

2035	4.271.298	107.527.434	36.764	60%	22.059	36,5	30
2036	4.282.403	111.809.837	37.160	60%	22.296	36,9	31
2037	4.293.537	116.103.374	37.541	60%	22.524	37,3	31
2038	4.304.700	120.408.074	37.907	60%	22.744	37,6	31
2039	4.315.893	124.723.967	38.261	60%	22.956	38	31
2040	4.327.114	129.051.081	38.603	60%	23.162	38,3	32
2041	0	129.051.081	38.934	60%	23.361	38,7	32
2042	0	129.051.081	34.141	60%	20.485	33,9	28
2043	0	129.051.081	30.080	60%	18.048	29,9	25
2044	0	129.051.081	26.631	60%	15.979	26,4	22
2045	0	129.051.081	23.697	60%	14.218	23,5	19

Çizelge 4.8'de 2010-2040 yılları için İ.B.B'si tarafından düzenli çöp depolama yapıldığı kabul edilerek oluşturulmuştur. Sahadan gaz çekimi 2011 yılında yapılacaktır. Elde edilen yıllık değerler toplandığında reaksiyonun hemen hemen tamamlandığı süre sonunda sahadan elde edilecek toplam depogazı miktarının 186 372 635 400 m^3 civarında olacağı görülmektedir.

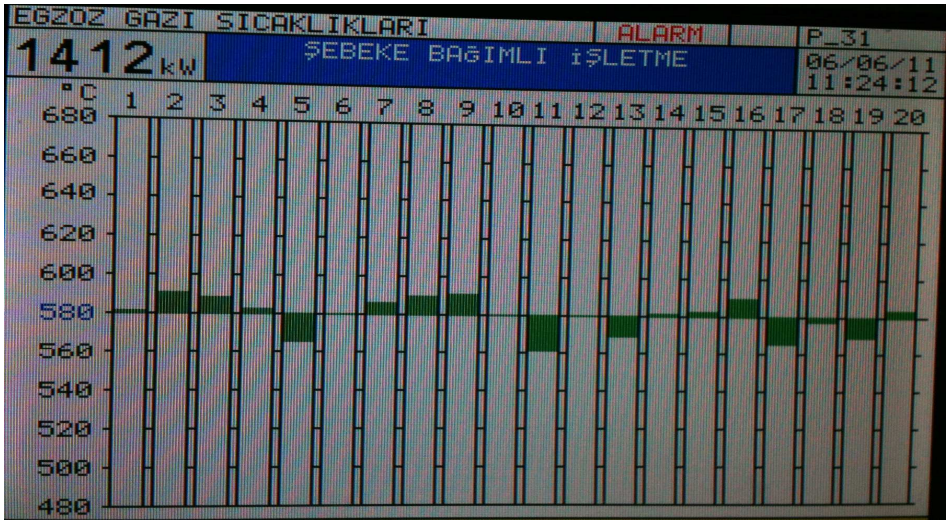
Çizelge 4.9 EPA modeli kullanılarak 2010-2049 yıları lfg miktarları



Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi, oluşacak metanın büyük bir kısmı sahanın işletmede olduğu son yıllarda ve bunu takip eden yaklaşık 30-40 yılda ortaya çıkmaktadır.

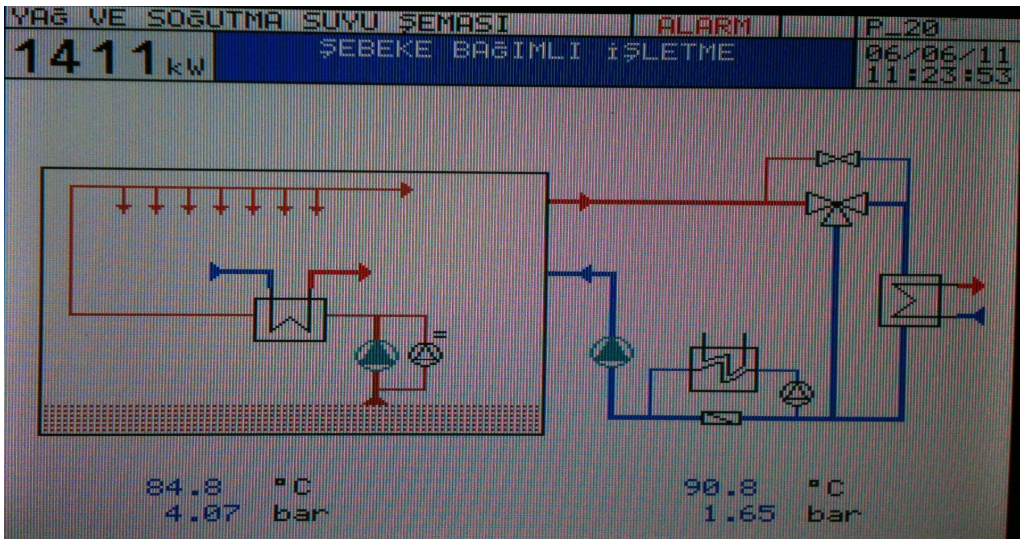
Depogazı santralinde kullanılan gaz motorlarında yakılan depogazı motor çıkışındaki değer scada ölçümünde 580^oC olarak gözlemlenmiştir.(şekil4.28). Gaz motoru distiribütörün verdiği kataloj değerlerinde ise bu sıcaklığın 400mm çapındaki bacadan 480^oC cıvarında atmosfere egzoz gazları olarak verilmektedir. Dünyadaki enerji kaynaklarının maksimum seviyede değerlendirilmesi üzerine yoğun çalışmaların yapıldığı günümüzde bu derece sıcak egzoz gazlarının ısısının

değerlendirilmeden atmosfere salınması hem ekonomik anlamda büyük bir kayıp hemde atmosfere büyük zarar vermektedir.



Şekil 4.28.Egzoz gazları sıcaklık değerleri [54]

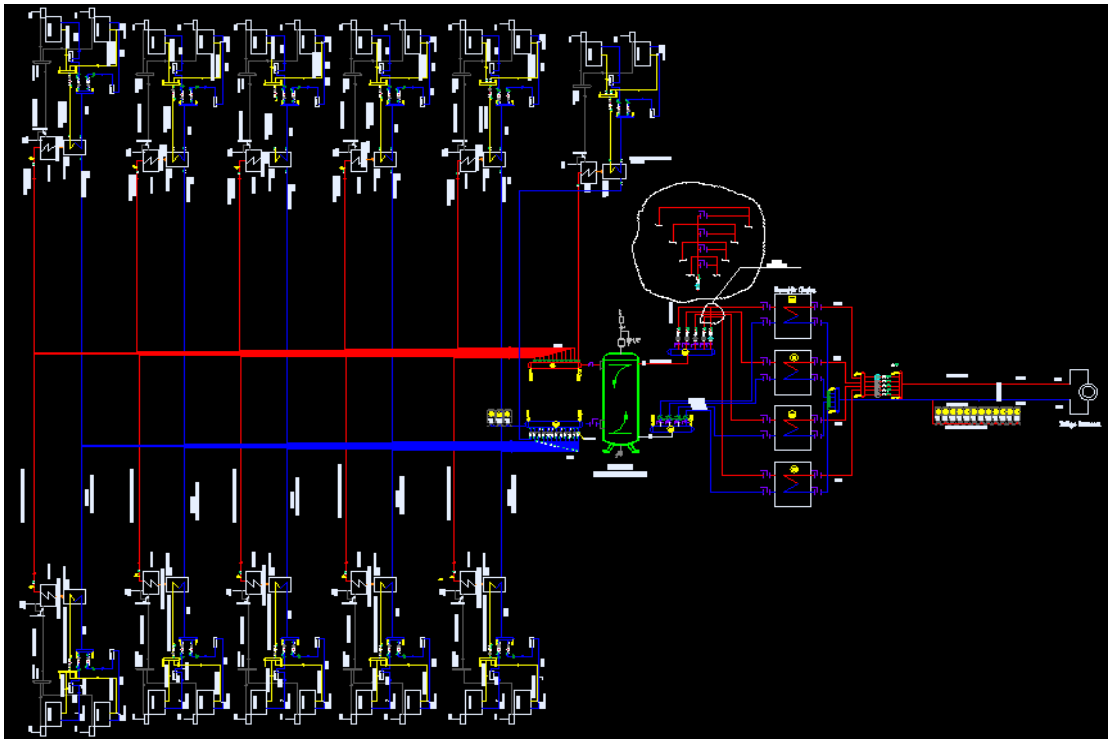
Ayrıca depogazı santralinde kullanılan gaz motorları çalışırken ısınmaktadır. Isınan gaz motoru su ile soğutulmaktadır. Motoru soğutmak için soğutma suyu 70 ^{o}C olarak gaz motoruna girerek gaz motorunun ısısını alarak 90 ^{o}C'de çıkmaktadır. Şekil 4.29'da gaz motoruna giren ve çıkan suyun basınç ve sıcaklık değerleri görünmektedir.



Şekil 4.29 Gaz motor soğutma suyu basınç ve sıcaklık değerleri [54].

Bu çalışmada atık ısı olarak sıcak egzoz gazları ve motor soğutma suyu ısıları kullanılarak sıcak su elde edilecektir. Sıcak egzoz gazlarından sıcak su elde ederek ısısı alınmış olan egzoz gazlarından hem ekonomik bir gelir elde edilirken hemde atmosfere daha az zarar vermesi sağlanmış

olacaktır. Aşağıdaki şekil 4.30'da depogazı santral atık ısısının değerlendirmesi üzerine tasarlanan proje görülmektedir.



Şekil.4.30 Depogazı santral atık ısı geri kazanım projesi

Depogazı santrali atık ısı sıcak su eldesi projesi sistem tasarımında bazı kabuller yapılmıştır:

- Depogazı kaynaklı elektrik üretim santral atık ısısından 2013-2045 yıllarında faydalanılacaktır. Depo sahasından çekilen gaz miktarı parabolik olduğu için ısı üretim kapasitesi olarak 20 adet gaz motorunun atık ısısı değerlendirilecek şekilde sistem tasarlanmıştır.
- 2013-2019 yılları arasında 10 adet gaz motorunu besleyecek miktarda depo sahasında depogazı (LFG) vardır. Çizelge 4.8'de sütun sekizde görüldüğü üzere geriye kalan 10 adet gaz motoru bu yıllar arasında doğalgaz ile beslenecektir. Doğalgaz yakılan motorlarda elektrik üretimi olacağından dolayı atık ısıları aynı şekilde sistem tarafından değerlendirilecektir.
- İki adet gaz motorunun atık ısısı bir adet atık ısı kazanını ve eşanjörü besleyecek şekilde sistem tasarımı yapılmıştır.
- Atık ısı kazanı su çıkış sıcaklığı 95^{o}C'dir. Bu sıcaklık egzoz duman sıcaklığı ve debisine bağlı olarak Atık Isı Kazan imalatçısı tarafından hesaplanan değerdir [55].

- Bölge ısıtmadan su dönüş sıcaklığı 65^{o}C olarak kabul edilmiştir

Sistemde gaz motorlarının egzoz çıkışlarındaki atık ısılar A.I.K'nına yönlendirilmiştir. Gaz motorlarının ceket soğutma suyu ısıları ise eşanjörlere yönlendirilmiştir. Gaz motorlarının ceket soğutma suyu eşanjöre 90^{o}C olarak girmektedir. Bölgesel ısıtmadan 65^{o}C olarak gelen suyu 81^{o}C'ye ısıtarak 70^{o}C soğumuş olarak gaz motorunun soğutmak için cekete girmektedir. Ceketin ısısını alarak 90 ^{o}C ısınarak tekrar esanjöre girmektedir. Bu şekilde kapalı bir cevrim vardır. 81^{o}C ye ısınmış olarak esanjörden çıkan su A.I.K'nına girmektedir. Gaz motorlarının egzozundan çıkan yaklaşık 480^{o}C'deki gazlar A.I.K'nına girerek 81^{o}C'deki suyu 95^{o}C'ye ısıtmaktadır. Egzoz gazları A.I.K'nını yaklaşık 140^{o}C'de terk ederek atmosfere gitmektedir. 95^{o}C'ye ısınmış su denge tankında toplanmaktadır. Denge tankından sonra 92^{o}C ye soğumuş su dört adet DN150 çelik borular ile 200,05 m^{3}/h debide ikingi bir eşanjör grubunada toplanmaktadır. Eşanjör grubundan sonra pompa grubu yer almaktadır. Pompa grubu 4+1 yedekli olmak üzere santrifuj pompa olarak tasarlamıştır. Bu pompaların her biri 200,05 m^{3}/h debi ve 92^{o}C'deki suyu 5 km uzaklığa DN400 çapındaki ön izolasyonlu borularda basınçlandırmaktadır. Toplam su debisi 802m^{3}/h olarak bölgesel ısıtma yerine ulaşmaktadır.

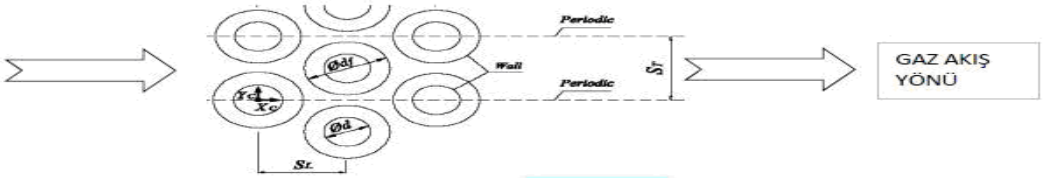
4.2.8 Atık Isı Hesabı ve Atık Isı Kazanı

Depogazı santralinden dışarı atılan yaklaşık 480 ^{o}C 'deki egzoz gazları kanatlı borulu atık ısı sıcak su kazanı kullanılarak sıcak su elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.31'de kullanılan atık ısı sıcak su kazanının çeşitli özellikleri ve yapılan hesaplamalar tablo halinde görülmektedir.

KANATLI BORULU ATIK ISI SICAK SU KAZANI

Isınan akışkan debisi	80.200	kg/h
Toplam Duman Miktarı	11.808	Nm³/h
Bacagazı Sıcaklığı $T_{m,i}$	480	°C
Ekodan Çıkış Sıcaklığı	140	°C
Dumangazı Ort Sıc.	310	°C
Dumangazı Isınma Isısı	0,348	kcal/Nm³°C
Toplam Isıl Kazanç (%95 verim)	**1.325.839**	**kcal/h**
Isınan Giriş Sıcaklığı	81,0	°C
Isınan Çıkış Sıcaklığı	97,5	°C
Isınan Ort. Sıcaklığı	89,3	°C

KANAT KONSTRÜKSİYONU



Boru Dış Çapı d	33,7	mm
Boru Et Kalınlığı t_b	3,2	mm
Boru İç Çapı d_i	27	mm
Kanat Yüksekliği ; L	16	mm
Kanat Hatvesi ; z	6	mm
Bir Kanadın Alanı ; A_f	0,005	m²
Boru Alanı ; A_O	0,106	m²
Birim Boydaki Top. Is. Yüz. ; A	0,94	m²/m
Kanat Kalınlığı;	1,2	mm
Yatay Eks. Arası Boşluk ; S_T	76	mm
Return bend eksen mesafesi	76	mm
Dikey Eks. Arası Boşluk ; S_L	66	mm
Kanal Genişliği ; L_k	1.000	mm
Dik Yönde boru sayısı $N_{b,d}$	18	adet
Kanal Uzunluğu; H_k	1.432	mm
Akış Yönünde boru sayısı $N_{b,a}$	5	adet
Toplam Kanatlı Boru Isıtma Yüzeyi	**152,1**	**m²**

Şekil 4.31 Atık ısı kazanı hesap değerleri [55].

Depogazı santralinin sıcak egzoz gazlarından kazanılan ısı enerjisi formül 4.1' den hesaplanabilir

$$Q_{egzoz} = m_{egzoz} .C_{P(egzoz\ gazları)}.(T_{egzoz\ giriş} - T_{egzoz\ çıkış}). \zeta_{(atık\ ısı\ kazan\ verimi)} \quad (4.1)$$

Q_{egzoz} = 5904.1,38.(480-140).0,90

Q_{egzoz} = 692,5 kW

Depogazı santralinde ortalama 20 adet gaz motorunun egzoz gazındn faydalanılması öngörülmüştür. Kullanılan gaz motorları yıllık 8000 saat çalışma zamanı vardır.

4.2.9 Motor Soğutma Suyu Isı Geri Kazanım Hesabı ve Eşanjör

Odayeri depogazı elektrik üretim santralinde kullanılan 1.4 MW kapasitedeki gaz motorunu soğutmak için su kullanılmıştır. Gaz motoru soğutma suyu 70 ^oC sıcaklık ve 37,3 m^3/h lik debide gaz motoruna girmekte 90 ^oC ısınmış olarak çıkmaktadır. Bu sıcaklık ve debideki sıcak sudan faydalanılması hedeflenmektedir[70].

Gaz motoru soğutma suyundan kazanılan ısı enerjisi formül 4.2' den hesaplanabilir.

$Q_{\text{motor soğutma suyu}} = m_{\text{soğutma suyu debisi}}.C_{P(su)}.(T_{\text{motordan çıkan su}} - T_{\text{motora giren su}}). \zeta_{\text{(eşanjör verimi)}}$ (4.2)

$Q_{\text{motor soğutma suyu}} = 37,3.(90.4,208-70.4,191).0,85$

$Q_{\text{motor soğutma suyu}} = 884,32$ kW

Çizelge 4.10 Suyun termal özellikleri [53].

SUYUN TERMAL ÖZELLİKLERİ				
Sıcaklık T (^oC)	Dinamik Viskozite μ $(N\ s/m^2) \times 10^{-3}$	Yoğunluk ρ (kg/m^3)	Özgül Hacim v (m^3/kg)	Özgül Isı c_p $(kJ/kg.^oC)$
0	1,787	1000,00	0,001000	4,210
5	1,519	1000,00	0,001000	4,204
10	1,307	1000,00	0,001000	4,193
20	1,002	998,00	0,001002	4,183
30	0,798	996,02	0,001004	4,179
40	0,653	992,06	0,001008	4,179
50	0,547	988,14	0,001012	4,182
60	0,467	983,28	0,001017	4,185
70	0,404	977,52	0,001023	4,191
80	0,355	971,82	0,001029	4,198
90	0,315	965,25	0,001036	4,208
100	0,282	957,85	0,001044	4,219

Bu sıcaklıktaki suyun ısı enerjisini almak için plakalı ısı değiştiricisi (eşanjör) kullanılmıştır. Plakalı ısı değiştiriciler adından da anlaşılacağı üzere üzerinde sıvı akışını düzenleyecek şekilde dizayn edilmiş yüzeyleri bulunan yüksek ısı transfer kabiliyetli metal plakaların arka arkaya sıralanarak bir gövde haline getirilmesinden meydana gelmektedir. Bunlardaki çalışma mantığı birincil (primer) ve ikincil (sekonder) devredir. Yani arka arkaya 29 dizili plakaların aralarına birer plaka ara ile primer devre ısıtıcı akışkanı ve sekonder devre ısıtılacak akışkan girmektedir. Böylece her iki akışkan da birbirleri ile karışmadan aradaki yüksek ısı transferi kabiliyeti bulunan plakalar vasıtası ile ısı alış-verişi yaparlar.

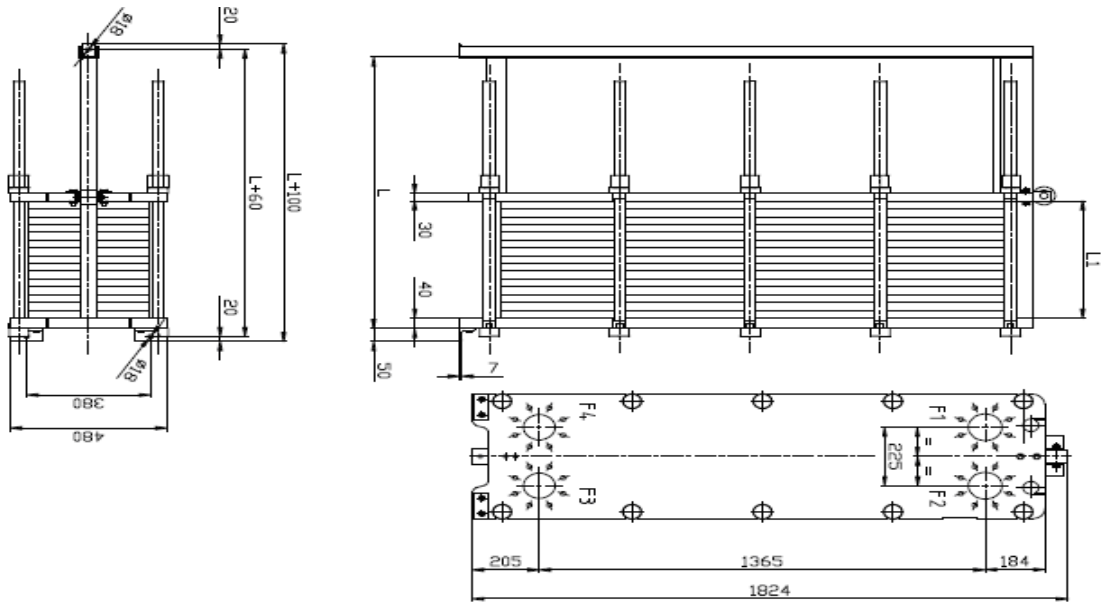
Isı istasyonlarındaki eşanjörler özel izolasyon kılıfları ile ısı kaybına karşı izole edilmelidirler.

Primer ve sekonder devre akışkanlarındaki kirletici maddeler eşanjörlerin plakaları aralarında birikebilmektedirler. Çok dar olan plaka araları kolaylıkla dolarak eşanjör verimini düşürür. Dolayısı ile kullanılan su kalitesi bu noktada da önem arz etmektedir. Eşanjör dizaynında akış dirençleri 20-50 kPa düzeyinde olmalıdır [10].

Çizelge 4.11'de ısı değiştiricisinin ısı kapasitesi maksimum çalışma sıcaklığı, plaka sayısı ve diğer özellikler görülmektedir. Şekil 4.32'de ısı değiştiricisi boyutları hakkında değerler belirtilmiştir [55].

Çizelge 4.11 Plakalı eşanjör dizayn değerleri [55]

ARES PHE - Design & Datalist			
		V0989ASI	
		Item: 1224	
001			
PHE-Type A6M-IS10-345-TLA-LIQUID		Hot side	Cold side
Flowrate	(l/h)	**200500**	**200150**
Inlet temperature	(°C)	**95.00**	**61.00**
Outlet temperature	(°C)	**65.00**	**91.00**
Pressure drop	(mWG)	**4.57**	**4.56**
Heat exchanged	(Kcal/h)	**5858666**	
Thermodynamic properties:		Water	Water
Specific gravity	(kg/l)	0.97	0.97
Specific heat	(Kcal/kg*K)	1.00	1.00
Thermal conductivity	(Kcal/h*m*K)	0.57	0.57
Mean viscosity	(cP)	0.38	0.40
Wall viscosity	(cP)	0.40	0.38
Fouling factors	(m²*h*K/Mcal)	0.00	0.00
Dimensioning factor	%	0.09	
Inlet branch		F1	F3
Outlet branch		F4	F2
Design of Frame / Plates:			
Plate arrangement (passes*channel)		1 x 172 + 0 x 0	
Plate arrangement (passes*channel)		1 x 172 + 0 x 0	
Number of plates		**345**	
Effective heat surface	(m²)	**233.24**	
Overall K-value Duty/Clean	(Kcal/m²*h*K)	6.279,65	6.285,48
Plate material		0.5 mm AISI 316	
Gasket material		EPDM HT / 150.00	
Max. working temperature	(°C)	**140.00**	
Working/test pressure	(Kg/cm²)	10.00	13.00
Liquid volume	(dm³)	722	
Frame length	(mm)	**2600** Max. No. of Plates	
Net weight	(kg)	**2160**	
Frame type		IS	
Connections HOT side : DN 150 Flange St.37 PN10			
Connections COLD side: DN 150 Flange St.37 PN10			



Şekil 4.32 Eşanjör ebatları [55].

4.2.10 Dikişli Boru ve Çap Hesabı

Atık ısıdan elde edilen sıcak suyun taşınması için dikişli çelik boru kullanılmıştır. Borunun taşıyacağı ısı yükü ve akışkan sıcaklığına göre aşağıdaki formülden boru çapı hesabı yapılır:

$$D = \sqrt[5]{\frac{8 \times f \times L \times V^2}{\Delta P \times g \times \pi^2}} \times 1000 \tag{4.3}$$

D= Boru Çapı [mm]

f= Sürtünme katsayısı

L= Boru boyu [m]

V= Akışkan debisi [m^3/s]

ΔP= Basınç kaybı [mSS]

g= Yerçekimi ivmesi [m/s^2]

Akışkan debisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V = \frac{Q}{\Delta T \times \rho \times Cp} \tag{4.4}$$

Q= Isı Yükü [kj/s]

ΔT= Gidiş ve dönüş sıcaklık farkı [ºK]

ρ= Yoğunluk [kg/m³]

Cp= Özgül ısı [kj/kgK]

Burada;

ρ= 957 kg/m³

Cp= 4,184 kj/kgK olarak alınır.

Ayrıca boru çapı ve debi hesapları yapıldıktan sonra o borudaki hız kontrolü yapılır. Borudaki hız aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v = \frac{V}{A} \tag{4.5}$$

v= Suyun hızı [m/s]

A= Boru kesit alanı [m²]

Boru kesit alanı da aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \tag{4.6}$$

π= 3,14

En uygun boru çapı, ana dağıtım şebekelerinde 0,3 ile 1,5m/s uzun mesafeli şebekelerde ise 3 m/s'ye kadar ve üstündeki hızlarda elde edilir [62].

4.2.11 Boru Basınç Kayıp Hesabı

Pompalı sıcak su devrelerinde suyun dolaşımı sırasında meydana gelen basınç düşümleri sürtünme kayıpları ve yerel kayıplardan oluşur. Bu sistemlerde yükseklik ve sıcaklık farkından kaynaklanan ısıl güçler dolaşıma yardımcı olduğu için ihmal edilir. Buna göre devre ve devre parçası boyunca basınç düşümü,

$$\Delta P = \Sigma RL + \Sigma Z \tag{4.7}$$

olarak ifade edilebilir. Burada birinci terim sürtünme kayıplarını, ikinci terim yerel kayıpları ifade etmektedir. Bu ifadede,

R = özgül sürtünme kayıp katsayısı (Pa/m)

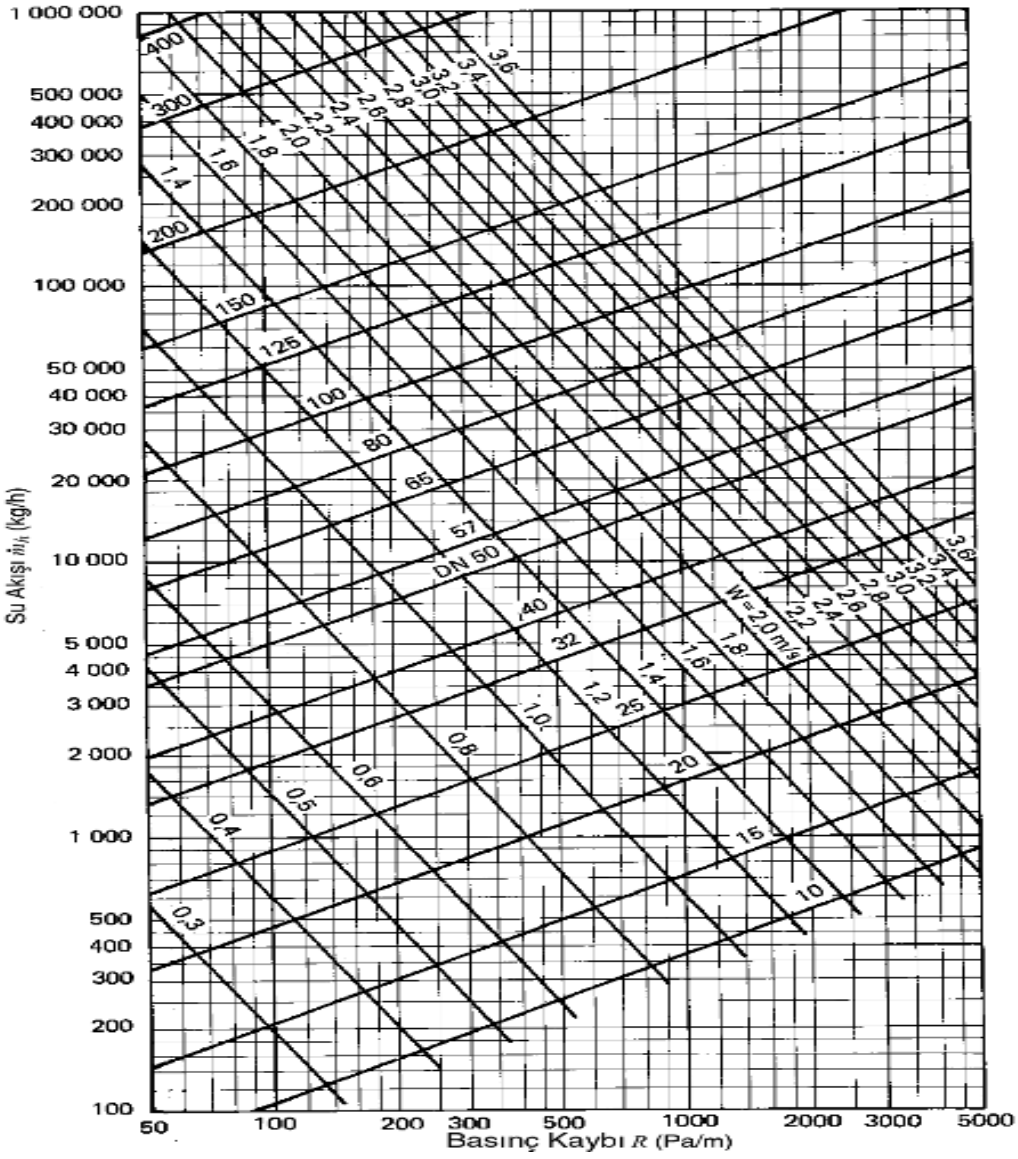
L = Boru boyu (m)

Z = Her bir elemandaki yerel kayıptır. (Pa)

Küçük tesisatlarda ortalama basınç kaybı 50…100Pa/m iken büyük tesislerde bu değer 100-200 Pa/m olur; özel durumlarda bu değer daha yüksek olabilir [62].

Çelik borular için çizelge.4.12'de kütlesel debiye göre basınç düşümü diyagramları görülmektedir. Her bir boru parçası için R değeri belirlenerek boru boyu L ile çarpılırsa, söz konusu borudaki sürtünme kaybı bulunur [10].

Çizelge 4.12 Çelik borular için boru sürtünmesi grafiği [79]



Herbir elemanda (vana, dirsek, kazan, eşanjör vs) akışta yaratılan rahatsızlık nedeniyle özel bir basınç düşümü meydana gelir. Bu yerel kayıp,

$$Z=\xi\times\rho\times V^{2}/2 \qquad (4.8)$$

İfadesi ile bulunabilir. Burada

ξ : Yerel kayıp sayısı

ρ : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

V : Suyun boru içindeki hızı (m/s)

Yerel kaybın bulunabilmesi için önce tesisat bölümü üzerindeki her bir elemana ait yerel kayıp katsayısı belirlenmelidir. Yerel kaybın bulunabilmesi için önce tesisat bölümü üzerindeki her bir elemana ait yerel kayıp katsayısı belirlenmelidir. Bunun için çizelge 4.13,'den yararlanılabilir. Kayıp katsayısı belli ise, yukarıdaki formülden yararlanarak yerel kayıp bulunabilir. Tesisattaki elemanların yarattığı basınç düşümü cihaz kataloglarında verilmiş ise bu değerler doğrudan yerel kayıp olarak kullanılmalıdır.

Çizelge 4.13 Su tesisatları için yerel kayıp tablosu [79]

90° dirsekler rd≥1	r/d	1	2	3	4	5	6							
	ζ	0,5	0,35	0,3	0,3	0,2	0,1							
90° dirsek ve rd<0,5	DN	10	15	20	25	32	≥ 40							
	ζ	2,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0							
ayrılma 45°		Branşman ζ_a							Anahat ζ_d					
	v_a/v	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0		v_d/v	0,5	1,0			
	ζ_a	7,0	4,0	1,5	0,8	0,6	0,5		ζ_d	0,5	0			
90° ayrılma	v_a/v	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0		v_d/v	0,5	1,0			
	ζ_a	12,0	7,0	3,5	2,5	2,0	1,0		ζ_d	0,5	0			
45° birleşme		Branşman ζ_a							Anahat ζ_d					
	$\dot{V}_a/\dot{V}$ / d_a/d	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5			V_d/V / d_a/d	0,6	0,8	1,0		
	0,3	0,3	0,8						< 1	0,3	0,3			
	0,4	−1	0,8	1,0	0,8									
	0,5	−3	0,3	0,8	0,8									
	0,7		−0,5	0,5	1,0	1,0			1	0,5	0,3	0		
	1,0			−1,0	1,3	1,5								
90° birleşme		Branşman ζ_a							Anahat ζ_d					
	v_a/v	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0			v_d/v	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	ζ_a	−1	0,5	1	1,3	1,5			ζ_d	1,5	1,3	1,1	0,8	0,5	0
90°/90° ayrılma	v_a/v	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0							
	ζ_a	6,5	3,0	1,8	1,3	1,0	0,8	0,5							
90°/90° birleşme	d_a/d / $\dot{V}_a/\dot{V}$	Anahat ζ_a 0,3	0,5	0,7										
	0,5	5,0	1,3	1,0										
	0,7	6,5	2,0	1,3										
	0,8	9,0	3,0	1,8										
	1,0	15,0	5,0	3,0										

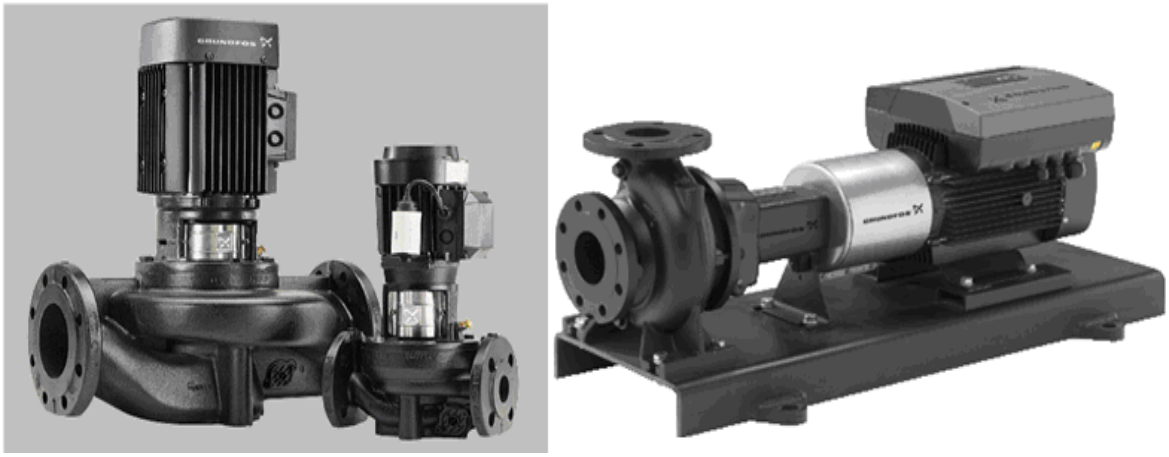
Boru çapı DN'e bağlı ζ yerel kayıp	10 15	20 25	32 40	50 > 50
Vanalar, Düz geçişli	1,0	0,5	0,3	0,3
Redüksiyon geçişli	0,4	0,3	0,2	0,2
Vanalar, Düz	10,0	7,0	5,0	4,0
Eğik	3,5	3,0	2,5	2,0
Köşe radyatör vanası	4,0	2,0	2,0	1,5
Radyatör vanası				
Düz	8,5	6,0	5,0	4,0
Köşeli	4,0	2,0	2,0	—
Çekvalf	5,0	4,0	4,0	3,5
Klape	2,0	1,5	1,2	1,0

Yerel kayıp		ζ
Düz köşe		0,2
Musluklar		2,0
Geçiş parçası		0,5
Deve boynu		1,5
Kazan	min.	2,0
	max.	3,0
Radyatör		2,5
Kollektör çıkışı		0,5
Kollektör girişi		1,0

1)Üretici verilerine göre

4.2.12 Pompa Türü ve Seçimi

Odayeri Depogazı Santral Atık ısı değerlendirme projesinde iki tür pompa kullanılması düşünülmüştür. Soğutma suyu ısı hatlarında sırkülasyon pompaları sıcak su iletim hatlarında ise kademeli santrifuj pompa kullanılacaktır.



Şekil 4.33 Kuru rotorlu sirkulasyon ve tek kademeli santrifuj pompası [56].

Pompa gücü [N] ise aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$N = \frac{\gamma \times Q_p \times H}{\eta_p} \text{ [W] (4.9)}$$

Burada,

Q_p: Debi [m^3/s]

H: Basma yüksekliği [m]

η_p: Pompa verimi

γ: Özgül ağırlık [N/m^3]

4.2.13 Ön İzolasyonlu Boru Seçimi ve Hesabı

St37-2 çelik borularda meydana gelen ısı kayıpları hesabı aşağıda yapılmıştır. Yapılan boru çapı hesaplamalarından DN400 (16'') çıkmıştır. İzolasyon malzemesi için Poliüretan ve polietilen kullanılmıştır.

t_f: 95ºC Akışkan sıcaklığı

t_g :10ºC Toprak sıcaklığı

λ_s :76W/mºC Servis borusunun ısıl iletkenlik katsayısı

λ_{pur}:0,03W/mºC İzolasyon mal. ısıl iletkenlik katsayısı

λ_{pe}:0,4W/mºC Kılıf mal. ısıl iletkenlik katsayısı

λ_g:2W/mºC Toprağın ısıl iletkenlik katsayısı

Zc:1000mm Boru üzerindeki dolgu yüksekliği

L:5000 m Toplam boru uzunluğu

m: 0,22278 m^3/s Suyun Debisi

ρ: 965,25 kg/m^3 Suyun yoğunluğu

C_p: 4,208 kj/kgºC Suyun özgül ısısı

D_1:396mm Boru iç çapı

D_2:406mm Boru dış çapı

D_3:548 mm İzolasyon dış çapı

D_4:560 mm Kılıf dış çapı

$$Q = U \times (t_f - t_g) = 0{,}62 \times (97{,}5 - 10) = 54{,}25 W/m$$

$$Q = m \times \rho \times C_p \times 1000\,(t_1 - t_2)/L$$

$$t_2 = t_1 - Q \times L/m \times \rho \times C_p \times 1000$$

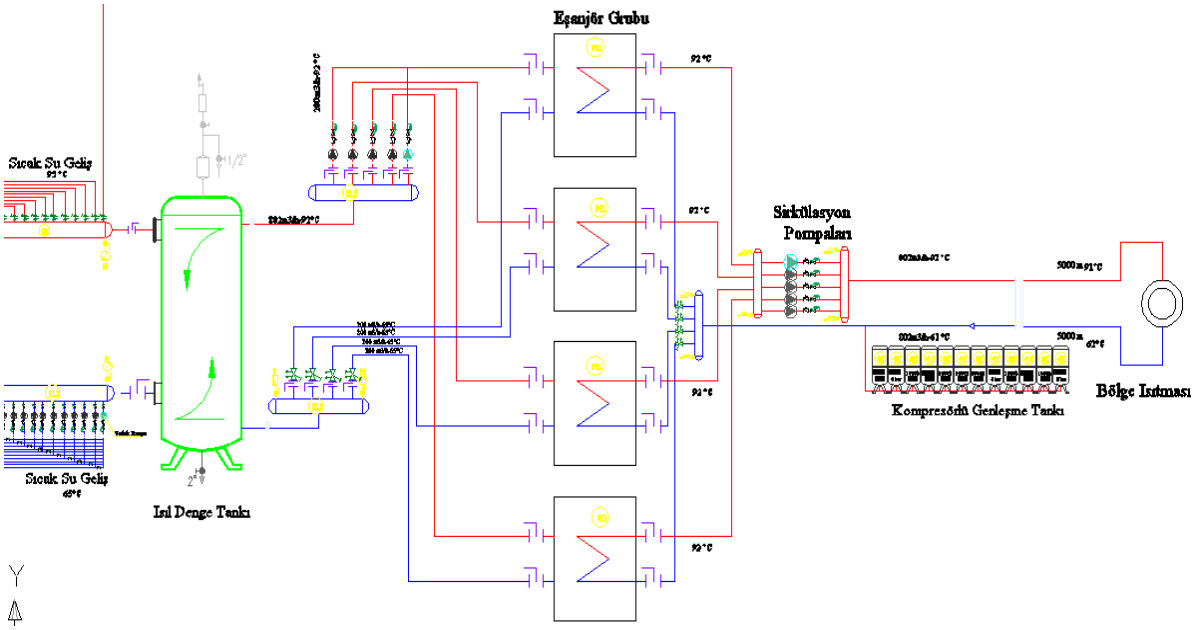
$$t_2 = 95 - 54{,}25 \times 5000/0{,}223 \times 965{,}25 \times 4{,}208 \times 1000$$

$$t_1 - t_2 = 0{,}299$$

0.299 ºC sıcaklık düşümü vardır.

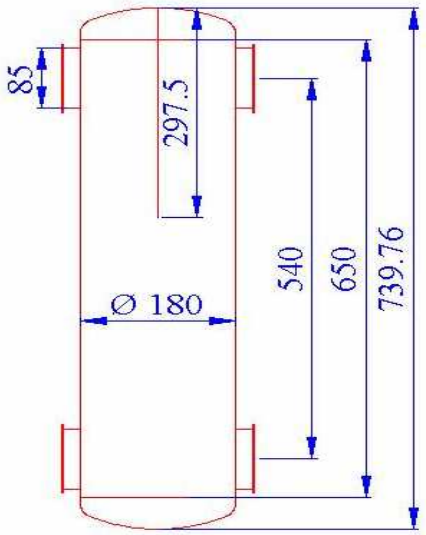
t_2 =94,7 ºC gidiş hattı sonundaki sıcaklık değeridir [57].

4.2.14 Denge Tankı



Şekil 4.34' Bölge ısıtma sistemi esanjör, denge tankı ve pompalar

Atık ısıdan üretilen sıcak su ana eşanjörlere girmeden önce denge tankında toplanması ısı kayıplarını azaltacaktır. Aynı şekilde sıcak su kazana veya kaynağına geri dönerken ısı kaybına uğrar. Bu ısı farkının ortaya çıkması kazanda ısıl geerilmlere neden olur ve kazanın ömrünü azaltır. Denge kabının ana görevi tesisattan gelen soğumuş akışkanın kazandan veya atık ısı kazanından gelen sıcak suyla karışarak ısıl dengeyi sağlamaktır. Böylece ısıl dengeler minumuma indirgenmiş olur. Üzerine bağlanan sensörle de sıcaklık kontrol edilebilir



Şekil 4.35 Denge tankı

4.3 Maliyet Modeli

Bir bölgesel ısıtma sistemi kurduğumuzda ve boru hatlarını toprağın altına gömdüğümüzde oldukça önemli bir maliyet ile karşı karşıyayız. Bu tür bir yatırımın planlaması da uzun süreli bir çalışmayı gerektirmektedir. Böyle bir sistemin en az 40 yıl hayatta kalması gerekmektedir. Aynı zamanda gelecekteki gelişmeleri de dikkate almak durumundayız. Dolayısı ile böyle bir yatırıma girişmeden önce ne mertebede maliyetler ile karşılaşacağımızı bilmeli ve bu yatırımın düşünülen bölge için uygun olup olmadığının değerlendirmesini yapabilmeliyiz. Bu tür işletmelerde yatırım maliyeti kadar işletme maliyeti de önemlidir. Dolayısı ile yatırımı yaptıktan ve sistemi işletmeye aldıktan sonra ne mertebede maliyetler ile karşılaşacağımızı bilmeliyiz.

Bölgesel ısıtma sistemlerinde en önemli bileşenler üretim tesisleri, ısı iletim ve dağıtım hatları ve tüketim noktalarıdır. Bu çalışmamızda ısı kaynağının hâlihazırda var olduğu durumlarda bu kaynaktan yakın çevredeki yerleşimlerin faydalanabilmesi için gerekli yatırım ve işletme-bakım maliyetlerini inceleyeceğiz.

4.3.1 Maliyet Kalemleri

Depogazı santrali atık ısıdan elde edilen kcal başına elde edilen ısı maliyetini veren ekonomik model oluşturularak bu bölümde verilmiştir. Şekil 4.16'da sistemi verilen Odayeri depogazı santral kaynaklı bölge ısıtma maliyeti yatırım ve işletme -bakım masrafları olarak iki bölümde incelenebilir. Bir bölgesel ısıtma şebekesi dizayn ettiğimizde ilk kurulum esnasındaki ana masrafları en alt düzeyde tutacak şekilde bir seçim yaparız yada sistemin tüm ömrü boyunca toplam maliyetini en düşük seviyede tutacak şekilde bir optimizasyon yaparız. Masraflar başlıkları:

- Yatırım masrafları
    - Temel şebeke masrafları, CCŞ
    - Temel pompa masrafları, CCP
- İşletme masrafları
    - Isı kaybı masrafları, CIK
    - Pompalama masrafları, CP
    - Bakım masrafları, CB
    - Yakıt Masrafı, CY

- Üretim masrafları, CÜRT

Burada ısı kaybı, pompa, pompalama ve bakım masrafları boru çapı ve uzunluğunun fonksiyonlarıdır. Üretim masrafı ve boru çapı ise toplam ısı yükü ve su sıcaklığının bir fonksiyonudur.

Çeşitli varyasyonların toplam ömür maliyetlerini birbirleri ile karşılaştırıp en uygun olanı seçebilmek için "Net Şimdiki Değer Metodu" (NŞD) kullanır. Bu yöntemde yıllık masraflar, şebekenin kurulduğu yıldaki değerine getirilir. Bunu yapabilmek içinde sistemin ömrüne karar verilmelidir. Bu tür sistemlerde genellikle 20 – 35 yıl ömür seçilir [58].

Net şimdiki değer aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$NŞD = CCŞ + CCP + \sum_{n=1}^{t} \frac{CIK}{(1+i)^t} (1+e_i)^t + \sum_{n=1}^{t} \frac{CB}{(1+i)^t} (1+e_b)^t + \sum_{n=1}^{t} \frac{CP}{(1+i)^t} (1+e_p)^t + \sum_{n=1}^{t} \frac{C\ddot{U}RT}{(1+i)^t} (1+e_{\ddot{u}})^t \qquad (4.10)$$

t= ömür,

i = iskonto oranı,

e= eskalasyon oranı

Bir maliyetin herhangi bir yıldaki değerini bulmak için gelecek değer faktörü ile çarparız;

$$S_n = C \times (1+e)^n \qquad (4.11)$$

formülünü kullanırız. Burada;

Sn= n yıl sonraki gelecek değeri

C= Bugünkü değeri

e= Enflasyon yada eskalasyon oranını ifade etmektedir.

N yılındaki bir maliyetin bu günkü değerini bulmak için;

$$C = S_n \times (1+i)^{-n} \qquad (4.12)$$

formulünü kullanırız. Burada;

i= İskonto oranı

Amortisman Faktörü;

$$a = \frac{i + (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad (4.13)$$

Geometrik olarak artan bir serinin şimdiki değerini bulabilmek için, geometrik seri şimdiki değer faktörü ile çarparız;

$$a_1 = \frac{1-(1+e)^n \times (1+i)^{-n}}{i-e} \quad (4.14)$$

Temel şebeke masrafları ve ısı kaybı masrafları boru çapı arttıkça artmaktadır. Buna karşılık temel pompa masrafları ve yıllık pompalama masrafları borulardaki direnç azalacağı için azalmaktadır. Amaç toplam net şimdiki değerin en düşük olduğu çapı bulmak olmalıdır.

İletim, dağıtım ve branşman hatlarının dizaynı için birçok yöntem kullanılabilmektedir.

İletim hatlarını dizayn ederken optimum dizaynı bulmak için NŞD şebekede kısım kısım minimize edilmelidir. Daha sonra boru çapı seçildiğinde gerekli basınç seviyelerini karşılayan pompa konfigurasyonu belirlenir [10].

4.3.2 Yatırım Masrafları

Yatırım masrafları şebekenin kurulumu sırasında yapılan temel şebeke masrafları (CCŞ) ve temel pompa (CCP) masraflarıdır. Temel şebeke masrafları depogazı santral atık ısının alınması için ısı değiştirici (eşanjör ve atık ısı kazan) maliyeti, elde edilen sıcak suyun ısıtılacak bölge arasındaki iletim hattı boru (çelik ve ön izolasyon boru) maliyeti, kanal kazı ve kapama maliyeti, iletim hattı pompaları masrafları, kamulaştırma maliyeti ve diğer maliyetler olarak tanımlanabilir.

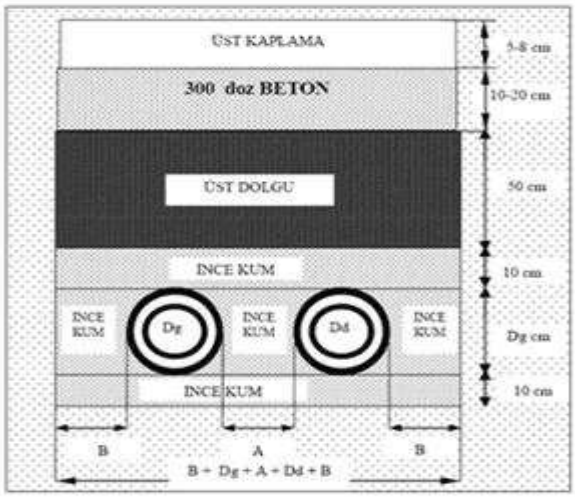
- Boru ve ek parçalarının, aksesuarlarının satın alınması, Cboru
- Isı değiştirici (Atık ısı kazanı, eşanjör) satın alınması, Cısı değiştirici
- Kanal kazı, kapama ve çevre düzenlemesi işleri, Ckazı
- Pompa masrafları, Cpompa
- Hattın montaj işçiliği masrafları, Cmontaj
- Hattın geçeceği arazinin kamulaştırılması masrafları, Ckamu

$$CCŞ = Cboru + Cısıdgş + Ckazı + Cpompa + Cmontaj + Ckamu \quad (4.15)$$

Cboru

Boru maliyeti (C_{bt}) sistemde kullanılan mesnet ve fitings parçalarına bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$C_{boru} = c_b \times L_i \times (1 + f + s_m) + \frac{L_i}{L_s} \times c_{bir} \text{ [TL]} \quad (4.16)$$



Şekil 4.36 Ön izolasyonlu boruların yerleşimi

Cısı değiştirici

Depogazı santral atık ısı atık ısı kazanı ve motor soğutma suyu eşanjör maliyeti bunların özelliklerine ve tipine bağlı olarak yapılan masraf değişmektedir. Bu masraf ancak sistem özelliklerinin bilinmesi durumunda imalatçıdan alınan teklif ile belirlenebilmiştir. Bu masraf;

$$Cısıdğş = E_f \times E_a \quad \text{[TL]} \qquad (4.17)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Ckazı

Her çap için uygun kanal genişliği ve derinliği tespit edilir ve daha sonra kanal hacmi hesaplanır. Kazılıp yeniden doldurulacak kanal maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C\,kazı = A\,kanal \times L\,kanal \times F\,kazı \quad (4.18)$$

Akanal= Kanal kesit alanı [m²]

Lkanal= Kanal uzunluğu [m]

Fkazı= Birim kanal hacmi için kazı ve kapama maliyeti [TL/m³]

Kanal kesit alanı ise;

$$Akanal = H \times B \quad (4.19)$$

formulünden hesaplanır.

Burada;

H= Kanal derinliği [m]

B= Kanal genişliği [m] dir.

Cpompa

Bu tür sistemlerde kullanılan pompalar özel proje tipi cihazlar olduğu için bunlara ait belli bir liste fiyatı bulunmamaktadır. Pompa fiyatı yapılan piyasa araştırması neticesinde debi Q_p [m^3/h] ve basma yüksekliği H [m] cinsinden denklem 4.20'de ifade edilen formül yardımıyla TL biriminde hesaplanmıştır [81].

$$CC_P = 0,257 \times Q_p \times H_m + 835,5 \quad \text{[TL]} \qquad (4.20)$$

Cmontaj

Bu tür sistemlerde iki çeşit montaj fiyatı ile karşılaşmaktayız. Bunlardan birincisi her çapa göre değişen birim boru uzunluğu montaj fiyatıdır. Diğeri de her çapa göre değişen birim kaynak ile birleştirme ve ek yeri izolasyonu fiyatıdır. Her bir kaynak ve o kaynak noktasının izolasyonuna bir "conta" adı verilirse;

$$Cmontaj = \sum_{i=1}^{n} Ccontamiktarı_i Fmontaj_i \quad (4.21)$$

Fmontaj= Montaj birim fiyatı [TL]

$$Ccontamiktarı = \frac{Lboru}{Lboy} \quad (4.22)$$

Lboru= Boru hattı uzunluğu [m]

Lboy = Bir boy boru uzunluğu [m]

Ckamu

Kamulaştırma maliyeti, boru hattının geçeceği arazinin kamulaştırılması ile ilgili maliyetlerdir. Bunlar tapuya işleme, istimlâk vb. tutarlardan oluşmaktadır. Bölge ve ülkelere göre değişkenlik gösterebilir. Araştırmalarda bununla ilgili genel bir bilgi verici maliyet bulma yöntemine rastlanamamıştır [10].

Çizelge 4.14 Yatırım maliyet tablosu [77]

Sıra No	Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutar
1	109.105	SOĞUK VE SICAK SU KOLLEKTÖR	MT	22	55,00	1.210
2	164.400	MANOMETRE. 10 Atm. ø 100 mm.	AD	20	28,00	560
3	164.800	MANOMETRE. 10 Atm. ø 150 mm.	AD	20	38,90	778
4	174.517	1000LT.ÇELİKTEN ATM.KAPALI	AD	20	2.454,25	49.085
5	201.112	DİKİŞLİ VİDALI ÇELİK BORU 4" (Bina İçi	MT	500	19,45	9.725
6	201.113	DİKİŞLİ VİDALI ÇELİK BORU 5" (Bina İçi	MT	100	26,50	2.650
7	201.114	DİKİŞLİ VİDALI ÇELİK BORU 6" (Bina İçi	MT	500	31,10	15.550

Sıra No	Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutar
8	207.109	ø 100 MM ŞİBER VANA	AD	100	295,60	29.560
9	207.406	SÜRGÜLÜ VANA (pik döküm) PN 4-6 ø	AD	30	222,90	6.687
10	207.412	SÜRGÜLÜ VANA (pik döküm) PN 4-6 ø	AD	15	1.453,50	21.802,5
11	210.105	ÜÇ KOLLU EMNiYET VANASI ø 100	AD	5	251,45	1.257,25
12	210.106	ÜÇ KOLLU EMNiYET VANASI ø 125	AD	4	283,75	1.135
13	210.107	ÜÇ KOLLU EMNiYET VANASI ø 150	AD	4	329,90	1.319,6
14	211.120	PN 16 STATİK BALANS VANASI FLANŞLI	AD	20	1.217,15	24.343
15	211.120	PN 16 STATİK BALANS VANASI FLANŞLI	AD	20	2.460,80	49.216
16	216.317	KURU RÖTORLU	AD	20	766,00	15.320
17	216.319	KURU RÖTORLU	AD	10	799,45	7.994,5
18	216.321	KURU RÖTORLU	AD	11	866,25	9.528,75
19	217.190	SANTRİFÜJ POMPA 1500 D/dk.151-	AD	5	3.111,65	15.558,25
20	217.195	SANTRİFÜJ POMPA 1500 D/dk.151-	AD	5	13.385,90	66.929,5
21	219.305	BORULU TİP GENLEŞME PARÇASI 100	AD	50	353,45	17.672,5
22	219.306	BORULU TİP GENLEŞME PARÇASI 100	AD	10	455,20	4.552
23	219.307	BORULU TİP GENLEŞME PARÇASI 100	AD	20	555,85	11.117
24	219.413	KOMPANSATÖR (Açısal) ø 400 mm.	AD	50	1.740,40	87.020
25	221.209	PİSLİK TUTUCU,PN 16,(Buhar+Su	AD	20	229,45	4.589
26	221.210	PİSLİK TUTUCU,PN 16,(Buhar+Su	AD	10	365,45	3.654,5
27	221.211	PİSLİK TUTUCU,PN 16,(Buhar+Su	AD	20	438,75	8.775
28	227.303	GERİ TEPME VENTİLİ, Flanşlı Döküm	AD	20	109,05	2.181
29	227.304	GERİ TEPME VENTİLİ, Flanşlı Döküm	AD	10	159,75	1.597,5
30	227.305	GERİ TEPME VENTİLİ, Flanşlı Döküm	AD	20	221,45	4.429
31	230.633	60 mm.CAMYÜNÜ ÜZ.BEZ	MT	500	22,60	11.300
32	230.643	50 mm.CAMYÜNÜ ÜZ.BEZ	MT	100	21,35	2.135
33	230.649	50 mm.CAMYÜNÜ ÜZ.BEZ	MT	500	22,95	11.475
34	231.103	SÜLYEN BOYAYLA BORU BOYANMASI	MT	1100	0,65	715
35	232.100	DEMİR DÖKÜM İMALAT İŞLERİ	KG	2000	1,70	3.400
36	ÖZEL.01	MOTOR SOĞUTMA SUYU EŞANJÖRÜ	AD	11	6.000,00	66.000
37	ÖZEL.02	DÖNÜŞ SUYU EŞANJÖRÜ	AD	4	30.000,00	120.000
38	ÖZEL.03	BORU 16'' /560 PE ÖN İZOLASYONLU	MT	10000	400,00	4.000.000
39	ÖZEL.06	KOMPRESÖRLÜ GENLEŞME TANKI	AD	12	30.000,00	360.000
40	ÖZEL.07	KOMPRESÖRÜN KUMANDA ÜNİTESİ	AD	6	20.000,00	120.000
41	ÖZEL.08	ATIK ISI KAZANI	AD	11	80000	880.000
42	ÖZEL.09	DENGE TANKI	AD	1	40.000,00	40.000
					TOPLAM	5.925.943,5 TL

Yatırım maliyet tablosu oluşturulurken Bayındırlık Bakanlığının yayınlamış olduğu 2011 tesisat birim fiyatları kullanılmıştır.

Çizelge 4.15 Yatırım maliyetinin yıllık eşit geri ödeme planı

Yıllar	Yatırım Masrafı (TL)	Eskale Edilmiş Harcama (TL)	Eskale Edilmiş +Faiz(TL)	Toplam Yıllık Ödeme (TL)	Yıllar	Toplam Yıllık Ödeme (TL
2012	5.925.943,50					
2013		6.400.018,98	7.040.020,88	622.455,66	2030	622.455,66
2014				622.455,66	2031	622.455,66
2015				622.455,66	2032	622.455,66
2016				622.455,66	2033	622.455,66
2017				622.455,66	2034	622.455,66
2018				622.455,66	2035	622.455,66
2019				622.455,66	2036	622.455,66
2020				622.455,66	2037	622.455,66
2021				622.455,66	2038	622.455,66
2022				622.455,66	2039	622.455,66
2023				622.455,66	2040	622.455,66
2024				622.455,66	2041	622.455,66
2025				622.455,66	2042	622.455,66
2026				622.455,66	2043	622.455,66
2027				622.455,66	2044	622.455,66
2028				622.455,66	2045	622.455,66
2029	Pompa Değişimi	426.726,78	469.399,46	622.455,66	İ: Banka Faiz Oranı%10	r: İskonto Oranı %8
			e:Eskalasyon Oranı %8			

Ayrıca sistem ömrü 33 yıl olarak kabul edilmiş ve 17. yılda sirkülasyon ve santrifuj pompalarının yenileneceği düşünülerek Formül 4.2 kullanılarak o yıldaki pompa yatırım maliyeti hesaplanmıştır. Hesaplanan pomps ystırım msliyeti yatırım maliyet tablosuna eklenmiştir.

4.3.3 İşletme ve Bakım Masrafları

Bölge ısıtma sistemleri işletme masrafları aşağıda sıralanmıştır:

- Isı kaybı masrafları, CIK
- Pompalama masrafları, CP
- Bakım masrafları, CB
- Üretim masrafları, CÜRT

Burada ısı kaybı, pompalama ve bakım masrafları boru çapı ve uzunluğuna bağlıdır. Üretim masrafı ise sistemin ısı yükü ve ısı kaybına bağlı olarak değişir.

4.3.4 Isı Kaybı Masrafları

$$CIK = \sum_{i=1}^{n} Qkayıp_i Fa_i \times h \tag{4.23}$$

Burada;

Qkayıp = Borudaki toplam ısı kaybı [W]

Fa = Isı enerjisi birim fiyatı [TL/Wh]

h = İşletme süresi [h]

$$Qkayıp = \sum_{i=1}^{n} L_i Qboru_i \tag{4.24}$$

Qboru = 1 metre boru için ısı kaybı [W/m]

$$Qboru = 2\times(U_1 - U_2)\times\left(\frac{t_f + t_r}{2} - t_s\right) \tag{4.25}$$

$$U_1 = \frac{R_s + R_i}{(R_s + R_i)^2 - R_h^2} \tag{4.26}$$

$$U_2 = \frac{R_h}{(R_s + R_i)^2 - R_h^2} \tag{4.27}$$

U = Isı kayıp katsayısı [Watt / mK]

Rs = Toprağın izolasyon direnci [mºC / Watt]

Ri = Pur izolasyon direnci [mºC / Watt]

Rh = İki boru arasındaki boşluğun direnci [mºC / Watt]

$$R_s = \frac{1}{2\times\pi\times\lambda_s}\times\ln\frac{4\times Z_c}{D_c} \tag{4.28}$$

$$R_i = \frac{1}{2\times\pi\times\lambda_i}\times\ln\frac{D_{pur}}{d_0} \tag{4.29}$$

$$R_h = \frac{1}{4\times\pi\times\lambda_s}\times\ln\left(1+\left(\frac{2\times Z_c}{C}\right)^2\right) \tag{4.30}$$

λs = Toprak ısı iletim katsayısı [Watt / mK]

λi = Pur ısı iletim katsayısı [Watt / mK]

Dpur = Pur izolsyon çapı [m]

Dc = Dış kılıf boru çapı [m]

do = Boru dış çapı [m]

C = Borular eksenler arası mesafesi [m]

Zc = Düzeltilmiş toprak derinliği [m]

$$Z_c = Z + \left(0,0685 \times \lambda_s\right) \qquad (4.31)$$

Z = Toprak yüzeyi ile boru merkezi arası yükseklik [m]

Borudaki birim ısı kaybı;

tf = Gidiş suyu sıcaklığı [ºC]

tr = Dönüş suyu sıcaklığı [ºC]

ts = Z derinlikteki sıcaklığı [ºC]

Çizelge 4.16 Ön izolsyonlu borularada çesitli çaplardaki ısı kayıpları

Servis Borusu (Siyah Çelik) Özellikleri				Kılıf Boru (HDPE) Özellikleri		Sevis Borusundaki Su Sıcaklığı			
Çelik Boru Anma Çapı		Dış Çap	Et Kalınlığı	Dış Çap	Et Kalınlığı	60°C	70°C	80°C	90°C
DN	inch	mm	mm	mm	mm	W/m	W/m	W/m	W/m
100	4"	114,3	3,6	200	3,2	17,2	20,3	23,4	26,5
125	5"	139,7	3,6	225	3,5	20,1	23,8	27,5	31,1
150	6"	168,3	4,0	250	3,9	24,3	28,7	33,2	37,6
200	8"	219,1	4,5	315	4,9	26,7	31,6	36,5	41,3
250	10"	273	5,0	400	6,3	25,7	30,3	35,0	39,6
300	12"	323,9	5,6	450	7,0	30,0	35,4	40,9	46,3
350	14"	355,6	5,6	500	7,8	29,0	34,3	39,6	44,9
400	16"	406,4	6,3	560	8,8	31,1	36,8	42,4	48,1

Isı kaybı masrafları hesaplanırken tesis ön izolasyonlu boru çapı DN400 olarak hesaplanmıştır. Bu çapta gidiş sıcaklık 95 ^{o}C'de ısı kaybı 48W/m, dönüş sıcaklığı 65 ^{o}C'da ısı kaybı 31W/m alınmıştır.

Çizelge 4.17 Isı kaybı masrafları

Yıllar	Cısı (gidiş hattı TL)	Cısı (dönüş hattı TL)	Net Şimdiki Değer (TL)	Yıllar	Cısı (gidiş hattı TL)	Cısı (dönüş hattı TL)	Net Şimdiki Değer (TL)
2012	Isı Üretim Santrali İnşaat Yılı						
2013	6.480,00	4.185,00	10.665,00	2030	22.200,11	54.482,77	10.665,00
2014	6.998,40	4.519,80	10.665,00	2031	23.976,12	58.841,39	10.665,00
2015	7.558,27	4.881,38	10.665,00	2032	25.894,21	63.548,70	10.665,00
2016	8.162,93	5.271,89	10.665,00	2033	27.965,74	68.632,59	10.665,00
2018	8.815,97	21.635,86	10.665,00	2034	30.203,00	74.123,20	10.665,00
2019	9.521,25	23.366,72	10.665,00	2035	32.619,24	80.053,06	10.665,00
2020	10.282,95	25.236,06	10.665,00	2036	35.228,78	86.457,30	10.665,00
2021	11.105,58	27.254,95	10.665,00	2037	38.047,08	93.373,89	10.665,00
2022	11.994,03	29.435,34	10.665,00	2038	41.090,85	100.843,80	10.665,00
2023	12.953,55	31.790,17	10.665,00	2039	44.378,12	108.911,30	10.665,00
2024	13.989,83	34.333,38	10.665,00	2040	47.928,37	117.624,21	10.665,00
2025	15.109,02	37.080,05	10.665,00	2041	51.762,64	127.034,14	10.665,00
2026	16.317,74	40.046,46	10.665,00	2042	55.903,65	137.196,87	10.665,00
2027	17.623,16	43.250,18	10.665,00	2043	60.375,94	148.172,62	10.665,00
2028	19.033,01	46.710,19	10.665,00	2044	70.422,50	172.828,55	10.665,00
2029	20.555,66	50.447,01	10.665,00	2045	22.200,11	54.482,77	10.665,00

4.3.5 Pompa İşletme (Pompalama) Masrafları

$$CP = F_e \times E_{ep} \tag{4.32}$$

Burada;

Fe = Elektrik enerjisi birim fiyatı [TL/kWh]

Eep = Pompanın yıllık enerji gereksinimi [kWh/yıl]

$$E_{ep} = 8760 \times N_p \times L_{fp} \tag{4.33}$$

Np = Pompa Gücü [kWe]

Lfp = Pompa yük faktörü

$$N_p = \frac{ms \times \Delta p}{\rho \times \eta p \times 10^3} \tag{4.34}$$

ms = Kütlesel debi [kg/s]

Δp = Basınç farkı [N/m²]

ηp = Pompa verimi

$$ms = \frac{\pi \times D_i^2 \times v \times \rho}{4} \quad (4.35)$$

Di = Boru iç çapı [m]

$$\Delta p = \frac{f \times L \times v^2 \times \rho}{2 \times D_i} \quad (4.36)$$

$$v = \frac{4 \times Q_{\max}}{\pi \times D_i^2 \times \rho \times Cp \times \Delta T} \quad (4.37)$$

Birim elektrik fiyatı EPDK sayfasından 0,1655 TL/kWh dir [78].

Çizelge 4.18 Pompalama masrafları

Yıllar	Soğutma Hattı Pompası (20 Adet 1,5kW)	Eşanjör Pompası-1 (10 adet 4kW)	Eşanjör Pompası-2 (11 Adet 5,5kW)	Sirkulasyon pompası (5 Adet 7,5kW)	Santrifuj Pompalar (5 Adet 110kW)	Toplam Maliyet (TL)	Net Şimdiki Değer (TL)
2012	Isı Üretim Santrali İnşaat Yılı						
2013	35.229,65	46.972,87	71.046,47	44.037,07	645.876,99	843.163,05	843.163,05
2014	38.048,03	50.730,70	76.730,19	47.560,03	697.547,15	910.616,10	843.163,05
2015	41.091,87	54.789,16	82.868,60	51.364,84	753.350,92	983.465,38	843.163,05
2016	44.379,22	59.172,29	89.498,09	55.474,02	878.708,51	1.127.232,13	843.163,05
2018	47.929,56	63.906,07	96.657,94	59.911,94	949.005,20	1.217.410,71	843.163,05
2019	51.763,92	69.018,56	104.390,57	64.704,90	1.024.925,61	1.314.803,56	843.163,05
2020	55.905,03	74.540,04	112.741,82	69.881,29	1.106.919,66	1.419.987,85	843.163,05
2021	60.377,44	80.503,25	121.761,16	75.471,80	1.195.473,23	1.533.586,87	843.163,05
2022	65.207,63	86.943,51	131.502,06	81.509,54	1.291.111,09	1.656.273,82	843.163,05
2023	70.424,24	93.898,99	142.022,22	88.030,30	1.394.399,98	1.788.775,73	843.163,05
2024	76.058,18	101.410,91	153.384,00	95.072,73	1.505.951,98	1.931.877,79	843.163,05
2025	82.142,84	109.523,78	165.654,72	102.678,54	1.626.428,14	2.086.428,01	843.163,05
2026	88.714,26	118.285,68	178.907,09	110.892,83	1.756.542,39	2.253.342,25	843.163,05
2027	95.811,40	127.748,54	193.219,66	119.402,43	1.897.065,78	2.433.247,81	843.163,05
2028	103.476,32	137.968,42	208.677,24	129.345,39	2.048.831,04	2.628.298,40	843.163,05
2029	111.754,42	149.005,89	225.371,41	139.693,03	2.212.737,52	2.838.562,28	843.163,05
2030	120.694,77	160.926,37	243.401,13	150.868,47	2.389.756,52	3.065.647,26	843.163,05
2031	130.350,36	173.800,47	262.873,22	162.937,94	2.580.937,05	3.310.899,04	843.163,05
2032	140.778,38	187.704,51	283.903,08	175.972,98	2.787.412,01	3.575.770,96	843.163,05
2033	152.040,66	202.720,87	306.615,32	190.050,82	3.010.404,97	3.861.832,64	843.163,05

2034	164.203,91	218.938,54	331.144,55	205.254,88	3.251.237,37	4.170.779,25	843.163,05
2035	177.340,22	236.453,63	357.636,11	221.675,28	3.511.336,36	4.504.441,59	843.163,05
2036	191.527,44	255.369,92	386.247,00	239.409,30	3.792.243,27	4.864.796,92	843.163,05
2037	206.849,63	275.799,51	417.146,76	258.562,04	4.095.622,73	5.253.980,67	843.163,05
2038	223.397,60	297.863,47	450.518,50	279.247,00	4.423.272,55	5.674.299,12	843.163,05
2039	241.269,41	321.692,55	486.559,98	301.586,76	4.777.134,35	6.128.243,05	843.163,05
2040	260.570,96	347.427,95	525.484,78	325.713,71	5.159.305,10	6.618.502,50	843.163,05
2041	281.416,64	375.222,19	567.523,56	351.770,80	5.572.049,51	7.147.982,70	843.163,05
2042	303.929,97	405.239,96	612.925,45	379.912,47	6.017.813,47	7.719.821,31	843.163,05
2043	328.244,37	437.659,16	661.959,48	410.305,46	6.499.238,54	8.337.407,02	843.163,05
2045	316.470,26	510.485,65	772.109,54	478.580,29	6.266.111,05	8.343.756,79	843.163,05
2013	35.229,65	46.972,87	71.046,47	44.037,07	645.876,99	843.163,05	843.163,05

4.3.6 Bakım Masrafları

Bakım masraflarını herhangi bir formülasyona bağlayabilmek mümkün değildir. Ancak dünya genelinde işletilen sistemlerin incelenmesi sonucu belirli yaklaşımlar elde edilebilmiştir. Bunlardan en gerçekçi olanı, işletilen sistemin ısı yükü üzerinden MW başına 2 USD ($) yıllık bakım masrafı kabul edilebilmektedir. Daviz kuru 1,8 tl/$ alınmıştır [10].

Çizelge 4.19 Bakım masrafları

Yıllar	Isı Üretimi (MW/YIL)	Bakım Masrafı(	Toplam Bakım Masrafı (TL)	Net Şimdiki Değeri (TL)	Yıllar	Isı Üretimi (MW/YIL)	Bakım Masrafı(	Toplam Bakım	Net Şimdiki Değeri (TL)
2012	Isı Üretim Santrali İnşaat Yılı								
2013	224.987,73	3,89	874.752,31	874.752,31	2030	224.987,73	13,32	2.996.851,19	874.752,29
2014	224.987,73	4,2	944.732,49	874.752,29	2031	224.987,73	14,39	3.236.599,28	874.752,29
2015	224.987,73	4,53	1.020.311,08	874.752,29	2032	224.987,73	15,54	3.495.527,22	874.752,29
2016	224.987,73	4,9	1.101.935,96	874.752,29	2033	224.987,73	16,78	3.775.169,40	874.752,29
2018	224.987,73	5,29	1.190.090,84	874.752,29	2034	224.987,73	18,12	4.077.182,95	874.752,29
2019	224.987,73	5,71	1.285.298,11	874.752,29	2035	224.987,73	19,57	4.403.357,59	874.752,29
2020	224.987,73	6,17	1.388.121,95	874.752,29	2036	224.987,73	21,14	4.755.626,20	874.752,29
2021	224.987,73	6,66	1.499.171,71	874.752,29	2037	224.987,73	22,83	5.136.076,29	874.752,29
2022	224.987,73	7,2	1.619.105,45	874.752,29	2038	224.987,73	24,65	5.546.962,40	874.752,29
2023	224.987,73	7,77	1.748.633,88	874.752,29	2039	224.987,73	26,63	5.990.719,39	874.752,29
2024	224.987,73	8,39	1.888.524,59	874.752,29	2040	224.987,73	28,76	6.469.976,94	874.752,29
2025	224.987,73	9,07	2.039.606,56	874.752,29	2041	224.987,73	31,06	6.987.575,10	874.752,29

2026	224.987,73	9,79	2.202.775,09	874.752,29	2042	224.987,73	33,54	7.546.581,10	874.752,29
2027	224.987,73	10,57	2.378.997,09	874.752,29	2043	224.987,73	36,23	8.150.307,59	874.752,29
2028	224.987,73	11,42	2.569.316,86	874.752,29	2045	224.987,73	39,12	8.802.332,20	874.752,29
2029	224.987,73	12,33	2.774.862,21	874.752,29	2013	224.987,73	3,89	874.752,31	874.752,31

4.3.7 Üretim Masrafları

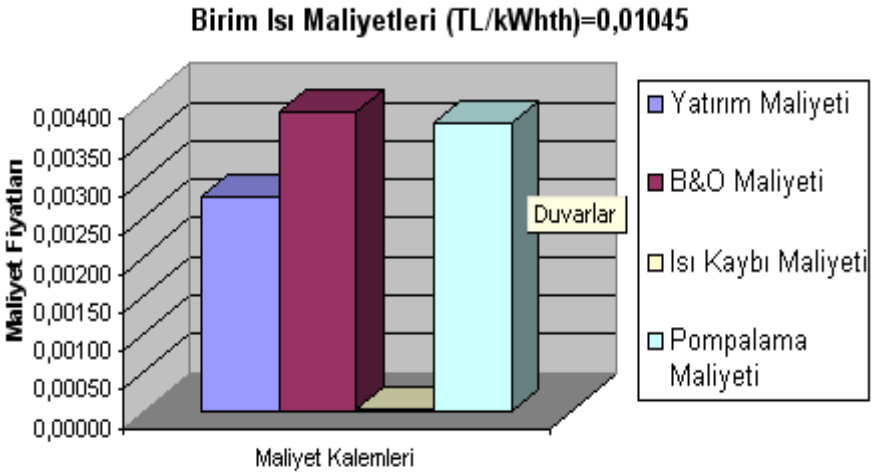
Üretim masrafları ısı kaynağının tipine göre değişebilmektedir. Jeotermal kaynaklı sistemlerde yakıt maliyeti olmamakta sadece ısı enerjisinin kaynaktan çıkarılabilmesi için gerekli işletme maliyetleri vardır. Sadece ısı enerjisi üretmek üzere kurulan ısı merkezlerinde kullanılan yakıtın maliyeti ve bu santralin işletme maliyeti üretim masraflarını oluşturmaktadır. Bileşik ısı güç sistemlerinde ise yakıt ve işletme maliyetinin yanı sıra elektrik üretim kaybından da ortaya çıkan maliyet dikkate alınmaktadır [10].

Çizelge 4.20 Birim ısı maliyeti

Birim Isı Maliyet Kalemleri	Fiyat (TL/kWhth)
Yatırım Maliyeti	0,00277
B&O Maliyeti	0,00389
Isı Kaybı Maliyeti	0,00005
Pompalama Maliyeti	0,00375
Toplam Birim Isı Maliyet Fiyatı	0,01045

Yapılan hesaplamalarda ısı üretimini en fazla etkileyen kalem bakım masrafları çıkmıştır. Yatırım ve pompa maliyetleri ise birbirine yakın çıkmıştır. Isı kaybı masrafları ise ihmal edilebilecek düeyde çıkmıştır. Bunun sebebi ise ön izolasyonlu boruların kullanılarak ısı kaybının çok çok az düzeyde olmasından kayanaklanmıştır. Çizelge 4.21'de birim ısı maliyetini etkileyen kalemler görülmektedir.

Çizelge 4.21 Birim ısi maliyetini etkileyen kalemler



Depogazı elektrik üretim santral atık sısndan elde edilen ısının birim maliyeti 0,01045 TL/kWh ısı çıkmıştır. Birim ısı maliyetini en fazla etkileyen kalem bakım onarım maliyetleri çıkmıştır.

BÖLÜM 5

ALTERNATİF SİSTEM KARŞILAŞTIRMASI

5.1 Doğalgaz Yakıtlı Merkezi Isıtma Sistemi

Bölüm 4'de depogazı elektrik santral atık ısısından faydalanarak elde ettiğimiz kapasiteye bağlı birim ısı maliyetini hesapları üzerine çalışma yapmıştır. Bu kısımda ise aynı kapasitedeki bir bölge ısıtmanın doğalgaz yakıtlı çelik kazan kullanılarak ele edilmesi üzerine hesaplamalar yapılacaktır. Daha sonra bu iki sistemi birbiri ile sonuçlar bölümünde mukayese edilecektir.

5.1.1 Maliyet Kalemleri

Maliyet modeli olarak bölüm 4.4' de kullanılan '"Net Şimdiki Değer Metodu" (NŞD) kullanılacaktır. Maliyet kalemleri, yatırım maliyeti, yakıt maliyeti ve B&O maliyetlerinden oluşmaktadır.

5.1.2 Yatırım Maliyeti

Yatırım maliyeti merkezi sistemi oluşturan ekipmanlardan oluşmaktadır. Merkezi sistem ana ekipmanlar olarak çelik kazan, brülör, denge kabı, genleşme tankı ve diğer ekipmanlardan oluşmaktadırlar. Çizelge 5.1'de yatırm maliyetini oluşturan ekipmanlar ve fiyatları görülmektedirler.

Çizelge 5.1 Çelik sıcak su kazanlı bölgesel ısıtma sisteminin yatırım maliyet tablosu

Poz No	Tanımı	Birimi	Miktar	Birim	Tutarı
109.105	SOĞUK VE SICAK SU KOLLEKTÖR BORUSU 6"	MT	50	55,00	2.750,00
164.400	MANOMETRE. 10 Atm. ø 100 mm.	AD	20	28,00	560,00
164.800	MANOMETRE. 10 Atm. ø 150 mm.	AD	20	38,90	778,00
174.517	1000LT.ÇELİKTEN ATM.KAPALI	AD	5	2.454,25	12.271,25
201.112	DİKİŞLİ VİDALI ÇELİK BORU 4" (Bina İçi Vidalı)	MT	1400	19,45	27.230,00
201.113	DİKİŞLİ VİDALI ÇELİK BORU 5" (Bina İçi Vidalı)	MT	1250	26,50	33.125,00
201.114	DİKİŞLİ VİDALI ÇELİK BORU 6" (Bina İçi Vidalı)	MT	1000	31,10	31.100,00
207.109	ø 100 MM ŞİBER VANA (pirinç,vidalı,boşaltmasız) 4"	AD	100	295,60	29.560,00
207.406	SÜRGÜLÜ VANA (pik döküm) PN 4-6 ø 125 mm.	AD	30	222,90	6.687,00
207.412	SÜRGÜLÜ VANA (pik döküm) PN 4-6 ø 400 mm.	AD	15	1.453,50	21.802,50
210.105	ÜÇ KOLLU EMNiYET VANASI ø 100 mm.	AD	20	251,45	5.029,00
210.106	ÜÇ KOLLU EMNiYET VANASI ø 125 mm.	AD	20	283,75	5.675,00
210.107	ÜÇ KOLLU EMNiYET VANASI ø 150 mm.	AD	20	329,90	6.598,00
211.1203	PN 16 STATİK BALANS VANASI FLANŞLI 100 Ø mm	AD	20	1.217,15	24.343,00
211.1205	PN 16 STATİK BALANS VANASI FLANŞLI 150 Ø mm	AD	20	2.460,80	49.216,00
216.318	KURU RÖTORLU SİRKÜL.POMPA.1500d/d. 60.1-	AD	10	785,60	7.856,00
216.319	KURU RÖTORLU SİRKÜL.POMPA.1500d/d. 60.1-	AD	10	799,45	7.994,50
216.321	KURU RÖTORLU SİRKÜL.POMPA.1500d/d. 60.1-	AD	10	866,25	8.662,50
219.305	BORULU TİP GENLEŞME PARÇASI 100 mm Uzama. ø	AD	50	353,45	17.672,50
219.306	BORULU TİP GENLEŞME PARÇASI 100 mm Uzama. ø	AD	20	455,20	9.104,00
219.307	BORULU TİP GENLEŞME PARÇASI 100 mm Uzama. ø	AD	20	555,85	11.117,00
219.413	KOMPANSATÖR (Açısal) ø 400 mm.	AD	50	1.740,40	87.020,00
221.209	PİSLİK TUTUCU,PN 16,(Buhar+Su için,Pik Dök.)ø 100	AD	20	229,45	4.589,00
221.210	PİSLİK TUTUCU,PN 16,(Buhar+Su için,Pik Dök.)ø 125	AD	20	365,45	7.309,00
221.211	PİSLİK TUTUCU,PN 16,(Buhar+Su için,Pik Dök.)ø 150	AD	20	438,75	8.775,00
227.303	GERİ TEPME VENTİLİ, Flanşlı Döküm Gövdeli ø 100	AD	10	109,05	1.090,50
227.304	GERİ TEPME VENTİLİ, Flanşlı Döküm Gövdeli ø 125	AD	10	159,75	1.597,50
227.305	GERİ TEPME VENTİLİ, Flanşlı Döküm Gövdeli ø 150	AD	10	221,45	2.214,50
230.633	60 mm.CAMYÜNÜ ÜZ.BEZ KAPL.PREF.BORU İZOLAS.	MT	1400	22,60	31.640,00
230.643	50 mm.CAMYÜNÜ ÜZ.BEZ KAPL.PREF.BORU İZOLAS.	MT	1250	21,35	26.687,50
230.649	50 mm.CAMYÜNÜ ÜZ.BEZ KAPL.PREF.BORU İZOLAS.ø	MT	1000	22,95	22.950,00
231.103	SÜLYEN BOYAYLA BORU BOYANMASI ø 100 mm - 150	MT	3650	0,65	2.372,50
232.100	DEMİR DÖKÜM İMALAT İŞLERİ	KG	2000	1,70	3.400,00
ÖZEL.09	DENGE TANKI	ADET	1	31.250,00	31.250,00
ÖZEL.M01	ÇELİK SICAK SU KAZANI	ADET	5	265.000,0	1.325.000,0
ÖZEL.M02	BRÜLÖR	ADET	5	40.000,00	200.000,00
				Toplam	2.102.463,2

Çizelge 5.2'de ise toplam yatırım maliyetinin merkezi ısıtma sisteminin devreye girdiği yıldaki değerine getirilmiş maliyeti ve bu miktarın banka kredişi olarak kullanılması durumunda sistem ömrü boyunca eşit geri ödeme planını göstermektedir. Banka faiz oranı (i) % 10, sistem ömrü (n) bölüm 4'de incelenen depo gazı elektrik santrali atık ısı ömrü olan 33 yıl alınmıştır.

Çizelge 5.2 Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtmanın eşit geri ödeme planı

Yıllar	Yatırım Masrafı (TL)	Eskale Edilmiş Harcama (TL)	Eskale Edilmiş +Faiz(TL)	Toplam Yıllık Ödeme (TL)	Yıllar	Yıllık Yakıt Miktarı(m3)
2012	2.102.463,25				2012	İnsaat Yılı
2013		2.270.660,31	2.497.726,34	258.925,97	2013	26.059.185,27
2014				258.925,97	2014	26.059.185,27
2015				258.925,97	2015	26.059.185,27
2016				258.925,97	2016	26.059.185,27
2017				258.925,97	2017	26.059.185,27
2018				258.925,97	2018	26.059.185,27
2019				258.925,97	2019	26.059.185,27
2020				258.925,97	2020	26.059.185,27
2021				258.925,97	2021	26.059.185,27
2022				258.925,97	2022	26.059.185,27
2023				258.925,97	2023	26.059.185,27
2024				258.925,97	2024	26.059.185,27
2025				258.925,97	2025	26.059.185,27
2026				258.925,97	2026	26.059.185,27
2027				258.925,97	2027	26.059.185,27
2028				258.925,97	2028	26.059.185,27
2029	407.001,99	439.562,14	483.518,36	258.925,97	2029	26.059.185,27
2030				258.925,97	2030	26.059.185,27
2031				258.925,97	2031	26.059.185,27
2032				258.925,97	2032	26.059.185,27
2033				258.925,97	2033	26.059.185,27
2034				258.925,97	2034	26.059.185,27
2035				258.925,97	2035	26.059.185,27
2036				258.925,97	2036	26.059.185,27
2037				258.925,97	2037	26.059.185,27
2038				258.925,97	2038	26.059.185,27
2039				258.925,97	2039	26.059.185,27
2040				258.925,97	2040	26.059.185,27
2041				258.925,97	2041	26.059.185,27
2042				258.925,97	2042	26.059.185,27

2043				258.925,97	2043	26.059.185,27
2044				258.925,97	2044	26.059.185,27
2045				258.925,97	2045	26.059.185,27

5.1.3 Yakıt Maliyeti

Sistemde yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır. Doğalgazın alt ısıl değeri ''Enerji Teknolojileri ve Tesisat Dergisi Temmuz 2011'' sayısından 8250 kcal/m^3 olarak alınmıştır. Sistemin üreteceği ısı miktarı (Q= 28070 Kw) bölüm 4'de belirtildiği miktardır. Toplam üretilecek ısı belli oldeğundan dolayı denklem 5.1'den yıllık yakıt miktarı hesaplanabilir.

$$By = \frac{Q_k}{H_u \times \eta_k} (m^3/h) \quad 5.1$$

Q_k= Kazan Kapasitesi (Kcal/h)

B_y=Yakıt Debisi (N m^3/h)

H_u= Yakıt Alt Isıl Değeri (Kcal/ m^3)

η_k = Kazan Verimi (%)

Doğalgaz fiyatları ülkelere göre 3$/GJ ile 5$/GJ arasında değişmektedir. OECD ortalaması 3,7$/GJ civarındadir. 2030 yılına kadar ülkelere göre %20-200 arasında değişen bir fiyat eskalasyonu olacağı varsayılmaktadır. OECD ülkeleri ortalaması olarak yıllık fiyat eskalasyonu %2,1 civarındadır. Ancak uzun yılları kapsayan fiyat tahminlerinde döviz kurlarındaki değişme önemli rol oynayacaktır [78].

Doğalgazın alt ısıl değeri=8250 kcal/m^3'dür [79].

Tesis için seçilmiş olan çelik sıcak su kazanından 224.987.733,33 kW/h ısı üretimi olacaktır. Bu kapasitede bir ısı üretimi gerçekleşmesi için kazanda 3.257,40 m^3 /h 'lik yakıta ihtiyaç vardır. Çizelge 5.3'de yıllık yakıt masrafı eskalasyona bağlı olarak görülmektedir.

Çizelge 5.3 Yıllık yakıt maliyeti

Yıllar	Yıllık Yakıt Miktarı(m3)	Yakıt Fiyatı(TL/m3)	Yakıt Maliyeti(TL)	Şimdiki Değeri(TL)
2012	İnsaat Yılı	0,5709792	İnşaat Yılı	
2013	23.453.266,75	0,62807712	14.730.460,23	13.639.315,03
2014	23.453.266,75	0,690884832	16.203.506,26	13.891.894,94
2015	23.453.266,75	0,759973315	17.823.856,88	14.149.152,25

2016	23.453.266,75	0,835970647	19.606.242,57	14.411.173,59
2017	23.453.266,75	0,919567711	21.566.866,83	14.678.047,18
2018	23.453.266,75	1,011524483	23.723.553,51	14.949.862,87
2019	23.453.266,75	1,112676931	26.095.908,86	15.226.712,18
2020	23.453.266,75	1,223944624	28.705.499,75	15.508.688,33
2021	23.453.266,75	1,346339086	31.576.049,73	15.795.886,26
2022	23.453.266,75	1,480972995	34.733.654,70	16.088.402,67
2023	23.453.266,75	1,629070294	38.207.020,17	16.386.336,06
2024	23.453.266,75	1,791977324	42.027.722,18	16.689.786,72
2025	23.453.266,75	1,971175056	46.230.494,40	16.998.856,85
2026	23.453.266,75	2,168292562	50.853.543,84	17.313.650,49
2027	23.453.266,75	2,385121818	55.938.898,23	17.634.273,65
2028	23.453.266,75	2,623634	61.532.788,05	17.960.834,27
2029	23.453.266,75	2,8859974	67.686.066,86	18.293.442,32
2030	23.453.266,75	3,17459714	74.454.673,54	18.632.209,77
2031	23.453.266,75	3,492056854	81.900.140,90	18.977.250,69
2032	23.453.266,75	3,841262539	90.090.154,99	19.328.681,26
2033	23.453.266,75	4,225388793	99.099.170,48	19.686.619,80
2034	23.453.266,75	4,647927672	109.009.087,53	20.051.186,83
2035	23.453.266,75	5,112720439	119.909.996,29	20.422.505,11
2036	23.453.266,75	5,623992483	131.900.995,91	20.800.699,65
2037	23.453.266,75	6,186391732	145.091.095,51	21.185.897,79
2038	23.453.266,75	6,805030905	159.600.205,06	21.578.229,23
2039	23.453.266,75	7,485533995	175.560.225,56	21.977.826,07
2040	23.453.266,75	8,234087395	193.116.248,12	22.384.822,84
2041	23.453.266,75	9,057496135	212.427.872,93	22.799.356,60
2042	23.453.266,75	9,963245748	233.670.660,22	23.221.566,91
2043	23.453.266,75	10,95957032	257.037.726,25	23.651.595,92
2044	23.453.266,75	12,05552736	282.741.498,87	24.089.588,44
2045	23.453.266,75	13,26108009	311.015.648,76	24.535.691,93

5.1.4 B&O Maliyeti

Bakım masraflarını herhangi bir formülasyona bağlayabilmek mümkün değildir. Ancak dünya genelinde işletilen sistemlerin incelenmesi sonucu belirli yaklaşımlar elde edilebilmiştir. Bunlardan en gerçekçi olanı, işletilen sistemin ısı yükü üzerinden MW başına 2 USD yıllık bakım masrafı kabul edilebilmektedir [10].

Çizelge 5.4 Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtmanın B&O maliyeti

Yıllar	Isı Üretimi (MW/YIL)	Bakım Masrafı(TL	Toplam Bakım Masrafı (TL)	Net Şimdiki	Yıllar	Isı Üretimi (MW/YIL)	Bakım Masrafı(	Toplam Bakım Masrafı (TL)	Net Şimdiki Değeri (TL)
2012	Isı Üretim Santrali İnşaat Yılı								
2013	224.987,73	3,89	874.752,31	874.752,31	2030	224.987,73	13,32	2.996.851,19	874.752,29
2014	224.987,73	4,2	944.732,49	874.752,29	2031	224.987,73	14,39	3.236.599,28	874.752,29
2015	224.987,73	4,53	1.020.311,08	874.752,29	2032	224.987,73	15,54	3.495.527,22	874.752,29
2016	224.987,73	4,9	1.101.935,96	874.752,29	2033	224.987,73	16,78	3.775.169,40	874.752,29
2018	224.987,73	5,29	1.190.090,84	874.752,29	2034	224.987,73	18,12	4.077.182,95	874.752,29
2019	224.987,73	5,71	1.285.298,11	874.752,29	2035	224.987,73	19,57	4.403.357,59	874.752,29
2020	224.987,73	6,17	1.388.121,95	874.752,29	2036	224.987,73	21,14	4.755.626,20	874.752,29
2021	224.987,73	6,66	1.499.171,71	874.752,29	2037	224.987,73	22,83	5.136.076,29	874.752,29
2022	224.987,73	7,2	1.619.105,45	874.752,29	2038	224.987,73	24,65	5.546.962,40	874.752,29
2023	224.987,73	7,77	1.748.633,88	874.752,29	2039	224.987,73	26,63	5.990.719,39	874.752,29
2024	224.987,73	8,39	1.888.524,59	874.752,29	2040	224.987,73	28,76	6.469.976,94	874.752,29
2025	224.987,73	9,07	2.039.606,56	874.752,29	2041	224.987,73	31,06	6.987.575,10	874.752,29
2026	224.987,73	9,79	2.202.775,09	874.752,29	2042	224.987,73	33,54	7.546.581,10	874.752,29
2027	224.987,73	10,57	2.378.997,09	874.752,29	2043	224.987,73	36,23	8.150.307,59	874.752,29
2028	224.987,73	11,42	2.569.316,86	874.752,29	2045	224.987,73	39,12	8.802.332,20	874.752,29
2029	224.987,73	12,33	2.774.862,21	874.752,29	2013	224.987,73	3,89	874.752,31	874.752,31

5.1.5 Pompa İşletme (Pompalama) Maliyeti

Depogazı Santral atık ısı değerlendirilmesi ile elde edilen ısı enerjisinin uzak mesafelere taşınmasında basınçlandırma görevi gören pompaların elektrik enerjisi harcayarak tahrik olması gerekmektedir. 4. bölümde pompaları harekete geçiren tahrik enerjisinin miktarı ve maliyeti ile ilgili formülasyonlar verilmiştir. Aynı formülasyonları kullanarak doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtma pompalarının maliyet tablosu çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5 Pompalama masrafları

Yıllar	1.Kollektör Hattı	2.Kollektör Hattı	3. Kollektör Hattı	4. Kolektör Hattı	Toplam Maliyet (TL)	Net Şimdiki Değer (TL)
2012	Proje İnşaat Yılı					
2013	35.229,65	46.972,87	71.046,47	44.037,07	197.286,06	182.672,28
2014	38.048,03	50.730,70	76.730,19	47.560,03	213.068,95	182.672,28
2015	41.091,87	54.789,16	82.868,60	51.364,84	230.114,46	182.672,28
2016	44.379,22	59.172,29	89.498,09	55.474,02	248.523,62	182.672,28
2018	47.929,56	63.906,07	96.657,94	59.911,94	268.405,51	182.672,28
2019	51.763,92	69.018,56	104.390,57	64.704,90	289.877,95	182.672,28

2020	55.905,03	74.540,04	112.741,82	69.881,29	313.068,19	182.672,28
2021	60.377,44	80.503,25	121.761,16	75.471,80	338.113,64	182.672,28
2022	65.207,63	86.943,51	131.502,06	81.509,54	365.162,73	182.672,28
2023	70.424,24	93.898,99	142.022,22	88.030,30	394.375,75	182.672,28
2024	76.058,18	101.410,91	153.384,00	95.072,73	425.925,81	182.672,28
2025	82.142,84	109.523,78	165.654,72	102.678,54	459.999,88	182.672,28
2026	88.714,26	118.285,68	178.907,09	110.892,83	496.799,87	182.672,28
2027	95.811,40	127.748,54	193.219,66	119.402,43	536.182,03	182.672,28
2028	103.476,32	137.968,42	208.677,24	129.345,39	579.467,36	182.672,28
2029	111.754,42	149.005,89	225.371,41	139.693,03	625.824,75	182.672,28
2030	120.694,77	160.926,37	243.401,13	150.868,47	675.890,73	182.672,28
2031	130.350,36	173.800,47	262.873,22	162.937,94	729.961,99	182.672,28
2032	140.778,38	187.704,51	283.903,08	175.972,98	788.358,95	182.672,28
2033	152.040,66	202.720,87	306.615,32	190.050,82	851.427,67	182.672,28
2034	164.203,91	218.938,54	331.144,55	205.254,88	919.541,88	182.672,28
2035	177.340,22	236.453,63	357.636,11	221.675,28	993.105,23	182.672,28
2036	191.527,44	255.369,92	386.247,00	239.409,30	1.072.553,65	182.672,28
2037	206.849,63	275.799,51	417.146,76	258.562,04	1.158.357,94	182.672,28
2038	223.397,60	297.863,47	450.518,50	279.247,00	1.251.026,58	182.672,28
2039	241.269,41	321.692,55	486.559,98	301.586,76	1.351.108,70	182.672,28
2040	260.570,96	347.427,95	525.484,78	325.713,71	1.459.197,40	182.672,28
2041	281.416,64	375.222,19	567.523,56	351.770,80	1.575.933,19	182.672,28
2042	303.929,97	405.239,96	612.925,45	379.912,47	1.702.007,85	182.672,28
2043	328.244,37	437.659,16	661.959,48	410.305,46	1.838.168,48	182.672,28
2045	316.470,26	510.485,65	772.109,54	478.580,29	2.077.645,73	182.672,28

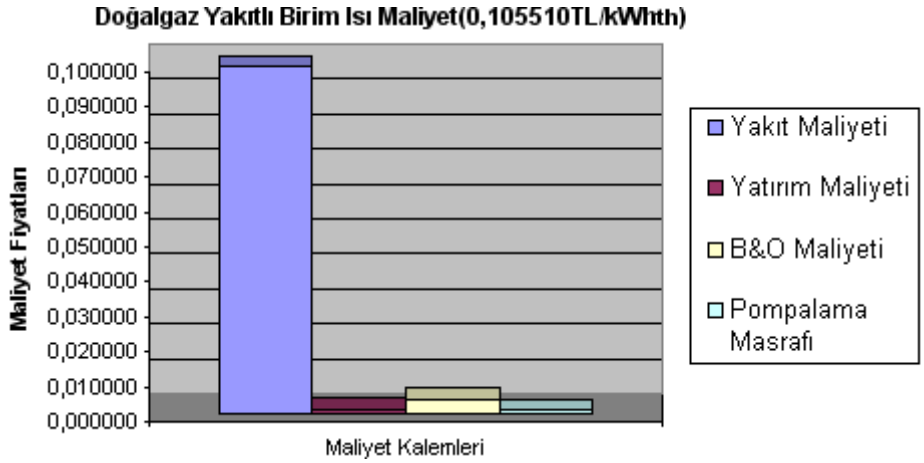
Doğalgaz yakıtlı merkezi ısıtma sisteminde birim ısı maliyet kalemlerinin oranı çizelge 5.6 ve 5.7'de görülmektedir. Birim ısı maliyetinin en çok etkileyen kalem yakıt maliyetleri olmuştur. Yakıt fiyatlarındaki yüksek eskalasyon oranı bunda etkili olmaktadır.

Çizelge 5.6 Birim ısı maliyeti

Maliyet Kalemleri	Fiyat(TL/kWh$_{th}$)
Pompalama Maliyeti	0,000877
Yakıt Maliyeti	0,099066
Yatırım Maliyeti	0,001151
B&O Maliyeti	0,004199
Birim Isı Fiyatı (TL/kWh$_{th}$)	0,105293

Doğalgazda dışa bağımlı olan ülkemizde alternatif ısıtma sistemlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan hesaplamalarda doğalgaz yakıtlı ısıtma sistemlerinin maliyetli olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.7 Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtmanın birim ısı maliyetini etkileyen kalemler



5.2 Depogazı Santral Atık Isısının Kış Isıtma Döneminde Değerlendirilmesi

Bölüm 4'de yaptığımız hesaplamalarda depogazı kaynaklı elektrik üretim santral atık ısısından elde edilen ısı enerjisinin birim ısı maliyeti 0,01045 TL/kWh$_{th}$ çıkmıştır. Bölüm 5.1'de ise Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtma sistemi için yapılan hesaplamalarda birim ısı maliyeti 0,1055 TL/kWh$_{th}$ hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda sistemin senenin tamamında ısı enerji üretildiğinin kabulü yapılmıştır. Üretilen ısı enerjisinin tamamının devletin teşvik yasalarıyla satışının yapıldığı düşünülmüştür. Eğer devlet teşvik yasaları olmasaydı ve santralden üretilen ısı enerjisi sadece ısıtma amaçlı kullanılması durumunda sistemin birim ısısının maliyeti seneryosuna göre hesaplamalar yapılmıştır.

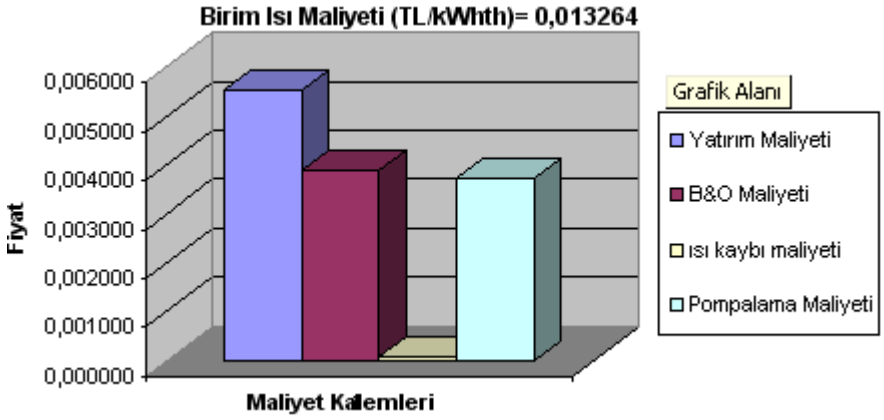
Hesaplamalar bölüm 4'de kullanılan formülasyonlar kullanılmıştır. Çizelge 5.8 ve 5.9'da depogazı kaynaklı elektrik üretim santrali atık ısısından elde edilen ısının birim ısı maliyeti kış sezonu kullanımı için hesaplanmıştır. Yaz sezonunda sistemin çalışmadığı kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamada her yıl sistem 4000 saat çalişmaktadır.

Çizelge 5.8 Depogazı santral ısı enrjisinin 4000 saatlik çalışmada birim ısı maliyeti

Maliyet Kalemleri	Fiyat(TL/kWhth)
Yatırım Maliyeti	0,005533
B&O Maliyeti	0,003888
Isı Kaybı Maliyeti	0,000095
Pompalama Maliyeti	0,003748
Birim Isı Fiyatı (TL/kWhth)	0,013264

Yapılan hesaplamada 4000 saatlık üretim için birim ısı maliyeti daha maliyetli çıkmıştır. Aynı yatırım maliyeti olmasına rağmen ısı üretimi iki kat azalmıştır. Dolayısı ile yatırım maliytinin birim ısı maliyetine ekisi iki kat artmiştir.

Çizelge 5.9 Depogazı santral ısı enrjisinin 4000 saatlik çalışmada birim ısı maliyeti



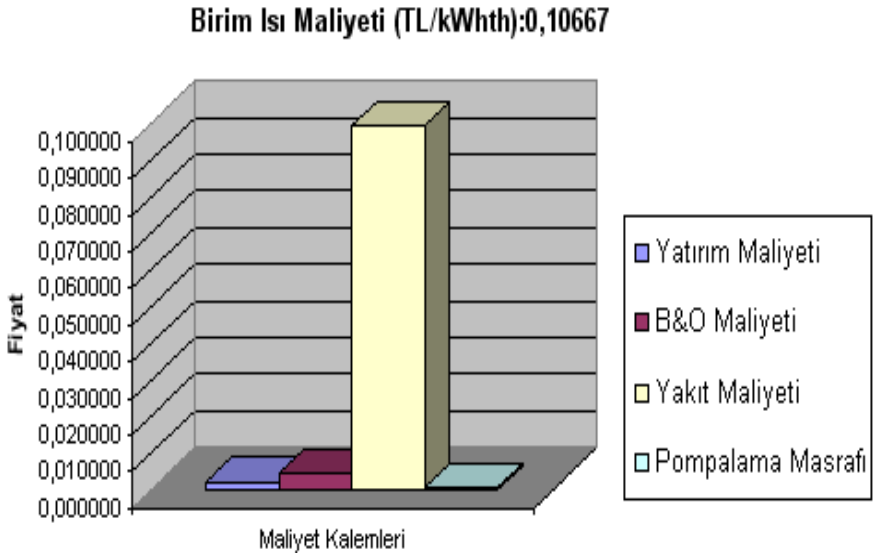
5.3 Doğalgaz Kaynaklı Bölgesel Isıtmanın Kış Döneminde Çalışması

Çizelge 5.8 ve grafik 5.3'de ise doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtmanın birim ısı maliyeti sadece kış sezonu için hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada bir yıl için ısı üretim saati 4000 saat alınmıştır. Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtmada çalışma saatleri azaldığında maliyet kalemlerindeki artış sadece yatırım maliyetinde olmaktadır. Yatırım maliyetinin doğalgaz yakıtlı bölge ısıtması birim ısı maliyetine etkisi azdır. Sonuçta çalışma saati azalsa bile birim ısı maliyeti çok az düşmektedir.

Çizelge 5.10 Doğalgaz yakıtlı 4000 saat üretim için birim ısı maliyeti

Maliyet Kalemleri	Fiyat(tl/kWh ısı)
Pompalama Masrafı	0,000877
Yatırım Maliyeti	0,002302
B&O Maliyeti	0,004421
Yakıt Maliyeti	0,099066
Birim Isı Maliyeti	0,106667

Çizelge 5.11 Doğalgaz yakıtlı 4000 saat üretim için birim ısı maliyeti



Çizelge 5.12 Birim ısı maliyetler karşılaştırma tablosu

Maliyet Kalemleri	**Depogazı 8000 Saatlik Üretim**	**Doğalgaz 8000 Saatlik Üretim**	**Depogazı 4000 Saatlik Üretim**	**Doğalgaz 4000 Saatlik Üretim**
Yatırım Maliyeti	0,00277	0,00115	0,00553	0,00274
B&O Maliyeti	0,00389	0,00420	0,00389	0,00884
Isı Kaybı Maliyeti	0,00005	İhmal Edilmiştir	0,00009	İhmal Edilmiştir
Pompalama Maliyeti	0,00375	0,00088	0,00375	0,00175
Yakıt Maliyeti	Yok	0,09907	Yok	0,09907
Toplam Birim Isı Maliyet Fiyatı (TL/kWh$_{th}$)	0,01045	0,10529	0,01326	0,10667

Karşılaştırma tablosunda görüldüğü üzere depogazı kaynaklı santral atık ısı maliyeti çok uygun çıkmıştır. Doğalgaz yakıtlı bölgesel ısıtma pahalı bir sistemdir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kyoto gibi çeşitli uluslar arası sözleşmeler ve ulusal çevre mevzuatı açısından bertaraf edilmesi veya sınırlandırılması gereken çöp kaynaklı çevreye zarar veren gaz emisyonları yerel yönetimler için önemli bir problemdir. Bu problemin çözümü için en iyi alternatif çöplerden geri kazanım yapıldıktan sonra, geriye kalan ve düzenli depolanarak oluşan depo gazından enerji üretilmesidir. Bu şekilde çalışan enerji üretim sistemlerine depo gazı (LFG) santralleri denilmektedir.

Depo gazından enerji üretimi yenilebilir teknolojiler arasında hidroelektrik santrallerden sonra ikinci ekonomik teknolojidir. Depo gazı santralleri şehirlere yakın olmasından dolayısıyla şebeke bağlantıları kısadır. Bu sebeple enerji kaybı az, yatırım masrafları ve işletme masrafları düşük yakıt masrafı da yoktur. Ayrıca bu santrallar kojenerasyon veya trijenerasyon tesisleri olarak da kullanılabildiği için ekonomik açıdan daha avantajlı olmaktadır.

Atmosfere kontrolsüz bir şekilde atılan depo gazı patlayıcı olduğu için çeşitli tehlikeler oluşturmakta iken depo gazının kontrollü bir şekilde santralda yakılarak enerji üretilmesi ile bu tehlikelerin çevreye olan olumsuz etkileri azaltılmaktadır. Ayrıca depo gazı santrali kojenerasyon amaçlı kullanıldığında egzoz gaz sıcaklığı önemli bir şekilde düşürüldüğü için termal kirlenmelerde azaltılabilmektedir.

Depo gazı santralari birçok sağladığı avantaj sebebiyle dünyada yaygın olarak kullanılmakta ülkemizde isse gelişen çevre bilinci ile sayıları her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada Kemerburgaz –Odayeri depo gazı santrali ve santral verileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yeni kurulacak santrallerla model teşkil edecek şekilde İstanbul Avrupa yakası için 2010 yılında düzenli çöp depolamaya başlandığı ve 2040 yılına kadar sahanın işletildiği varsayımı ile TÜİK

öngörülerindeki nufus artış oranı dikkate alınarak kişi başına üretilen ve çöp miktarından hareketle elde edilebilecek depo gaz miktarı LandGAM programı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan gaz miktarına bağlı olarak gaz motor sayısı belirlenmiştir. Bu gaz motorlarının ceket suyundan ve egzoz gazından alınabilecek ısı enerjisi hesaplanarak 5 km uzaklıktaki yerleşim yerine veya seraya iletimi modellenmiştir. Bu modellemede birim ısı maliyeti amaç fonksiyon olarak alınmıştır. Isının bölgede değişik amaçlar ile 8000 saat kullanımı veya sadece ısıtma amaçlı 4000 saat çalışma senaryoları, alternatif ısıtma sistemi olarak alınan yerleşim yeri yakınında kurulan doğal gaz yakıtlı bölgesel ısıtma sistemi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge incelendiğinde depo gazı santralinden bölgenin ısı ihtiyacının karşılanmasının doğal gazlı sisteme göre seneryo 1 için on kat daha ucuz, senaryo 2 için ise sekiz kat ucuz olduğu görülmektedir. Depogazı kaynaklı santral atık ısıdan elde edilen ısı enerji maliyetinde yatırım maliyetinin etkisi doğalgaz kaynaklı bölge ısıtması ısı maliyetindeki yatırım maliyetinin birim ısı maliyetine etkisi daha fazla çıkmıştır. Üretilen ısının doğal gaz ile elde edilenden %50 daha ucuz satılsa bile seneryo 1'e göre yıllık 9.493.357,41 TL fazla kar elde edilmektedir. 2 için de 9.016.383,41 TL'dir. Bu durumda aradaki kar ile yatırım maliyeti ve diğer harcama kalemleri bir yıldan bile daha az sürede geri kazanılabilmektedir.

Isının doğal gaz ile üretildiği durumda çevreye emisyonların atılacağı ve bu emisyonların bir maliyetinin olacağı modele ilave edildiği durumda depo gazı santralinden üretilen ısı enerjisinin maliyeti daha da ekonomik duruma gelecektir. Ayrıca alternatif olan doğal gazın ithal olması sebebiyle depo gazı santralinden elde edilen enerjinin kullanılması ile dışa bağımlılık azalacağı için ülke ekonomisi açısından depo gazının kojenerasyon amaçlı kullanımının teşvik edilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

[1] Armağan, B., Demir İ. ve Gök, N. (2006), Katı Atıkların Ekonomide Değerlendirilmesi, İTO Yayınları, İstanbul

[2] Yaman T, (2007), Determination Of Municipial Solid Waste Management And Recycle Potential İn İstanbul, GYTE. Yüksek Lisans Tezi, Gebze

[3] Akpınar N., (2006). Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul

[4] Demir, Ö. (2008) Yatağan Termik Santrali Baca Gazı İle Bölgesel Isıtma Olanaklarının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Ünv., Muğla

[5] Asmus B. (2000),Heat Supply, Environment And The Example From Copenhagen, http://dbdh.dk/images/uploads/pdf-distribution/heat-supply-environment-and-copenhagen.pdf, (2011)

[6] MMO (2009), Çates Atık Isısı İle Bölgesel Isıtma İmkânları, Zonguldak

[7] Güngör C. (2010),TSAD Projesi Kapsamında Termik Santral Çevrelerinde Bölge Isıtma Potansiyelleri, İCCİ Bildiriler Kitabı, İstanbul

[8] Çanakçı C. Ve Elele İ, (2001), Bölgesel Isıtma Sistemleri Isı Merkezleri Tasarımı, Jeotermal Enerji Semineri,

[9] White Paper On District Heating and District Cooling Solutionsin An Environmental Perspective (2007), http://www.logstor.com/getfile.php?objectid=2135698, (2010)

[10] Çokoksen B. (2010), Bölge Isıtma Sistemlerinin Ekonomik Alanının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ**,** Fen Bilimler, Enstitüsü, , İstanbul

[11] Atık Yönetim Eylem Planı (2008) Çevre Yönetim Genel Müdürlüğü, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara

[12] Municipal of Greater İstanbul Solid Waste Management Study, (1992), İstanbul

[13] Bohm B. ve Kristjansson H. (2006), Basic Design Optimisation Of Service Pipes, Denmark

[14] Gören S., vd. (2011), Modelıng The Quantıty Of Munıcıpal Solıd Waste In Istanbul By Usıng Artıfıcıal Intellıgence And Statıstıcal Technıques, Sigma Dergisi

[15] İstanbul İçin Ab Çevre Mevzuatı İle Uyumlu Entegre Katı Atık Yönetimi Stratejik Planı (2005), İTÜ, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

[16] İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş., http://www.istac.com.tr/cevre-ve-egitim/cevre-makaleleri.aspx, (2010)

[17] Çevre ve Su İşleri Bakanlığı http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/EylemPlan/atikeylemplani.pdf , (2011)

[18] Çeve ve Su İşleriBakanlığı, http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogram/alanprogramlari/cevrekoruma/beceri/coptoplama.html, (2011)

[19] MİMKO Müh. A.Ş., http://www.mimkoas.com.tr/external/Kati-Atiklar.html, (2010)

[20] Çevre Koruma-Katı Atık Toplama, (2009), Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara

[21] Beyhan, M., (1997). Isparta Evsel ve Ticari Katı Atıklarından Geri Kazanılabilir Maddelerin Potansiyelinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Cevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

[22] Korkut, E, Bayer, Y. Katı Atıkların Toplanması ve Transferi İstanbul Büyükşehir Belediyesinin Katı Atık Transfer ve Taşıma Yönetimine Bakışı, İstanbul

[23] Borat M. (2001) "Katı Atık Yönetimi" Ders Notleri, İstanbul

[24] Düzenli Depolama Ve Tıbbi Atık Bertaraf Tesisleri İşletme ve Kontrol Kılavuzları, (2010), Çevre Ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara

[25] Çevresel Göstergeler 2008, (2009),Çed ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre Ve Orman Bakanlığı, Ankara

[26] Borusan Güç Sistemleri, http://www.borusangucsistemleri.com/62.aspx, (2011)

[27] Öztürk M (2008) Katı Atık Depolama Alanında Metan Gazı Olusumu, Ankara

[28] Süleyman Demirel Üniversitesi Resmi web sitesi, http://edergi.sdu.edu.tr/index.php/sduofd/article/viewFile/102/28, (2011)

[29] Zanetti, M. C., Marchese, F., and Genon, G. (1997), Investigation on Quality of Landfilled MSW. Cagliari, Italy

[30] Bruus F., Kristjansson H., (2004), "Principal design of heat distribution", News from DBDH 2/2004, Glostrup

[31] Gendebien, A., vd. (1992) "Landfill Gas: From Environment to Energy

[32] Gönüllü T. (1999) Patlama Riski Açısından Çöp Depo Yerleri, İstanbul

[33] LFG Energy Project Development Handbook

[34] Özçakıl, M. (2001),Türkiye'de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazanım Tesislerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[35] Topkaya B.,(2006). Metan Gazı Kontrolü ve Enerji Elde Edilmesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Ünv.

[36] Christensen, T.H. ve Cossu, R. (1998) "Basic Processes in Landfills, Cagliari, Italy

[37] Speece, R.E. (1996)"Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters", Archae Press, Nashville, Tennessee, USA.

[38] Bilgili S., (2002). Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi, YTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[39] Nastev, M., (1998). "Modelling Landfill Gas Generation and Migration in Sanitary Landfills and Geological Formations", PhD Thesis, Département de Géologie et de Génie Géologique, Faculté Des Sciences et de Génıe, Unıversıté Laval, Québec.

[40] El-Beny, D., (2002). Katı Atık Düzensiz Sahaları İçin Uygun Gaz Oluşum Modellerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[41] Environmental Protection Agency**,** http://www.epa.gov/ttncatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf, (2011)

[42] Star Gazetesi Resmi Web. Sayfası, http://www.stargazete.com/ekonomi/samsun-un-copu-7-bin-konuta-enerji-olacak-haber-375294.htm, (2011)

[43] Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu Eylül 2010

[44] Aksa Enerji A.Ş., http://www.aksaenerji.com.tr/tr/bursa.aspx,(2011)

[45] Clean Energy & Vehicle, http://www.cev-tr.com/gazianteptr.html , (2011)

[46] Europa Resmi Web Sitesi, http://europa.eu/old-address.htm , (2011)

[47] http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro186_a.pdf, (2011)

[48] Erdem, H.H. (2010), Termik Santral Atılan Enerji El Kitabı, TSAD, İstanbul

[49] Topuz G. (2001), Çeşitli Kojenerasyon Uygulamalar, TTMD, Ankara

[50] Taskan, O.,(2001). Depolama Sahası Gazlarının Yönetimi Ve Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, , İstanbul

[51] Eriten, N., (1998). Doğal Gaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrallerinin Termik ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, , Isparta

[52] Isıtma Tesisatı (2000),Isısan Çalışmaları No: 265, İstanbul

[53] İzobor A.Ş., http://www.izobor.com/tr/dokumanlar.html, (2011)

[54] Odayeri Çöp Santrali Scada Değeri, (2011), Ortadoğu Enerji, Kemerburgaz-Eyüp

[55] Yıldız Kazan A.Ş.,

http://www.yildizkazan.com.tr/yukleme/File/flashvr/TourWeaver_sasa.html (2011)

[56] Ares Makina, http://www.aresphe.com/plate_structure.php (2011)

[56] Grundfos Pompa. A.Ş.
http://www.grundfos.com.tr/web/grfosweb.nsf/Webopslag/UGRD-4FVQKQ, (2011)

[57] ZTF İnşaat, http://www.ztfinsaat.com/index.php?p=86, (2011)

[58] Aybars N. ve Şahin B., (1995) "Enerji Maliyeti", Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 299, İstanbul.

[59] Akpınar A. Kömürcü M., Filiz M. (2008), VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu

[60] Saltabaş F. (2011)The Landfıll Gas Management at Sanıtary Landfıll Sıte and Istanbul Case Study

[61] http://www.topkapigroup.com.tr/cop-gazi-uygulamalari_default.asp

[62] Isıtma + Klima Tekniği El Kitabı - (Recnagel) 97/98

[63] Ataş S. (2009) Termik Santral Dönüşümü ve Bölge Isıtma Sistemlerinin Fizibilitesi, Muğla

[64] John C.Y. Lee, Sustainable Application of Reciprocating Gas Engines Operating on Alternative Fuels, Caterpillar, China

[65] Şahin B., Ders Notları Yayınlanmamış, Bahar Dönemi, Gemi Makinaları Bölümü, YTÜ. (2008)

[66] TMMOB Makine Mühendisleri Odası , (1998), "Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı", MMO Yayın No:210, İstanbul.

[67] Cristensen H.T. ve Cossu R. (1985), Landfilling of Waste Leachate

[68] Hartz, (1982) ,Mathematical Model for Methane Production from Landfill Bioreactor

[69] Borat M., vd. (2003), Katı Atık Depo Gazından Elektrik Üretiminin Türkiye'de Uygulanabilirliğine İki Örnek: İstanbul Ve Bursa Tesisleri, İstanbul

[70] GE JGC 420 GS-L.L Tecnical Description

[71] İ.B.B Katı Atık Müdürlüğü, İstanbul

[72] http://www.itcturkiye.com/faliyetler.php?faliyet=6 , (2011)

[73] Çevre ve Su İşleri Bakanlığı, http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/EylemPlan/atikeylemplani.pdf, (2011)

[74] Borular, Vanalar, Pompa ve Boru Çapı Hesabı, Isıtma Tesisatı Kitabı, Isısan Yayınları

[75] Yıldız Teknik Üniversitesi Resmi Web Sitesi, http://www.yildiz.edu.tr/~kvarinca/Dosyalar/Yayinlar/yayin009.pdf, (2011)

[76] Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean (2004), ESMAP, The World Bank

[77] AMP Yaklaşık Maliyet Hazırlama Yazılımı 2011

[78] Enerji Piyasası Denetleme Kurumu, http://www.epdk.gov.tr/web/elektrik-piyasasi-dairesi/mevzuat, (2011)

[79] Makine Mühendisleri Odası, Kalorifer Tesisatı Kitabı, MMO/352/6

[80] Borusan Güç Sistemeleri, http://www.borusangucsistemleri.com/31.aspx (2011)

[81] Başak M., (2009). Santral Atık Isıları İle Sera Isıtılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, , İstanbul

[82] Adana Büyükşehir Belediyesi Resmi Web. Sayfası, http://www.adana.bel.tr/kati-atik-yonetim-sistemi-sayfa.html, (2011)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Davut POLAT
Doğum Tarihi ve Yeri	:07.05.1985 / Posof
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:davudpolat@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Makina Müh.	Erciyes Ünv.	Temmuz 2005 (1 Yıl İngilizce Hazırlık)
Lise	Fen Bilimleri	Posof Lisesi (Ardahan/Posof)	1997-1998
		İncirtepe Lisesi (İst/Esenyurt)	1998-2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2005-devam ediyor.	İstanbul Büyüksehir Belediyesi	Kontrol Müh.