



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA GAZLARININ
GENETİK ALGORİTMALARLA MODELLENMESİ**

**Çevre Yük.Müh. H.Kurtuluş ÖZCAN
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof. Dr. Nilgün BALKAYA**

**İkinci Danışman
Prof.Dr.Osman Nuri UÇAN**

Haziran 2009

İSTANBUL

ÖNSÖZ

Doktora tezim boyunca gösterdiği, her türlü destek ve yardımdan dolayı tez yöneticisi değerli hocam Prof. Dr. Nilgün BALKAYA'ya en içten dileklerle teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca ikinci danışmanlığımı yürüten, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Osman Nuri UÇAN'a teşekkür ederim. Doktora çalışmamın başlangıcında danışmanlığımı yürüten ve daha sonra emekli olan değerli hocam Prof. Dr. Cuma BAYAT'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmam süresince gösterdikleri ilgi ve güleryüz için değerli hocalarım, Prof. Dr. Semiha ARAYICI ve Doç. Dr. Güleda ÖNKAL ENGİN'e teşekkür ederim.

Çalışma süresince model kodlarının oluşturulması ve çalıştırılmasındaki desteğinden dolayı Dr. Erdem Bilgili'ye, depo gazı verilerinin temininde gösterdiği yardımlardan dolayı Sayın Mustafa Öztürk'e ve İSTAÇ A.Ş.'ye teşekkür ederim. Çalışmam boyunca bana destek olan çalışma arkadaşım Araş. Gör. Emine ELMASLAR ÖZBAŞ'a ve benim yanımda olan Çevre Mühendisliği Bölümü'ndeki çalışma arkadaşlarıma ve değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Son olarak, gösterdikleri sonsuz destek için aileme ve doktora tezim süresince tüm yorgunluklarımı ve sıkıntılarımı paylaşan biricik eşime teşekkür ederim.

Haziran, 2009

H. Kurtuluş ÖZCAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. KATI ATIK TANIMI	3
2.1.1 Katı Atıkların Bileşimi ve Sınıflandırılması	3
2.2. KATI ATIKLARIN ÖZELLİKLERİ	4
2.2.1. Katı Atık Miktarı	4
2.2.2. Kompozisyon	5
2.2.3. Birim Hacim Ağırlığı	7
2.2.4. Nem İçeriği	7
2.2.5. Tane Boyutu ve Dağılımı	8
2.2.6. Hidrolik İletkenlik	8
2.3. KATI ATIKLARIN DÜZENLİ DEPOLANMASI	9
2.3.1. Katı Atık Depo Sahalarındaki Biyokimyasal Süreçler	11
2.3.2. Katı Atık Depo Sahası Gazları	12
2.3.3. Depo Gazının Bileşimi ve Özellikleri	15
2.3.4. Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler ve Depo Gazının Zamanla Değişimi	17
2.3.5. Katı Atık Depo Sahası Gazlarının Çevresel Etkileri	19
2.3.5.1. Yangın ve Patlama Tehlikesi	19
2.3.5.2. Depo Gazlarının Sera Etkisi	20
2.3.5.3. Yeraltı Suyu Kirliliği	21

2.3.5.4. Bitki Örtüsüne Zararları	21
2.3.5.5. İstenmeyen Kokular	21
2.4. KATI ATIK DEPO SAHASI GAZLARININ KONTROLÜ	22
2.4.1. Depo Gazının Hareketi	22
2.4.2. Depo Gazının Kontrolü	23
2.4.2.1. Depo Sahası Gazlarının Pasif Kontrolü	24
2.4.2.2. Depo Sahası Gazlarının Çevre Tesisleriyle Aktif Kontrolü	24
2.4.2.2.1. Saha Çevresi Gaz Çekme ve Koku Kontrol Kuyuları	24
2.4.2.2.2. Saha Çevresi Gaz Çekme Hendekleri	25
2.4.2.2.3. Saha Çevresi Hava Enjeksiyon Kuyuları	25
2.4.2.3. Depo Sahası Gazlarının Düşey ve Yatay Gaz Çekme Kuyularıyla Aktif Kontrolü	25
2.5. DEPO GAZI MİKTARI HESAPLAMALARI	26
2.5.1. Depo Gazı Miktarı Hesabında Kullanılan Yöntemler	26
2.5.1.1. Test Kuyuları Sonuçları ile Hesap	26
2.5.1.2. Yaklaşık Tahmin Metodu	26
2.5.1.3. Matematiksel Modeller Yardımıyla Hesap.....	26
2.6. GENETİK ALGORİTMALAR	27
2.6.1. Genetik Algoritmanın Tanımı	27
2.6.2. Genetik Algoritma Tekniği	28
2.6.3. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	30
2.6.4. Uygunluk Fonksiyonu	31
2.6.5. Seçme	31
2.6.6. Genetik Operatörler	33
2.6.6.1. Seçim	33
2.6.6.2. Çaprazlama	33
2.6.6.3. Mutasyon	34
2.6.7. Genetik Algoritma Kontrol Parametreleri	35
2.6.7.1. Popülasyon Büyüklüğü	35
2.6.7.2. Çaprazlama Oranı	36
2.6.7.3. Mutasyon Oranı	36
2.6.7.4. Yığın Aralığı (Jenerasyon Boşluğu)	36
2.6.7.5. Seçim Stratejisi	36

2.6.7.6. Ölçümleme Penceresi (Ölçeklendirme Fonksiyonu)	36
2.7. KATI ATIK DEPO SAHASI GAZLARI	
VE MODELLENMESİ ALANINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR	37
3. MALZEME VE YÖNTEM	41
3.1 ÇALIŞMA ALANI	41
3.2 Çalışma Alanının Tanımlanması	41
3.2.1. Hasdal Katı Atık Depo Sahası	43
3.2.2. Yakacık Katı Atık Depo Sahası	45
3.3 Depo Gazı Bileşenleri	47
3.4 Meteorolojik Parametreler	47
3.5 İstatiksel Performans İndisleri	48
3.6 Lineer Regresyon	49
4. BULGULAR	51
4.1. HASDAL TESİSİ DEPO GAZI BİLEŞENLERİNİN	
DEĞERLENDİRİLMESİ	51
4.1.1. Depo Gazı Bileşenlerinin Günlük Ölçekli Değerlendirilmesi	51
4.1.2. Depo Gazı Bileşenlerinin Aylık ve Mevsimlik Değerlendirilmesi	57
4.2. YAKACIK TESİSİ DEPO GAZI BİLEŞENLERİNİN	
DEĞERLENDİRİLMESİ	61
4.2.1. Depo Gazı Bileşenlerinin Günlük Ölçekli Değerlendirilmesi	61
4.2.2. Depo Gazı Bileşenlerinin Aylık Ölçekli Değerlendirilmesi	63
4.3. DEPO GAZI BİLEŞENLERİNİN MODELLENMESİ	66
4.3.1. Hasdal Katı Atık Depo Sahası Gaz Bileşenlerinin Modellenmesi	66
4.3.1.1. Günlük Ölçekli Model Tahminleri	66
4.3.1.2. Aylık Ölçekli Model Tahminleri	73
4.3.1.3. Mevsimlik Ölçekli Model Tahminleri	77
4.3.1.4. Lineer Regresyon Model Tahminleri	80
4.3.2 Yakacık Katı Atık Depo Sahası Gaz Bileşenlerinin Modellenmesi	81
4.3.2.1. Günlük Ölçekli Model Tahminleri	81
4.3.2.2. Aylık Ölçekli Model Tahminleri	85
4.3.3. Giriş Değişkenlerinin Model Sonuçlarına Etkisi	88
4.3.4. Farklı Model Değişkenleri İçin Model Tahminlerinin Belirlenmesi	91

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	95
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	116

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Organik maddelerin anaerobik ayrışmasına ait akış diyagramı	13
Şekil 2.2	: Depo gazlarının oluşumu ve zamana göre ortaya çıkan konsantrasyonları	18
Şekil 2.3	: Depolanan katı atıklardaki yatay gaz hareketi	23
Şekil 2.4	: Genetik algoritma akış diyagramı	30
Şekil 2.5	: Tek noktalı çaprazlama	34
Şekil 2.6	: Genetik algoritma uygulamalarında kullanılan çaprazlama operatörleri	34
Şekil 3.1	: Kemberburgaz –Hasdal katı atık depolama alanının konumu	44
Şekil 3.2	: Hasdal depo gazı enerji üretim tesisi, a- enerji tesisi b- atık depo alanı ...	44
Şekil 3.3	: Hasdal Tesisi gaz çekme kuyuları ve gaz hatları genel görünümü	45
Şekil 3.4	: Yakacık katı atık depolama alanının konumu	46
Şekil 4.1	: Hasdal Tesisi, metan (CH ₄) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2003-Aralık 2003)	52
Şekil 4.2	: Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2003-Aralık 2003)	52
Şekil 4.3	: Hasdal Tesisi, oksijen (O ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2003-Aralık 2003)	52
Şekil 4.4	: Hasdal Tesisi, metan (CH ₄) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)	53
Şekil 4.5	: Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)	53
Şekil 4.6	: Hasdal Tesisi, oksijen (O ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)	54
Şekil 4.7	: Hasdal Tesisi, metan (CH ₄) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2005-Aralık 2005)	54
Şekil 4.8	: Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2005-Aralık 2005)	55
Şekil 4.9	: Hasdal Tesisi, oksijen (O ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2005-Aralık 2005)	55
Şekil 4.10	: Hasdal Tesisi, metan (CH ₄) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2006-Mart 2006)	56
Şekil 4.11	: Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2006-Mart 2006)	56
Şekil 4.12	: Hasdal Tesisi, oksijen (O ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2006-Mart 2006)	56
Şekil 4.13	: Hasdal Tesisi, metan (CH ₄) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, ocak 2003-Mart 2006)	57
Şekil 4.14	: Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO ₂) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)	58
Şekil 4.15	: Hasdal Tesisi, oksijen (O ₂) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)	58

Şekil 4.16	: Hasdal Tesisi, metan (CH ₄) gazının zamansal değişimi (Mevsimlik ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)	59
Şekil 4.17	: Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO ₂) gazının zamansal değişimi (Mevsimlik ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)	59
Şekil 4.18	: Hasdal Tesisi, oksijen (O ₂) gazının zamansal değişimi (Mevsimlik ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)	60
Şekil 4.19	: Yakacık Tesisi, metan (CH ₄) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, ocak 2004-Aralık 2004)	62
Şekil 4.20	: Yakacık Tesisi, karbondioksit (CO ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)	62
Şekil 4.21	: Yakacık Tesisi, oksijen (O ₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004- Aralık 2004)	62
Şekil 4.22	: Yakacık Tesisi, metan (CH ₄) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2001-Aralık 2004)	63
Şekil 4.23	: Yakacık Tesisi, karbondioksit (CO ₂) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2001-Aralık 2004)	64
Şekil 4.24	: Yakacık Tesisi, oksijen (O ₂) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2001-Aralık 2004)	64
Şekil 4.25	: Hasdal günlük ölçekli GA modellemesinde matris yapısı	67
Şekil 4.26	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=50	69
Şekil 4.27	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=100	70
Şekil 4.28	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=200	70
Şekil 4.29	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=500	70
Şekil 4.30	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı (Kromozom sayısı 50)	71
Şekil 4.31	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı (Kromozom sayısı 100)	71
Şekil 4.32	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı (Kromozom sayısı 200)	72
Şekil 4.33	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı (Kromozom sayısı 500)	72
Şekil 4.34	: Hasdal aylık ölçekli GA modellemesinde matris yapısı	72
Şekil 4.35	: Hasdal aylık ölçekli GA model çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006) Kromozom sayısı=50	74
Şekil 4.36	: Hasdal aylık ölçekli GA model çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006) Kromozom sayısı=100	74
Şekil 4.37	: Hasdal aylık ölçekli GA model çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006) Kromozom sayısı=200	75
Şekil 4.38	: Hasdal aylık ölçekli GA model çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006) Kromozom sayısı=500	75
Şekil 4.39	: Hasdal aylık ölçekli GA çıktılarının hata frekans dağılımları (Kromozom sayısı 50)	76
Şekil 4.40	: Hasdal aylık ölçekli GA çıktılarının hata frekans dağılımları (Kromozom sayısı 100)	76

Şekil 4.41	: Hasdal aylık ölçekli GA çıktılarının hata frekans dağılımları (Kromozom sayısı 200)	76
Şekil 4.42	: Hasdal aylık ölçekli GA çıktılarının hata frekans dağılımları (Kromozom sayısı 500)	77
Şekil 4.43	: Hasdal mevsimsel (üç aylık) ölçekli GA modellemesinde matris yapısı	77
Şekil 4.44	: Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=50	78
Şekil 4.45	: Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=100	78
Şekil 4.46	: Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=200	79
Şekil 4.47	: Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=500	79
Şekil 4.48	: Lineer Regresyon (LR) model yapısı çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006, günlük ortalama)	80
Şekil 4.49	: Lineer Regresyon (LR) model yapısı çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006, aylık ortalama)	81
Şekil 4.50	: Yakacık günlük ölçekli GA modellemesinde matris yapısı	82
Şekil 4.51	: Yakacık günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2004-Aralık 2004, Kromozom sayısı=50	82
Şekil 4.52	: Yakacık günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2004-Aralık 2004, Kromozom sayısı=100	83
Şekil 4.53	: Yakacık günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2004-Aralık 2004, Kromozom sayısı=200	83
Şekil 4.54	: Yakacık günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2004-Aralık 2004, Kromozom sayısı=500	84
Şekil 4.55	: Yakacık günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı	84
Şekil 4.56	: Yakacık günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı	85
Şekil 4.57	: Yakacık aylık ölçekli GA modellemesinde matris yapısı	85
Şekil 4.58	: Yakacık aylık ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2001-Aralık 2004, Kromozom sayısı=50	86
Şekil 4.59	: Yakacık aylık ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2001-Aralık 2004, Kromozom sayısı=100	86
Şekil 4.60	: Yakacık aylık ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2001-Aralık 2004, Kromozom sayısı=200	87
Şekil 4.61	: Yakacık aylık ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2001-Aralık 2004, Kromozom sayısı=500	87
Şekil 4.62	: Yakacık aylık ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı	88
Şekil 4.63	: Yakacık aylık ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı	88
Şekil 4.64	: Farklı model değişkenleri için model tahminlerinde kullanılan GA matris yapısı	92
Şekil 4.65	: GA2 model çıkışları, Hasdal (Ocak 2003 - Mart 2006), Kromozom sayısı=50	92
Şekil 4.66	: GA2 model çıkışları, Hasdal (Ocak 2003 - Mart 2006), Kromozom sayısı=100	92
Şekil 4.67	: GA2 model çıkışları, Hasdal (Ocak 2003 - Mart 2006), Kromozom sayısı=200	93
Şekil 4.68	: GA2 model çıkışları, Hasdal (Ocak 2003 - Mart 2006), Kromozom sayısı=500	93

Şekil 4.69	: GA2 uygulaması için gerçek CH ₄ değerleri ve model tahminleri arasındaki korelasyon	94
-------------------	--	----

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Kaynaklarına göre katı atıkların sınıflandırılması	4
Tablo 2.2	: Düşük, orta ve yüksek gelirli ülkeler için kentsel katı atık bileşenleri	5
Tablo 2.3	: Ülkelere göre üretilen katı atık miktarları	6
Tablo 2.4	: İstanbul'da oluşan katı atıkların içeriğinin yıllara göre değişimi	6
Tablo 2.5	: Farklı gelir düzeyine sahip ülkelerdeki katı atık birim hacim ağırlıkları	7
Tablo 2.6	: Çeşitli ülkelerdeki katı atık yönetim teknolojilerinin dağılımı	9
Tablo 2.7	: Depo gazında bulunan tipik bileşenler	16
Tablo 2.8	: Standart koşullar altında (0° C, 1 atm) düzenli depo alanında bulunan gazların moleküler ağırlığı, yoğunluğu ve özgül ağırlığı	16
Tablo 2.9	: Depo gazındaki eser bileşenler	17
Tablo 2.10	: Yeniden üretim mekanizmaları	32
Tablo 3.1	: Hasdal ve Yakacık tesislerinin özellikleri	46
Tablo 3.2	: Hasdal ve Yakacık depo alanlarında depolanan katı atıkların bileşimi	47
Tablo 4.1	: Çalışma periyodunda Hasdal tesisinde ölçülen gaz bileşenlerinin genel Değerlendirmesi	60
Tablo 4.2	: Çalışma periyodunda Yakacık tesisinde ölçülen gaz bileşenlerinin genel Değerlendirmesi	65
Tablo 4.3	: GA model yapısında kullanılan parametrelerin, minimum, maksimum ve ortalama değerleri	66
Tablo 4.4	: Modelde kullanılan genetik algoritma parametreleri	69
Tablo 4.5	: Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının istatistiksel performans analiz parametreleri	72
Tablo 4.6	: Hasdal aylık ölçekli GA model çıktılarının istatistiksel analizi	75
Tablo 4.7	: Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıktılarının istatistiksel analizi	79
Tablo 4.8	: LR model çıktılarının istatistiksel analizi	81
Tablo 4.9	: Yakacık günlük GA model çıktılarının istatistiksel analizi	84
Tablo 4.10	: Yakacık aylık GA model çıktılarının istatistiksel performans analiz parametreleri	88
Tablo 4.11	: Modelleme çalışmasında kullanılan parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları (Günlük Model Tahminleri Yakacık Tesisi)	89
Tablo 4.12	: Modelleme çalışmasında kullanılan parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları (Aylık Model Tahminleri Yakacık Tesisi)	89
Tablo 4.13	: Modelleme çalışmasında kullanılan parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları (Günlük Model Tahminleri Hasdal Tesisi)	90
Tablo 4.14	: Modelleme çalışmasında kullanılan parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları (Aylık Model Tahminleri Hasdal Tesisi)	91
Tablo 5.1	: CO ₂ /CH ₄ oranına bağlı olarak ayrışma fazları	96

SEMBOL LİSTESİ

C	: Şekil faktörü yada boyutlandırma katsayısı
d	: 105 ⁰ C de kurutulduktan sonraki ağırlık, (kg)
D	: Ortalama boşluk boyutu
d	: Yaklaşım İndeksi
G	: Yığın aralığı (Rejenerasyon Boşluğu)
k	: Gerçek permeabilite
K	: Permeabilite katsayısı
M	: Nem içeriği
N	: Popülasyon büyüklüğü
P_c	: Çaprazlama oranı
P_m	: Mutasyon oranı
r	: Korelasyon Katsayısı
S	: Seçim stratejisi
S	: Kromozom uzunluğunu
X_i	: Bağımsız değişkeni
W	: Ölçeklendirme fonksiyonu
w	: Numunenin ilk ağırlığı, (kg)
Y_i	: Bağımlı değişken
γ	: Suyun özgül ağırlığı
μ	: Suyun dinamik viskozitesi
β₀	: Denklem sabiti
β_j	: Regresyon katsayıları
ε_i	: Hata terimi

KISALTMALAR LİSTESİ

BA	: Basınç
Bias	: Ortalama Hata Eğilimi - Mean Bias Error
GA	: Genetik Algoritma
GSUR	: Güneş Süresi
KAP	: Kapalılık
LEL	: Alt patlama sınırı - Lower Explosive Level
LFG	: Depo Sahası Gazları - Landfill Gas
LR	: Lineer Regresyon
MAE	: Ortalama Mutlak Hata - Mean Absolute Error
NE	: Nem
RH	: Ortalama Rüzgar Hızı
RMSE	: Ortalama Hata Karesi Kökü -Root Mean Square Error
SI	: Sıcaklık
UEL	: Üst patlama sınırı - Upper Explosive Level
VOC	: Uçucu Organik Karbon - Volatile Organic Carbon
YAG	: Yağış

ÖZET

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA GAZLARININ GENETİK ALGORİTMALARLA MODELLENMESİ

Bu çalışmada, katı atık depo gazlarından kaynaklanan metan (CH_4) gazının Genetik Algoritmalarla (GA) modellenmesi amaçlanmıştır. İstanbul Avrupa yakasında Hasdal katı atık depo alanı, Asya yakasında ise Yakacık katı atık depo alanı seçilmiş ve bu alanlardan kaynaklanan depo gazı emisyonları modelleme aşamasında kullanılmıştır. Bu sayede hem önemli bir çevre kirleticisi olan depo sahası gazları hakkında geniş bir veri tabanı oluşturulmuş, hem de yapılan modelleme çalışması ile bu gazların oluşumuna ve zamansal değişimine ait tahmin ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde her iki depo alanından kaynaklanan temel depo gazı bileşenlerinin (CH_4 , CO_2 ve O_2) uzun ve kısa vadeli değerlendirilmeleri yapılmış ve gaz karakterizasyonu belirlenmiştir. Hasdal katı atık depo alanında gaz karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla yaklaşık 3,5 yılı (2003, 2004, 2005 ve 2006) kapsayan depo gazı verileri kullanılmıştır. Gaz değerleri enerji üretim tesisinden elde edilen günlük ortalama konsantrasyonlardır. Yakacık depo alanındaki gaz karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla ise 2004 yılı için günlük ortalamalar halinde, 2001, 2002, 2003 ve 2004 yıllarına için ise, aylık ortalamalar halinde veri setleri oluşturulmuştur.

İkinci kısımda ise CH_4 gazı için Genetik Algoritma modellemesi uygulanmış ve model çıktıları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Model yapısında metan, karbondioksit ve oksijen gazlarıyla birlikte 7 adet meteorolojik değişken (Sıcaklık, Bulutluluk, Nem, Basınç, Güneşlenme Süresi, Ortalama Rüzgar Hızı, Yağış) kullanılmıştır. Seçilen her iki çalışma alanı için farklı şartlarda farklı model denemeleri uygulanmış ve modelin duyarlılığı ve esnekliği test edilmiştir. Ayrıca farklı zaman aralıkları için modeller oluşturulmuş ve gelecek projeksiyonları değerlendirilmiştir. CH_4 parametresinin günlük ve aylık ölçekli modellenmesinde Genetik Algoritma model sonuçlarının karşılaştırılması amacı ile aynı veriler kullanılarak günlük ve aylık bazda Lineer Regresyon (LR) modeli uygulanmış ve her model denemesi istatistiksel performans parametreleri ile karşılaştırılmıştır.

SUMMARY

MODELLING OF LANDFILL GASES (LFG) USING GENETIC ALGORITHM

This study aims to model the methane (CH₄) gas produced by landfill gases, using Genetic Algorithms (GA). The Hasdal landfill on the European side and Yakacik landfill on the Asian side in Istanbul, Turkey were selected and landfill gas emissions sourced from these areas were used in the modelling stages. Thus, a large database was created regarding the landfill gases which are an important environmental pollutant; and also with the modelling study conducted, forecast and assessments were made relating to the generation and alterations over time of these gases.

In the first part of the study, long and short term assessments of the basic landfill gas components (CH₄, CO₂ and O₂) stemming from both landfills were conducted and gas characterisation identified. For the purpose of establishing the gas characterisation in the Hasdal landfill, gas data covering approximately 3.5 years (2003, 2004, 2005 and 2006) was used. Gas values are the daily average concentrations obtained from the energy production facilities. Whereas in order to establish the gas characterisation in the Yakacik, data sets were established in the form of daily averages for 2004 and monthly averages for the years 2001, 2002, 2003 and 2004.

In the second part, Genetic Algorithm was applied for the CH₄ gas and model outputs were statistically evaluated. In the model structure, 7 meteorological variables (Temperature, Cloudiness, Humidity, Pressure, Sunshine Duration, Average Wind Speed, Precipitation) were used in addition to methane, carbondioxide and oxygen gasses. For the two study locations selected, different model tests in different conditions were applied and the sensitivity and flexibility of the model were tested. Furthermore, models were generated for different time intervals and future projections assessed. For the purpose of comparing the Genetic Algorithm model results in the daily and monthly scaled modelling of the CH₄ parameter, Linear Regression (LR) model was applied on a daily and monthly basis using the same data; and each model test was compared with the statistical performance parameters.

1. GİRİŞ

Mevcut kirlilikler içerisinde katı atıklar, bertaraf edilmemeleri halinde insanların özellikle şehirde yaşayanların ilk aşamada doğrudan karşılaştıkları kirlilik olması dolayısıyla oldukça önem taşımaktadır. Katı atıklar çok çeşitli madde gruplarından oluşmaktadır. İnsanların tüketim alışkanlıklarındaki değişimlere paralel olarak katı atıkların içerisindeki organik maddeler, plastik, cam gibi maddelerin miktarı da artmaktadır. Dolayısıyla katı atıkların düzgün bir şekilde bertaraf edilmesi doğal kaynakların korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi, enerji tasarrufu ve ekonomik nedenlerden dolayı zorunlu bir hale gelmiştir.

Türkiye'nin en büyük şehri olan İstanbul'da her gün 9000 ton katı atık oluşmakta ve bu katı atıkların büyük bir kısmı düzenli depolama alanlarında depolanmaktadır. Katı atıkların düzenli depo sahalarında bertaraf edilmesi, yakma ve kompostlaştırma gibi diğer alternatif atık bertaraf yöntemleri arasında, ekonomik avantajları dolayısıyla en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Genel olarak düzenli depolama; katı atıkların sızdırmazlığı sağlanmış büyük alanlara dökülmesi, sıkıştırılması ve üzerinin örtülerek tabii biyolojik reaktör haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlemin düzenli depolama olabilmesi için oluşacak sızıntı suyu ve depo gazı için gerekli toplama, uzaklaştırma ve tasfiye/değerlendirme tedbirlerinin alınması zorunludur.

Katı atık düzenli depo alanlarında, zamanla oluşan biyolojik ve kimyasal değişimlerle sıvı ve gaz fazında bileşikler oluşmaktadır. Katı atık depolama sahalarında oluşan gazlar doğru şekilde değerlendirilmezse çevre ve insan sağlığı için olumsuz durumlar oluşturabilirler. Depo sahası gazlarının büyük bir kısmını meydana getiren CH₄ ve CO₂ sera etkisine neden olan kirleticilerin başında gelir. Son yıllarda atmosferik sera gazlarının konsantrasyonlarının artış göstermesi, gerek akademik çalışmalarda gerekse ülke politikaları bazında Dünya' da bu konuya olan ilgiyi her geçen gün arttırmaktadır.

Bu bağlamda; atmosferik sera gazlarının ölçülmesi ve bir veri tabanının oluşturulması son derece önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, İstanbul kentinde bulunan bazı katı atık depo alanlarından kaynaklanan temel depo gazı bileşenlerinin uzun süreli incelenmesi ve CH₄ gazının zamansal değişiminin modellenmesidir. Bu amaç kapsamında kentin her iki yakasında bulunan iki adet katı atık depo sahası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu depo alanları Avrupa yakasında Hasdal, Asya yakasında ise Yakacık katı atık depo sahalarıdır.

Bu çalışma 4 bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde seçilen katı atık depo alanlarından kaynaklanan temel depo gazı bileşenleri uzun süreli periyotlarla incelenmiş ve gaz karakterizasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sayede gaz değerlerinin uzun vadeli değişimlerinden depo alanının ayrışma fazı tahmin edilmeye çalışılmıştır. İkinci bölümde elde edilen gaz değerlerinin Genetik Algoritmalarla (GA) modellenmesi yapılmıştır. GA modellemesinde farklı durumlar incelenmiş ve model mimarisi değiştirilerek modelin hassasiyeti ve uygulanabilirliği test edilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde model giriş değişkenlerinin modele olan etkileri incelenmiş ve hangi parametrelerin CH₄ ile daha yüksek korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Dördüncü bölümde düşük korelasyona sahip model giriş değişkenleri algoritmadan çıkarılarak yeni bir model yapısı denenmiştir. Son olarak çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. KATI ATIK TANIMI

Katı atık terimiyle ilgili olarak literatürde farklı tanımlar mevcuttur. 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği’nde katı atık “Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru” olarak tanımlanmaktadır (KAKY, 1994).

Tchobanoglous ve diğ., (1993) katı atıkları “tarımsal, endüstriyel ve mineral atıklarının daha homojen şekilde biriktirilmesiyle kentsel topluluklardan ve otoyollarından kaynaklanan, heterojen kütle çevrimi dahil istenmeyen yada işe yaramayan katı atık şeklinde tanımlanan her şey”, bir başka ifade de “katı olan insan ve hayvan aktivitelerinden ortaya çıkan bütün atıklar” şeklinde tanımlamışlardır.

2.1.1. Katı Atıkların Bileşimi ve Sınıflandırılması

Homojen bir yapıya sahip olmayan kentsel katı atıklar, genelde üç gruba ayrılmaktadır. Bunlardan ilki, yemek atıkları, meyve-sebze atıkları ve bahçe (çim, yaprak, vs.) atıkları olmak üzere ayrışabilen organik bileşenler; ikincisi, kağıt, karton, tekstil, plastik ve diğer sentetikler gibi çok yavaş ayrışan veya ayrışamayan organikler grubuna giren yakılabilen maddeler, üçüncüsü ise taş, kum, cam, metaller gibi inert bileşenlerdir. Yerleşim biriminin nüfusuna bağlı olarak katı atıktaki çeşitlilik ve birim miktar da çoğalır. Katı atıkların kaynaklarına göre sınıflandırılması Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Katı atıkların miktarı; su muhtevası, kalorifik değeri, bileşimi gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri atığın üretildiği bölgenin nüfusuyla, ısınmada kullanılan yakıt türüyle orantılı olarak değişiklik gösterir.

Tablo 2.1. Kaynaklarına göre katı atıkların sınıflandırılması (Kiely, 1997)

Kaynak	Uygulama	Atık türü
Evsel	Müstakil evler ve her türlü apartman yerleşimleri	Yiyecek atıkları, kağıt, ambalaj, cam, metal, kül, iri hacimli evsel atıklar, tehlikeli evsel atıklar
Ticari	Dükkanlar, lokantalar, iş yerleri, oteller ve dernekler	Besin, kağıt, ambalaj, cam, metal, kül, tehlikeli atıklar, büyük hacimli atıklar
Endüstriyel	Rafineriler, fabrikalar, hafif ve ağır sanayi tesisleri, kimyasal tesisler, madencilik tesisleri	Endüstriyel proses atıkları, metal, plastikler, katı yağlar, tehlikeli atıklar
İnşaat Atıkları	İnşaatlar	Kum, çimento, kereste, metal, cam ve ambalaj, sokak süprüntüleri

Hayat seviyesinin yükselmesi, sanayi ve teknolojinin ilerlemesi ile yeni ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi hem kişi başına üretilen çöp miktarını hem de çöplerin bileşimini büyük ölçüde değiştirmektedir. Katı atıkların miktar ve özellikleri ülkeden ülkeye ve hatta aynı ülkede kentten kente, yerel koşullar, mevsimler ve tüketim alışkanlıkları gibi pek çok faktöre bağlı olarak önemli değişiklikler göstermektedir. Düşük, orta ve yüksek gelirli ülkeler için atık bileşenlerinin değişimi Tablo 2.2’de verilmiştir.

2.2. KATI ATIKLARIN ÖZELLİKLERİ

2.2.1. Katı Atık Miktarı

Üretilen katı atık miktarı katı atık yönetiminde son derece önemlidir. Bu nedenle mevsimsel ve yıllık olarak oluşacak katı atık miktarının önceden belirlenmesi gerekir.

Üretilen katı atıkların miktarı; mevsimsel değişim, yerleşim yerinin karakteristiği ve büyüklüğü, gelir seviyesi, gelenek, alışkanlık ve tüketim eğilimleri, kaynağında ayrıştırma, geri kazanma ve zamana göre değişim gösterir (Curi, 1990). Türkiye'nin en büyük kenti olan İstanbul'da günlük ortalama katı atık oluşum miktarı 9 bin tonu aşmaktadır (Kiriş ve Saltabaş, 2007). Türkiye'de kişi başına çöp üretimi yaklaşık 0,60 kg/kişi-gün iken, bu değer Avrupa ülkelerinde 1,5-2 kg/kişi-gün, Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 3 kg/kişi-gün'dür. ISTAC A.Ş.'nin verilerine göre İstanbul ortalaması ise yaklaşık 0,9 kg/kişi-gün'dür. Bazı Avrupa ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletlerine ait toplam katı atık miktarları Tablo.2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.2. Düşük, orta ve yüksek gelirli ülkeler için kentsel katı atık bileşenleri (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Bileşenler	Düşük gelirli ülkeler (%)	Orta gelirli ülkeler (%)	Yüksek gelirli ülkeler (%)
Organikler			
Yiyecek atıkları	40-85	20-65	6-30
Kağıt	1-10	8-3	20-45
Karton	1-5	2-6	5-15
Plastikler	1-5	2-10	2-8
Tekstil	1-5	1-4	2-6
Naylon	1-5	1-10	0-2
Deri	-	-	0-2
Bahçe atıkları	-	-	10-20
Yün	-	-	1-4
İnorganikler			
Cam	1-10	1-10	4-12
Teneke	-	-	2-8
Alüminyum	1-5	1-5	0-1
Diğer metaller	-	-	1-4
Toprak, kül, vs.	1-40	1-30	0-10

2.2.2. Kompozisyon

Katı atıkların bileşimi (kompozisyonu) değişkendir. Peavy ve diğ., (1985)'in tipik atık bileşimi; yiyecek atıkları, kağıt, karton, tekstil, plastik, deri, bahçe atıkları, odun, diğer organikler, teneke kutu, demirsiz metal, demirli metal, cam ve toz, kül, tuğla, vb.

maddelerinden oluşur. İstanbul kenti için katı atık bileşiminin yıllara göre değişimi Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.3. Ülkelere göre üretilen katı atık miktarları (E.E.A., 2003)

Ülkeler	Referans	Tarih	Katı Atık Miktarları (1000 ton/yıl)
ABD	EPA.1999	1998	167080
Almanya	EEA.2003	1998	75725
Avusturya	EEA.2003	1999	48600
Belçika	EEA.2003	1999	2175
Bulgaristan	EEA.2003	1999	27697
Danimarka	EEA.2003	2000	13031
Fransa	EEA.2003	1999	128506
Hollanda	EEA.2003	2000	5870
İngiltere	EEA.2003	1999	37800
İspanya	EEA.2003	2000	20308
İsveç	EEA.2003	1998	8760
İtalya	EEA.2003	1998	7275
Macaristan	EEA.2003	1998	79980
Polonya	EEA.2003	2001	134919
Romanya	EEA.2003	2000	55832
Türkiye*	EEA.2003	1998	24944
Yunanistan	EEA.2003	1996	3313

* : Türkiye için sadece kentsel atıkların toplamı verilmiştir.

Tablo 2.4. İstanbul’da oluşan katı atıkların içeriğinin yıllara göre değişimi

Parametre	Baştürk, (1979) (% ağırlık)	WHO-UNDP, (1981) (% ağırlık)	CH2M Hill, (1992) (% ağırlık)	Arıkan, (1996) (% ağırlık)	Özkaya, (2004) (% ağırlık)
Kül	29	14,6	15	13,2	9
Organik madde	46,5	60,6	45	48	44
Kağıt	19	18,8	14,5	8,4	8
Plastik	3,5	3,1	9,5	11	5
Cam	3	0,7	3,8	4,6	6
Tekstil	3	3,1	5,6	2,9	5
Metal	1,5	1,5	2,2	2,3	6
Diğer maddeler	1,5	6,9	4,4	6,3	9
Bebek bezi	-	-	-	3,2	8

2.2.3. Birim Hacim Ağırlığı

Atığın birim hacim ağırlığı, birim hacimdeki atık materyalin ağırlığı olarak tanımlanır ve genel olarak kg/m³ ile ifade edilir (Tchobanoglous ve diğ., 1993). Katı atıkların birim hacim ağırlığı, jeolojik yapıya, mevsime ve depolama zamanının büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Katı atık üretiminin fazla olduğu gelişmiş toplumlarda birim hacim ağırlığı düşüktür. Bunun nedeni atığın içerisinde yüksek oranda bulunan kağıt, plastik gibi materyallerin geniş boşluk oranına ve düşük nem miktarına sahip olmasıdır.

Az gelişmiş ülkelerde özellikle yiyecek atıklarının ve külün fazla olması birim hacim ağırlığını yükseltmektedir. Tablo 2.5' de gelir düzeylerine göre bazı ülkelere ait birim hacim ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 2.5. Farklı gelir düzeyine sahip ülkelerdeki katı atık birim hacim ağırlıkları

Ülkeler	Birim hacim ağırlığı (ton/m ³)
<i>Endüstrileşmiş Ülkeler</i>	
A.B.D	0,1
İngiltere	0,15
<i>Orta Gelir Düzeyli Ülkeler</i>	
Singapur	0,17
Tunus	0,17
Nijerya	0,25
Mısır	0,33
<i>Düşük Gelir Düzeyli Ülkeler</i>	
Tayland	0,25
Endonezya	0,25
Pakistan	0,5
Hindistan	0,5

2.2.4. Nem İçeriği

Katı atıkların nem içeriği homojen hale getirilmiş numuneden bir miktar alınarak 105 °C de kurutulma ile tayin edilir. Ağırlık-ağırlık metoduna göre nem içeriği aşağıda verilen denklem ile hesaplanabilir (Abbound, 2000).

$$M = \left\{ \frac{(w - d)}{w} \right\} \times 100$$

Burada;

w: Numunenin ilk ağırlığı, (kg)

d: 105⁰ C de kurutulduktan sonraki ağırlık, (kg)

M: Nem içeriği

Nem içeriği; katı atık türü, katı atık kompozisyonu, mevsim, iklim şartları ve yağış türüne göre değişir. Kentsel katı atıklar için gelişmiş ülkelerde bu değer %15-40 arasındadır. Endüstriyel katı atıklarda nem içeriği %10-35 arasında değişmektedir (Tchobanoglous ve diğ., 1993) .

2.2.5. Tane Boyutu ve Dağılımı

Katı atık kompozisyonundaki materyallerin boyutu, atıktaki bazı materyallerin geri kazanımı açısından önem taşımaktadır. Özellikle silindir şeklinde dönen tanbur ve magnetik ayırıcılar gibi atıkların mekanik ayırma metotları için parçacık boyutlarının önceden bilinmesi gerekli olmaktadır. Bunun yanında düzenli depolama yapılan katı atıklarda tane boyu depo gazı oluşumuna etki etmektedir. Daha küçük tane boyuna sahip öğütülmüş atıkların depo gazı etkisi üzerine olumlu etki yaptığı düşünülmektedir (McBean ve diğ., 1995). Küçük tane boyutuna sahip atıklar, gaz oluşumunu etkileyen önemli parametreler olan nem, nutrientler ve mikroorganizmalar için daha büyük yüzey alanı oluşturmaktadır. İyi şekilde öğütülmüş bir atık kütlesi, mikrobiyal aktiviteyi ve nutrientlerin ortamda dağılımını artırır.

2.2.6. Hidrolik İletkenlik

Sıkışabilir atığın hidrolik iletkenliği, depo alanlarındaki gaz ve sıvının taşınmasını etkiler. Buna göre permeabilite;

$$K = C \cdot d^2 \cdot \frac{\gamma}{\mu} = k \cdot \frac{\gamma}{\mu}$$

Burada;

K: Permeabilite katsayısı

C: Şekil faktörü yada boyutlandırma katsayısı

d: Ortalama boşluk boyutu

γ : Suyun özgül ağırlığı

μ : Suyun dinamik viskozitesi

k: Gerçek permeabilite

Burada geçirgenlik; katı materyalin özelliğine, boşluk dağılımına, spesifik yüzeye ve poroziteye bağlıdır.

2.3. KATI ATIKLARIN DÜZENLİ DEPOLANMASI

Düzenli depolama; çevre ve insan sağlığını korumak için arazide katı atıkların mühendislik metotlarına uygun olarak depolanmasıdır. Genel olarak düzenli depolama; katı atıkların sızdırmazlığı sağlanmış büyük alanlara dökülmesi, sıkıştırılması ve üzerinin örtülerek tabii biyolojik reaktör haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlemin düzenli depolama olabilmesi için oluşacak sızıntı suyu ve depo gazı için gerekli toplama, uzaklaştırma ve tasfiye/değerlendirme tedbirlerinin alınması zorunludur (Demir ve diğ., 1999). Katı atıkların düzenli depo sahalarında bertaraf edilmesi, yakma ve kompostlaştırma gibi diğer alternatif atık bertaraf yöntemleri arasında, ekonomik avantajları dolayısıyla en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Tablo 2.6'de bazı ülkelerde atık bertarafında kullanılan yöntemler verilmiştir.

Tablo 2.6. Çeşitli ülkelerdeki katı atık yönetim teknolojilerinin dağılımı (Leao ve diğ., 2001)

Ülke	Katı atık bertaraf teknolojisinin kullanıldığı oran (%)			
	Düzenli depolama	Yakma	Kompostlaştırma	Geri kazanım
Avustralya	82	2,5	-	15,5
Kanada	80	8	2	10
Fransa	45	42	10	3
Almanya	46	42	10	3
Yunanistan	100	-	-	-
İrlanda	97	-	-	3
İtalya	74	16	7	3
Hollanda	45	35	5	13
Portekiz	85	-	15	-
İspanya	64	6	17	13
İngiltere	88	6	-	6
A.B.D	67	16	2	15

Düzenli depolama uygulanacak bölgedeki mevcut alan ve hacmi en etkin şekilde kullanmak için katı atıkların depolama alanına yerleştirilmesi ile ilgili çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler depolama alanındaki topografya koşulları (eğim, tümsek veya çukurların mevcudiyeti), zemin özellikleri, çöpün üzerini örtmek için kullanılan toprağın karakteristiği, depolamada kullanılacak ekipmanlar ve depo sahasının serilen işletme özelliklerine göre farklılık gösterir (Alparslan, 2005). Bölgenin topografyasına ve peyzajına (ev, fabrika vb.) bağlı olarak çöpler, alan metodu hendek, ve vadi dolgusu metodu olmak üzere üç farklı şekilde depolanmaktadır.

Alan metodunda sadece düz alanlardan değil, dar ve derin dereler gibi tabii çöküntü ve çukurlardan, kuyu gibi hazırlanmış alanlardan hatta yatık meyilli yamaçlardan faydalanılabilir. Arazinin hendek kazılmasına müsait olmadığı veya buna ihtiyaç bulunmadığı hallerde alan metodu uygulanır. İşletme sırasında, kamyonlardan boşaltılan çöpler arazi üzerine dar şeritler halinde serilir; şeritlerin yükseklikleri (kalınlıkları) 0.40 - 0.80m (30-60cm) arası değişir. Günlük işletme sonunda sıkıştırılan çöp yığını üzerine 20-30 cm toprak örtü tabakası serilir (Rushbrook ve Pugh, 1999). Doldurma işlemi genellikle daha önce inşa edilen toprak bir seddenin dibinden başlar ve sıkıştırılarak sedde yüksekliğine kadar devam eder. Sıkıştırılan çöpler 6 m genişliğinde şeritler halinde yükselir. Üzeri toprakla örtülerek sıkıştırılmış çöp yığınına hücre denir ve hücreler üst üste inşa edilerek planlanan seviyeye ulaşılır.

Hendek metodu, yeterli miktarda örtü malzemesinin bulunduğu ve su seviyesinin yüzeye yakın olmadığı alanlarda arazinin kazılıp, çöpün buraya sıkıştırılarak doldurulması ve üzerinin örtülerek kapatılması şeklinde tanımlanır (Rushbrook ve Pugh, 1999; Alparslan, 2005). Bu yöntem, killi, sızdırmaz zeminlerde ve küçük nüfuslu yerleşimlerde uygulanır. Bu metodda çöp dökmeden önce yeterli uzunlukta bir hendek açılır. Kazanılan zemin, örtü toprağı olarak daha sonra kullanılmak üzere kazılacak hendek kenarından uzakta depolanır veya başka bir yerden getirilir. Bu yöntemde 30–150 m uzunluğunda, 2 m derinliğinde ve 5 – 7,5 m. genişliğinde bir hendek kazılır. Çıkan toprak örtü malzemesi olarak saklanır. Örtü tabakası depolama yerinde ise ve yeraltı suyu tabii zemine yakın değilse bu metod uygundur. Katı atıklar, 30–40 cm. kalınlıkta serilip buldozer veya kompaktörle sıkıştırılır.

Vadi dolgusu metodunda çöpler; doğal çöküntü alanlarına, kazılmış maden alanlarına ya da tepe içersindeki alanlara depolanırlar. Bu metot diğer iki metottan daha fazla atığın benzer yüzey alanlarında yerleştirilmesine olanak tanır. Bunun yanı sıra tamamlandığında kubbeli alan yuvarlak biçime dikey olarak yükselir (Rushbrook ve Pugh, 1999; Alparlan, 2005). Vadi dolgusu metodunda, vadilerde düzenli depolamanın yapımından önce mevcut kuru veya sulu dereler, akarsular depolama alanının memba tarafından başlayıp mansap tarafında biten tünel veya menfezlerle çöplerle teması kesilmelidir. Menfez ve tüneller yeraltı ve çöp sızıntı ve süzüntü sularına karşı iyice yalıtılmalıdır. Vadi metoduyla çalışırken bütün çalışma bölgesi yağış ve akış sularına karşı çevresel hendeklerle donatılmalı, yağış sularının çöplerle teması kesilmeli, gerekli hallerde pompalarla sular çalışma sahası dışına aktarılmalıdır.

2.3.1. Katı Atık Depo Sahalarındaki Biyokimyasal Süreçler

Düzenli depolama alanlarında depolanan katı atıklar çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik proseslerle ayrışırlar. Ayrışmanın neticesinde katı, sıvı ve gaz halinde yan ürünler meydana gelir (Demir ve diğ., 2003). Çöpün içersindeki organik maddelere etkiyen biyolojik prosesler çöpün döküm yerine dökülmesinden hemen sonra faaliyete başlar (Christensen ve Kjeldsen, 1995). Fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler birbirine bağlı olarak ilerledikleri için beraber düşünölmelidir. Örneğin; fiziksel ve kimyasal prosesler biyolojik faaliyetler için gerekli nutrientlerin mevcudiyetini etkiler (McBean, 1995).

Katı atıkların fiziksel ayrışması, atığın fiziksel bozunması ve su hareketi ile çökmesi ve yer değıştirmesi ile meydana gelir. Katı atıkların ayrışmasında rol oynayan kimyasal prosesler ise hidroliz, çözünme/çökelme, sorbsiyon/desorbsiyon ve iyon değıştirmedir (Tınmaz ve Demir, 2005). Kimyasal ayrışma, çöpün niteliğinin değışmesi ve çöp bileşenlerinin daha büyük hareket kabiliyeti kazanması ile sonuçlanır (McBean, 1995). Kimyasal ve fiziksel prosesler çöpün ayrışmasına katkı sağlamaktadır. Fakat ayrışmada en önemli proses biyolojik ayrışma prosesidir. Bunun nedeni metanın biyolojik ayrışma sonucu oluşmasıdır (Martin ve diğ., 1997).

Biyolojik ayrışma ortamda bulunan bakteriler tarafından gerçekleştirilen doğal bir süreçtir. Biyolojik parçalanma sürecinde; atık ilk depolandığında oksijen ihtiva eder ve oluşan prosesler aerobiktir. Bunun sonucu olarak su ve karbondioksit oluşur. Bu olay ortamdaki oksijen tükeninceye kadar devam eder. Ortamdaki oksijen tükendiğinde ise anaerobik şartlar meydana gelir ve bir kısım zincirleme reaksiyonlar sonucunda organik kısımlar ayrışır (Bottomley, 1993; Jaffrin ve diğ. 2003) (Şekil 2.1). Ayrışmaya, katı atığın özellikleri, sıcaklık, pH ve su içeriği gibi bazı faktörler etki ederler (El-Fadel, 1997).

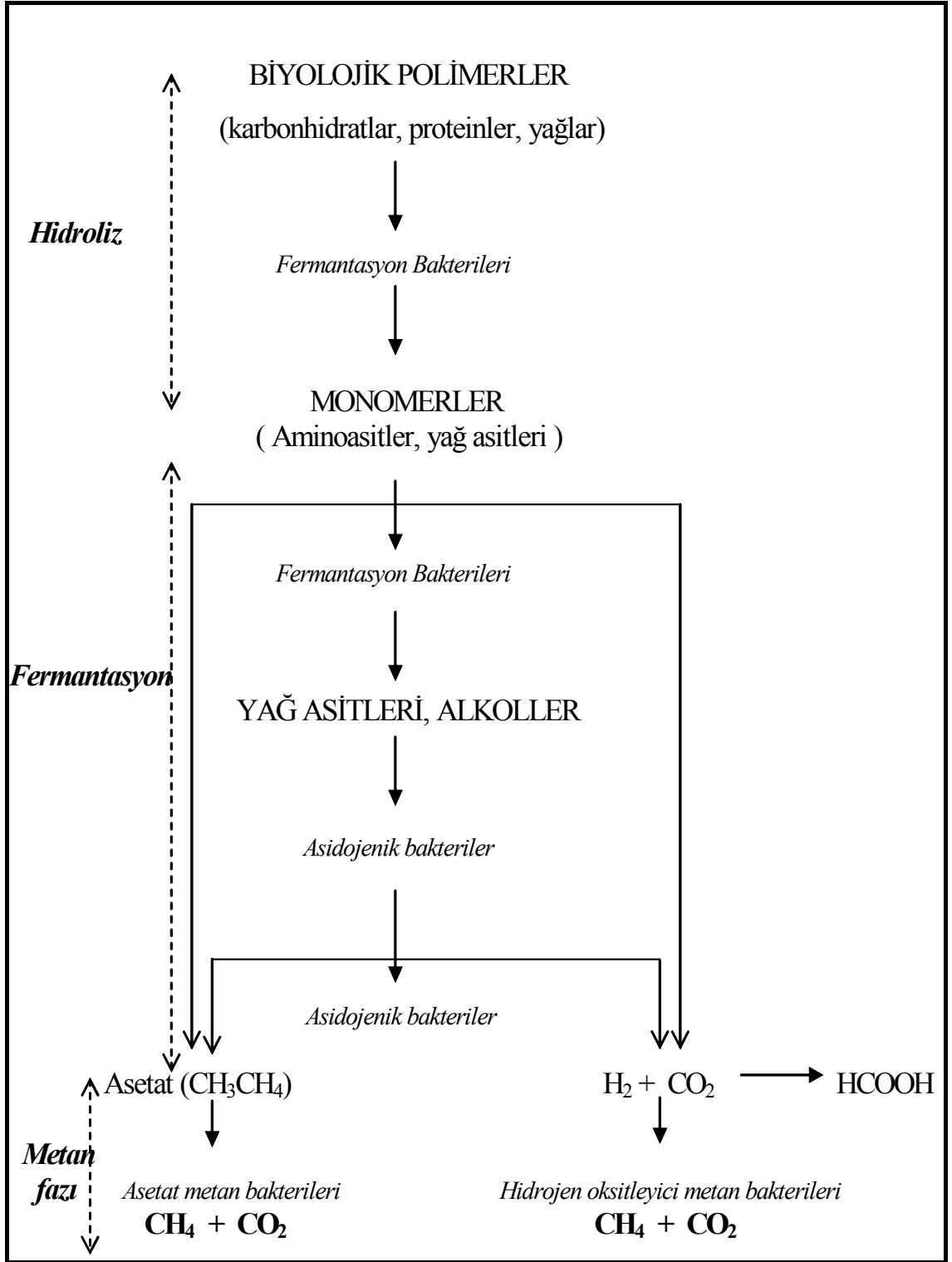
2.3.2. Katı Atık Depo Sahası Gazları

Katı atıkların depolama tesisine yerleştirilmesi ve örtü tabakası ile kapatılmasından sonra atık içerisinde bulunan bileşenler kütlelerin korunumu kanununa uyararak bir takım dönüşümlere uğrarlar. Depo gazı oluşumu; organik atıkların mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucu karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve diğer eser gazların (H₂S, N₂, VOCs) oluştuğu biyolojik bir süreçtir (USEPA,1994; Desideri, 2003; Chen ve diğ, 2003; Quin, 2001; Tsai, 2007).

Depo gazının % 60 – 40'ı CH₄, geri kalanı ise CO₂ ve diğer eser gazlardır (Humer ve Lechner, 1999; Duerr ve diğ., 2007; Kallistova ve diğ., 2005). Depo gazlarının oluşumu 5 farklı faz şeklinde gelişir (Tchobanoglous ve diğ., 1993; Johannessen, 1999).

I. Faz (İlk Uyum Fazı): Bu fazdaki biyolojik parçalanma aerobik şartlar altında olmaktadır. Burada; atığın depolanması sırasında ihtiva ettiği oksijen kullanılır. Bu reaksiyonları gerçekleştiren mikroorganizmaların kaynağı günlük örtü ve nihai örtü olarak kullanılan örtü toprağı ve katı atıkların kendisidir (Nastev ve diğ., 2001). Depo sahasına depolanan, çürütülmüş atıksu arıtma tesisi çamurları ve devrettirilen sızıntı suyunda bulunan organizmalar diğer kaynaklardır (Tchobanoglous ve diğ., 1993; Johannessen, 1999).

Atıkların maruz kaldığı ilk ayrışma şekli olan aerobik ayrışma depo sahası içerisinde sınırlı miktardaki oksijen tükenene kadar süren ve atık ayrışması için yüksek miktarda oksijen gerektiren bir fazdır (Nastev ve diğ 2001). Depo sahalarında aerobik ayrışma



Şekil 2.1. Organik maddelerin anaerobik ayrışmasına ait akış diyagramı

fazı, oksijenin açık havadan difüzyonla ve yağmur suyundan temin edildiği üst tabakada meydana gelir. Bütün aerobik proseslerin olduğu bu üst tabakada proteinler aminoasitlere indirgenir. Bunlardan da CO₂, su, nitrat ve sülfatlar oluşur. Atığın organik kısmının büyük bir bölümünü oluşturan selüloz basit temel enzimlerle glikoza, glikozda bakteriler tarafından CO₂ ve suya dönüştürülür. Karbonhidratlar ise CO₂, su ve yağ asitlerine hidrolize olan yağlara, gliserin ve daha basit katabolik parçalara ve alkalilere dönüşür. Depo sahasının içerisindeki oksijenin azlığı ve katı atıkların organik içeriğinin çok fazla olması, bu fazın genelde hızlı ve kısa sürmesinin sebeplerindedir.

II. Faz (Geçiş Fazı): Bu fazda ortamdaki oksijen kullanılmış ve anaerobik şartlar gelişmeye başlamıştır. Depo ortamındaki oksijen tükendiğinde anaerobik safhanın ara ürünleri oluşmaya başlar. Fermantasyon ve asit üreten bakterilerin faaliyeti sonucu uçucu yağ asiti, CO₂ ve H₂ üretimi gerçekleşir. Bu fazda oluşan biyogazın başlıca bileşeni CO₂'dir, CH₄ ve H₂'in oranı daha düşüktür. Anaerobik şartların oluşmasıyla birlikte nitrat ve sülfat, azot (N₂) ve hidrojen sülfür (H₂S) gazına dönüşürler. Anaerobik koşulların oluşumu atığın yükseltgenme/indirgenme potansiyelinin ölçümü ile kontrol edilir. Nitrat ve sülfatın indirgenmesi için indirgenme potansiyelinin 50 – 100 mV arasında olması gerekir. Yükseltgenme/indirgenme potansiyeli 150 – 300 mV arasında olduğu durumlarda metan üretimi görülür. Bu fazda sızıntı suyunun pH'sı, organik asitlerin oluşumu ve CO₂ gazının artması nedeniyle düşer (Tchobanoglous ve diğ., 1993; Johannessen, 1999)

III. Faz (Asit fazı): Bu fazda önemli miktarda organik asit oluşur ve H₂ miktarı azalır. Bu olayın etkisiyle mikrobiyal aktivite hız kazanır. Asit fazı üç aşamadan meydana gelir. İlk aşamada yüksek molekül kütlesine sahip bileşikler (yağlar, polisakkaritler, proteinler, nükleik asitler) hidrolize olarak, mikroorganizmaların enerji ve karbon kaynağı olarak kullanabilecekleri basit elementlere dönüşürler. İkinci aşamada ise oluşan bu basit elementlerden mikrobiyal aktiviteler sonucu büyük miktarda asetik asit (CH₃COOH) ve az miktarda diğer kompleks organik asitler meydana gelir. Üçüncü faz boyunca oluşan temel gaz karbondioksittir. Bu reaksiyonlarda görev alan mikroorganizmalar “asidojen” ler olarak tanımlanır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

IV. Faz (Metan Fermantasyon Fazı): Bu safha stabil metan üretimi ile karakterize edilir (gazın kompozisyonu ve üretim hızı sabittir). Bu aşamada asit fazında oluşan asetik asit ile hidrojen gazını H_2 , CH_4 ve CO_2 'e dönüştüren mikroorganizmalar baskın duruma geçerler. Üçüncü fazın sonunda gelişmeye başlayan ve bu fazda etkin hale geçen bu anaerobik mikroorganizmalar “metanojen” (metan yapıcı) olarak tanımlanır. Bu fazda metan oluşum hızı artarken asit oluşumu azalır. Atıkların kaynağına (kağıt, mutfak atıkları gibi) bağlı olarak gaz üretiminde salınımlar gözlenebilir.

V. Faz (Olgunlaşma Fazı): Depo gazının oluşum hızı bu fazda düşer (Bove ve Lunghi, 2006). Çünkü nutrientlerin birçoğu daha önceki fazlarda sızıntı suyu ile uzaklaştırılmıştır ve depo alanında kalan substratlar biyolojik olarak yavaş ayrışan maddelerdir. Başlıca depo gazları olan CH_4 ve CO_2 bu fazda tam olarak gelişir. Az miktarda da N_2 ve O_2 görülür (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Depo gazlarının oluşumundaki her bir fazın süresi; organik bileşenlerin depo alanlarındaki dağılımı, nutrientlerin mevcudiyeti, atığın nem muhtevası, nemin depo alanı boyunca hareketi ve ilk sıkışma gibi faktörlere bağlıdır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.3.3. Depo Gazının Bileşimi ve Özellikleri

Farklı fazların karışımından oluşan depo gazları; büyük miktarlarda bulunanlar (temel gazlar) ile düşük miktarlarda bulunanlardan (eser gazlar) meydana gelmektedir. Depo alanlarında bulunan gazlar, NH_3 , CO_2 , CO , H_2S , N_2 ve O_2 'dir. CH_4 ve CO_2 , ayrışabilen evsel katı atıkların anaerobik ayrışması neticesinde oluşan başlıca gazlardır (Tchobanoglous, 1993; Lombardi, 2006). Depo gazlarının katı atık depo alanlarında bulunma oranları Tablo 2.7'de, molekül ağırlıkları ve yoğunlukları ise Tablo 2.8'de verilmiştir. CH_4 , depo gazının hacimce ortalama % 55'ini oluşturur ve katı atık depo sahaları en önemli antropojenik CH_4 kaynaklarıdır (Shin ve diğ., 2002; Tagaris ve diğ., 2003). CH_4 'ın yoğunluğu depo sahasındaki sıcaklık aralıklarında $0,6 - 0,7 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir. Bu değerler atmosferik havanın yoğunluğunun hemen hemen yarısına eşit olduğundan, CH_4 rahatlıkla depo sahası dışına çıkabilir (Bilgili, 2002). Temel depo gazı bileşenlerinin (CH_4 , CO_2) yanında depo gazlarında eser miktarda bulunan gazlar da

mevcuttur. Araştırmacılar tarafından depo gazı içerisinde 170’den fazla bileşiğin olduğu tespit edilmiştir (Gendebien, 1992).

Tablo 2.7. Depo gazında bulunan tipik bileşenler (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Bileşen	Yüzde (kuru hacimde)
Metan	45 – 60
Karbondioksit	40 – 60
Azot	2 – 5
Oksijen	0,1 – 1
Sülfür, disülfür, merkaptanlar vb.	0 – 1
Amonyak	0,1 – 1
Hidrojen	0 – 0,2
Karbonmonoksit	0 – 0,2
Eser bileşenler	0,01 – 0,6

Tablo 2.8. Standart koşullar altında (0° C, 1 atm) düzenli depo alanında bulunan gazların moleküler ağırlığı, yoğunluğu ve özgül ağırlığı (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Gaz	Formül	Molekül Ağırlığı (g)	Yoğunluk (g/L)	Özgül Ağırlık kg/m ³
Hava		28,97	1,2928	1,2943
Amonyak	NH ₃	17,03	0,7708	0,7721
Karbondioksit	CO ₂	44	1,9768	1,9783
Karbonmonoksit	CO	28	1,2501	1,2511
Hidrojen	H ₂	2,016	0,0898	0,0897
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	34,08	1,5392	1,5394
Metan	CH ₄	16,03	0,7167	0,7176
Azot	N ₂	28,02	1,2507	1,2527
Oksijen	O ₂	32	1,4289	1,4289

Depo alanlarındaki eser bileşenler iki temel kaynaktan (endüstriyel ve ticari atıklar) oluşur. Bu eser bileşenler depo alanına kabul edilen atıklarla girer veya saha içerisinde gerçekleşen biyotik ve abiyotik reaksiyonlarla üretilir. Depo alanlarında bulunan eser bileşenler ve miktarları Tablo 2.9’de verilmiştir.

Tablo 2.9. Depo gazındaki eser bileşenler (El-Fadel, 1997)

Eser bileşik grubu	Konsantrasyon aralığı (mg/m ³)
Alkoller	2-2500
Organosülfür bileşikleri	3-240
Halojenli hidrokarbonlar	1-2900
Aromatik hidrokarbonlar	30-1900
Aldehitler	0-200
Ketonlar	0-50
Hidrokarbonlar	
Alkanlar	20-4500
Alkenler	6-1100
Sikloalkanlar	1-1000
Esterler	0-1300
Eterler	0-250

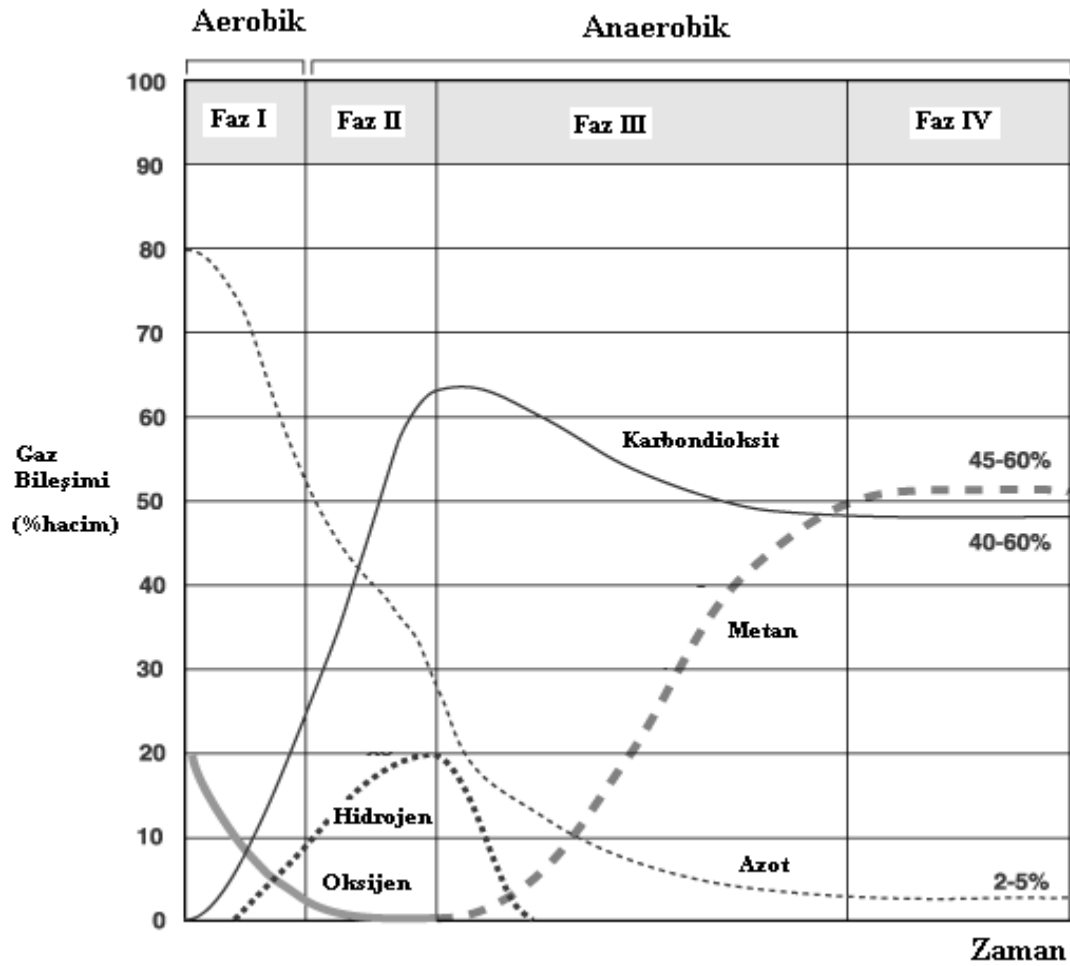
2.3.4. Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler ve Depo Gazının Zamanla Değişimi

Katı atık depo sahalarında gaz üretimine etki eden faktörler; nutrient içeriği, sıcaklık, nem içeriği, pH, partikül boyutu, atığın yoğunluğu, gömülen atıkların bileşimi, toksik bileşenler, oksijen ve amonyak olarak sıralanabilir (McBean, 1995; US Army Corps Eng, 1995; El-Fadel, 2000; Sanchez ve diğ., 2006; Haarstrick ve diğ., 2004). Bunun yanında bazı araştırmacılar mikrobiyal süreçlerin yerel iklimsel koşullardan da etkilendiğini ortaya koymuşlardır (Dever ve diğ, 2007; Humer ve Lechner, 2001).

Nem içeriği katı atıkların ayrışmasında ve gaz üretiminde en önemli parametre olarak düşünülmektedir. Bu yüzden yeteri kadar nem muhtevasının bulunması gaz oluşumu için gereklidir. Su fazının nutrient içeriği ise ikinci önemli parametredir. Çünkü gaz oluşumu için bakteri popülasyonunun artması gereklidir. Ayrıca metabolizmaların gelişmesi için de nutrient gereklidir. pH ve sıcaklık gibi çevresel parametreler bakterilerin anaerobik ortamda aktivitesini etkiler (McBean, 1995). Anaerob bakterilerin kararlılığının sağlanabilmesi için ortamda kesinlikle serbest oksijen bulunmamalıdır. Depo gazının oksijen miktarı % 3'ten az olmalıdır. İstenilen miktar ise % 1 civarındadır (Greedy, 2007). Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile anaerob arıtma sürecini ve depo gazını oluşumunu olumsuz yönde etkilemektedir.

Katı atık depo sahalarında, oluşan gazların miktarında zaman içinde bazı değişiklikler gözlenir. Normal şartlar altında, üretilen depo gazı iki yılda en yüksek seviyeye ulaşır ve daha sonra azalmaya başlar. Bu azalma bazı faktörlere bağlı olarak 25 yıl veya daha fazla sürebilir (Zamorano ve diğ, 2007; Meraz ve diğ, 2004; Kirkeby ve diğ., 2007). Depo gazlarının zamana göre değişimi Şekil 2.2’de verilmiştir. Şekil 2.2’de görülen fazların süreleri ise yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde oluşmaktadır.

- Faz I – Bir hafta
- Faz II – 1 – 6 ay
- Faz III – 3 ay – 3 yıl
- Faz IV – 8 – 40 yıl



Şekil 2.2. Depo gazlarının oluşumu ve zamana göre ortaya çıkan konsantrasyonları (Bove ve Lunghi, 2006)

2.3.5. Katı Atık Depo Sahası Gazlarının Çevresel Etkileri

Katı atık düzenli depolama sahaları, açık havada yakma, açık sahalarda vahşi depolama ve denize dökme gibi alternatif yöntemlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırma ihtiyacından dolayı geliştirilmiştir. Katı atıkları düzenli depolanması eski uygulamaların bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmış olsa da, depo gazı kontrolü gibi yeni bir problemle karşılaşmıştır. Depo gazlarının çevresel etkileri:

- Yangınlar ve patlamalar
- Sera etkisi
- Yeraltı suyu kirliliği
- Bitki örtüsüne zararları
- İstenmeyen kokular, olarak sıralanabilir (El-Fadel, 1997; Curi, 1995).

2.3.5.1. Yangın ve Patlama Tehlikesi

CH₄ içeriği bakımından zengin olan depo gazları, enerji kazanımı için uygun olmasına rağmen; uçuculuğu ve havayla birlikte patlayıcı özelliğe sahip olması gibi olumsuz etkilere sahiptir. Hava içerisindeki CH₄ konsantrasyonu % 5 – 15 arasında olduğunda patlama riski doğmaktadır (Falzon, 1998). Bu sınır değerlere sırasıyla alt patlama sınırı (Lower Explosive Level, LEL) ve üst patlama sınırı (Upper Explosive Level, UEL) denilmektedir. LEL altındaki CH₄ yüzdelerinde patlama söz konusu olmamaktadır. Üst limitin üzerinde metan – hava karışımı yanmakta, fakat patlayıcılık göstermemektedir (Nastev ve diğ., 2001). Bu durum literatürde 1 hacim metanın 10 hacim hava (veya 2 hacim oksijen) ile karışması ile patlama olur şeklinde açıklanmaktadır (Gönüllü, 1999). Metan konsantrasyonları bu kritik seviyeye ulaştığında, atık içerisindeki oksijen tamamen tükenmiş olduğundan depolama sahalarında patlamaların meydana gelmesi gibi doğrudan bir tehlike söz konusu değildir. Ancak bazı durumlarda sahada yangınlar çıkabilir. Özellikle 1980'lerin sonuna doğru, metan gazı bu özelliğinden dolayı yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır (Lee ve Hwang 2007). Bu sayede hem elektrik ve enerji elde edilmiş, hem de metan gazının oluşturduğu hava kirliliği bir miktar engellenmiştir Literatürde katı atık depo sahası gazlarının enerji üretiminde kullanımına dair bir çok çalışma mevcuttur (Wanichpogpan ve Gheewala, 2007; Çelikleş, 2001). CH₄'ın yakılmasıyla üretilen enerji çeşitli şekillerde kullanılabilir. Doğrudan termal

ısıtıcı olarak (seralarda, tuğla fırınlarında, evlere sıcak su temininde) kullanımının yanında, sızıntı suyunun buharlaştırılmasında da kullanılabilir (Voell, 2007).

2.3.5.2. Depo Gazlarının Sera Etkisi

Dünya; doğal olarak atmosferde bulunan su buharı, CO₂ ve diğer az miktarda bulunan sera gazları nedeniyle sıcaklık kontrol sistemine sahiptir. Katı atık depo sahalarından kaynaklanan gazların önemli bir bölümünü oluşturan CH₄ ve CO₂ küresel ısınmaya neden olan iki önemli gazdır (Einola ve diğ. 2007; Wuebbles and Hayhoe, 2002; Mickler, 2004). Sera gazları yer yüzeyinde oluşan kızılötesi radyasyonu tutar ve atmosferin ısınmasına neden olur (Kökçam ve Bahadır, 2001). CO₂ ve H₂O buharından sonra infrared ışınlarını tutan üçüncü önemli gaz CH₄'dir. CH₄, moleküler ölçekte küresel ısınmaya CO₂'den 20 – 25 kat daha fazla etki yapmakta ve diğer gazlara nazaran atmosferde kalma süresi daha uzun olmaktadır (Bilgili, 2002; Blaha, 1999; Park, 2001; Lay, 1998; Knaebel ve Reinhold, 2003; Czepiel ve diğ, 2004; Humer-Huber 2004; Themelis ve Ulloa, 2007). Katı atık depo alanları antropojenik metan emisyonlarının %3 – 19'unu oluşturmaktadır (Mor ve diğ. 2006). CH₄'in daha az ancak yine de önemli bir kısmı, sahanın yakınında ki toprak örtüsüne doğru hareket eder veya saha içerisindeki veya civardaki boşluklarda birikir. 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'in sera etkisi CO₂'nin sebep olduğu sera etkisinin 1/4'ü kadardır. Yeryüzünde, 1860 yılından bu yana görülen yaklaşık 0,7 °C' lik küresel ısınmanın % 60'luk bölümünün CO₂'den kaynaklandığı belirlenmiştir (Mosher, 1999).

Sera gazları olarak bilinen gazların atmosferdeki konsantrasyonlarının artması bazı çevresel problemler doğurmaktadır. Bunlar (USEPA, 2002);

- Deniz suyu seviyelerinin artması ve sahil şeritleri ile akarsu deltalarının sular altında kalması,
- Buzulların ve kar örtülerinin erimesiyle tatlı su kaynaklarının azalması,
- Atmosferik ısınmayla birlikte, artan sıcaklığın etkisiyle salgın hastalıkların daha kolay yayılması ve buna bağlı olarak ölümlerin artması,

- Sıcaklığın etkisiyle ekolojik çeşitliliğin azalması ve bazı türlerin soylarının tükenmesi,
- Değişen atmosferik sıcaklıklara bağlı olarak tarımsal üretimde azalmaların görülmesi olarak sıralanabilir.

2.3.5.3. Yeraltı Suyu Kirliliği

Yüksek konsantrasyonlarda CO₂ içeren depo gazları, bu gazın yüksek çözünürlüğe sahip olmasından dolayı yeraltı suyunu kirlenme potansiyeline sahiptir. Ayrıca depo gazındaki eser miktardaki toksik gazların da hava ve yeraltı suyu kaynaklarına ciddi zararlar verebileceği bilinmektedir.

2.3.5.4. Bitki Örtüsüne Zararları

Depolama sahasında gaz kontrolü olmadığı durumlarda, depo gazı konsantrasyon ve basınç farklılıklarına bağlı olarak yukarı doğru hareket ederek atmosfere ulaşılabilir. Bu olaylar sırasında oksijen yer değiştirir ve bitki kökleri, yüksek konsantrasyonlarda metan ve karbondioksit maruz kalırlar. Doğrudan metana maruz kalmak bitki büyümesini etkilemeyebilir. Ancak metanın oksidasyonu sırasında, topraktaki oksijenin azalması ve açığa çıkan ısının toprak sıcaklığını artırması bitkinin havasız kalmasına sebep olur. Depo gazı ve metanın oksidasyonundan açığa çıkan yüksek konsantrasyonlarda CO₂ (% 30 – 45) bitkinin gelişmesine zarar verebilir.

Depo gazı içerisinde bulunan eser bileşikler bitki örtüsüne toksik etkide bulunabilir. Amonyak (NH₃), karbonmonoksit (CO) ve hidrojen sülfür (H₂S) gibi inorganik bileşiklerin bitkilere zarar verdiği bilinmektedir. Uçucu organik asitler, halo-organik bileşikler, hidrokarbonlar ve siklikhidrokarbonlar bitkiler için çok tehlikelidir.

2.3.5.5. İstenmeyen Kokular

Kokular, genellikle atmosfere yayılan depo gazı içerisinde, düşük konsantrasyonlarda kokuya yol açan bileşenlerin (esterler, hidrojen sülfür, organosülfürler, alkilbenzenler ve diğer hidrokarbonlar) bulunmasından kaynaklanmaktadır (Kim, 2006). Atık kompozisyonu, depo yaşı, ayrışma safhası, gaz oluşum hızı ve depo sahasındaki mikrobiyal popülasyonların yapısı gibi faktörlere bağlı olarak depo gazlarından kaynaklanan kokunun derecesi değişmektedir. Kokuya sebep olan eser miktardaki

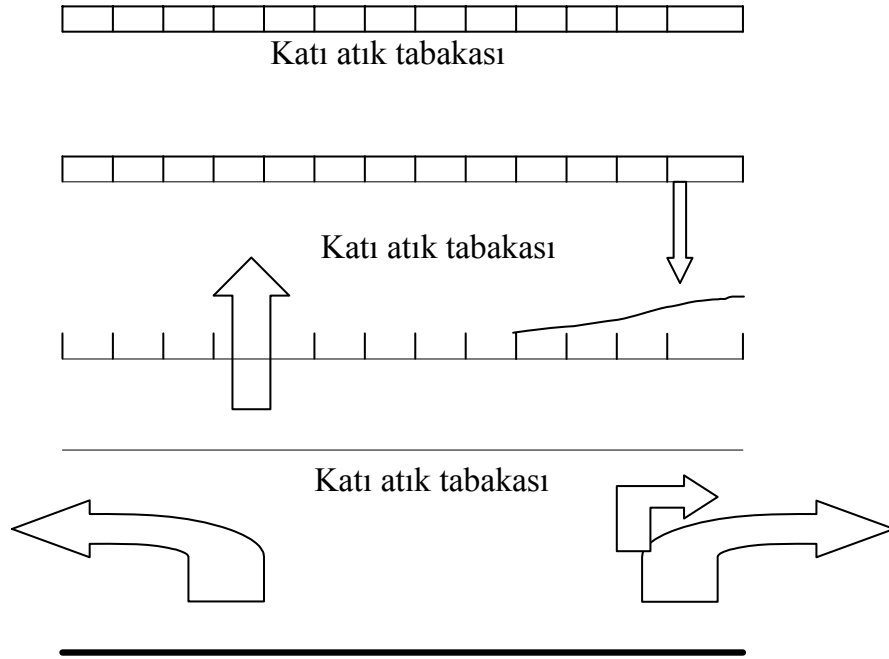
bileşenlerin çoğu toksik olabilir. Kokunun depo sahası sınırlarının dışına çıkması rüzgar, sıcaklık, basınç, nemlilik gibi hava şartlarıyla yakından ilgilidir.

2.4. KATI ATIK DEPO SAHASI GAZLARININ KONTROLÜ

2.4.1. Depo Gazının Hareketi

Depo gazının hareketi, difüzyon ve basınç akımı ile olmaktadır. Difüzyon ile yayılmada; gaz yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere doğru hareket eder. Diğer bir yayılım basınç farkları ile harekettir. Üretilen depo gazı, düşük basınçlı bölgelere hareket etme eğilimindedir. Sahalarda yatay gaz hareketinin oluşumu düşey gaz hareketine göre daha olasıdır. Bunun başlıca iki sebebi vardır: Birincisi atıkların tabaka esasına göre yerleştirilmeleri ve her bir atık tabakası yüzeyinde daha fazla sıkışma ve dolayısıyla da daha düşük bir porozite oluşumudur. Bu durum tabaka yüksekliğinin nispeten daha büyük olduğu bölgelerde gözlenebilmektedir. İkinci sebep ise günlük ara ve nihai örtü malzemelerinin, geçirimli toprak kullanılması durumunda bile düşük permeabiliteye sahip yatay tabakaların oluşmasına sebep olmasıdır.

Şekil 2.3'de özetlendiği gibi, bu yatay tabakanın oluşumu, yağmur suyu atık bünyesinden süzülükçe düşey gaz hareketi hızlarını kontrol edecektir. Sızıntı suyunun genellikle bu günlük örtülerde biriktiği bilinmektedir. Bu durum düşey gaz hareketini azaltıp saha sınırlarına doğru yatay gaz hareketini arttırıcı bir etki gösterir.



Şekil 2.3. Depolanan katı atıklardaki yatay gaz hareketi

Metanın büyük bir kısmı atmosfere kaçmasına rağmen, depo alanının kenarlarından 120 metreye kadar uzanan yanıl mesafelerde %40 oranında metan bulunabilmektedir. Havalandırılmayan depo alanlarında, bu yanıl hareketin boyutu bölgedeki toprağa ve üst örtüye göre değişir. Eğer metan kontrolsüz bir biçimde çıkacak olursa metanın özgül ağırlığı havanınkinden az olduğundan binaların altında veya diğer depo alanına yakın bölgelerde birikebilir. Karbondioksitin yoğunluğu; havaya ve metana oranla fazla olduğundan depo alanının altına doğru gitme eğilimindedir. Bu yüzden depo alanlarının aşağı kısımlarında uzun yıllar boyunca CO₂ konsantrasyonu yüksek olabilir (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

2.4.2. Depo Gazının Kontrolü

Düzenli depolama sahası gazlarının hareketi; atmosferik emisyonların azaltılması, kokunun ve yeraltı gaz hareketlerinin minimize edilmesi ve metan gazından enerji elde edilmesi amacıyla kontrol edilmektedir. Depo gazının hareketini kontrol etmek için kullanılan yöntemler aktif yöntemler ve pasif yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Sarptaş ve diğ., 2005).

Atık yaşı 20 yıldan küçük olduğunda, atık derinliği 10 m den büyük olduğunda, korunması düşünülen yerleşim yerinin depolama sahasına uzaklığı 1,5 km den az olduğunda aktif sistemler tercih edilmektedir.

2.4.2.1. Depo Sahası Gazlarının Pasif Kontrolü

Pasif sistemlerde, depolama sahasında oluşan gaz basıncı, gazın hareketi için ana unsur olarak görev yapmaktadır (Gebert ve Groengroeft, 2006). Pasif kontrol, hem ana gazlar hem de eser gazlar için ana gazların yüksek hızla üretimi esnasında gerçekleştirilebilmektedir. Bu da gaz akışının arzu edilen doğrultuda gerçekleşmesi için daha yüksek geçirgenliğe sahip yolların oluşturulmasıyla sağlanmaktadır (Poulsen ve diğ., 2001). Metan ve karbondioksit gazlarının üretiminin sınırlı olduğu durumlarda pasif kontrol sistemleri daha verimli olmaktadır.

Depo sahası gazlarının kontrolü için kullanılan en yaygın pasif metot, depo gazının saha üzerinde bulunan alevli yakıcıda yakılmasıdır. Bu amaçla nihai depolama sahası örtüsünden katı atık kütesine doğru uzayan delikler açılmaktadır (Sarptaş ve diğ., 2005). Buradan çıkan gazdaki metan yeterli konsantrasyonda ise, çok sayıda delikler birbirine bağlanıp bir gaz yakıcıya iletilebilmektedir. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken nokta, yakıcı kullanılan pasif ağızlıklarda, istenilen düzeyde VOC ve koku giderimlerine ulaşılamamasıdır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.4.2.2. Depo Sahası Gazlarının Çevre Tesisleriyle Aktif Kontrolü

Bu yöntemde depo gazları; saha çevresinde gaz çekme kuyuları ve hendekler kullanılarak ve bu kuyulara doğru bir basınç gradyanı yaratacak kısmi vakumun oluşturulmasıyla kontrol edilmektedir. Çekilen gaz yakılmakta yada enerji üretiminde kullanılabilir. Bu yöntemde gaz akışını sağlayacak vakumu üretmek için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır (Sarptaş ve diğ., 2005).

2.4.2.2.1. Saha Çevresi Gaz Çekme ve Koku Kontrol Kuyuları

Saha çevresi gaz çekme kuyuları genellikle katı atık derinliğinin en az 7,5m olduğu depo alanlarında kullanılır. Depo alanının kenarı boyunca veya saha sınırı ile depo alanı kenarının arasına düşey kuyular yerleştirilir. Her bir gaz toplama kuyusu bir ana toplayıcı ile birbirine bağlanır. Çıkarılan depo gazı genellikle havalandırılır veya blower

istasyonunda kontrollü olarak yakılır. Çıkarılan gazın kalitesi ve miktarı yeterli ise enerji kaynağı olarak kullanılır.

2.4.2.2.2. Saha Çevresi Gaz Çekme Hendekleri

Bu yöntemde depo sahası çevresine hendekler açılır. Bunlar genellikle derinliği 7,5 m den daha az olan sığ depo alanlarına uygulanır. Hendekler çakıl doludur ve gazı toplayıp ana boruya ve oradan da blowera götüren plastik boru içerirler. Gaz çıkarma hendekleri depo alanı yüzeyinden aşağı doğru depo derinliği boyunca ve yeraltı su seviyesine kadar iner. Blower her bir hendekte negatif basınç bölgesi oluşturur. Depo gazı bu bölgeden delikli boruya oradan da toplayıcıya geçer. Daha sonra blower istasyonunda yakılır.

2.4.2.2.3. Saha Çevresi Hava Enjeksiyon Kuyuları

Saha çevresi enjeksiyon kuyuları depo alanı sınırı ile depo gazına karşı korunacak olan bölgelerin arasındaki alana yerleştirilmiş bir dizi düşey kuyudan oluşur.

2.4.2.3. Depo Sahası Gazlarının Düşey ve Yatay Gaz Çekme Kuyularıyla Aktif Kontrolü

Bu yöntemde yatay ve düşey gaz çekme kuyuları mevcuttur. Bu kuyuların fiziksel yapıları çok farklı olmakla birlikte işlevleri aynıdır. Gaz, depo sahasında etrafı çakıl kaplı ve delikli boru boyunca düşey/yatay borulara pompalanarak gaz çekilir (McBean, 1995).

Düşey gaz çekme kuyuları, etkin yarıçapları kesişecek şekilde dizilirler. Bu kuyular genellikle bitmiş depo alanlarına veya depo alanlarının tamamlanmış kısımlarına yerleştirilir. Eski depo alanlarında düşey kuyular hem gaz geri kazanımı hem de gazın bitişik arazilere hareketini kontrol altında tutmak için yerleştirilir. Tipik bir gaz toplama kuyusunun tasarımı 10-15 cm'lik borunun yerleştirildiği 45-90 cm' lik bir sondajdan ibarettir. Borunun alt kısmının üçte biri deliklidir ve çakıl dolgu üzerine oturmuştur. Kalan kısım delikli değildir ve toprak içindedir.

Dikey gaz toplama kuyularına alternatif olarak yatay gaz toplama kuyuları kullanılır. Bu sistemde katı atık içerisinde yatay gaz toplama hendeği kazılır. Hendek yarısına kadar çakılla doldurulur ve içerisine uçları açık bir delikli boru yerleştirilir. Daha sonra üzeri tamamen çakılla doldurulur ve katı atıkla kapatılır. Yatay hendekler yaklaşık 25 m dikey aralıklar ve 60 m yatay aralıklarla yerleştirilir.

2.5. DEPO GAZI MİKTARI HESAPLAMALARI

2.5.1. Depo Gazı Miktarı Hesabında Kullanılan Yöntemler

Pratikte depo alanındaki şartlar organik madde ayrışması için uygun değildir. Bu nedenle dökülen atıkların organik kısmının sadece $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ 'si 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 düşmektedir.

Mevcut ve gelecekte oluşacak gaz miktarı üç şekilde belirlenebilir. Gaz üretimini hesaplamak için en güvenilir yol test kuyuları açmaktır. Diğer yöntemler yaklaşık tahmin ve model hesaplamalarıdır (Roth, 2007).

2.5.1.1. Test Kuyuları Sonuçları ile Hesap

Bir depo alanında oluşacak gaz miktarını hesaplayabilmek için en güvenilir metot test kuyuları açmak ve bu kuyulardan oluşan gazı ölçmektir. Depo alanındaki atık homojenliğine ve saha büyüklüğüne göre temsil edici bölgelerde uygun sayıda test kuyuları açılır ve her bir kuyudan toplanan gazın kalitesini ve debisini ölçmek için ayrı ayrı testler yapılır. Gaz kalitesinin ölçülmesi işletme ve geri kazanım sisteminin tasarlanmasına yardımcı olur.

2.5.1.2. Yaklaşık Tahmin Metodu

Oluşacak depo gazının miktarını hesaplamada kullanılabilecek en basit yöntem her bir ton atığın yılda 6 m^3 gaz üreteceğini varsaymaktır. Bu tahmini değer işletilmekte olan bir çok depo alanından elde edilmiştir ve uygulanacak depo alanındaki atık, iklim ve atık karakteristiklerini tam olarak yansıtmayabilir.

2.5.1.3. Matematiksel Modeller Yardımıyla Gaz Miktarının Hesaplanması

Depo gazı oluşum modelleri, bir atık hacminden zamanla oluşan toplam depo gazı hacminin tahmin edilmesinde kullanılan yöntemlerdir. Model hesaplamalarında atık depolama periyodu, atık miktarı ve bu atıkların özellikleri gibi çeşitli verilere ihtiyaç vardır. Matematiksel ifadelerle dayanan modellerin yanında son yıllarda eğitilebilir algoritmalara dayanan model çalışmaları da yaygın olarak mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır.

2.6. GENETİK ALGORİTMALAR

2.6.1. Genetik Algoritmanın Tanımı

Genetik Algoritmalar (GA) yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Adından da anlaşıldığı üzere, Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. GA'lar doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. (Emel, 2002; Aleixandre ve diğ., 2004; Montastruc ve diğ., 2004; Yeniay 2003). Herhangi bir problemin GA ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek suretiyle yapılmaktadır (Göse ve diğ., 2004; Engin ve Fiğlalı, 2002). İlk defa John Holland (Holland, 1975) tarafından ortaya atılan GA'lar mühendislik alanında farklı uygulamalarda çok yaygın olarak kullanılmıştır (Şerifoğlu, 2002; Ahmad ve diğ., 2004; Ozturk ve diğ., 2005; Ramillen, 2001; Wang ve diğ., 2004; Abdel-Magid ve Abido,2004; Bilgili ve diğ., 2005).

GA'lar geleneksel yöntemlerle çözümü zor olan problemlerin çözümünde oldukça etkili olmaktadır (Hui, 2007). GA'lar birden fazla çözüm üzerinde çalışırlar. Çözümler problemin yapısına uygun şekilde kodlanmış kromozomlar tarafından temsil edilirler. Algoritma bireylerin bir başlangıç popülasyonunu alarak ve her yeniden üretimde genetik operatörleri kullanarak bu prosesleri simüle eder (Kulluk ve Türkbey, 2004). Çok genel anlamda GA'nın üç uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar deneysel çalışmalarda optimizasyon, pratik endüstriyel uygulamalar ve sınıflandırma sistemleridir. Bunun dışında; bilgisayar, mühendislik, sosyal bilimler, tıp, matematik vb. alanlarda çeşitli problemlerin çözümünde kullanılmaktadırlar (Çetin, 2002; Srinivas ve Ramanjaneyulu, 2007).

Doğada, bireyler arasında, yiyecek, su ve barınak gibi kıt kaynaklar veya eşler için yapılan mücadeleler, yüksek uyumlu ya da uygun bireylerin daha zayıf olanlara üstünlüğü ile sonuçlanır. İyi uyum yapan bireyler yaşar ve daha fazla yavru sahibi olurlar. Düşük uyumlu bireyler az sayıda yavru sahibi olacak, belki de hiç olamayacaklardır. Bu uygun bireylerin genlerinin sonraki her kuşakta daha fazla bireye dağılması demektir. Farklı atalardan gelen iyi özelliklerin bileşimi ile bazen her bir ataya göre daha büyük uygunluğa sahip yavrular türeyebilir. Böylece türler bulunduğu

çevre için daha uygun hale gelirler. GA'lar bu süreci takip eden araştırma algoritmalarıdır (Çetin, 2002).

GA'ların oldukça başarılı olduğu alanlardan biri optimizasyondur. Bir optimizasyon problemi için genetik algoritmalar, doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretirler (Karaoğlan ve Altıparmak, 2005; Karaduman ve Akpolat, 2006). Bunun için "iyi"nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama (recombination), değiştirme (mutation) gibi operatörler kullanılır. Genetik algoritmaların diğer önemli özelliği de bir grup çözümlerle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içerisinde iyileri seçip kötüleri elenebilir (Çetin, 2002).

2.6.2. Genetik Algoritma Tekniği

Genetik Algoritmalar (GA) ilk olarak popülasyon diye tabir edilen bir çözüm seti ile başlatılır (Kurt, 2001). Çözümler aynı sayıda elemandan oluşan bir bit dizisi formunda oluşturulur. Bu dizilerin bir araya gelmesi ile ortaya çıkan yapıya GA terminolojisinde "gen" adı verilir. Buna göre, her bir karar değişkeninin sayısal değer bir geni teşkil eder. Genlerin bir dizi halinde arka arkaya sıralanması ile ortaya çıkan genler dizisine de "kromozom" adı verilir. İki ya da daha fazla kromozomun bir araya gelmesi ile meydana gelen sayıların hepsine GA popülasyonu adı verilir (Şen, 2004). Bir popülasyonda alınan sonuçlar bir öncekinden daha iyi olacağı beklenen yeni bir popülasyonu oluşturmak için kullanılır. Genetik Algoritmaların önemli özelliklerinden birisi, bir noktadan yola çıkarak en iyiyi aramaması, aksine geniş bir topluluk içerisinde iyilerini seçmesidir (Vatandaş ve Özkol, 2004). Genetik algoritmaların aşamaları aşığıdaki gibi özetlenebilir (Kurt, 2001; Liu ve diğer. 2007; Akbulut ve diğer, 2005).

1. Başlangıç: n adet kromozom içeren popülasyonun oluşturulması (problemin uygun bir çözümü)

2. Uyumluluk: Her x kromozomu için uyumluluğun $f(x)$ değerlendirilmesi,

3. *Yeni popülasyon*: Yeni popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımların tekrar edilmesi,

a- Seçim: İki ebeveyn kromozomun uyumluluğuna göre seçimi (daha iyi uyum seçilme şansını artırır),

b- Çaprazlama: Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanması. Eğer çaprazlama yapılmazsa yeni fert anne veya babanın kopyası olacaktır.

c- Mutasyon: Yeni ferdin mutasyon olasılığına göre kromozom içindeki konumu değiştirilir.

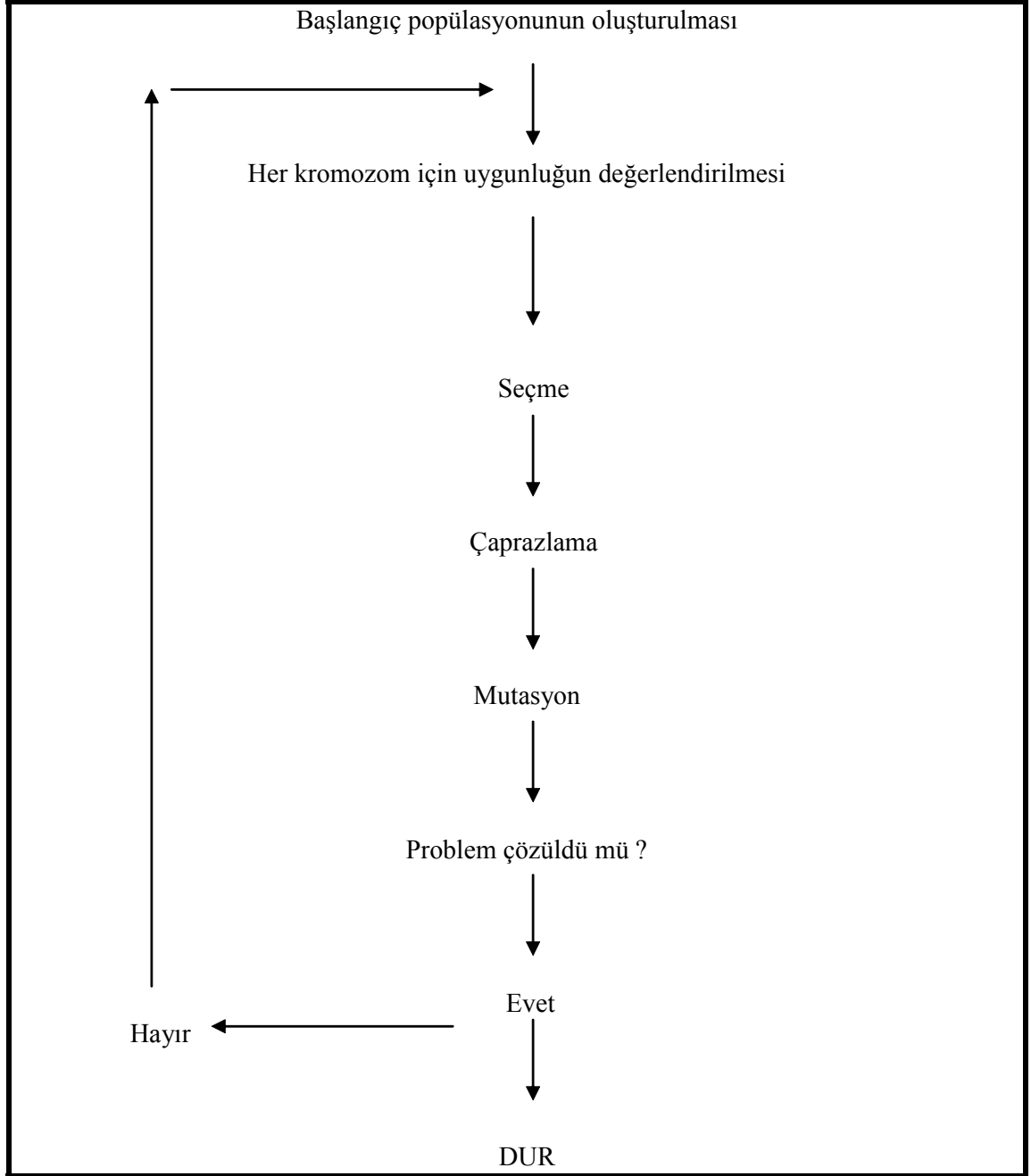
d- Ekleme: Yeni bireyin yeni popülasyona eklenmesi.

4. *Değiştirme*: Algoritmanın yeniden çalıştırılmasında oluşan yeni popülasyonun kullanılması,

5. *Test*: Eğer sonuç tatmin ediyorsa algoritmanın sona erdirilmesi ve son popülasyonun çözüm olarak sunulması.

6. *Döngü*: 2. adıma geri dönülmesi.

Genetik Algoritmaların akış diyagramı Şekil 2.4’de sunulmuştur.



Şekil 2.4. Genetik algoritma akış diyagramı

2.6.3. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

GA uygulamasında ilk adım, kromozomların bir başlangıç popülasyonunu oluşturmasıdır (Yıldırım ve diğ., 2006). Başlangıç popülasyonu çoğunlukla rastgele oluşturulur. Ancak özellikle kısıtlı optimizasyon problemlerinde, rastgelelik uygun olmayan çözümlere neden olabilir. Bu durumdan kaçınmak için, genellikle incelenen probleme özgü sezgisel yöntemlerden yararlanır. Genetik algoritma bir popülasyonu

değerlendirir ve uygulanan bir süreç sonunda yeni bir popülasyon elde eder. Birbirini izleyen her popülasyona *kuşak (nesil)* denir. Genetik algoritmanın herhangi bir uygulamasında, popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi gereklidir. Büyük popülasyonlarda çözüm uzayı iyi örneklendiği için aramanın etkinliği artar, ancak makul bir sürede yüksek kalitede çözüme yeterince ulaşmadan ağır bir hesaplama külfetiyle karşılaşılabilir. Küçük popülasyonlar ise çözüm uzayını yeterli bir biçimde örnekleyememe riskini taşır.

2.6.4. Uygunluk Fonksiyonu

Uygunluk değeri, yeni yığma taşınacak dizilerin belirlenmesinde kullanılan bir araçtır. Bu nedenle, algoritmanın her çevriminde yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla uygunluk değeri hesaplanır. Genetik algoritmalarda kullanılan değerlendirme fonksiyonu problemin amaç fonksiyonudur. Bu fonksiyon genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır. Genetik algoritmada probleme özel çalışan tek kısım bu fonksiyondur. Genetik algoritmanın başarısı genetik algoritmanın verimli ve hassas kullanılmasına bağlıdır (Çetin, 2002).

Genetik algoritmalarda uyum fonksiyonu çevre rolünü oynamaktadır. Genetik algoritma uyum fonksiyonunu, o kromozomun çevreye uyum derecesini incelemede ve istenmeyen kromozomların yaşama ve üreme olasılığını azaltmada kullanır. Böylece algoritma başarısız olan aday çözümlerin elenmesini sağlar.

2.6.5. Seçme

Seçme operatörü ile seçilmiş olan bireyler çaprazlama havuzuna girmeye hak kazanırlarken seçilemeyen bireyler popülasyondan yok olmaktadır. Kodlamaya karar verilip başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra, yeni popülasyona geçebilmek için seçimin nasıl yapılacağı belirtilmelidir. Seçme, bireylerin üremek için seçildiği bir işlemdir. Seçme işleminde, sonraki kuşak için, yavru meydana getirecek bireylerin popülasyondan nasıl seçileceği ve her bir bireyin kaçar tane yavruya sahip olacağı belirlenir. Sonraki kuşak için yavru meydana getirecek bireyler ile üreme havuzu adı verilen bir ara popülasyon oluşturulur. Daha sonra üreme için bu havuzdan rastgele bireyler seçilir. Popülasyon çeşitliliği ve seçicilik baskısı seçimde önemli olan iki

faktördür. Seçicilik baskısındaki bir artı, popülasyonun çeşitliliğini azaltır. Güçlü seçicilik baskısı, algoritmanın zamansız yakınsamasını destekler. Zayıf seçici baskısı ise aramanın etkinliğini azaltabilir. Bu nedenle bu iki faktör arasında denge sağlanmalıdır (Çetin, 2002).

GA uygulamalarında yaygın olarak kullanılan seçim mekanizmaları; orantılı yeniden üretim mekanizması, sıralı, turnuva, denge durumu mekanizmaları olmak üzere dört grupta incelenebilir (Tablo 2.10).

Tablo 2.10 Yeniden üretim mekanizmaları (Çetin, 2002).

Seçim Mekanizması	Açıklama
Orantılı Yeniden Üretim Mekanizması	Yığındaki her bireyin seçilme olasılıkları belirlenir ve bu olasılıklar kullanılarak bir sonraki yığın oluşturulur. Bu grupta bulunan yeniden üretim mekanizmaları: rulet çemberi, stokastik artan ve stokastik üniversal metottur.
Sıralı Yeniden Üretim Mekanizması	Yığındaki bireyler, uygunluk değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. En iyiden başlayarak bir azalan fonksiyon yardımı ile dizilere kopya sayısı atanır. Ve orantılı seçim mekanizmalarından birisi kullanılarak yeni yığın elde edilir.
Turnuva Yeniden Üretim Mekanizması	Yığından rassal olarak bir grup dizi (yerine koyarak/yerine koymadan) seçilir ve grup içindeki en iyi uygunluk değerine sahip dizi, yeni yığına kopyalanır. Bu işleme, yığın genişliğine ulaşmaya kadar devam edilir.
Denge Durum Yeniden Üretim Mekanizması	Doğrusal sıralı seçim mekanizması kullanılarak bir yada iki bireye genetik operatörler uygulanır. Elde edilen yeni diziler, mevcut yığındaki uygunluk değeri en küçük diziler ile yer değiştirerek yeni yığın oluşturur.

2.6.6. Genetik Operatörler

GA’larda temel olarak 3 adet operatör kullanılmaktadır. Bunlar; seçim, çaprazlama ve mutasyondur (Gözütok ve Özdemir, 2004; Uçaner, 2002; Roverato ve Paterlini, 2004; Liu ve diğ. 2007).

2.6.6.1. Seçim

Bu operatör yeni topluluk içerisinde uygunluğu yüksek bireylerin bulunmasını sağlamaktadır. Bahsedilen uygunluk değeri, GA ile bulunan problemin sonuç değerini göstermektedir. Bireylerin uygunluk değerleri esas alınarak seçim işlemi yapılmaktadır. Seçim işlemi topluluk içerisinde uygunlukları düşük olan bireyleri eleyip, elenenler yerine uygunlukları yüksek olan bireylerin birkaç adet kopyasını yaparak tamamlanmaktadır (Turğut ve Aslan, 2001; Karen ve diğ. 2004a).

İlke olarak yüksek uyuma sahip bireyler daha yüksek olasılıkla seçilmelidir. Seçim operatörünün, yüksek uyuma sahip bireylerin sonraki kuşağa kopyalanma olasılığını arttırması istenir.

2.6.6.2. Çaprazlama

GA uygulamalarında çaprazlama en önemli operatördür. Çaprazlama iki kromozomun bir araya gelerek genetik bilgi değişimi yapmasıdır. Çaprazlama yapılacak konum rastgele seçilir (Lee ve diğ, 2007). Oluşan yeni birey ebeveynlerin bazı özelliklerini almış ve bir bakıma ikisinin kopyası olmuştur. Bunun dışında çaprazlama işlemi başka şekillerde de yapılabilir. Örneğin; birden fazla çaprazlama noktası seçilebilir. Literatürde çeşitli çaprazlama işlemleri bulunmaktadır (Karen ve diğ. 2004b; Goldberg, 1989). Ele alınan probleme bağlı olarak, kullanıcı tarafından seçilen dört farklı çaprazlama operatörü bulunmaktadır. Bunlar: tek nokta çaprazlama, iki nokta çaprazlama, çok nokta çaprazlama ve üniform çaprazlamadır (Bolat ve diğ., 2004). Daha iyi performans almak amacıyla değişik çaprazlamalar kullanılabilir (Kurt, 2001).

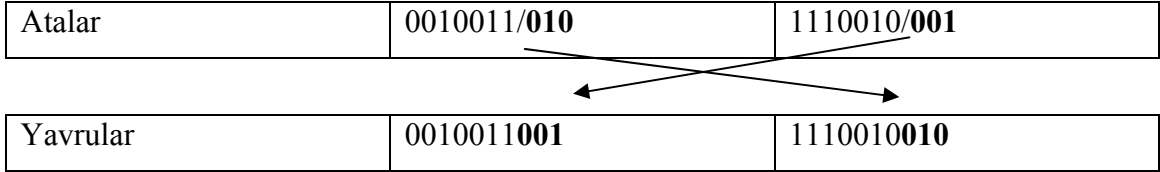
Çaprazlama için,

0010011010

ve

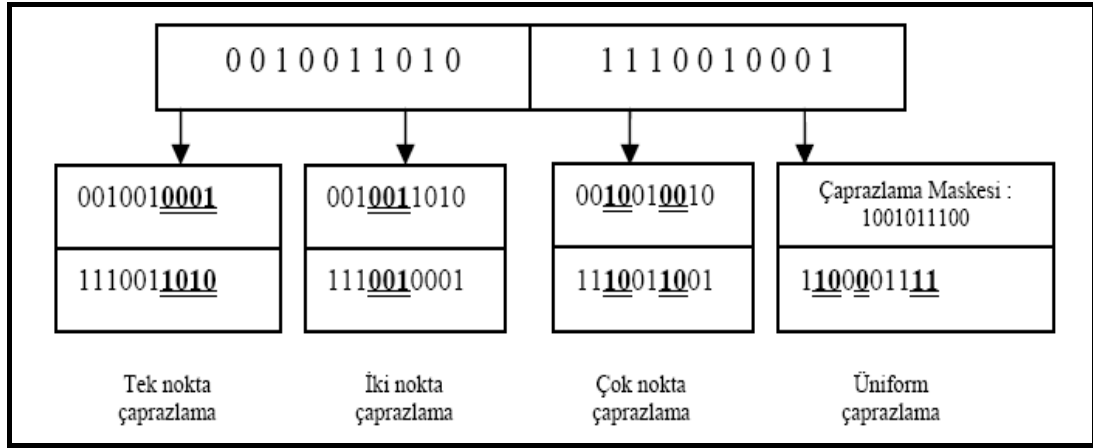
1110010001

dizilerinin çaprazlamaya seçildiğini düşünelim. Öncelikle bir çaprazlama noktası rastgele seçilir. Bu nokta 7 olsun. Daha sonra çaprazlama noktasından sonraki iki alt dizi atalar arasında yer değiştirilerek yavru adı verilen iki yeni çözüm kümesi oluşturulur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Tek noktalı çaprazlama

İki nokta çaprazlamada iki nokta arasında kalan alt dizilerin değiştirilmesiyle iki yeni birey elde edilir. Çok nokta çaprazlama yöntemi, iki nokta çaprazlamanın gelişmiş bir halidir. Kromozomlar daha fazla parçalara ayrılır ve bir atlanarak elde edilen çiftler arasında değiştirilerek yeni bireyler elde edilir. Üniform çaprazlamada rastgele olarak çaprazlama maskesi oluşturulur. Çaprazlama maskesi, birinci ve ikinci kromozoma karşılık gelen genin kopyalanmasıyla yaratılır. Bütün çaprazlama operatörlerinin uygulamaları Şekil 2.6'da gösterilmiştir (Bolat ve diğ. 2004).



Şekil. 2.6. Genetik algoritma uygulamalarında kullanılan çaprazlama operatörleri

2.6.6.3. Mutasyon

Mutasyon işlemi popülasyonun çeşitliliğini arttırmak için kullanılmaktadır. Mutasyon operatörü genetik algoritmaların çalışmasında ikinci dereceden rol oynar ve küçük bir olasılıkla bir dizi içindeki bir veya birkaç değeri rastgele değiştirilerek yeni dizilerin (arama uzayında yeni çözüm noktalarının) elde edilmesini sağlar (Çetin, 2002).

Mutasyon oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önlemek ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla yapılır.

Orijinal Birey 1	1101111000011110
Orijinal Birey 2	1101100100110110
Değişmiş Birey 1	1100111000011110
Değişmiş Birey 2	1101101100110110

Mutasyonda oluşan yeni bireylerin bir biti rastgele değiştirilir. Çaprazlama vasıtasıyla üretilmeyen uygunluk değeri yüksek kromozomların mutasyon vasıtasıyla üretilmesi mümkün olmaktadır (Lee ve diğ, 2007). Bunun yanında uygunluk değeri oldukça yüksek olan kromozomları bozma ihtimali de bulunmaktadır.

Ele alınan problemin yapısına göre çeşitli mutasyon türleri seçilebilmektedir. Bunlar; ters çevirme mutasyonu, ekleme mutasyonu, yer değişikliği mutasyonu ve karşılıklı değişim mutasyonudur (Bolat ve diğ. 2004).

2.6.7. Genetik Algoritma Kontrol Parametreleri

GA'ların performansı kontrol parametrelerinin doğru seçilmesi ile belirlenmektedir. Bu kontrol parametreleri;

1. Popülasyon büyüklüğü, (N)
2. Çaprazlama oranı (P_c)
3. Mutasyon oranı (P_m)
4. Yığın aralığı (Rejenerasyon Boşluğu, G)
5. Seçim stratejisi (S)
6. Ölçeklendirme fonksiyonu (W)'dur.

2.6.7.1. Popülasyon Büyüklüğü (N)

Bu parametre GA'ların hem etkinliğini hem de performansını etkiler. GA'lar küçük popülasyonlarda fazla etkili değildir. Çünkü bu popülasyonlar yetersiz sayıda örnek sunarlar. Geniş bir popülasyon ise daha fazla temsilciler içerir ve böylece GA daha detaylı bir arama gerçekleştirebilir.

2.6.7.2. Çaprazlama Oranı (P_c)

Çaprazlama oranı, çaprazlama operatörünün uyguladığı sıklığı kontrol eder. Her bir yeni popülasyonda $P_c \times N$ tane yapı, çaprazlama işlemine tabi olur. P_c çaprazlama oranı ne kadar yüksek ise, popülasyona o kadar çabuk yeni yapılar girebilir. Eğer bu oran çok fazla yüksek ise, yüksek performanslı yapılar, seçimin sunulacağı iyileştirmelerden daha hızlı bir şekilde atılır. Eğer oran çok fazla düşük ise, o zaman da tarama işlemi, düşük araştırma oranından dolayı durgunlaşabilir.

2.6.7.3. Mutasyon Oranı (P_m)

Mutasyon oranı kromozomlara ne oranda mutasyon uygulanacağını belirler. Mutasyon, popülasyonun değişkenliğini arttıran ikincil bir tarama operatörüdür. Seçim işleminden sonra, yeni popülasyondaki her bir yapının bit pozisyonları (L , her bir yapıdaki bit pozisyon sayısı), mutasyon oranına eşit bir olasılıkla rastgele bir değişime tabi olur. Sonuç olarak da, her bir jenerasyon için yaklaşık olarak $P_m \times N \times L$ mutasyonları meydana gelir. Düşük bir mutasyon seviyesi herhangi bir bit pozisyonun bütün popülasyon içerisinde tek bir değere yaklaşmasını engellerken, yüksek seviyedeki bir mutasyon oranı ise önemli bir rastgele arama imkanı sağlar.

2.6.7.4. Yığın Aralığı (Jenerasyon Boşluğu), (G)

Yığın genişliği, algoritmanın yakınsaması ile doğrudan ilişkilidir. Bu parametre her bir jenerasyon boyunca değiştirilecek popülasyon oranını kontrol eder. $G=1$ değeri bütün popülasyonun her bir popülasyon boyunca değiştirileceği anlamına gelir. $G=0,5$ değeri ise, her popülasyondaki yapıların yarısının bir sonraki jenerasyona aktarılacağı anlamına gelir.

2.6.7.5. Seçim Stratejisi (S)

İlk uygulanan seçim stratejisinde sonra daha seçici strateji, en iyi performansa sahip yapının bir sonraki jenerasyona eksiksiz olarak geçmesini şart koşar. Böyle bir stratejinin olmadığı durumlarda örnekleme hatası, çaprazlama veya mutasyondan dolayı en iyi yapının kaybolması muhtemeldir.

2.6.7.6. Ölçümleme Penceresi (Ölçeklendirme Fonksiyonu) (W):

GA'nın çalışması süresince yığındaki değişkenlerin korunması önemlidir. Özellikle orantılı seçim mekanizmalarında aramanın etkin bir şekilde yürütülmesi zorlaşmaktadır. Algoritmanın ilk birkaç çevrimi sonunda elde edilen yığında uygunluk değeri yüksek

birkaç dizi bulunabilmektedir. Bu dizilerin seçim olasılıkları yüksek olduğundan arama bu diziler arasında yoğunlaşır. Bu olay algoritmanın zamansız yakınsamasına neden olmaktadır. Diğer taraftan, algoritmanın son çevrimlerinde yığındaki dizilerin uygunluk değerleri birbirine yaklaşmaktadır. Dizilerin seçim olasılıkları da birbirine çok yakın olacağı için yeni yığınlarda iyi dizilerin korunması zorlaşmaktadır. Bu durum aramanın etkinliğini azaltmaktadır. Orantılı seçim mekanizmalarında bu iki sorunu ortadan kaldırmak için, uygunluk değerlerinde bir düzenlemenin yapılması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek amacıyla ölçeklendirme fonksiyonları geliştirilmiştir. En çok bilinen ölçeklendirme fonksiyonları, doğrusal ölçeklendirme, standart sapma kadar azaltma ve üs yaklaşımıdır.

2.7. KATI ATIK DEPO SAHASI GAZLARI VE MODELLENMESİ ALANINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

1990'lı yıllarda sera gazları ve küresel iklim değişikliğine olan ilginin artmasıyla, katı atık depo sahalarından kaynaklanan gazların oluşum mekanizmaları ve çevresel etkileri konusunda çalışmalar hız kazanmıştır. White ve diğ., (2004) çalışmalarında katı atık depo sahalarındaki atıkların ayrışmasını ve gaz oluşumunu incelemişlerdir. El-Fadel ve diğ., (1997) depo sahalarında gaz oluşum mekanizmalarını açıklayarak CH₄ ve CO₂'in çevresel etkilerini araştırmışlardır.

Park ve Shin (2001) çalışmalarında, Kore'de Sudakwon katı atık depo sahasında CH₄ ve CO₂ ölçümleri yapmışlardır. Çalışma uzun sürelidir ve gazların mevsimsel değişimini belirlemeye yöneliktir. Ayrıca kısa süreli gaz değişimini incelemek amacıyla 1 gün içerisinde 12 saatlik ölçüm de yapmışlardır. Hegde ve diğ., (2003), Tayvan'nın kuzeyinde bulunan Shan-Chu-Ku katı atık depo sahasından kaynaklanan temel depo gazı bileşenlerini (CH₄ ve CO₂) incelemişlerdir. Gaz emisyonlarının yanı sıra; hava ve toprak sıcaklığını, rüzgâr hızını ve toprağın nem oranını da ölçmüşlerdir. Bu çalışmadaki amaç; Shan-Chu-Ku katı atık depo sahasındaki CH₄ ve CO₂ emisyonlarını ölçmek ve mevsimsel değişimlerini belirlemektir. Gaz ölçümleri Şubat 1998 ve Mart 2000 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Maurice ve Lagerkvist (2003), İsveç ve Finlandiya'da farklı depo alanlarında 1 yıl süresince CH₄ ve CO₂ ölçümleri

yapmışlardır. Çalışmada depo gazı içeriğinin mevsimsel değişimini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Chen ve diğ. (2008); yaptıkları çalışmada, Fu-Der-Kan rehabilite edilmiş çöp depolama sahasında CH₄ ve CO₂ gazlarının değişimlerini incelemişlerdir. Depo gazlarının zamansal takibinin yanında, mevcut vahşi döküm sahalarının rehabilite edilmesi ve depo gazının kontrolü de araştırmacılar tarafından detaylı bir şekilde irdelenmiştir (Zairi ve diğ. 2004; Ayalon ve diğ. 2006)

Metan gazının oluşumunun modellenmesi konusunda da çeşitli çalışmalar mevcuttur. Scharff ve Jacobs (2006), metan emisyonlarının hesaplanmasında 6 farklı model denemiştir. Bu modeller belli koşullar için oluşturulan ampirik ifadelerdir. Abdul-Wahab (2004), depo sahası örtüsü üzerinde metan gazının hareketini modellemiştir. Modelde gaz hareketini difüzyon ile açıklamış ve buna bağlı olarak matematiksel bir ifade geliştirmiştir. Modelin tutarlılığını denemek etmek amacıyla, ölçülen değerler ile model tahminlerini karşılaştırmıştır.

Literatürde; çeşitli meteorolojik parametreler yardımıyla kirlilik tahmin çalışmaları mevcuttur. Slini ve diğ., (2003), yaptıkları çalışmada Atina şehri için bazı hava kirletici parametreleri (O₃, NO₂, ve CO) ve meteorolojik parametreleri kullanarak (sıcaklık, toprak sıcaklığı, güneşlenme süresi, rüzgar hızı, rüzgar yönü, basınç ve nemlilik) bir yapay sinir ağ model yapısı kurmuşlardır. Modeli Matlab Neural Network Toolbox algoritmasıyla çalıştırmışlardır. Sanchez ve diğ., (2007), katı atık depo alanlarındaki CH₄ dağılımını ve hareketini modellemeye çalışmışlardır. Modelin optimizasyon kısmında GA yapısını kullanmışlardır. Modelin oluşturulmasında sentetik veri kullanmışlardır. Daha sonraki aşamalarda ise, tasarlanan algoritma yapısını gerçek saha sonuçlarına uygulayacaklarını ifade etmektedirler.

Katı atık depo sahalarından kaynaklanan gazların sürekli izlenerek emisyon değerlerinin belirlenmesinin yanında, bu gazların ekonomik açıdan değerlendirilmesi amacıyla da yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur. Ayalon ve diğ., (2001), katı atık depo sahalarından kaynaklanan sera gazlarının miktarlarının düşürülmesi için alternatif maliyet analizleri yapmışlardır. Shin ve diğ., (2005), çalışmalarında depo gazlarından elektrik üretiminin çevresel ve ekonomik değerlendirmesini incelemişlerdir. Çalışmalarında Stockholm Environmental Institute (SEI) tarafından geliştirilen “Long -

Range Energy Alternative Planning” (LEAP) sistemini kullanmışlardır. Çalışmada, çeşitli senaryolar için gaz oluşum ve enerji üretim değerlerini belirlemiştir.

Caine ve diğ., (1999), test hücreleri yardımıyla depo gazı oluşumunun zamansal değişimlerini incelemiştir. Çalışmada CH₄, CO₂ ve O₂ gazları ile birlikte bazı meteorolojik değişkenleri de izlemiştir. Bu değişkenler; atmosferik basınç, sıcaklık, rüzgar hızı, nem ve yağış miktarıdır.

Emel ve Taşkın (2002); çalışmalarında genetik algoritmaları ve uygulama alanlarını incelemiştir. Çalışmalarında ilk olarak GA kavramı ve temel teoremi irdelenmiş, daha sonra genetik algoritmanın çalışma adımları açıklanmıştır. Bunun yanında bazı araştırmacılar GA’ları zamansal tahminlerde de kullanmışlardır (Allen ve diğ., 2007). Azadeh ve diğ., (2007), çalışmalarında GA tekniğini kullanarak İran örneğinde enerji tüketimini hesaplamaya çalışmışlardır. Makalede; yıllık enerji tüketimleri algoritmada giriş değişkeni olarak kullanılmış ve bir sonraki yıla ait enerji tüketimi tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Niska ve diğ. (2004), çalışmalarında GA ve Neural Network yapısını kullanarak hava kirletici parametrelerin zamansal tahminini yapmışlardır. Kullandıkları kirletici parametreler, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, SO₂ ve CO dir. Meteorolojik parametreler ise; sıcaklık, nemlilik, bulutluluk, yağış, rüzgar hızı, güneşlenme süresi ve basınçtır. Sonuç olarak ise, GA çıktılarının zamansal tahminlerde kabul edilebilir olduğunu görmüşlerdir.

Haldenbilen ve Ceylan (2005); GA kullanarak Türkiye’nin taşımacılık enerji ihtiyacını belirlemeye çalışmışlardır. Kurdukları modeli GATEDE (Genetic Algorithm Transport Energy Demand Estimation) olarak adlandırmışlardır. Modelde araç sayıları araç çeşitleri ve mesafeler (km) giriş parametrelerini oluşturmaktadır. Çeşitli senaryolar kullanarak 2020 yılına kadar olan enerji ihtiyacını modellemiştir.

GA’lar özellikle optimizasyon problemlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Yılmaz ve Öztürk (2003); çalışmalarında GA makine tasarım optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanımını incelemiştir. Söke ve Bingöl (2003); GA ve

aşağı sol algoritmasının (Improved Bottom Left Algorithm- IBL) ortak kullanımıyla iki boyutlu giyotinsiz kesme problemine çözüm aramışlardır. Bu araştırmada GA Matlab ortamında çalıştırılmıştır. Çalışmada GA, farklı popölasyon büyüklükleri ve mutasyon oranları için test edilmiştir.

Cho ve diğ. (2004) GA yapısını kullanarak Youngsan Nehri'nin kirlilik yükünü modellemişlerdir. GA yapısı kullanılarak, nehir üzerine inşaası düşünölen arıtma tesislerinin maliyet hesabı yapılmıştır. 2004 yılında yayınlanan diğer bir çalışmada Steward ve diğ. (2004); GA'ları arazi kullanım planlamasında uygulamıştır. Çalışmada, bu model kullanılarak Hollanda'nın farklı bölgeleri ve farklı arazi kullanımları için arazi planlaması yapılmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 ÇALIŞMA ALANI

3.2. Çalışma Alanının Tanımlanması

İstanbul kenti, 28° 10' ve 29° 55' doğu boylamları ile 41° 33' ve 40° 28' kuzey enlemleri arasında, Avrupa ile Asya kıtaları arasında köprü görevi gören, bunların birbirine en çok yaklaştığı iki uç üzerinde kurulmuş 12,5 milyon nüfusa sahip bir şehirdir (TUİK, 2008). Bu uçlar Avrupa kıtasında Çatalca, Asya kıtasında ise Kocaeli; güneyden Marmara ve Bursa, güneybatıdan Tekirdağ ve kuzeybatıdan Kırklareli ile çevrilidir. Şehrin adını aldığı ve Haliç ile Marmara arasında kalan yarımada üzerinde bulunan asıl İstanbul 253 km², tamamı ise 5712 km² 'dir.

İstanbul kenti ve çevresinin bulunduğu alan Trakya ve Kocaeli platolarından oluşmaktadır. Bu platolar kuzey ve güneyden deniz ile çevrilidir ve İstanbul Boğazı tarafından ikiye ayrılırlar. İstanbul ve civarı ortak bir bölgesel iklim tipinin hakimiyeti altında olmamakla beraber gerçekte topografya, yükselti, nispi konum, bakı ve bitki örtüsü gibi faktörlerin karakterindeki değişikliklerden dolayı bazı önemli farklarla birbirinden ayrılan belirgin iklim tipleri görülür. İstanbul iklimi; bir yandan Karadeniz'in, bir yandan Balkanlar ve Anadolu kara ikliminin etkisiyle meydana gelen özel bir durum gösterir. Kentte Marmara iklimi görülmektedir. Bu iklim Marmara bölgesinin Karadeniz kıyısı hariç tamamını etkiler. Ortalama sıcaklık, en sıcak ay olan Temmuz ayında 23–24 °C'dir. En soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı yaklaşık 3–5 °C'dir. Kentte yaz-kış, gece-gündüz arasında büyük ısı farkları görülmez. En yüksek yağış kışın görülür. Yıllık ortalama yağış miktarı ise, 500 mm ile 700 mm arasında değişkenlik gösterir. Genelde kar yağışı görülür. Don olayları ise Akdeniz İklimine göre daha fazla oluşmaktadır (Apak ve Ubay, 2007).

İstanbul kenti civarında en çok görülen bitki türü makidir. Bu bitkiler uzun ve kurak bir yaz mevsimine kendini uydurmuştur. Fakat iklimin özelliği dolayısı ile tepeler çıplak değildir. Yer yer görülen ormanlık alanların en önemlisi kentin 20 km. kuzeyindeki Belgrad Ormanı'dır.

İstanbul ilinde büyük akarsu yoktur. En büyük akarsu, aynı zamanda Kocaeli Yarımadası'nın da en büyük suyu olan Riva çayıdır. Boğaza dökülen suların en önemlileri Küçüksu ve Göksu dereleridir. Bunlardan başka Haliç 'e dökülen Kağıthane ve Alibey Dereleri, Küçükçekmece Gölüne dökülen Sazlıdere, Büyükçekmece Gölüne dökülen Karasu Deresi, Terkos Gölüne dökülen Traşa Deresi, İstanbul'un belli başlı akarsularıdır. İlde küçük fakat önemli üç göl vardır. Bunların üçü de Avrupa yakasındadır. Denizden ayrılmış olan Terkos Gölü'nün suyu tatlıdır. Terkos havzası kentin önemli su kaynaklarından biridir. Marmara Denizi kıyısında bulunan Küçükçekmece (11 km²) ve Büyükçekmece (16 km²) Göllerinin suları denizle temasları olduğu için tuzludur.

İstanbul'da günde 9000 ton (3,5 milyon ton/yıl) çöp oluşmaktadır. Bu atıkların hacmi ise yaklaşık 7 milyon m³/yıl'dır. Oluşan bu katı atıklar evsel, endüstriyel ve ticari kökenlidir. Ayrıca arıtma tesislerinden çıkan çamurlar da düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmektedir. Kentte, katı atıkların bertarafı 1995 yılına kadar çeşitli bölgelerde bulunan vahşi döküm alanlarında yapılmıştır. 1995 yılında Şile-Kömürcüoda ve Kemberburgaz-Odayeri'nde iki adet düzenli depolama tesisi inşa edilmiş ve vahşi depolama sona ermiştir. İstanbul Kentinde Katı atıklar İSTAÇ A.Ş. (İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş.) tarafından toplanmaktadır. İSTAÇ tarafından yürütülen katı atık toplama maliyetinin önemli bir kısmını çöplerin toplanması ve taşınması teşkil etmekte ve bunlar toplam bertaraf maliyetinin % 70 – 90'ını oluşturmaktadır. Bu bakımdan, çöp toplama ve taşıma maliyetindeki minimizasyon, katı atık bertaraf sisteminin toplam maliyetini etkilemektedir. Bu nedenle cadde ve sokaklardan toplanan çöpler İstanbul Büyükşehir belediyesine ait 5 adet çöp aktarma istasyonuna (Baruthane, Yenibosna, Halkalı, Aydınli ve Hekimbaşı aktarma istasyonları) getirilmekte oradan da şehrin her iki yakasında bulunan düzenli depolama alanlarına taşınmaktadır. Çöp aktarma istasyonlarına İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nce izin verilen evsel atıklar kabul

edilmektedir. Zararlı ve tehlikeli atıklar, açık araçlar vb. kabul edilmemektedir. Her ilçe belediyesi, topladığı çöpü kendisine en yakın aktarma istasyonuna getirmekte, çok daha uzun mesafeleri kat etme maliyetinden kurtularak büyük oranlarda yakıt tasarrufu yapmakta, zaman kazanmaktadır.

Çalışma alanı olarak iki adet rehabilite edilmiş vahşi döküm alanı seçilmiştir. Bunlar; Avrupa yakasında bulunan Hasdal Katı Atık Depolama Sahası ve Asya yakasında bulunan Yakacık Katı Atık Depolama Sahası'dır.

3.2.1. Hasdal Katı Atık Depo Sahası

İstanbul kentinde 1995 yılından sonra vahşi döküm alanları kapatılmış ve düzenli depolamaya geçilmiştir. Hasdal katı atık depolama alanı da bu eski vahşi döküm alanlarından bir tanesidir. Depo sahasının konumu Şekil 3.1' de gösterilmektedir. Kemerburgaz-Hasdal katı atık dolgu alanına ilk defa 1980 yılında çöp dökülmüş ve 1998 yılında kullanıma kapatılıp üstü örtülerek rehabilitasyon çalışmalarına başlanılmıştır. 577000 m² 'lik bir yüzeye yayılmış olan alanda yaklaşık olarak 8,2 milyon m³ çöp mevcuttur. Çöpün karakteristiği genel olarak evsel, ticari ve endüstriyel atık karışımından oluşmaktadır. Bu tesiste Türkiye'de ilk defa uygulanan aktif gaz depolama sistemiyle gazlar toplanarak arıtılmakta, daha sonra metan gazı yakılarak elektrik enerjisi elde edilmektedir (Şekil 3.2).

1998 yılı itibariyle kullanıma kapatılan Hasdal açık döküm sahası 1980 yılı başlangıç kabul edildiğinde 18 yıllık bir tarihe sahiptir. Tesis dolgu olmayan düzgün bir alanda inşa edilmiş olup tesisin denizden yüksekliği yaklaşık 100 m'dir. Bağlı nem %50 civarındadır. Bölgede ılıman bir iklim hakimdir ve ortalama hava sıcaklığı 15 °C civarındadır.



Şekil 3.1. Kemerburgaz –Hasdal katı atık depolama alanının konumu



Şekil 3.2. Hasdal depo gazı enerji üretim tesisi, a- enerji tesisi b- atık depo alanı

Vahşi döküm alanının rehabilite edilmesiyle kurulan Hasdal Enerji Üretim Tesisi'nde 181 adet gaz çekme kuyusu mevcuttur (Şekil 3.3). Gaz çekme kuyularının ortalama derinliği 20 m'dir. Gaz kuyuları açılmadan önce alan, rehabilite edilmiş, üzeri toprak örtüsü ile örtülmüş (Şekil 3.2-b) ve gaz çıkışının kontrol altına alınması için bacalar düzenlenmiştir. 4 MW kurulu güce sahip ve 6.5 milyon dolara mal olan tesiste yılda yaklaşık 8 000 000 kWh elektrik enerjisi üretilerek enterkonnekte sisteme verilmektedir. Üretilen enerji 1500 konutun günlük elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak kapasitededir.



Şekil 3.4. Yakacık katı atık depolama alanının konumu

Sahada halen bir adet gaz yakma ünitesi bulunmakta ve bu ünite 1997 yılından beri gaz yakılmaktadır. Tesiste depo gazının değişken debisine bağlı olarak gaz yakılması kesikli olarak yapılmaktadır. Depo gazı yakma ünitesine gelen gazlar bir kondensat tutucudan geçtikten sonra kompresörle çekilerek yakma sıcaklığı 800 °C olan yakma bacasına verilmektedir.

Hasdal ve Yakacık depo alanlarının yapısı Tablo 3.1’ de her iki depo alanında bulunan atıkların bileşimi ise Tablo 3.2 de özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Hasdal ve Yakacık tesislerinin özellikleri

<i>Saha</i>	<i>Niteliği</i>	<i>Alan (m²)</i>	<i>Atık Yapısı</i>	<i>Depo Gazı</i>
<i>Hasdal</i>	Rehabilite edilmiş vahşi döküm alanı	577.000	Evsel ve ticari atık (8,2 milyon m ³)	Depo gazından elektrik üretimi
<i>Yakacık</i>	Rehabilite edilmiş vahşi döküm alanı	80.000	Evsel ve ticari atık (600000 m ³)	Depo gazı açık yakma (Flare)

Tablo 3.2 Hasdal ve Yakacık depo alanlarında depolanan katı atıkların bileşimi

<i>Madde grubu</i>	<i>Hasdal</i>	<i>Yakacık</i>
	<i>Oran (%)</i>	<i>Oran (%)</i>
Kül ve cüruf	14,27	14,6
Organik madde	51,20	60,6
Kağıt	13,90	10,1
Plastik	7,87	3,1
Cam	3,03	0,7
Tekstil	3,87	3,1
Metal	2,00	1,5
Diğer	5,87	6,1

3.3. Depo Gazı Bileşenleri

Çalışmada, Hasdal ve Yakacık Tesislerinde ölçülen metan (CH₄), karbondioksit (CO₂) ve oksijen (O₂) konsantrasyonları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan depo gazı ölçümleri (CH₄, CO₂, O₂), İSTAÇ A.Ş (İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş) tarafından tesis girişindeki gaz hattında dijital olarak gerçekleştirilmiştir. Karbondioksit ve metan infrared ölçme tekniği ile (IR sensörü), oksijen ise elektrokimyasal sensörlerle ölçülmüştür.

3.4. Meteorolojik Parametreler

Meteorolojik parametreler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait 17 meteorolojik ölçüm istasyonunda (Çatalca, Kemerburgaz, Ağva, Silivri, Ömerli, Teke, Kumköy, Kireçburnu, Göztepe, Şile, Florya, Kartal, Çınarcık, Bahçeköy, Karacaköy, Durusu) sürekli kaydedilmektedir. Çalışmada kullanılan meteorolojik veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilmiştir. Bu parametreler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Sıcaklık: Günlük ortalama kuru termometre sıcaklığı olup °C olarak tanımlanmaktadır.

Bulutluluk (Kapalılık): Bulutluluk parametresi görsel olarak belirlenen bir aletle ölçümü yapılmayan değerlerden oluşur. Tamamen kapalı bulutlu bir hava için “10” ve tamamen açık bulutsuz bir hava için “0” değeri verilir. Kısmen bulutlu hava şartları ise bu iki değer arasında olacak şekilde gözlemsel olarak belirlenir.

Nem: Havadaki su buharı miktarının % olarak tanımlanmasıdır. Havada bulunan su buharı miktarı kirleticilerin su içerisinde çözünerek sıvı faza geçerek form değiştirmesine neden olması bakımından önemli bir parametredir.

Basınç: Günlük ortalama basınç değerleri milibar olarak ifade edilmektedir. Alçak basınç sistemlerinde yukarı doğru bir hava hareketi oluşur ve kirleticilerin dağılması için uygun bir atmosferik ortamdır. Ancak yüksek basınç sistemlerinde ise yukarıda kalan soğuk hava kütlesi aşağı doğru hareket etme eğilimindedir ve kirleticilerin yükselmesine engel olmaktadır.

Güneşlenme Süresi ve Şiddeti: Güneşlenme süresi bir gün boyunca güneşin çıplak olarak gözleendiği toplam süredir ve saat olarak ifade edilir. Şiddeti ise bu zaman boyunca saatlik $\text{cal/cm}^2/\text{dakika}$ değerlerinin toplamıdır.

Ortalama Rüzgar Hızı: Günlük ortalama rüzgar hızı m/s olarak ifade edilir.

Yağış: Bir gün boyunca 1m^2 alana düşen yağış miktarının milimetre olarak yüksekliğini veren parametredir.

3.5. İstatiksel Performans İndisleri

Çalışmada kullanılan modelin performansını değerlendirmek için beş farklı istatistiksel ifade tanımlanmıştır. Bunlar: Ortalama Mutlak Hata (*Mean Absolute Error - MAE*), Ortalama Hata Karesi Kökü (*Root Mean Square Error - RMSE*), Ortalama Hata Eğilimi (*Mean Bias Error - Bias*), Yaklaşım İndeksi (*Index of Agreement - d*) ve Korelasyon Katsayısı (*Corelation Coefficient- r*) ifadeleridir ve gözlenen-tahmin edilen değerler arasında yapılan hesap sonucu bulunurlar.

MAE hataların mutlak değerlerinin ortalamasını veren bir parametredir ve düşük değerler alması model performansının iyi olduğunu göstermektedir. *RMSE* ise hataların kareköklerinin ortalamasının karekökü alınarak hesaplanır (Lam ve diğ., 2008). *RMSE*'nin mümkün olduğu kadar küçük olması ve sıfıra yaklaşması iyi bir modellemenin göstergesidir (Berastegi ve diğ., 2008; Abraha ve Savage, 2008). *Bias* ortalama tahmin ve ortalama gözlem değerlerinin birbirlerine yakınlığının derecesini

veren bir ifadedir. *Bias*'ın düşük değerleri iyi bir modellemeyi ifade eder ve <0 değerleri ise tahminlerin gözlemlerin üstünde olduğunu gösterir. Model değerlendirilmesinde önemli bir ifade de uyumluluğun tanımlanmasıdır. Bunun için yaklaşım indeksi (*d*) ve korelasyon katsayısı (*r*) hesaplanır. Bu değerlerin 1'e yakınlığı iyi bir modellemeyi ifade eder. İstatistiksel hesaplamalarda aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\ddot{O}_i - T_i| \quad (3.1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ddot{O}_i - T_i)^2} \quad (3.2)$$

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ddot{O}_i - T_i) \quad (3.3)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ddot{O}_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\ddot{O} - T_i| + |\ddot{O} - \ddot{O}_i|)^2} \quad (3.4)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ddot{O}_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\ddot{O}_i - \ddot{O})^2}} \quad (3.5)$$

Burada: \ddot{O}_i ve T_i , *i.* gündeki ölçülen ve tahmin edilen konsantrasyonu, \ddot{O} ise ölçülen değerlerin ortalamasını ifade etmektedir.

3.6. Lineer Regresyon

Regresyon analizi, herhangi bir değişkenin (bağımlı değişken), bir veya birden fazla değişkenle (bağımsız değişken) arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır. Bu denklem yardımıyla bağımsız değişkenlerin çeşitli değerlerine karşılık, bağımlı değişkenin alacağı değer tahmin edilir. Genel olarak uygulanan yöntem lineer

(doğrusal) regresyon yöntemidir ve çoklu bir lineer regresyonun genel denklemi şu şekilde ifade edilir.

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i \quad (3.6)$$

Burada;

Y_i bağımlı değişkeni,

X_i bağımsız değişkeni,

β_0 sabit,

β_j regresyon katsayıları ve

ε_i hata terimidir.

$i=1, 2, 3, \dots, n$ $k>1$ bağımsız değişken sayısını, n örnek boyutunu temsil etmektedir. ε_i hata terimi bağımlı değişken üzerinde etkili ve modele dahil edilemeyen bağımsız değişkenler ve diğer parametreler nedeni ile oluşan bir sayıdır.

Çoklu doğrusal modeller, Y bağımlı değişkeni ile X_{ij} bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı üzerine kurulur. Ancak gerçekte ilişkiler her zaman doğrusal değildir. Çok sayıdaki parametrenin birbirleri ile olan ilişkilerini doğrusal olmayan fonksiyonlar tanımlayabilmektedir. Bu nedenle, günümüzde değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri kolayca tanıyabilen ve çok sayıda parametrenin aynı anda değerlendirildiği istatistiksel yaklaşım tarzları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, genetik algoritma model sonuçlarının karşılaştırılması amacı ile aynı veriler kullanılarak Lineer Regresyon (LR) modeli uygulanmıştır. Lineer Regresyon formül katsayıları ve her bir parametrenin ilişki analizleri *SPSS 12.0* Programı kullanılarak hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

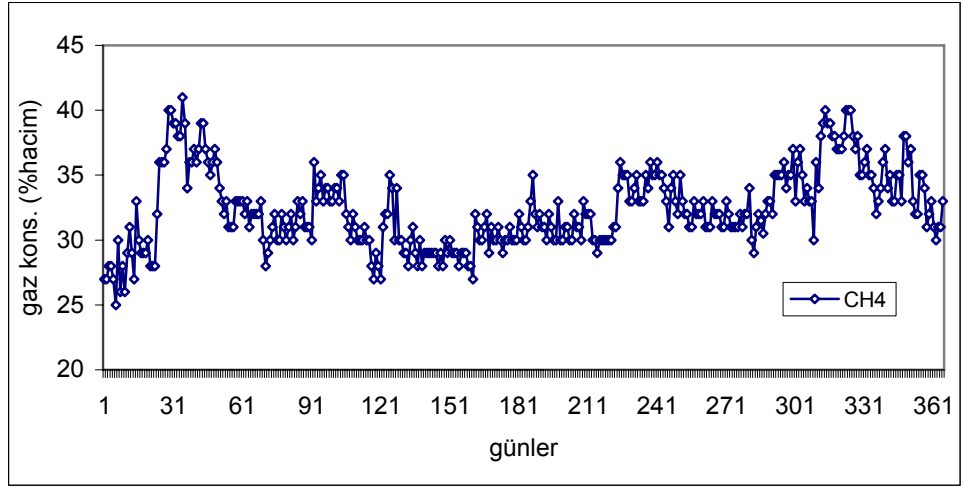
Bu çalışmada; İstanbul Hasdal ve Yakacık katı atık depo sahalarında ölçülen temel depo gazı bileşenlerinin değerlendirilmesi ve Genetik Algoritmalarla (GA) modellenmesi amaçlanmıştır.

4.1. HASDAL TESİSİ DEPO GAZI BİLEŞENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

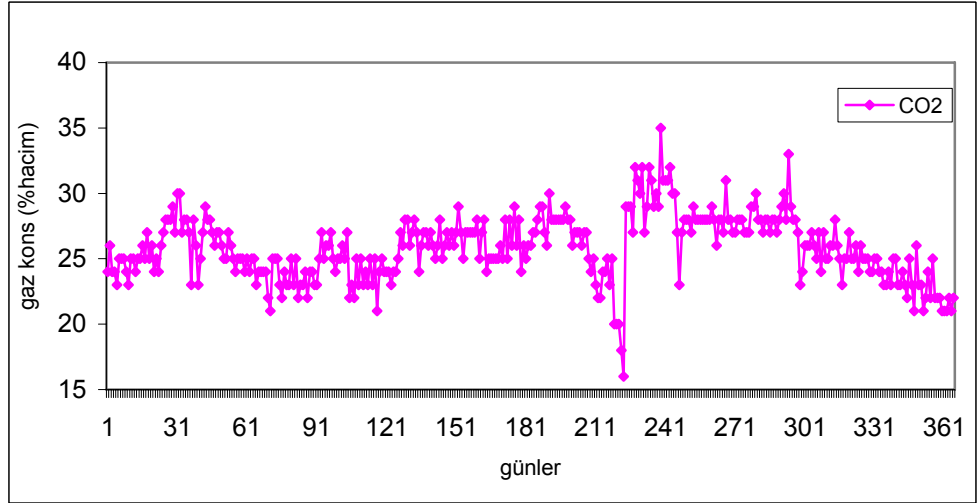
4.1.1. Depo Gazı Bileşenlerinin Günlük Ölçekli Değerlendirilmesi

Hasdal katı atık depo alanında gaz karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla yaklaşık 3,5 yılı (2003, 2004, 2005 ve 2006) kapsayan metan (CH₄), karbondioksit (CO₂) ve oksijen (O₂) gazı verileri kullanılmıştır. Gaz değerleri enerji üretim tesisinden elde edilen günlük ortalama konsantrasyonlardır.

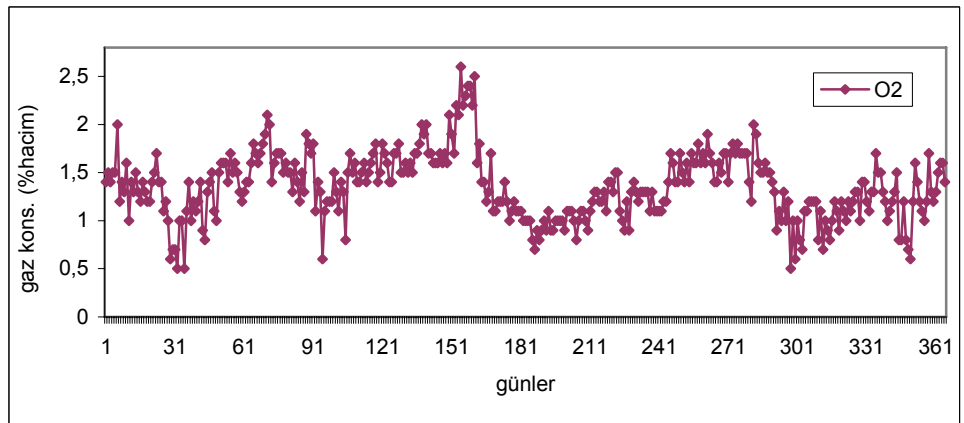
2003 yılı boyunca CH₄, % hacim olarak, %25 ile %41 arasında değişen değerler almıştır. Ortalama CH₄ konsantrasyonu %32,38'dir. Bu dönemde yapılan toplam 365 ölçümün tamamında CH₄ yanma değerindedir (>%15). CO₂ % hacim olarak %16 ile %35 değerleri arasında değişmektedir. Ortalama CO₂ konsantrasyonu ise, %25,84 olarak belirlenmiştir. Oksijen değerleri beklenildiği üzere çok küçük konsantrasyonlarda bulunmuştur. Oksijen 2003 yılında %0,5 ile %2,6 arasında değerler alırken, ortalaması %1,36 olarak tespit edilmiştir. Ölçülen CH₄, CO₂ ve O₂ gazlarının 2003 yılı içerisindeki değişimleri sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Hasdal Tesisi, metan (CH₄) gazının zamansal değişimi
(Günlük ortalama, Ocak 2003-Aralık 2003)

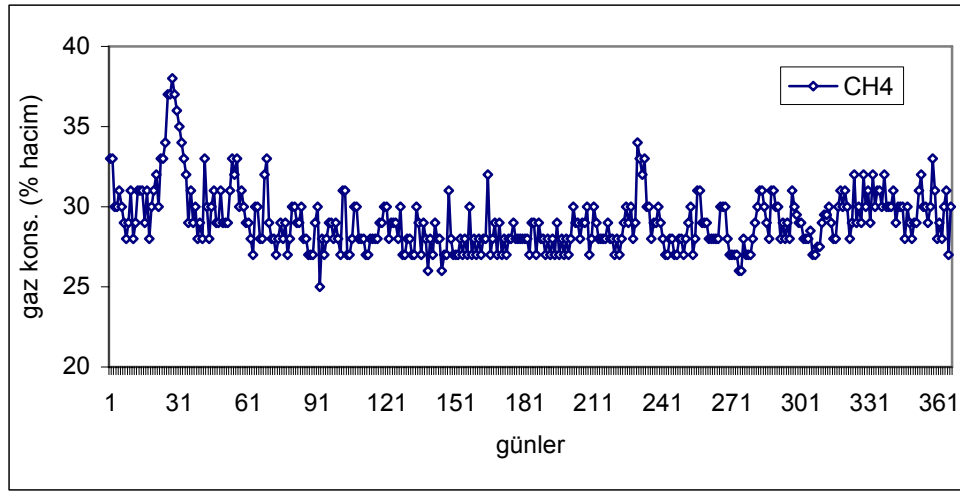


Şekil 4.2. Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO₂) gazının zamansal değişimi
(Günlük ortalama, Ocak 2003-Aralık 2003)

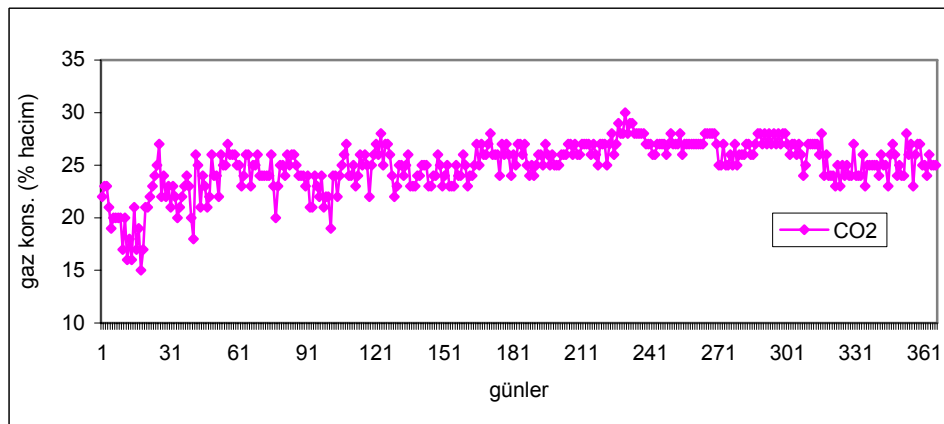


Şekil 4.3. Hasdal Tesisi, oksijen (O₂) gazının zamansal değişimi
(Günlük ortalama, Ocak 2003-Aralık 2003)

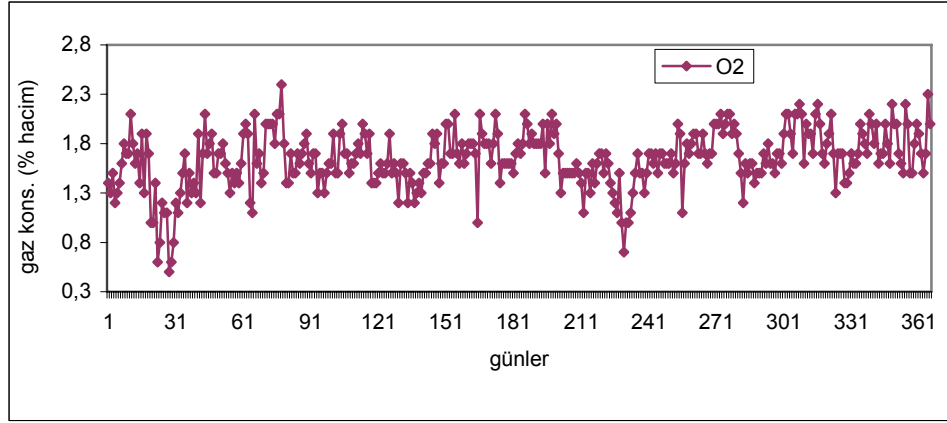
2004 yılında ise; CH₄, % hacim olarak, %25 ile %38 arasında değişen değerler almıştır. Ortalama CH₄ miktarı %29,08'dir. 2003 yılına benzer olarak bu dönemde yapılan toplam 365 ölçümün tamamında CH₄ yanma değerindedir (>%15). CO₂ ise % hacim olarak %15 ile %30 değerleri arasında değişmektedir. Ortalama CO₂ konsantrasyonu %24,95 olarak belirlenmiştir. Oksijen bu dönemde %0,5 ile %2,4 arasında değerler alırken, ortalama oksijen konsantrasyonu %1,64 olarak tespit edilmiştir. Ölçülen CH₄, CO₂ ve O₂ gazlarının 2004 yılı içerisindeki değişimleri Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur.



Şekil 4.4. Hasdal Tesisi, metan (CH₄) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)

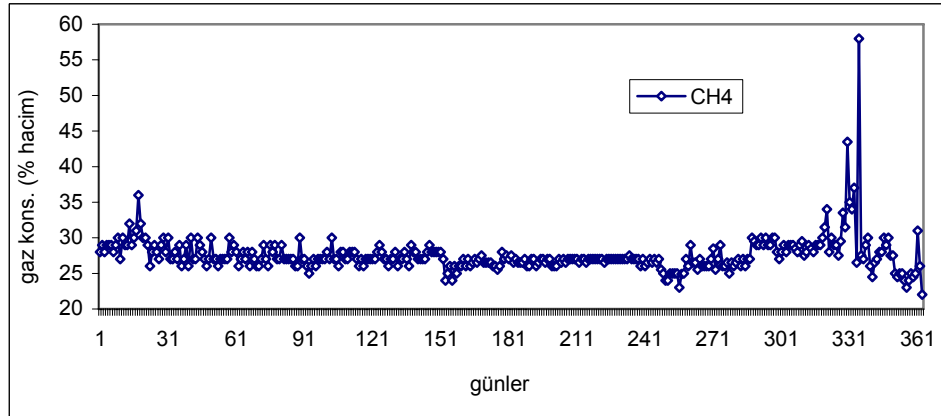


Şekil 4.5. Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)

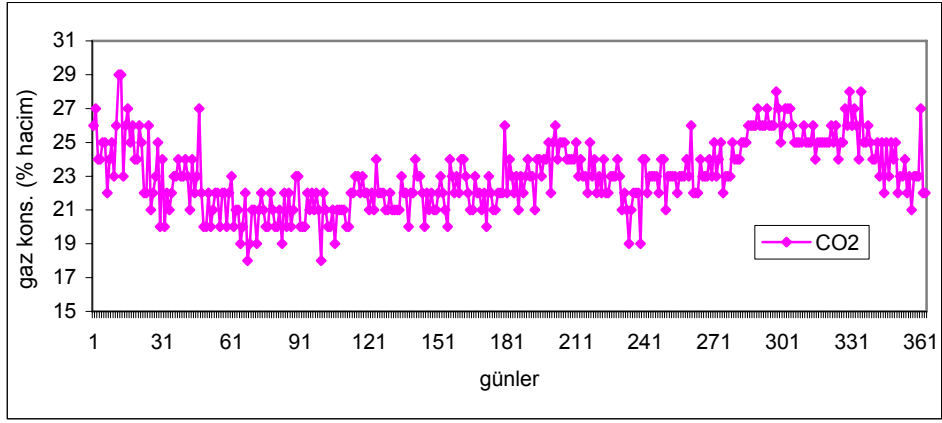


Şekil 4.6. Hasdal Tesisi, oksijen (O_2) gazının zamansal değişimi
(Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)

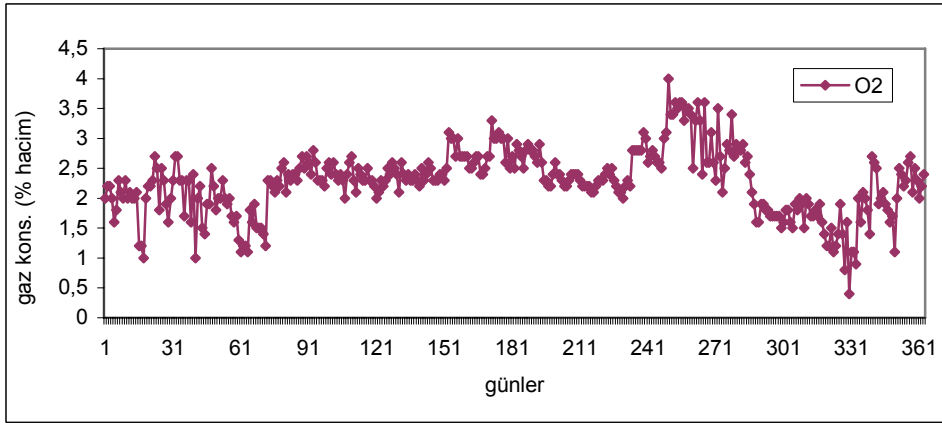
2005 yılında tesiste ölçülen CH_4 , CO_2 ve O_2 gazlarının yıl içerisindeki değişimleri sırasıyla Şekil 4.7, 4.8, 4.9'da gösterilmiştir. Bu dönemde CH_4 'ın % hacim olarak, %22 ile %58 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama CH_4 konsantrasyonu %27.46 olarak tespit edilmiştir. Yapılan toplam 365 ölçümün tamamında CH_4 yanma sınırının üzerindedir ($>15\%$). CO_2 ise % hacim olarak %18 ile %29 değerleri arasında değişmektedir (Şekil 4.8). Ortalama CO_2 konsantrasyonu %23,03 olarak belirlenmiştir. Oksijen bu dönemde %0,4 ile %4 arasında değerler alırken, ortalama oksijen konsantrasyonu %2,27'dir.



Şekil 4.7. Hasdal Tesisi, metan (CH_4) gazının zamansal değişimi
(Günlük ortalama, Ocak 2005-Aralık 2005)

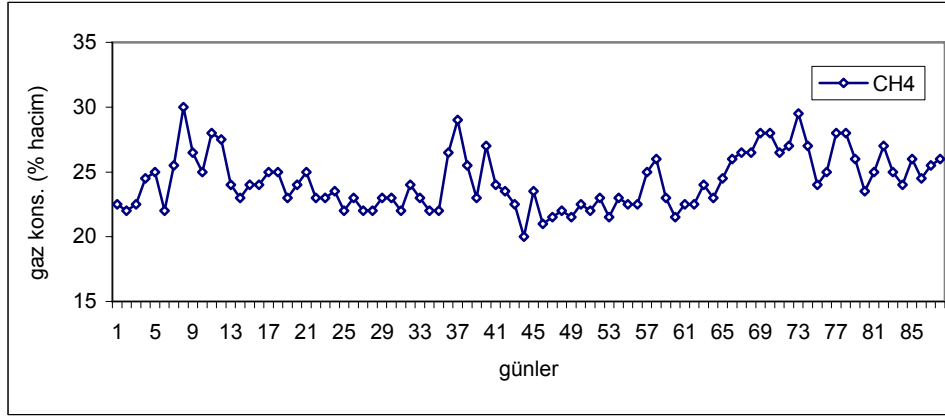


Şekil 4.8. Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2005-Aralık 2005)

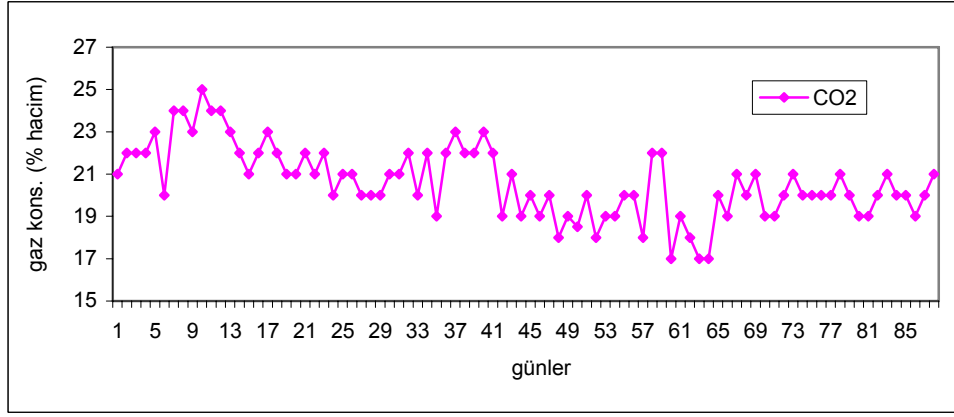


Şekil 4.9. Hasdal Tesisi, oksijen (O₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2005-Aralık 2005)

2006 yılının ilk 3 ayında yapılan toplam 90 ölçümde; CH₄ % hacim olarak, %20 ile %30 arasında değişen değerler almış ve ortalama CH₄ konsantrasyonu %24,04 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde yapılan ölçümlerin tamamında metan yanma sınırı olan %15'in üstündedir. CO₂ ise % hacim olarak %17 ile %25 değerleri arasında değişmektedir. Ortalama CO₂ konsantrasyonu %20,61'dir. Oksijen bu dönemde %1 ile %3,7 arasında değerler almış, ortalama oksijen konsantrasyonu %2,53 olarak tespit edilmiştir. Ölçülen CH₄, CO₂ ve O₂ gazlarının 2006 yılı içerisindeki değişimleri Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de görülmektedir.



Şekil 4.10. Hasdal Tesisi, metan (CH₄) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2006-Mart 2006)



Şekil 4.11. Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2006-Mart 2006)

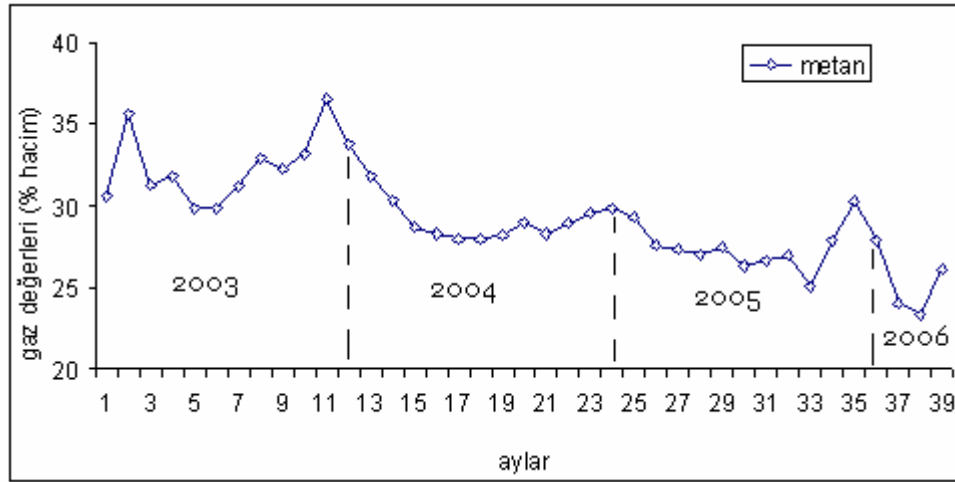


Şekil 4.12. Hasdal Tesisi, oksijen (O₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2006-Mart 2006)

4.1.2. Depo Gazı Bileşenlerinin Aylık ve Mevsimlik Değerlendirilmesi

Hasdal, depo alanındaki gaz karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla 2003 ve 2006 yılları arasında ölçülen gaz değerleri ile, aylık ve mevsimlik (üç aylık) ortalamalar halinde veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setlerinde CH₄, CO₂ ve O₂ gazları kullanılmıştır. Gaz değerlerinin aylık değişimleri sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir.

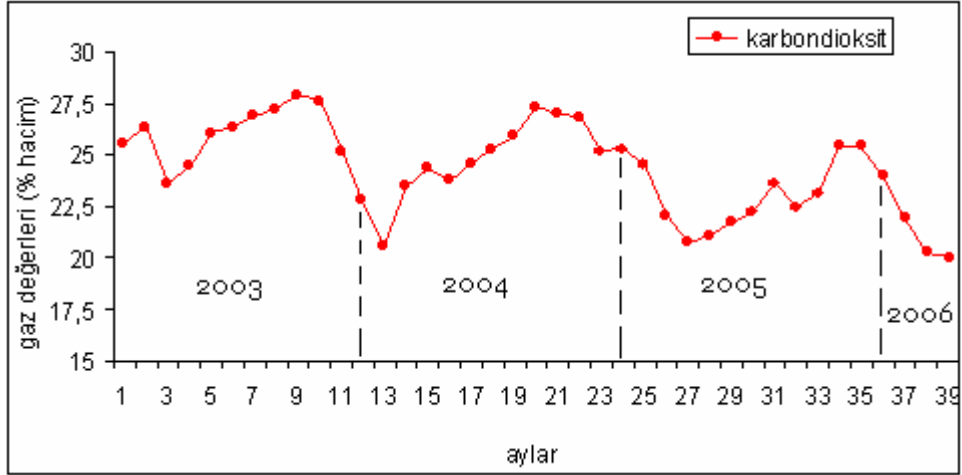
Gaz değerleri aylık olarak incelendiğinde 2003 yılı için, CH₄ değerinin %29,8 ile %36,63 arasında değişim gösterdiği görülmüştür. En yüksek CH₄ değeri %36,63 ile Kasım ayında ölçülmüştür. Bu döneme ait en düşük CH₄ değeri %29,8 ile Haziran ayında tespit edilmiştir (Şekil 4.13). 2003 yılında ölçülen bütün CH₄ değerleri yanma limiti olan %15’in üzerindedir. Bu dönemde CO₂ ise, %22,8 ile %27,86 arasında değerler almıştır. En yüksek CO₂ değerine (%27,86) Eylül ayında ulaşılmıştır (Şekil 4.14). O₂ ise beklenildiği üzere düşük seviyelerde bulunmuştur. Bu dönemde O₂, %0,9- %2 arasında değişirken en yüksek O₂ değeri Mart ayında, en düşük değeri ise Temmuz ayında ölçülmüştür (Şekil 4.15).



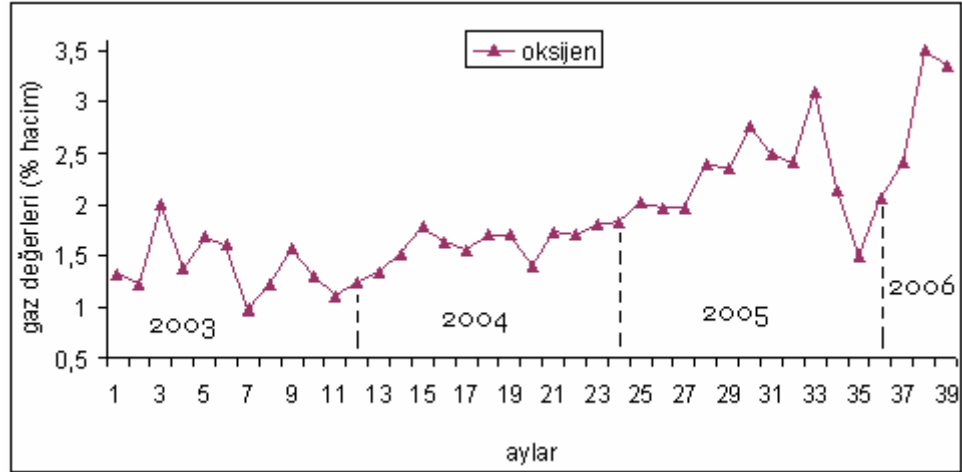
Şekil 4.13. Hasdal Tesisi, metan (CH₄) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)

2004 yılına gelindiğinde, CH₄ %31,77 ile %27,93 arasında değişmiştir. CH₄ en yüksek değerine Ocak ayında ulaşırken, en küçük değeri Mayıs ayında tespit edilmiştir (Şekil 4.13). CO₂ ise %20,61 ile %27,29 arasında değişim göstermiştir. En yüksek CO₂ değerine Ağustos ayında, en düşük değerine Ocak ayında rastlanmıştır (Şekil 4.14). O₂

ise beklenildiği üzere düşük değerlerde görülmüştür. En yüksek O₂ değeri %1,83 ile Aralık ayında görülürken, en düşük değer ise %1,34 ile Ocak ayında kaydedilmiştir (Şekil 4.15). 2003 yılı ile benzer olarak 2004 yılında da bütün CH₄ değerleri yanma seviyesi olan %15 değerinin üzerindedir.



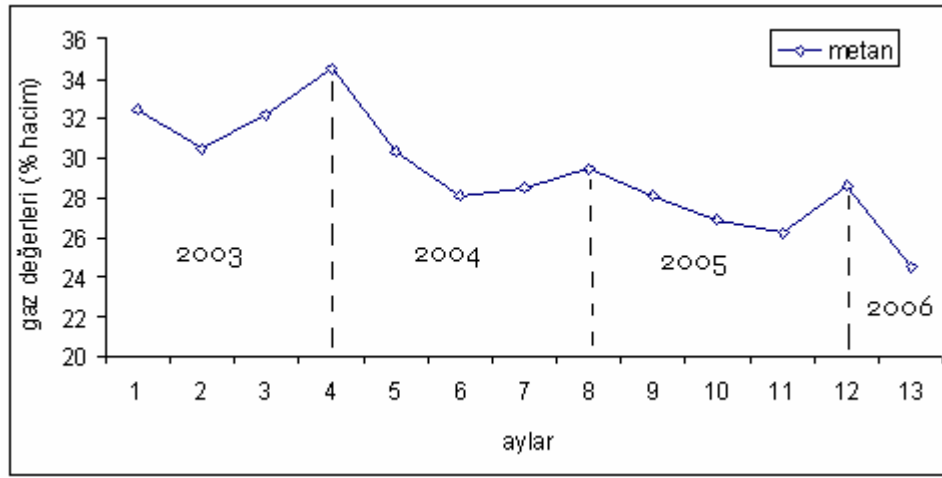
Şekil 4.14. Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO₂) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)



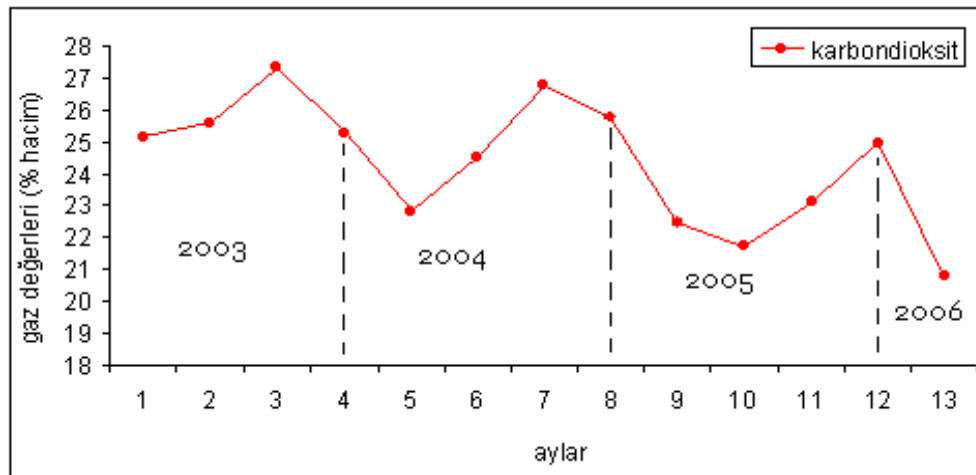
Şekil 4.15. Hasdal Tesisi, oksijen (O₂) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)

2005 yılındaki gaz dağılımları incelendiğinde, CH₄'ün %25,12 ile %30,25 arasında değiştiği görülmektedir. Bu dönemde en yüksek CH₄ değeri Kasım ayında, en düşük değeri ise, Eylül ayında tespit edilmiştir (Şekil 4.13). CO₂ bu dönemde %20,77 ile %25,45 arasında değişmiştir. %25,45 olan en yüksek değer Ekim ayında ölçülürken, en düşük değer %20,77 ile Mart ayında ölçülmüştür (Şekil 4.14). Bu dönemde Oksijen,

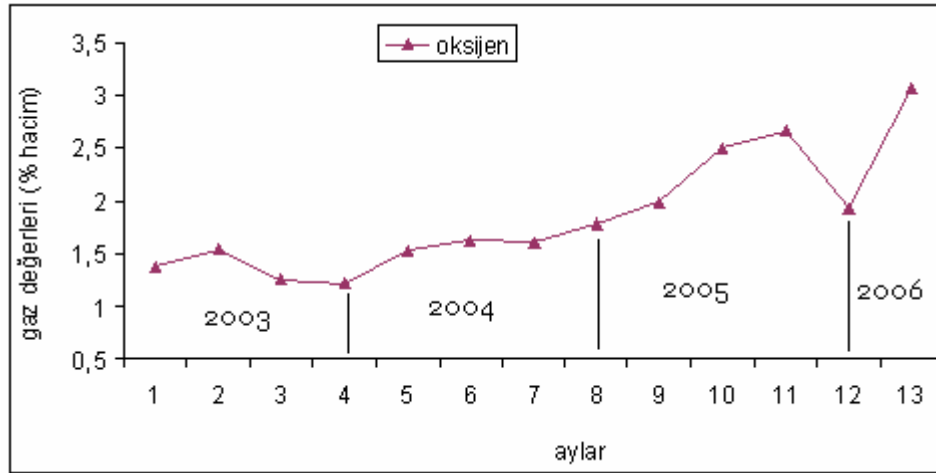
%1,5 ile %3,11 arasında değişmiştir. 2003 ve 2004'e kıyasla 2005 yılında ortalama O₂ değerinin bir miktar arttığı görülmektedir. Bu artış 2005 Eylül ayında en üst seviyeye ulaşmış (%3,11) ve daha sonra keskin bir düşüşle 2005 Kasım ayında %1,5 seviyesine gerilemiştir (Şekil 4.15). Veri seti 2006 yılı Ocak, Şubat ve Mart aylarından oluşmaktadır. Üç aylık bu dönemde CH₄ % 23,31 ile %26,15 arasında değişirken (Şekil 4.16), CO₂ %20 - %21,87 arasında değerler almıştır (Şekil 4.14). O₂ ise % 2,41 ile % 3,5 arasında tespit edilmiştir (Şekil 4.15). Hasdal tesisinde ölçülen gazların mevsimlik ortalamaları Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18' de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Hasdal Tesisi, metan (CH₄) gazının zamansal değişimi (Mevsimlik ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)



Şekil 4.17. Hasdal Tesisi, karbondioksit (CO₂) gazının zamansal değişimi (Mevsimlik ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)



Şekil 4.18. Hasdal Tesisi, oksijen (O₂) gazının zamansal değişimi (Mevsimlik ortalama, Ocak 2003-Mart 2006)

Gaz bileşenlerinin aylık değişimini veren grafikler incelendiğinde, CH₄ miktarının yılın kurak ayları olan yaz aylarında azalma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum kurak aylarda gazların depo alanındaki boşluklardan kolayca sahayı terk ettiğinin bir göstergesidir. En yüksek CH₄ değerlerinin ölçüldüğü aylar, 2003 yılı için Kasım, 2004 yılı için Ocak, 2005 yılı için Kasım ve 2006 yılı için Mart aylarıdır. Bu aylardaki ortalama yağış miktarları incelendiğinde Kasım 2003'te 2,74 mm, Ocak 2004'te 2,11 mm, Kasım 2005'te 4,74 mm ve Mart 2006'da 3,01 mm ortalama yağış olduğu görülmüştür. Buradan yağışın depo alanındaki gözenekleri kapatarak CH₄' ün doğrudan atmosfere kaçmasını engellediği ve gazın daha yüksek verimde toplanarak enerji tesisine ulaştırılmasını sağladığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca yağışlardan kaynaklanan yüzey akışından depo sahasına filtre olan suyun da metanojenik aktiviteyi arttırarak CH₄ oluşumunu arttırdığı düşünülmektedir.

Hasdal tesisinde 2003-2006 yılları arasında ölçülen gaz bileşenlerinin genel karakteristikleri ise, Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Çalışma periyodunda Hasdal tesisinde ölçülen gaz bileşenlerinin genel değerlendirmesi

Yıllar	CH ₄ , %			CO ₂ , %			O ₂ , %		
	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort
2003	25	41	32,38	16	35	25,84	0,5	2,6	1,36
2004	25	38	29,08	15	30	24,95	0,5	2,4	1,64
2005	22	58	27,46	18	29	23,03	0,4	4	2,27
2006	20	30	24,04	17	25	20,61	1	3,7	2,53

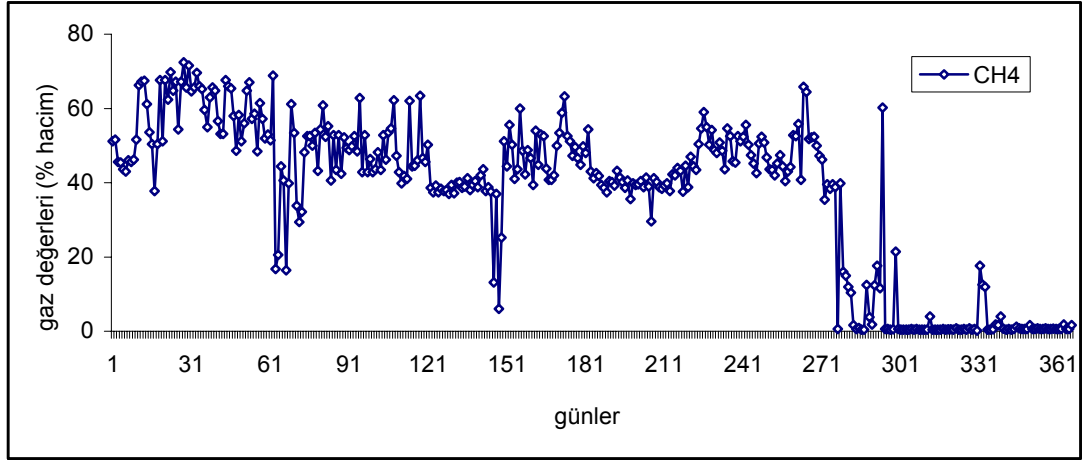
4.2. YAKACIK TESİSİ DEPO GAZI BİLEŞENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.2.1. Depo Gazı Bileşenlerinin Günlük Ölçekli Değerlendirilmesi

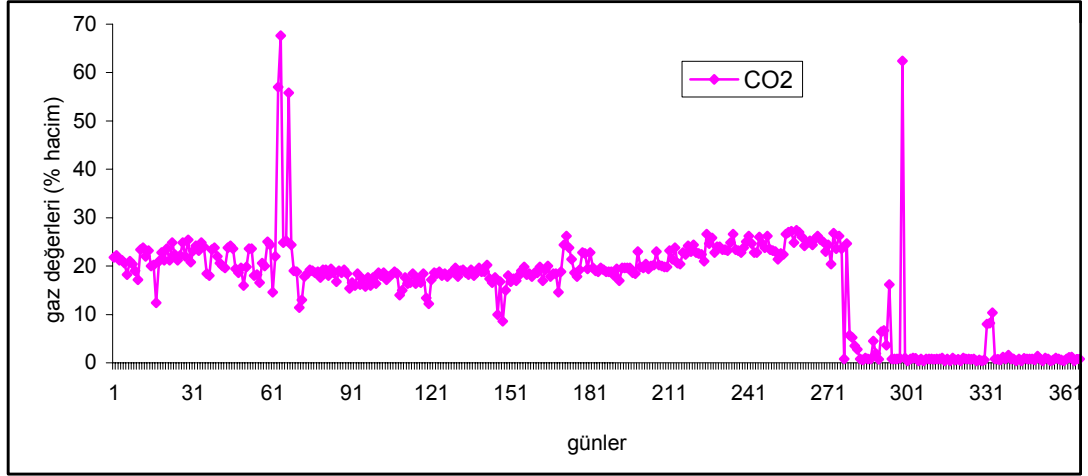
Yakacık depo alanındaki gaz karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla 2004 yılı için günlük ortalamalar halinde veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setlerinde CH₄, CO₂ ve O₂ gazları kullanılmıştır.

2004 yılında CH₄ % hacim olarak %0,2 ile % 72,4 arasında değişen değerlerde bulunmuştur. Ortalama CH₄ değeri ise %37,17 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde gerçekleştirilen 366 ölçümün 280 adetinde CH₄ değerleri yanma limitinin üzerinde (>%15), 86 ölçümde ise yanma değerinin altındadır. CH₄ gazının bu dönemdeki değişimi Şekil 4.19' da gösterilmiştir. CO₂ ise, bu dönemde % hacim olarak %0,4 ile %67,6 arasında değişen değerlerde tespit edilmiştir (Şekil 4.20). Bu dönemde ölçülen CO₂ değerlerinin ortalaması ise %16,36 olmuştur. O₂ değerleri beklenildiği üzere düşük seviyelerde çıkmıştır. Bu dönemdeki en yüksek O₂ değeri %17,8 iken, ortalama değer %4,10 olarak bulunmuştur. O₂ değerlerinin bu dönemdeki değişimi Şekil 4.21'de sunulmuştur.

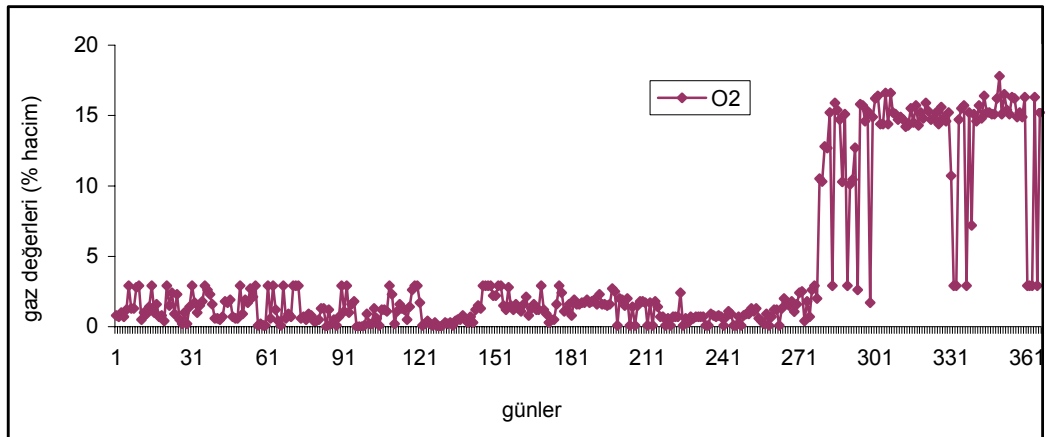
Bu dönemde, Yakacık katı atık depo alanından kaynaklanan depo gazları incelendiğinde CH₄ ve CO₂ miktarlarında çok belirgin düşüşler yaşanırken, bu durumla ters orantılı olarak O₂ miktarları artış göstermiştir. Bu değişim iki şekilde açıklanabilir: Yakacık sahası depolanan katı atık miktarıyla oldukça küçük bir tesistir. 1995 yılından beri gaz toplanan tesisin etkin ömrünü tamamladığı düşünülmektedir. Gaz miktarlarındaki azalan eğilimin uzun süreli olması bu fikri destekleyen bir göstergedir. Gaz değişimlerinin bir diğer nedeni depo alanı içerisinde meydana gelen ayrışma sonucu depo alanında oluşan çökme ve oturmaların gaz toplama verimini düşürmesi olarak açıklanabilir. Bu dönemde gaz bileşiminde görülen yüksek O₂ değerlerinin bunun bir göstergesi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.19. Yakacık Tesisi, metan (CH₄) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)



Şekil 4.20. Yakacık Tesisi, karbondioksit (CO₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004-Aralık 2004)

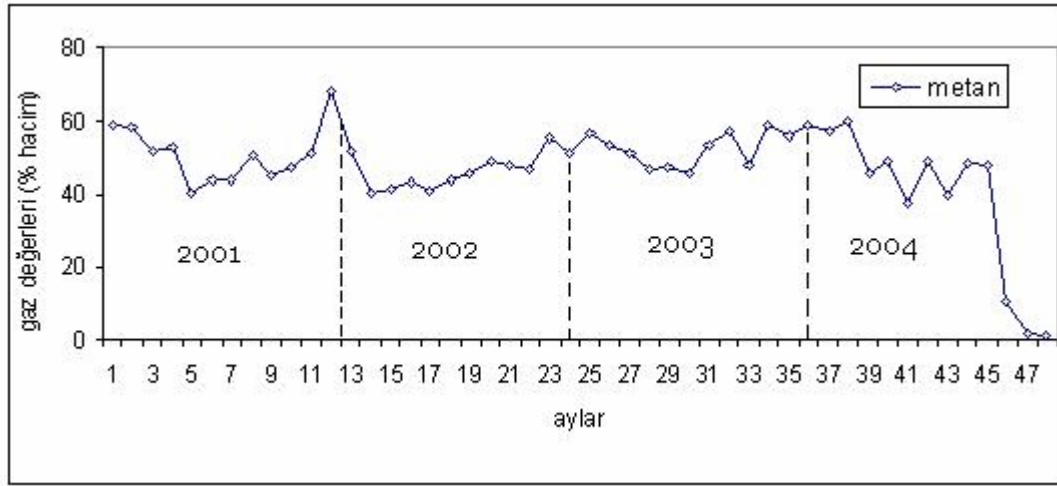


Şekil 4.21. Yakacık Tesisi, oksijen (O₂) gazının zamansal değişimi (Günlük ortalama, Ocak 2004- Aralık 2004)

4.2.2. Depo Gazı Bileşenlerinin Aylık Ölçekli Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu kısmında Yakacık tesisi için 2001, 2002, 2003 ve 2004 yıllarına ait, aylık ortalamalar halinde veri setleri oluşturulmuştur. Diğerlerinde olduğu gibi bu veri setlerinde de CH₄, CO₂ ve O₂ gazları kullanılmıştır. Gaz değerlerinin aylık değişimleri sırasıyla Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'de, gösterilmiştir.

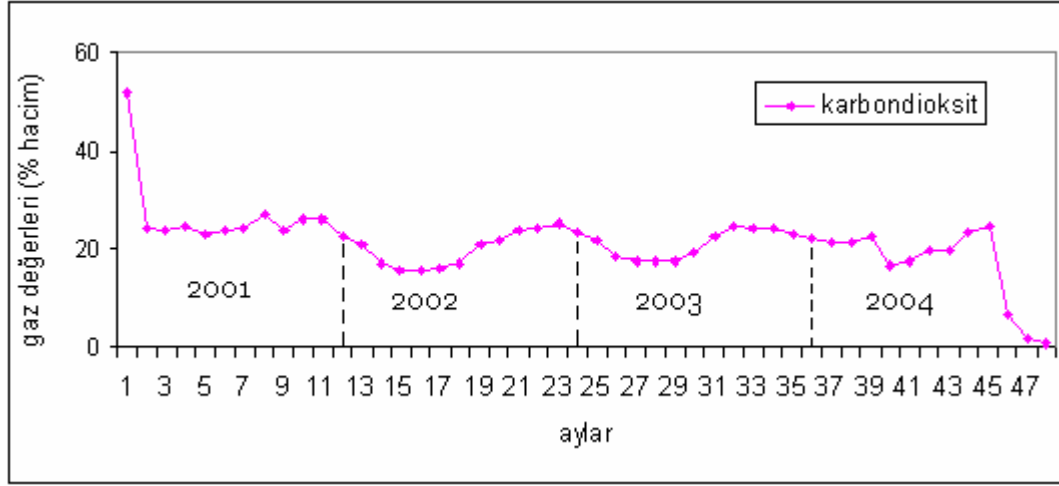
Gaz değerleri aylık olarak incelendiğinde 2001 yılı için, CH₄ değerinin %40,13 ile %67,71 arasında değişim gösterdiği görülmüştür. En yüksek değer olan %67,71 Aralık ayında ölçülmüştür. Bu döneme ait en düşük CH₄ değeri %40,13 ile Mayıs ayında tespit edilmiştir (Şekil 4.22). 2001 yılında ölçülen bütün CH₄ değerleri yanma limiti olan %15'in üzerindedir. Bu dönemde CO₂ ise, %22,59 ile %51,07 arasında değerler almıştır. En yüksek CO₂ değerine (%51,07) Ocak ayında ulaşılmıştır (Şekil 4.23). O₂ ise beklenildiği üzere düşük seviyelerde bulunmuştur. Bu dönemde O₂, %0,13 ile %2,51 arasında değişirken en yüksek O₂ değeri Eylül ayında, en düşük değeri ise Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.24).



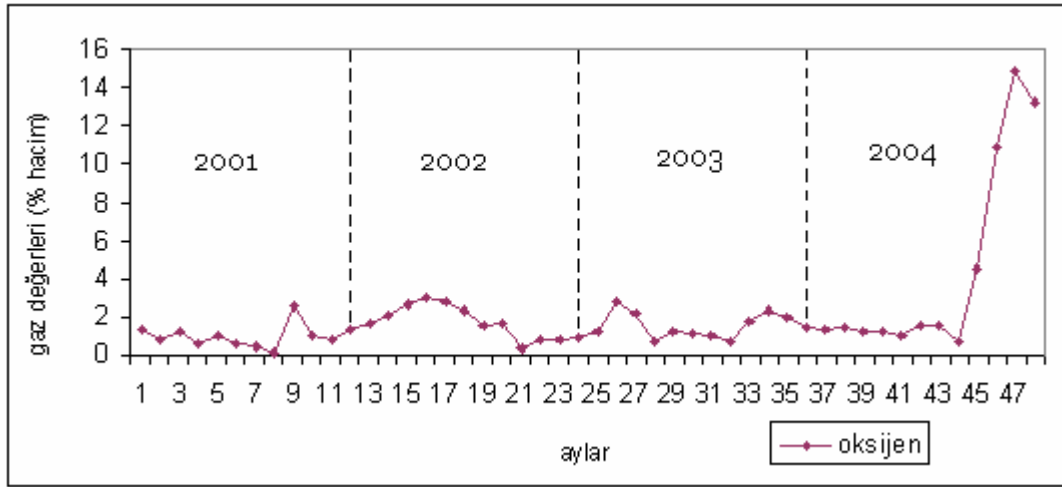
Şekil 4.22. Yakacık Tesisi, metan (CH₄) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2001-Aralık 2004)

2002 yılında; CH₄ %40,54 ile %55,02 arasında değişmiştir. CH₄ en yüksek değerine Kasım ayında ulaşırken, en küçük değeri Şubat ayında tespit edilmiştir (Şekil 4.22). CO₂ ise %15,67 ile %25,15 arasında değişim göstermiştir. En yüksek CO₂ değerine CH₄ ile benzer olarak Kasım ayında, en düşük değerine Nisan ayında rastlanmıştır (Şekil 4.23). 2002 yılında en yüksek O₂ değeri %2,94 ile Nisan ayında görülürken, en düşük

değer ise %0,3 ile Eylül ayında kaydedilmiştir (Şekil 4.24). 2001 yılı ile benzer olarak 2002 yılında da bütün CH₄ değerleri yanma seviyesi olan %15 değerinin üzerindedir.



Şekil 4.23. Yakacık Tesisi, karbondioksit (CO₂) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2001-Aralık 2004)



Şekil 4.24. Yakacık Tesisi, oksijen (O₂) gazının zamansal değişimi (Aylık ortalama, Ocak 2001-Aralık 2004)

2003 yılındaki gaz dağılımları incelendiğinde, CH₄'ın %45,52 ile %58,73 arasında değiştiği görülmektedir. Bu dönemde en yüksek CH₄ değeri Aralık ayında, en düşük değeri ise, Haziran ayında tespit edilmiştir (Şekil 4.22). 2001 ve 2002 yılında olduğu gibi 2003 yılında da bütün CH₄ değerleri yanma seviyesi olan %15'in üzerindedir. CO₂ bu dönemde %17,46 ile %24,97 arasında değişmiştir. %24,97 olan en yüksek değer

Ağustos ayında ölçülürken, en düşük değer %17,46 ile Mayıs ayında ölçülmüştür (Şekil 4.23). Bu dönemde Oksijen, %0,62 ile %2,75 arasında değişmiştir.

Ölçüm periyodunun son dönemini oluşturan 2004 yılında, CH₄ değerinin %0,91 ile %59,58 arasında değişim gösterdiği görülmüştür. En yüksek değer olan %59,58 Şubat ayında ölçülmüştür. Bu döneme ait en düşük CH₄ değeri %0,91 ile Aralık ayında tespit edilmiştir (Şekil 4.22). Bu dönemde CO₂ ise, %0,79 ile %24,72 arasında değerler almıştır. En yüksek CO₂ seviyesine Eylül ayında, en düşük değere ise Aralık ayında ulaşılmıştır (Şekil 4.23). O₂ ise, %0,70- %14,94 arasında değişirken en yüksek O₂ değeri Kasım ayında, en düşük değeri ise Ağustos ayında ölçülmüştür (Şekil 4.24). 2004 yılı gaz değerleri incelendiğinde yılın son dört ayında CH₄ ve CO₂ değerlerinde keskin bir düşüş görülürken, bununla orantılı olarak O₂ değerlerinde ciddi artışlar gözlemlenmiştir. Yakacık tesisinde 2001-2004 yılları arasında ölçülen gaz bileşenlerinin genel karakteristikleri Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Çalışma periyodunda Yakacık tesisinde ölçülen gaz bileşenlerinin genel değerlendirmesi

Yıllar	CH ₄ , %			CO ₂ , %			O ₂ , %		
	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort
2001	40,13	67,71	50,99	22,59	51,07	26,84	0,13	2,51	0,96
2002	40,54	55,02	46,38	15,67	25,15	20,30	0,30	2,94	1,69
2003	45,52	58,73	55,66	17,46	24,97	21,18	0,62	2,75	1,52
2004	0,91	59,58	37,17	0,79	24,72	16,38	0,70	14,94	4,45

4.3. DEPO GAZI BİLEŞENLERİNİN MODELLENMESİ

4.3.1. Hasdal Katı Atık Depo Sahası Gaz Bileşenlerinin Modellenmesi

Bölüm 4.1’de ayrıntılı olarak değerlendirilen CH₄, CO₂ ve O₂ gazları, bu bölümde Genetik Algoritma (GA) tekniğiyle modellenmiştir. GA model yapısında bu üç depo gazı ile birlikte Göztepe Meteoroloji İstasyonu’ndan elde edilen 7 adet meteorolojik değişken kullanılmıştır. Oluşturulan GA ile, CH₄ gazının konsantrasyonları diğer değişkenlere bağlı olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Modelde kullanılan parametreler ile bu parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 4.3’ de sunulmuştur.

Tablo 4.3. GA model yapısında kullanılan parametrelerin, minimum, maksimum ve ortalama değerleri.

<i>Parametre</i>	<i>Kısaltma</i>	<i>Birim</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Ort</i>
<i>Metan</i>	CH ₄	% hacim	58	2,7	29,25
<i>Karbondiyoksit</i>	CO ₂	% hacim	35	15	24,32
<i>Oksijen</i>	O ₂	% hacim	28	0,4	1,88
<i>Sıcaklık</i>	SI	°C	29,2	-4,5	14,55
<i>Nem</i>	NE	%	96,3	37,7	72,46
<i>Basınç</i>	BA	mbar	1032	988,20	1012,08
<i>Güneş Süresi</i>	GSUR	saat	12,9	0	5,96
<i>Kapalılık</i>	KAP	-	10	0	4,2
<i>Ort. Rüz. Hızı</i>	RH	m/s	7,1	0,2	2,52
<i>Yağış</i>	YAG	mm	70,7	0	2,03

4.3.1.1. Günlük Ölçekli Model Tahminleri

Depo gazlarının günlük ölçekli modellenmesi aşamasında Tablo 4.3’ de belirtilen tüm parametreler kullanılarak bir gün sonraki CH₄ konsantrasyonu Genetik Algoritma (GA) modelleme tekniği ile modellenmiştir. Çalışmada, o günün verileri giriş değişkenleri ertesi günün CH₄ değerleri ise çıkış değişkeni olarak kullanılmıştır. Veriler 1 Ocak 2003 ve 31 Mart 2006 tarihleri arasında sıralanmış, 11660 veri eğitim ve test işlemlerinde kullanılmıştır. Eğitim için giriş matrisi 10x580 boyutunda, test için ise 10x586 boyutundadır. Eğitim ve test aşamalarında kullanılan model yapısı Şekil 4.25’de verilmiştir. Zamansal konsantrasyon tahmini modelleme çalışmalarında, model giriş

değişkenleri "t" zamanındaki kirleticiler ve meteorolojik parametreler, çıkış değişkeni "t+1" zamanındaki kirletici parametre olarak düzenlenmiştir. Bu model yapısında, "t" günlük ortalama değerleri ifade etmektedir.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix}
 \text{CH}_4(t_1) & \text{CH}_4(t_2) & \text{CH}_4(t_3) & \text{CH}_4(t_4) & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{580}) \\
 \text{CO}_2(t_1) & \text{CO}_2(t_2) & \text{CO}_2(t_3) & \text{CO}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \text{CO}_2(t_{580}) \\
 \text{O}_2(t_1) & \text{O}_2(t_2) & \text{O}_2(t_3) & \text{O}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \text{O}_2(t_{580}) \\
 \text{SI}(t_1) & \text{SI}(t_2) & \text{SI}(t_3) & \text{SI}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{SI}(t_{580}) \\
 \text{NE}(t_1) & \text{NE}(t_2) & \text{NE}(t_3) & \text{NE}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{NE}(t_{580}) \\
 \text{BA}(t_1) & \text{BA}(t_2) & \text{BA}(t_3) & \text{BA}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{BA}(t_{580}) \\
 \text{GSUR}(t_1) & \text{GSUR}(t_2) & \text{GSUR}(t_3) & \text{GSUR}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{GSUR}(t_{580}) \\
 \text{KAP}(t_1) & \text{KAP}(t_2) & \text{KAP}(t_3) & \text{KAP}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{KAP}(t_{580}) \\
 \text{RH}(t_1) & \text{RH}(t_2) & \text{RH}(t_3) & \text{RH}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{RH}(t_{580}) \\
 \text{YAG}(t_1) & \text{YAG}(t_2) & \text{YAG}(t_3) & \text{YAG}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{YA}(t_{580}) \quad] \\
 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix}
 \text{CH}_4(t_{1+1}) & \text{CH}_4(t_{2+1}) & \text{CH}_4(t_{3+1}) & \text{CH}_4(t_{4+1}) & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{580+1}) \quad] \\
 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.25. Hasdal günlük ölçekli GA modellemesinde matris yapısı [giriş (P) ve çıkış (T)]

GA model çalışmasında; Şekil 4.25’de gösterilen giriş değişkeni ile bir gün sonraki CH₄ tahmini için çıkış değişkeni oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan GA adımları aşağıda açıklanmıştır.

1. Adım: Populasyonun oluşturulması. Bu aşamada populasyon matrisi olarak tanımlanan matris oluşturulur. Çalışmada kullanılan matris Şekil 4.25’de tanımlanmıştır. Populasyon matrisindeki her bir satır kromozomları, her bir sütun ise kromozomlar üzerindeki bitleri ifade etmektedir.

2. Adım: Parametrelerin elde edilmesi. Bu aşamada kromozomlar ikili kodlar halinde ifade edilirler. Çalışmada kullanılan modeldeki parametre (katsayı) sayısı 21’dir ve her bir parametre 8 bit büyüklüğündedir. Her bir kromozomun uzunluğu ise 168 bit (21x8)’dir. Modelde kullanılan parametreler (katsayılar) aşağıda gösterilmiştir. Burada; S kromozom uzunluğunu ifade etmektedir.

$$S = [A, B, C, D, E, F, G, b, \varepsilon, H, I, J, K, L, M, N, P, R, S, Y, Z]$$

Burada ifade edilen katsayılar CH₄ konsantrasyonlarının hesaplanmasında kullanılan denklemin katsayılarıdır. Bu durumda denklem aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned} CH_{4t+1} = & [A(CO_{2t})^2 + B(CO_{2t}) + C(O_{2t})^2 + D(O_{2t}) + E(CH_{4t})^2 + F(CH_{4t}) + G(\exp^{-b(TEMP)}) \\ & + H(RH_t)^2 + I(RH_t) + J(P_t)^2 + K(P_t) + L(SUN_t)^2 + M(SUN_t) + N(C_t)^2 + P(C_t) + R(WS_t)^2 \\ & + S(WS_t) + Y(R_t)^2 + Z(C_t) + \varepsilon] \end{aligned} \quad (4.1)$$

3. Adım: Her bir kromozom için uygunluğun belirlenmesi. Bu aşamada her bir veri seti için metan konsantrasyonu hesaplandıktan sonra *costfunction* olarak tanımlanan operatör gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkı hesaplar. Bu işlem popülasyondaki bütün kromozomlarda tekrar eder. Çalışmada kullanılan *costfunction* aşağıda gösterilmiştir.

$$Cost_i = \sum (P_i - T_i)^2$$

Burada; P_i ve T_i sırasıyla hesaplanan ve gerçek metan değerlerini ifade etmektedir. Daha sonraki aşamada her bir kromozomun uygunluğunu ifade eden uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Modelde kullanılan uygunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$Uygunluk_i = \frac{1}{Cost_i}$$

$Uygunluk_i$ ve $cost_i$, kromozomun uygunluğunu ifade etmektedir. Modelde kullanılan diğer bir kriter ise durdurma kriteridir. Çalışmada bu değer 0,5 olarak tanımlanmıştır.

4. Adım: Yeni nesillerin oluşturulması. Algoritmada yeni jenerasyon oluşturulmadan önce uygunluk fonksiyonu popülasyondaki kromozomları araştırır ve uygunluk değerini sağlamayan kromozomları popülasyondan siler. Bu olay tüm popülasyonda birkaç kez tekrarlanır. Bu durum çoğalma olarak tanımlanır. Çoğalma işlemi tam olarak yeni kromozomların oluşması anlamına gelmez ancak popülasyondaki en iyi kromozomu bulmaya ve uygunluğu diğerlerinden daha yüksek olan kromozomları seçmeye yarar.

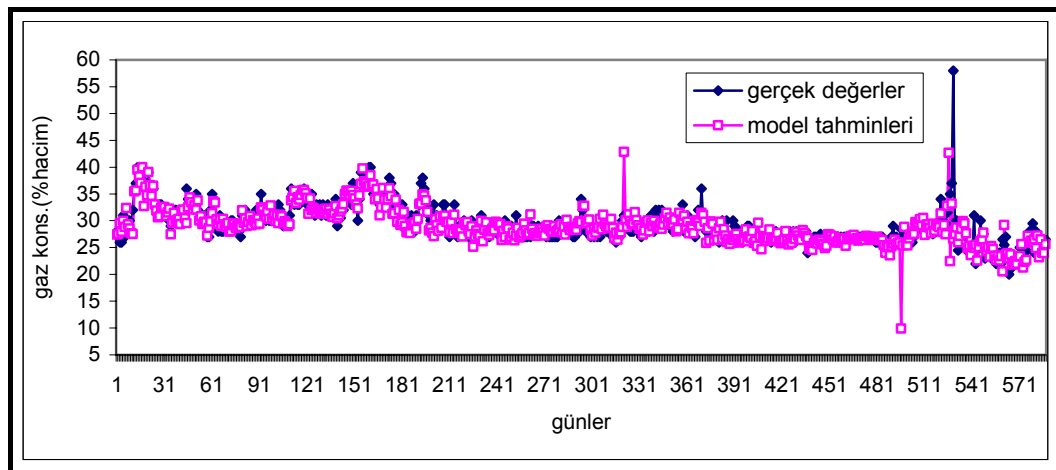
Çoğalma işleminden sonra rasgele bir çift kromozom seçilir ve çaprazlamaya tabi tutulur ve bu sayede iki ebeveynin kopyası olan yeni bir kromozom oluşur. Bu

kromozom “yavru” olarak tanımlanır. Daha sonra bu yavru kromozom üzerinde mutasyon işlemi uygulanır. Bu çalışmada mutasyon oranı %1 olarak seçilmiştir. Kromozom sayısının 50 olduğu model yapısında %1 mutasyon oranı için 84 bit’ lik kısım mutasyona uğratılmıştır (0,01x50x168). Yeni jenerasyonun elde edilmesinden sonra algoritma ikinci nesil için araştırmaya geçer ve bu durum durdurma kriterine ulaşıncaya kadar devam eder.

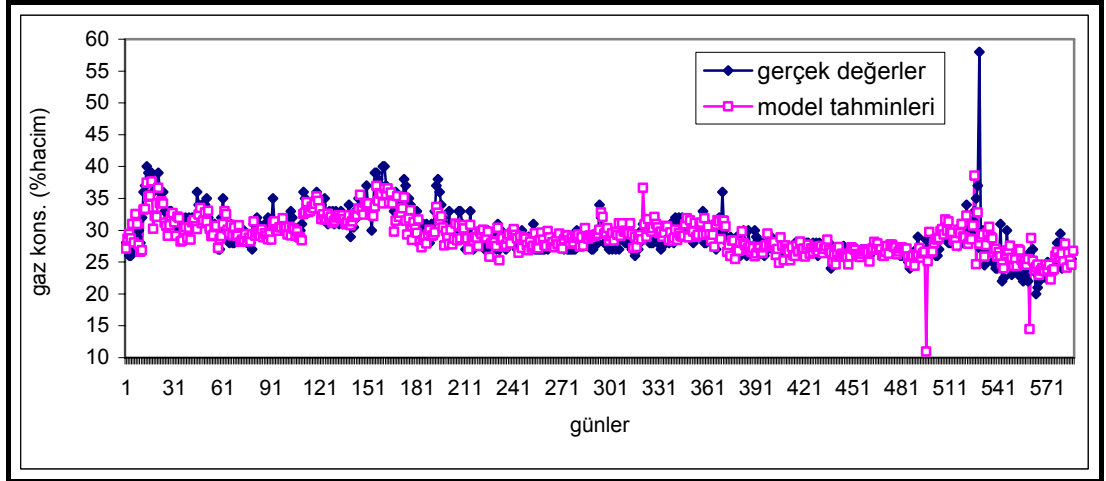
Algoritma akışı yukarıda açıklanan model çalıştırılmış ve metan (CH₄) gazı değerleri hesaplatılmıştır. Modelin farklı şartlar için hassasiyetinin incelenmesi amacıyla kromozom sayıları 50, 100, 200 ve 500 olacak şekilde 4 farklı durum için model çıktıları hesaplanmıştır. Kromozom sayısının 50 olduğu modelin Genetik Algoritma parametreleri Tablo 4.4’de özetlenmiştir. Bu dört farklı durum için elde edilen metan değerlerinin zamansal değişimi Şekil 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29’ da gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Modelde kullanılan genetik algoritma parametreleri

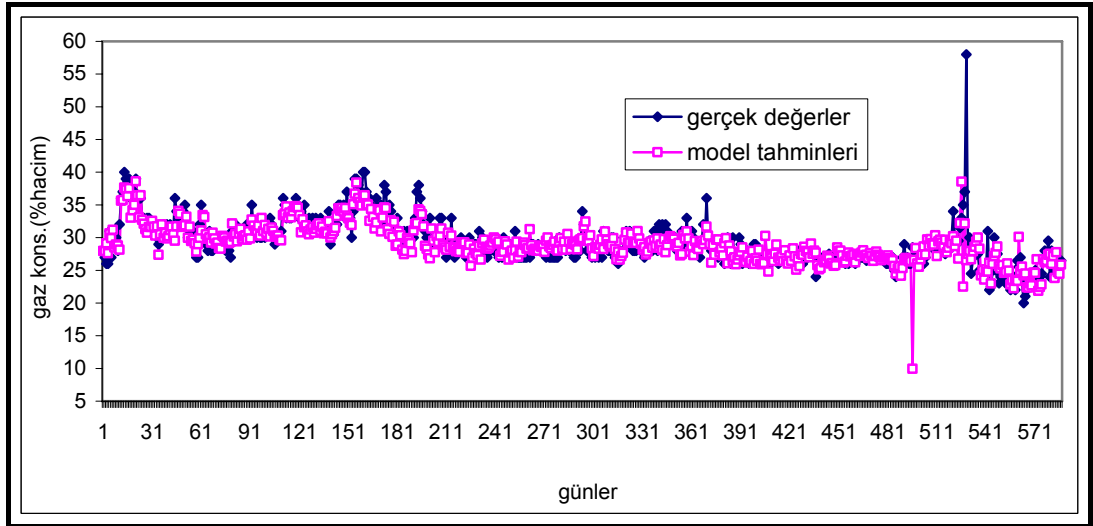
<i>Parametre</i>	<i>Değer</i>
Kromozom sayısı	50
Parametredeki bit sayısı	8
Parametre sayısı	21
Kromozom uzunluğu	168 (21x8)
Populasyondaki bit sayısı	8400 (21x8x50)
Mutasyon oranı	%1
Değiştirilen bit sayısı	84



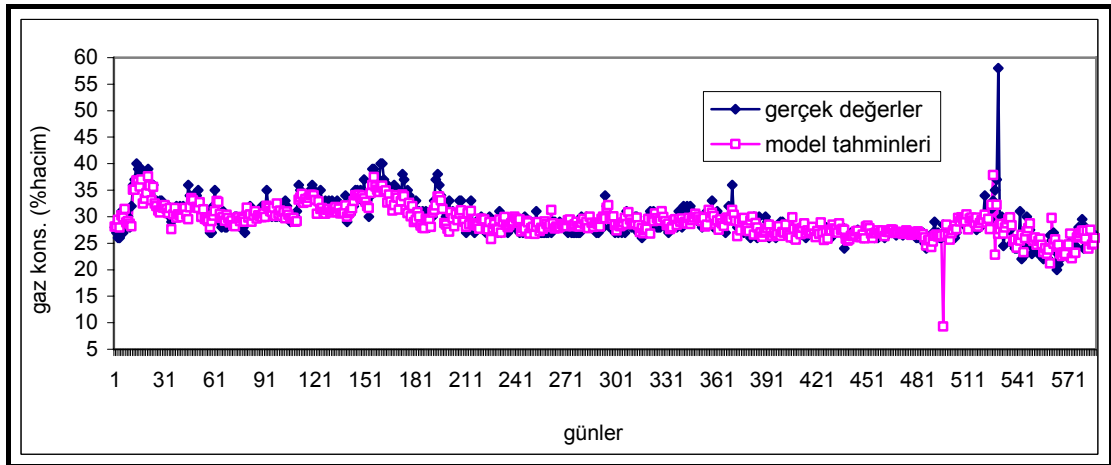
Şekil 4.26. Hasdal günlük ölçekli GA model çıktıları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=50



Şekil 4.27. Hasdal günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=100

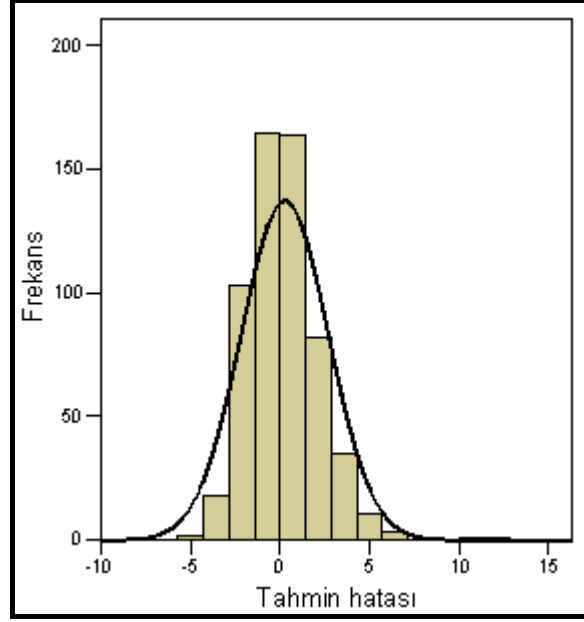


Şekil 4.28. Hasdal günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=200

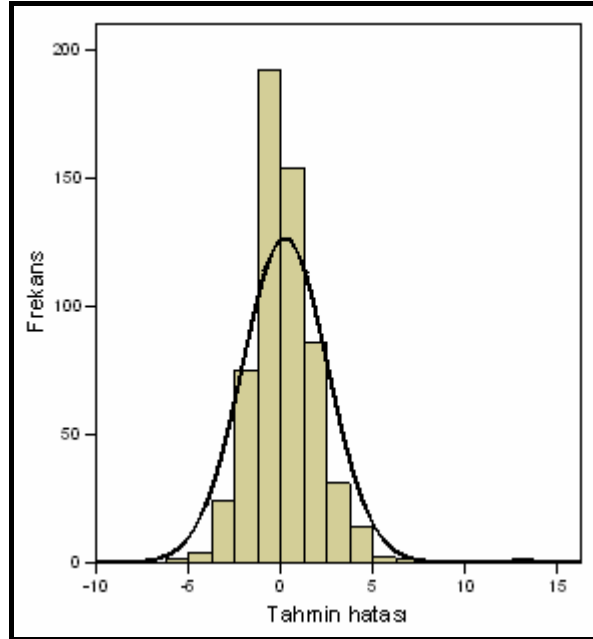


Şekil 4.29. Hasdal günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=500

GA sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesinde, Bölüm 3.5’de açıklanan 5 farklı istatistiksel parametre kullanılmıştır. Model çıktıları için hesaplanan istatistiksel değerler Tablo 4.5’ de, model çıktılarına ait frekans eğrileri ise Şekil 4.30 – 4.33’de sunulmuştur.



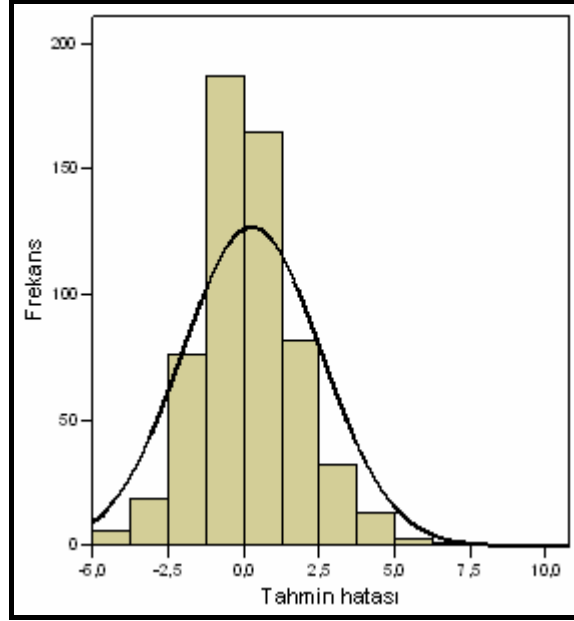
Şekil 4.30. Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı (Kromozom sayısı 50)



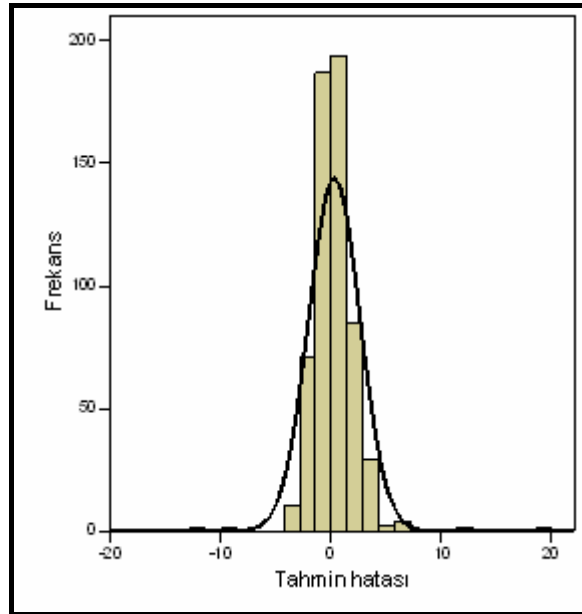
Şekil 4.31. Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı (Kromozom sayısı 100)

Tablo 4.5. Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının istatistiksel performans analiz parametreleri

<i>Kromozom Sayısı</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>
50	0,86	0,87	0,30	5,49	1,38
100	0,72	0,83	0,26	5,99	1,57
200	0,75	0,85	0,24	5,39	1,39
500	0,75	0,85	0,26	5,37	1,38



Şekil 4.32. Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı (Kromozom sayısı 200)



Şekil 4.33. Hasdal günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı (Kromozom sayısı 500)

4.3.1.2. Aylık Ölçekli Model Tahminleri

Bu bölümde Hasdal katı atık depo alanından kaynaklanan CH₄ gazının GA tekniği ile aylık ölçekli zamansal tahminleri yapılmıştır. Çalışmada ilk ayın verileri giriş değişkenleri bir sonraki ayın metan (CH₄) değerleri ise çıkış değişkeni olarak kullanılmıştır. Veriler 1 Ocak 2003 ve 31 Mart 2006 tarihleri arasında aylık ortalamalar halinde sıralanmış ve matris yapısı oluşturulmuştur. Eğitim ve test aşamalarında kullanılan matris yapısı Şekil 4.34.'de verilmiştir.

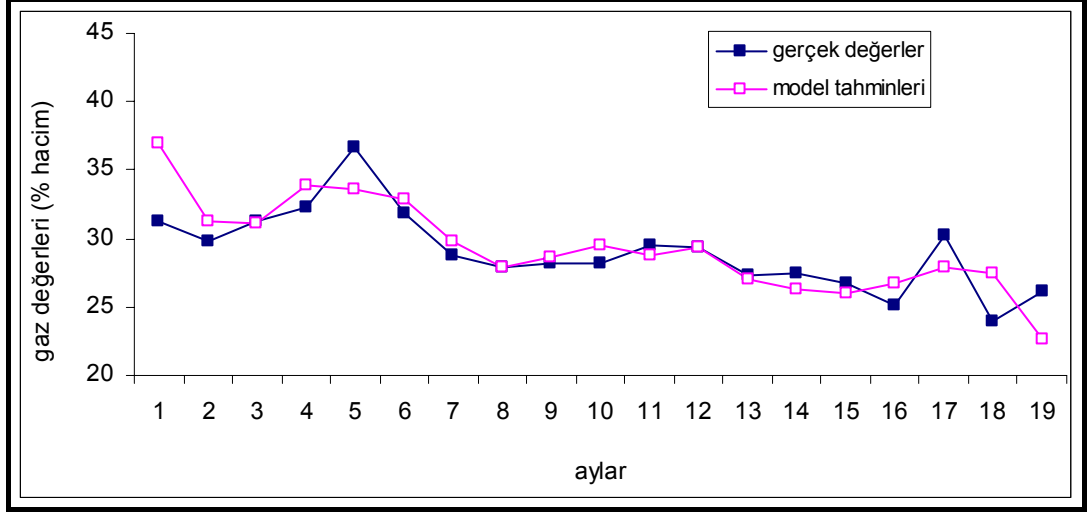
$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \text{CH}_4(t_1) & \text{CH}_4(t_2) & \text{CH}_4(t_3) & \text{CH}_4(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{19}) \\ \text{CO}_2(t_1) & \text{CO}_2(t_2) & \text{CO}_2(t_3) & \text{CO}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CO}_2(t_{19}) \\ \text{O}_2(t_1) & \text{O}_2(t_2) & \text{O}_2(t_3) & \text{O}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{O}_2(t_{19}) \\ \text{SI}(t_1) & \text{SI}(t_2) & \text{SI}(t_3) & \text{SI}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{SI}(t_{19}) \\ \text{NE}(t_1) & \text{NE}(t_2) & \text{NE}(t_3) & \text{NE}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{NE}(t_{19}) \\ \text{BA}(t_1) & \text{BA}(t_2) & \text{BA}(t_3) & \text{BA}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{BA}(t_{19}) \\ \text{GSUR}(t_1) & \text{GSUR}(t_2) & \text{GSUR}(t_3) & \text{GSUR}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{GSUR}(t_{19}) \\ \text{KAP}(t_1) & \text{KAP}(t_2) & \text{KAP}(t_3) & \text{KAP}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{KAP}(t_{19}) \\ \text{RH}(t_1) & \text{RH}(t_2) & \text{RH}(t_3) & \text{RH}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{RH}(t_{19}) \\ \text{YAG}(t_1) & \text{YAG}(t_2) & \text{YAG}(t_3) & \text{YAG}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{YA}(t_{19}) \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \text{CH}_4(t_{1+1}) & \text{CH}_4(t_{2+1}) & \text{CH}_4(t_{3+1}) & \text{CH}_4(t_{4+1}) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{19+1}) \end{bmatrix}$$

Şekil 4.34. Hasdal aylık ölçekli GA modellemesinde matris yapısı [giriş (P) ve çıkış (T)]

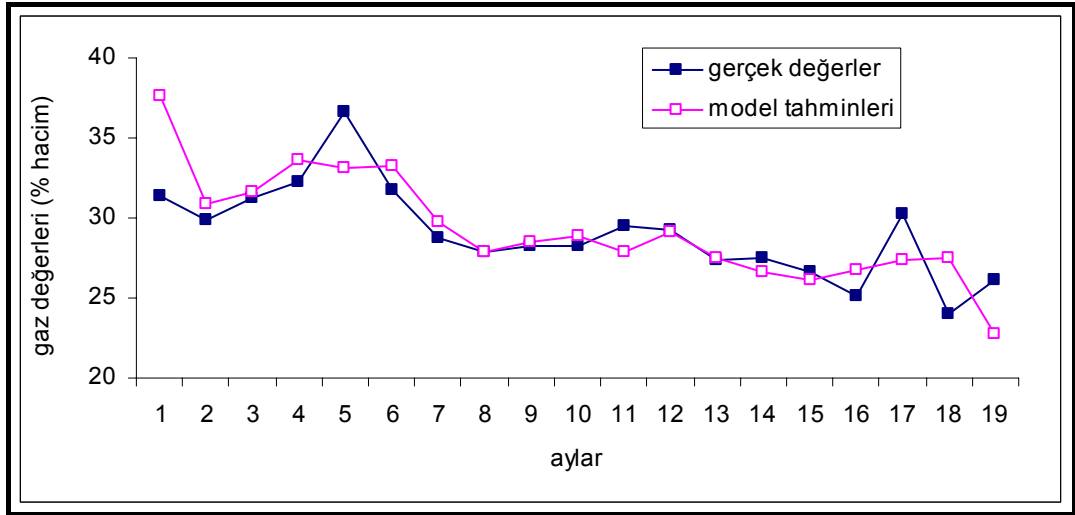
Şekil 4.34'de ifade edilen matris yapısında, model giriş değişkenleri "*t*" zamanındaki kirleticiler ve meteorolojik parametreler, çıkış değişkeni "*t+1*" zamanındaki CH₄ olarak düzenlenmiştir. Burada, "*t*" aylık ortalama değerleri ifade etmektedir. GA model çalışmasında; Şekil 4.34'de gösterilen giriş değişkenleri ile bir ay sonraki CH₄ tahmini için çıkış değişkeni oluşturulmuştur. Bu model yapısı, farklı zamansal tahminlerin birbiriyle paralelliğinin sağlanması amacıyla, "4.3.2.1. Hasdal Katı Atık Depo Sahası Günlük Ölçekli Model Tahminleri" kısmında detaylarıyla anlatılan algoritma ile çalıştırılmıştır.

Bu aşamada uygulanan GA tekniğinin farklı şartlar için hassasiyetinin incelenmesi amacıyla, daha önceki denemelerde olduğu gibi kromozom sayıları 50, 100, 200 ve 500 olacak şekilde 4 farklı durum için model çıktıları hesaplanmıştır. Bu dört farklı durum

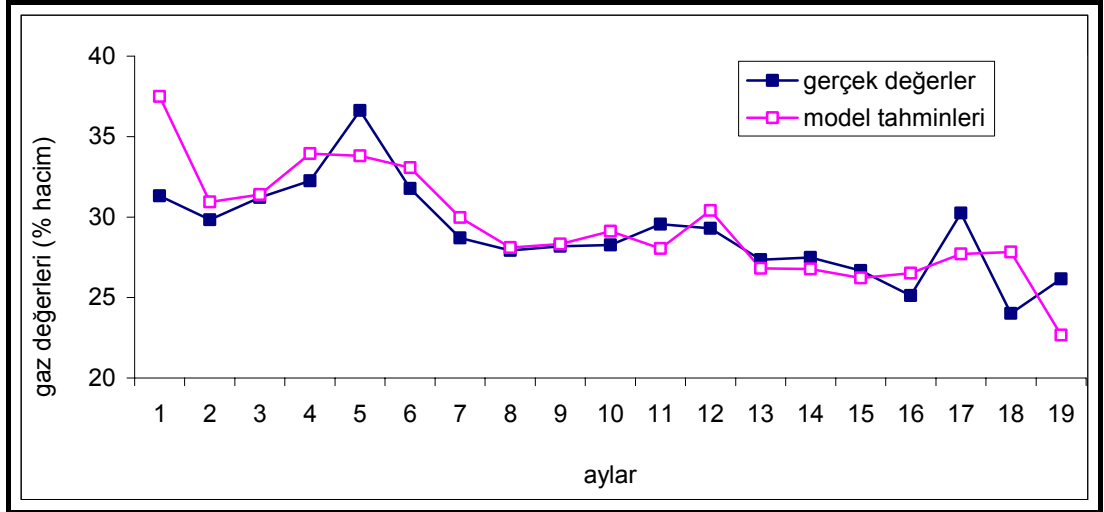
için elde edilen CH₄ değerlerinin zamansal değişimi Şekil 4.35, 4.36, 4.37, 4.38’de gösterilmiştir.



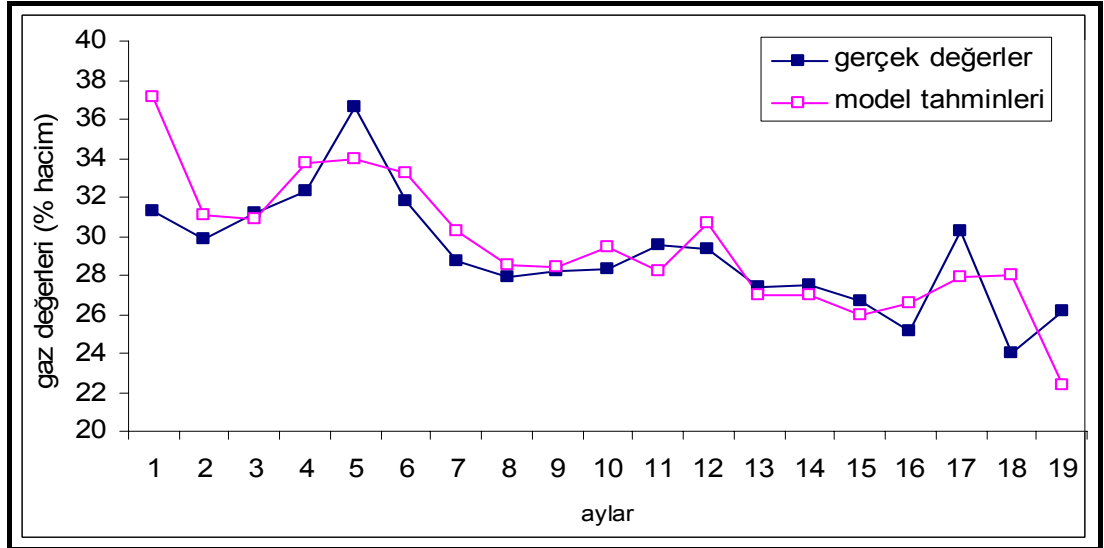
Şekil 4.35. Hasdal aylık ölçekli GA model çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006)
Kromozom sayısı=50



Şekil 4.36. Hasdal aylık ölçekli GA model çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006)
Kromozom sayısı=100



Şekil 4.37. Hasdal aylık ölçekli GA model çıktıları, (Ocak 2003-Mart 2006)
Kromozom sayısı=200

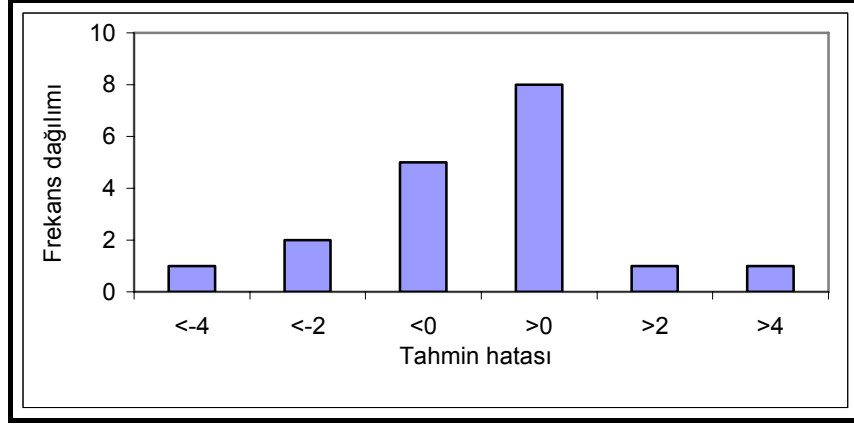


Şekil 4.38. Hasdal aylık ölçekli GA model çıktıları, (Ocak 2003-Mart 2006)
Kromozom sayısı=500

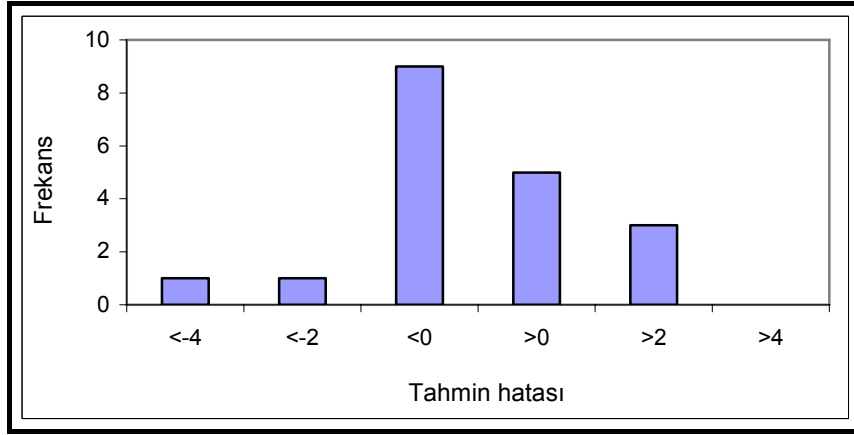
Model çıktıları için hesaplanan istatistiksel değerler Tablo 4.6' da görülmektedir. Ayrıca Model çıktıları ile gerçek değerler arasındaki hatayı belirlemek amacıyla frekans değerleri hesaplanmış ve bu değerler Şekil 4.39 – 4.42 ' de sunulmuştur.

Tablo 4.6. Hasdal aylık ölçekli GA model çıktılarının istatistiksel analizi

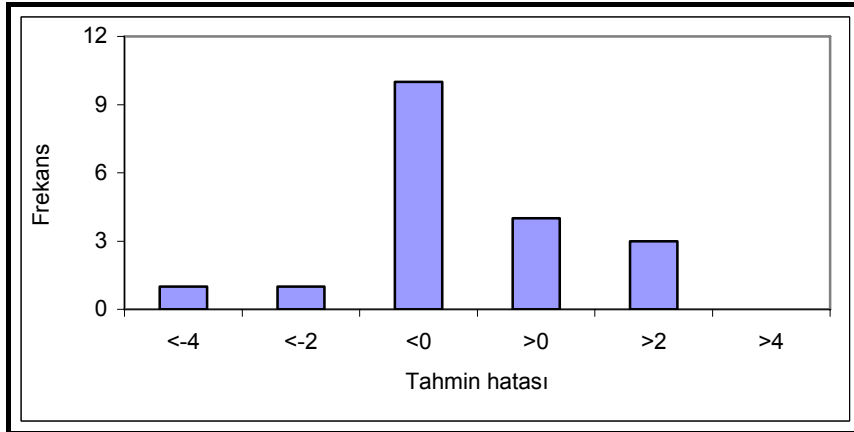
Kromozom Sayısı	r	d	$BİAS$	$RMSE$	MAE
50	0,77	0,76	-0,30	4,37	1,54
100	0,73	0,85	-0,23	5,18	5,18
200	0,76	0,86	-0,37	4,93	1,64
500	0,75	0,86	1,51	4,93	1,71



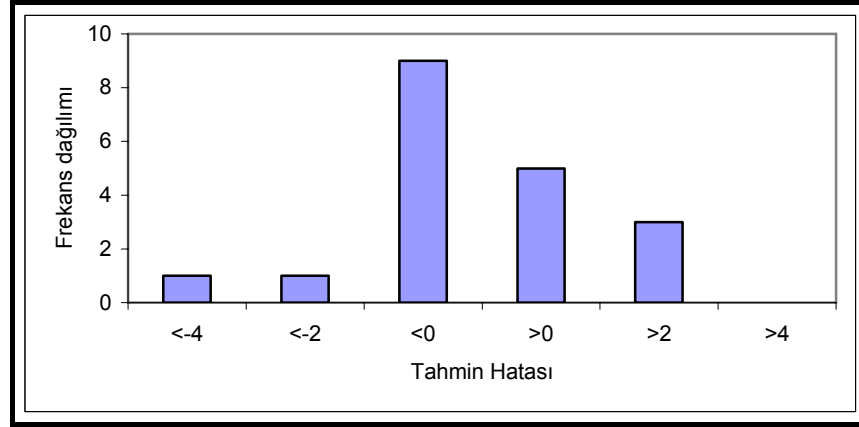
Şekil 4.39. Hasdal aylık ölçekli GA çıktılarının hata frekans dağılımları (Kromozom sayısı 50)



Şekil 4.40. Hasdal aylık ölçekli GA çıktılarının hata frekans dağılımları (Kromozom sayısı 100)



Şekil 4.41. Hasdal aylık ölçekli GA çıktılarının hata frekans dağılımları (Kromozom sayısı 200)



Şekil 4.42. Hasdal aylık ölçekli GA çıktılarının hata frekans dağılımları (Kromozom sayısı 500)

4.3.1.3. Mevsimlik Ölçekli Model Tahminleri

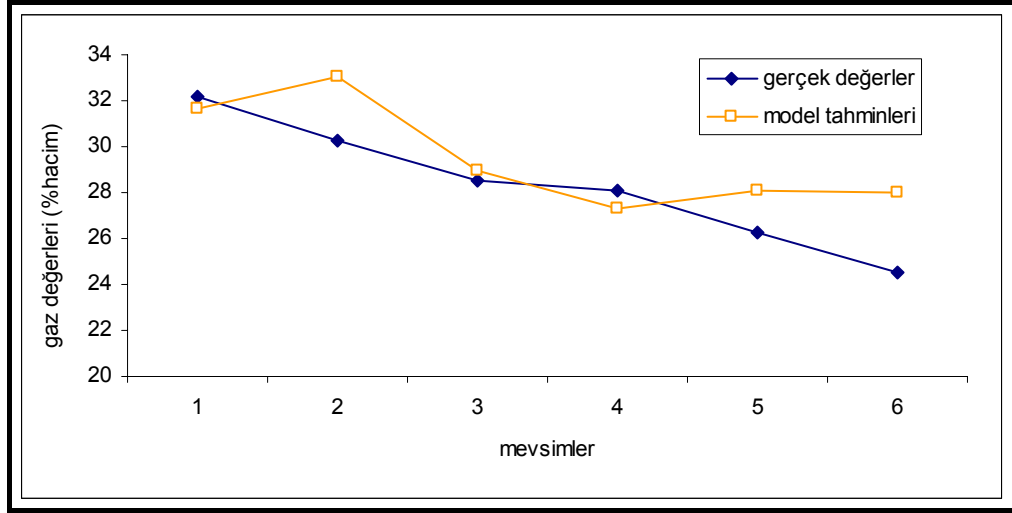
Çalışmanın bu aşamasında, Hasdal tesisinin CH₄ değerlerinin zamansal tahmini amacıyla mevsimlik (üç aylık) veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setlerinde kullanılan giriş değişkenleri 1 Ocak 2003 ve 31 Mart 2006 tarihleri arasında sıralanmış ve matris yapısı oluşturulmuştur (Şekil 4.43). Şekil 4.43’de ifade edilen matris yapısında, model giriş değişkenleri "*t*" zamanındaki kirleticiler ve meteorolojik parametreler, çıkış değişkeni "*t+1*" zamanındaki CH₄ olarak düzenlenmiştir. Bu algoritmada, "*t*" mevsimlik (üç aylık) ortalama değerleri ifade etmektedir. Mevsimsel ölçekli GA modellemesinde de diğer zamansal tahminlerde izlenen GA prosedürleri takip edilmiştir.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix}
 \text{CH}_4(t_1) & \text{CH}_4(t_2) & \text{CH}_4(t_3) & \text{CH}_4(t_4) & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_7) \\
 \text{CO}_2(t_1) & \text{CO}_2(t_2) & \text{CO}_2(t_3) & \text{CO}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \text{CO}_2(t_7) \\
 \text{O}_2(t_1) & \text{O}_2(t_2) & \text{O}_2(t_3) & \text{O}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \text{O}_2(t_7) \\
 \text{SI}(t_1) & \text{SI}(t_2) & \text{SI}(t_3) & \text{SI}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{SI}(t_7) \\
 \text{NE}(t_1) & \text{NE}(t_2) & \text{NE}(t_3) & \text{NE}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{NE}(t_7) \\
 \text{BA}(t_1) & \text{BA}(t_2) & \text{BA}(t_3) & \text{BA}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{BA}(t_7) \\
 \text{GSUR}(t_1) & \text{GSUR}(t_2) & \text{GSUR}(t_3) & \text{GSUR}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{GSUR}(t_7) \\
 \text{KAP}(t_1) & \text{KAP}(t_2) & \text{KAP}(t_3) & \text{KAP}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{KAP}(t_7) \\
 \text{RH}(t_1) & \text{RH}(t_2) & \text{RH}(t_3) & \text{RH}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{RH}(t_7) \\
 \text{YAG}(t_1) & \text{YAG}(t_2) & \text{YAG}(t_3) & \text{YAG}(t_4) & \cdot & \cdot & \text{YA}(t_7)]
 \end{bmatrix}$$

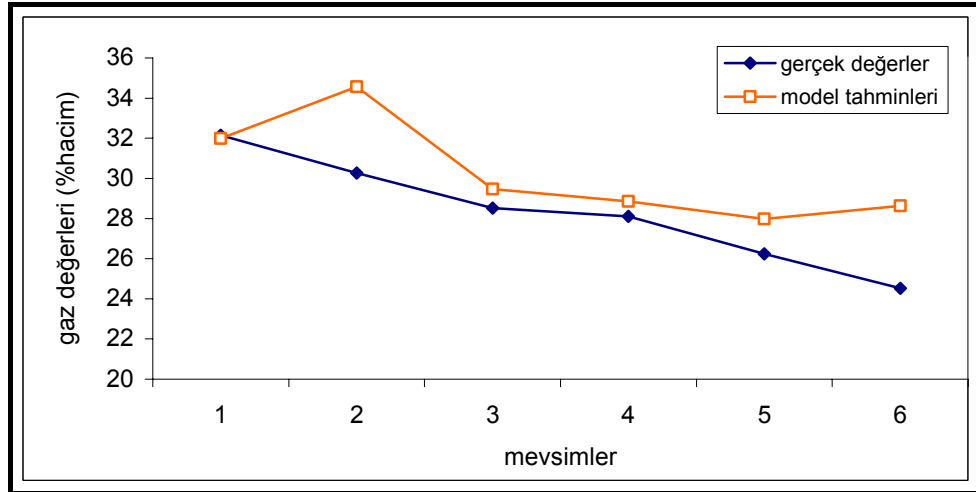
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix}
 \text{CH}_4(t_{1+1}) & \text{CH}_4(t_{2+1}) & \text{CH}_4(t_{3+1}) & \text{CH}_4(t_{4+1}) & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{7+1})]
 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.43. Hasdal mevsimsel (üç aylık) ölçekli GA modellemesinde matris yapısı [giriş (P) ve çıkış (T)]

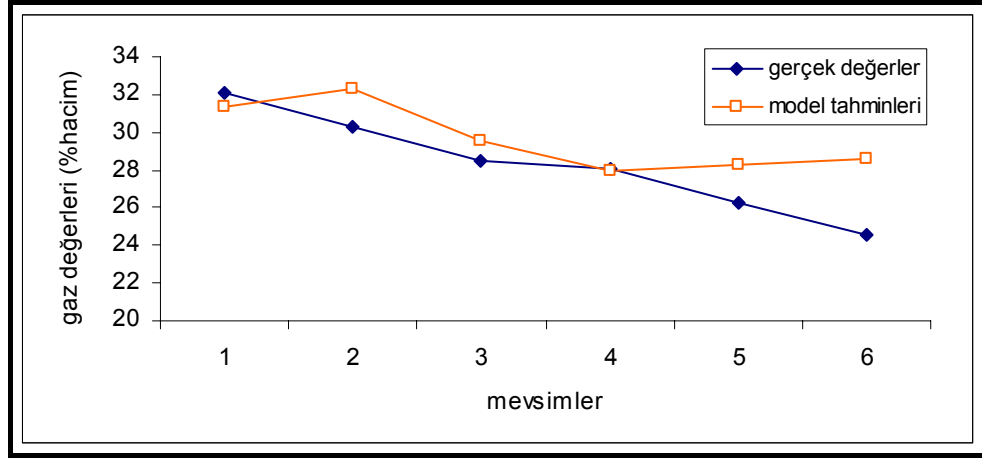
Şekil 4.43.'de gösterilen matris yapısının, daha önceki denemelerde olduğu gibi, kromozom sayıları 50, 100, 200 ve 500 olacak şekilde 4 farklı durum için GA çıktıları hesaplanmıştır. Bu dört farklı durum için elde edilen CH₄ değerlerinin zamansal değişimi Şekil 4.44 – 4.47'de gösterilmiştir.



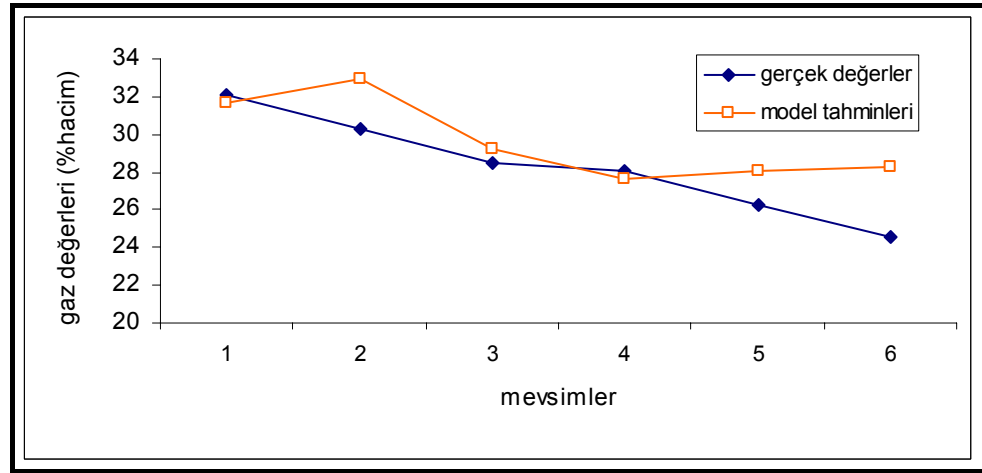
Şekil 4.44. Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıktıları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=50



Şekil 4.45. Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıktıları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=100



Şekil 4.46. Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=200



Şekil 4.47. Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2003-Mart 2006, Kromozom sayısı=500

Mevsimsel ölçekli GA sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi Tablo 4.7’ de sunulmuştur. Bu GA modeli denemesinde günlük ve aylık ölçekli zamansal tahminlerde olduğu gibi düzgün bir frekans dağılım elde edilememiştir.

Tablo 4.7. Hasdal mevsimsel ölçekli GA model çıktılarının istatistiksel analizi

Kromozom Sayısı	r	d	$BIAS$	$RMSE$	MAE
50	0,76	0,80	1,21	4,03	1,63
100	0,75	0,74	-1,95	6,65	2,01
200	0,78	0,75	-1,39	4,41	1,67
500	0,76	0,79	-1,34	4,30	1,65

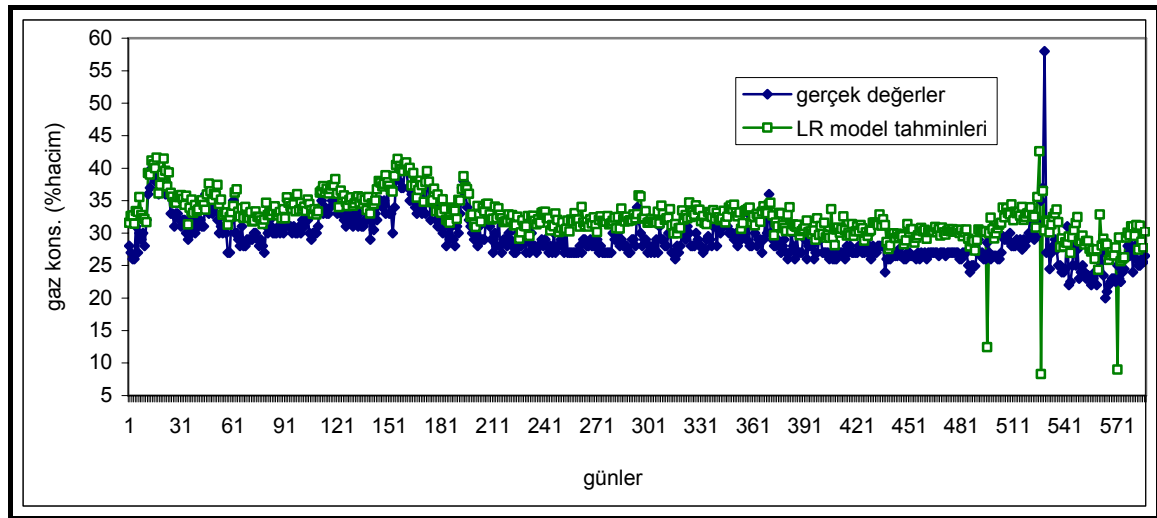
4.3.1.4. Lineer Regresyon Model Tahminleri

Çalışmanın bu aşamasında, GA model sonuçlarının karşılaştırılması amacı ile aynı veriler kullanılarak günlük ve aylık bazda Lineer Regresyon (LR) modeli uygulanmıştır. Mevsimlik (üç aylık) verilerin modellenmesinde ise, LR tekniği başarısız sonuç vermiştir.

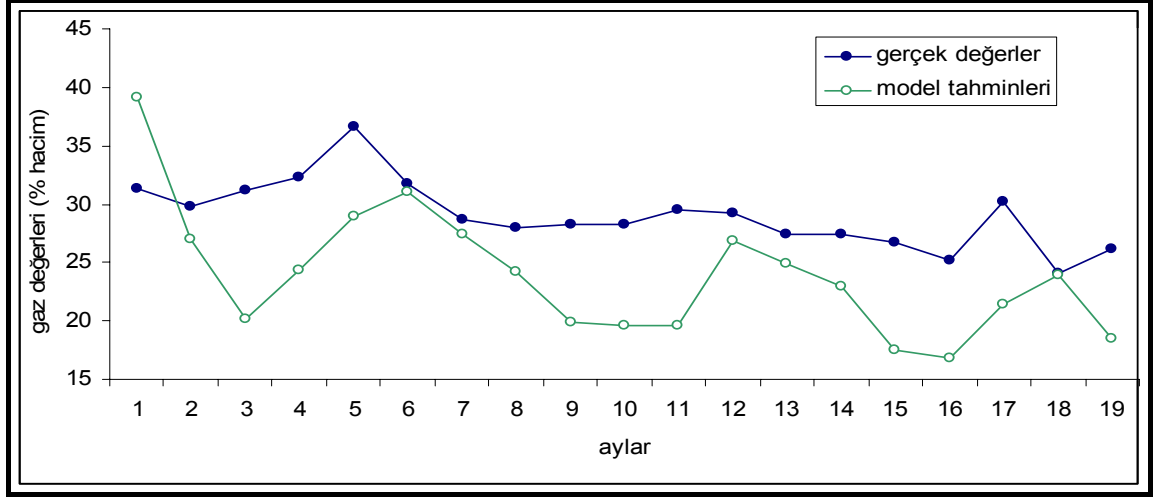
Lineer Regresyon formül katsayıları ve her bir parametrenin ilişki analizleri *SPSS 12.0* Programı kullanılarak hesaplanmıştır. Günlük ölçekli LR çıktıları Şekil 4.48’de bu çıktılarına ait LR denklemi Eşitlik 4.2’de verilmiştir. Burada t indisleri gün olarak zamanı ifade etmektedir. Aylık ölçekli LR çıktıları Şekil 4.49’da, bu çıktılarına ait LR denklemi ise Eşitlik 4.3’de sunulmuştur. Bu eşitlikteki t indisleri ay olarak zamanı ifade etmektedir. Günlük ve aylık LR model yapılarının istatistiksel değerlendirmesi ise Tablo 4.8’de sunulmuştur.

$$\text{CH}_{4t+1} = 0,766(\text{CH}_{4t}) + 0,076(\text{CO}_{2t}) - 0,076(\text{O}_{2t}) - 0,011(\text{SI}_t) + 0,05(\text{NE}_t) + 0,023(\text{BAS}_t) + 0,072(\text{GSUR}_t) + 0,077(\text{KAP}_t) - 0,038(\text{RH}_t) - 0,035(\text{YAG}_t) - 18,901 \quad (4.2)$$

$$\text{CH}_{4t+1} = 0,87(\text{CH}_{4t}) + 0,39(\text{CO}_{2t}) - 0,11(\text{O}_{2t}) - 0,19(\text{SI}_t) + 0,034(\text{NE}_t) - 0,095(\text{BAS}_t) - 0,072(\text{GSUR}_t) + 1,64(\text{KAP}_t) + 2,75(\text{RH}_t) - 0,88(\text{YAG}_t) + 72,85 \quad (4.3)$$



Şekil 4.48. Lineer Regresyon (LR) model yapısı çıktıları, (Ocak 2003-Mart 2006, günlük ortalama)



Şekil 4.49. Lineer Regresyon (LR) model yapıları çıkışları, (Ocak 2003-Mart 2006, aylık ortalama)

Tablo 4.8. LR model çıktılarının istatistiksel analizi

Model Yapısı	r	d	$BİAS$	$RMSE$	MAE
LR _{günlük}	0,69	0,88	-3,2	20,10	3,57
LR _{aylık}	0,50	0,45	5,14	47,07	5,97

4.3.2 Yakacık Katı Atık Depo Sahası Gaz Bileşenlerinin Modellenmesi

4.3.2.1. Günlük Ölçekli Model Tahminleri

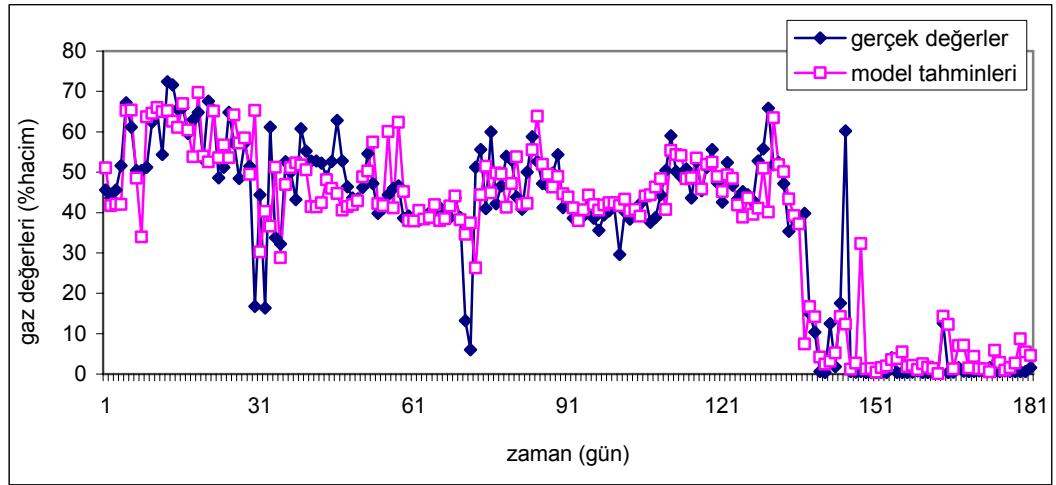
Bu model yapısında Yakacık katı atık depo alanına ait depo gazı bileşenleri ve meteorolojik parametreler kullanılarak CH₄ gazı GA tekniğiyle modellenmiştir. Model algoritmasında kullanılan matris yapısı Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Matris yapısında, model giriş değişkenleri " t " zamanındaki kirleticiler ve meteorolojik parametreler, çıkış değişkeni " $t+1$ " zamanındaki kirletici parametre olarak düzenlenmiştir. Burada, " t " günlük ortalama değerleri ifade etmektedir. Günlük ölçekli modelde kullanılan veriler 1 Ocak 2004 ve 31 Aralık 2004 tarihleri arasında sıralanmış ve matris oluşturulmuştur. Kullanılan matrislerin boyutu, eğitim için 10×181 , test için ise 10×180 ' dir.

Modelin farklı şartlar için hassasiyetinin incelenmesi amacıyla, daha önceki denemelerde olduğu gibi kromozom sayıları 50, 100, 200 ve 500 olacak şekilde 4 farklı durum için model çıktıları hesaplanmıştır. Bu dört farklı durum için elde edilen metan değerlerinin zamansal değişimi Şekil 4.51 – 4.54'de, bu model çıktılarına ait istatistiksel değerlendirmeler Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

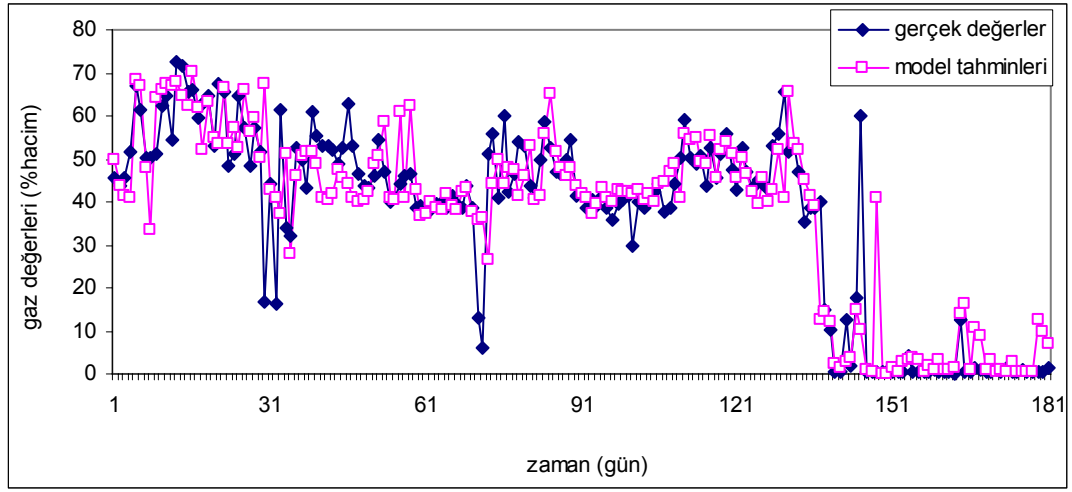
$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix}
 \text{CH}_4(t_1) & \text{CH}_4(t_2) & \text{CH}_4(t_3) & \text{CH}_4(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{180}) \\
 \text{CO}_2(t_1) & \text{CO}_2(t_2) & \text{CO}_2(t_3) & \text{CO}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CO}_2(t_{180}) \\
 \text{O}_2(t_1) & \text{O}_2(t_2) & \text{O}_2(t_3) & \text{O}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{O}_2(t_{180}) \\
 \text{SI}(t_1) & \text{SI}(t_2) & \text{SI}(t_3) & \text{SI}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{SI}(t_{180}) \\
 \text{NE}(t_1) & \text{NE}(t_2) & \text{NE}(t_3) & \text{NE}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{NE}(t_{180}) \\
 \text{BA}(t_1) & \text{BA}(t_2) & \text{BA}(t_3) & \text{BA}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{BA}(t_{180}) \\
 \text{GSUR}(t_1) & \text{GSUR}(t_2) & \text{GSUR}(t_3) & \text{GSUR}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{GSUR}(t_{180}) \\
 \text{KAP}(t_1) & \text{KAP}(t_2) & \text{KAP}(t_3) & \text{KAP}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{KAP}(t_{180}) \\
 \text{RH}(t_1) & \text{RH}(t_2) & \text{RH}(t_3) & \text{RH}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{RH}(t_{180}) \\
 \text{YAG}(t_1) & \text{YAG}(t_2) & \text{YAG}(t_3) & \text{YAG}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{YA}(t_{180}) \mathbf{I}
 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix}
 \text{CH}_4(t_{1+1}) & \text{CH}_4(t_{2+1}) & \text{CH}_4(t_{3+1}) & \text{CH}_4(t_{4+1}) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{180+1}) \mathbf{I}
 \end{bmatrix}$$

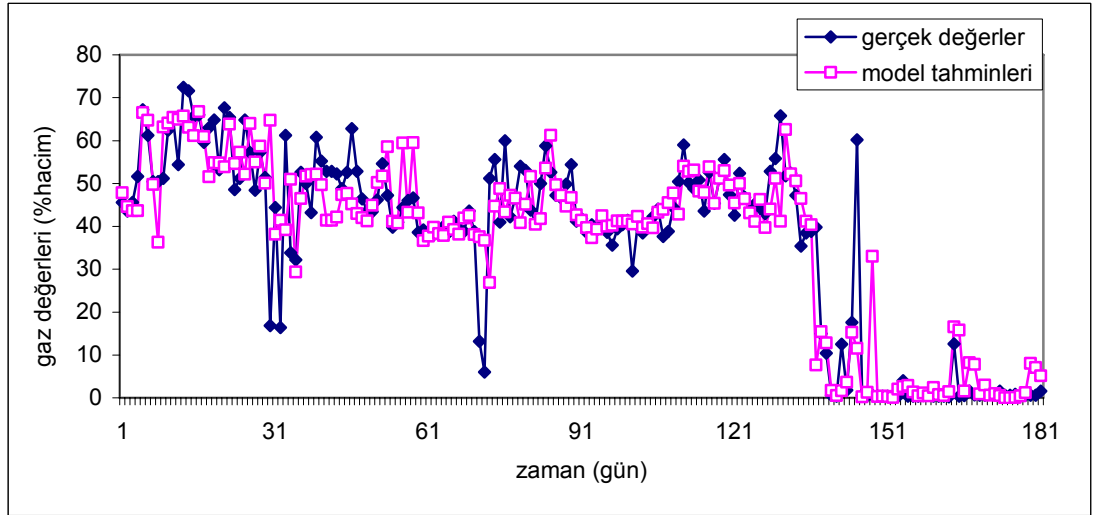
Şekil 4.50. Yakacık günlük ölçekli GA modellemesinde matris yapısı [giriş (P) ve çıkış (T)]



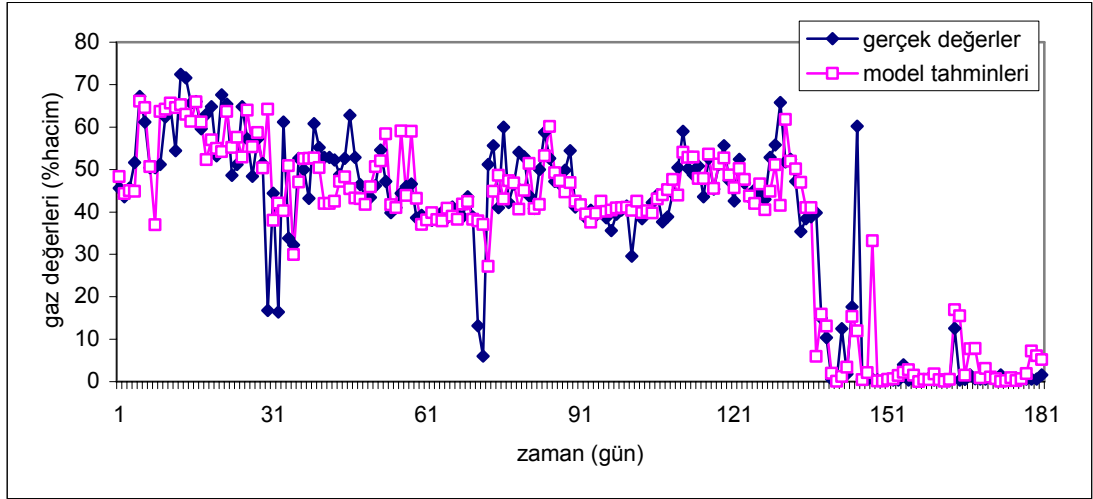
Şekil 4.51. Yakacık günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2004-Aralık 2004, Kromozom sayısı=50



Şekil 4.52. Yakacık günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2004-Aralık 2004, Kromozom sayısı=100



Şekil 4.53. Yakacık günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2004-Aralık 2004, Kromozom sayısı=200

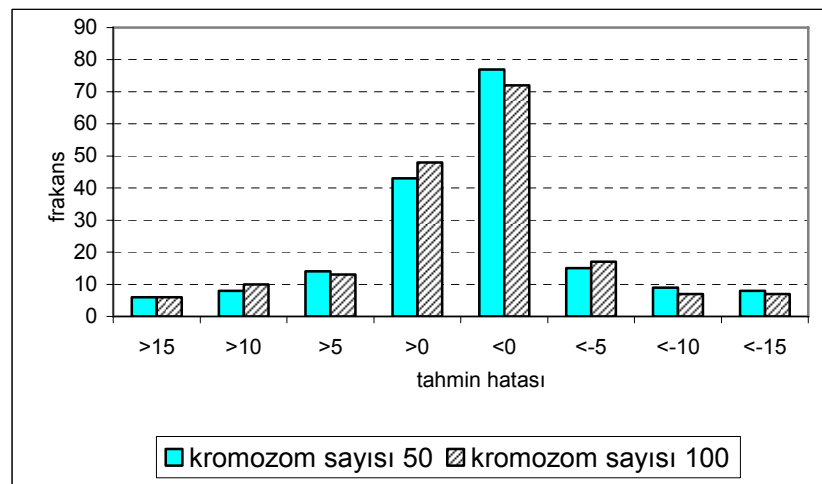


Şekil 4.54. Yakacık günlük ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2004-Aralık 2004, Kromozom sayısı=500

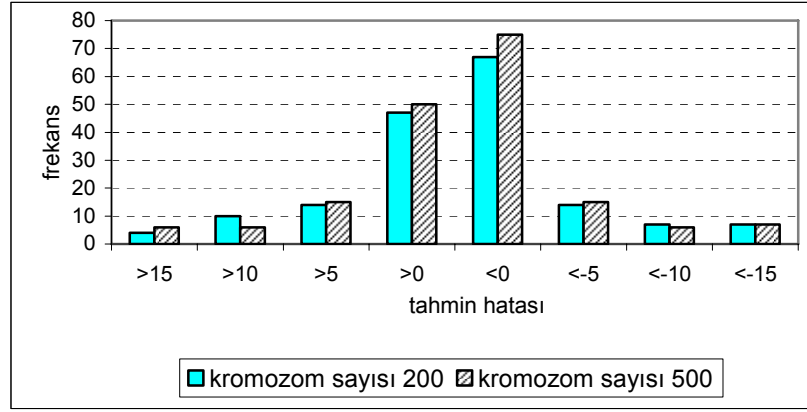
Tablo 4.9. Yakacık günlük GA model çıktılarının istatistiksel analizi

<i>Kromozom Ssayısı</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>
50	0,88	0,94	-0,31	94,77	6,03
100	0,87	0,95	-0,46	100,59	6,04
200	0,89	0,94	0,03	91,25	5,61
500	0,88	0,94	-0,77	89,72	5,51

Yakacık tesisi günlük ölçekli GA model çıktılarının frekans eğrileri Şekil 4.55 ve 4.56'da gösterilmiştir.



Şekil 4.55. Yakacık günlük ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı



Şekil 4.56. Yakacık günlük ölçekli GA model çıktıları hata frekans dağılımı

4.3.2.2. Aylık Ölçekli Model Tahminleri

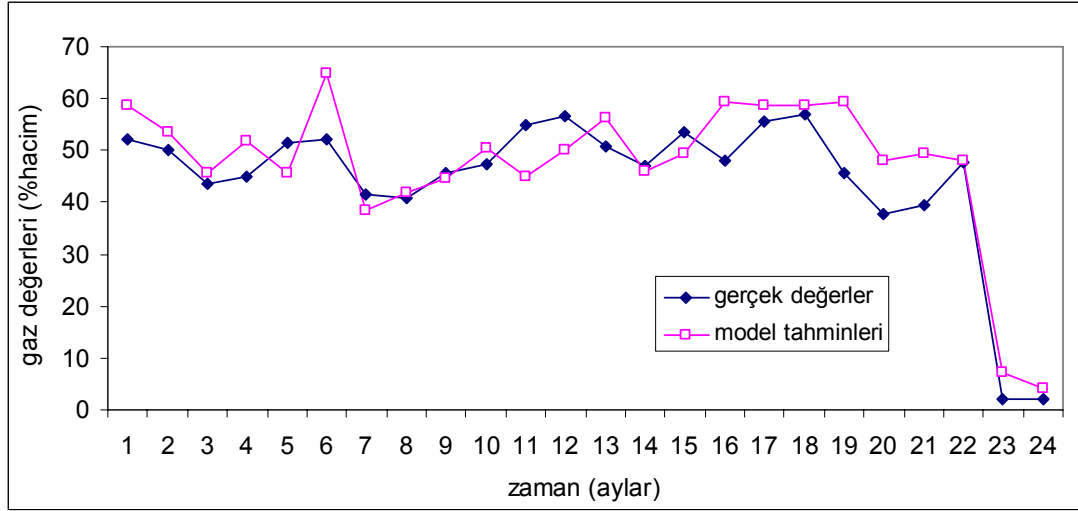
Bu model yapısında Şekil 4.57’de gösterilen giriş değişkenleri ile bir ay sonraki CH₄ değerlerinin tahmin edilmesine çalışılmıştır. Matris yapısında, model giriş değişkenleri "t" zamanındaki kirleticiler ve meteorolojik parametreler, çıkış değişkeni "t+1" zamanındaki kirletici parametre olarak düzenlenmiştir. Burada, "t" aylık ortalama değerleri ifade etmektedir. Aylık tahminlerde kullanılan matrislerin boyutu, eğitim için 10x33, test için ise 10x32’dir. Matrislerin oluşturulmasında 2001–2004 yılları arasındaki gaz değerleri kullanılmıştır. Diğer denemelerle benzer olarak kromozom sayıları 50, 100, 200 ve 500 olacak şekilde 4 farklı durum için model çıktıları hesaplanmıştır.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix}
 \text{CH}_4(t_1) & \text{CH}_4(t_2) & \text{CH}_4(t_3) & \text{CH}_4(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{33}) \\
 \text{CO}_2(t_1) & \text{CO}_2(t_2) & \text{CO}_2(t_3) & \text{CO}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CO}_2(t_{33}) \\
 \text{O}_2(t_1) & \text{O}_2(t_2) & \text{O}_2(t_3) & \text{O}_2(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{O}_2(t_{33}) \\
 \text{SI}(t_1) & \text{SI}(t_2) & \text{SI}(t_3) & \text{SI}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{SI}(t_{33}) \\
 \text{NE}(t_1) & \text{NE}(t_2) & \text{NE}(t_3) & \text{NE}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{NE}(t_{33}) \\
 \text{BA}(t_1) & \text{BA}(t_2) & \text{BA}(t_3) & \text{BA}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{BA}(t_{33}) \\
 \text{GSUR}(t_1) & \text{GSUR}(t_2) & \text{GSUR}(t_3) & \text{GSUR}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{GSUR}(t_{33}) \\
 \text{KAP}(t_1) & \text{KAP}(t_2) & \text{KAP}(t_3) & \text{KAP}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{KAP}(t_{33}) \\
 \text{RH}(t_1) & \text{RH}(t_2) & \text{RH}(t_3) & \text{RH}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{RH}(t_{33}) \\
 \text{YAG}(t_1) & \text{YAG}(t_2) & \text{YAG}(t_3) & \text{YAG}(t_4) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{YA}(t_{33})
 \end{bmatrix}$$

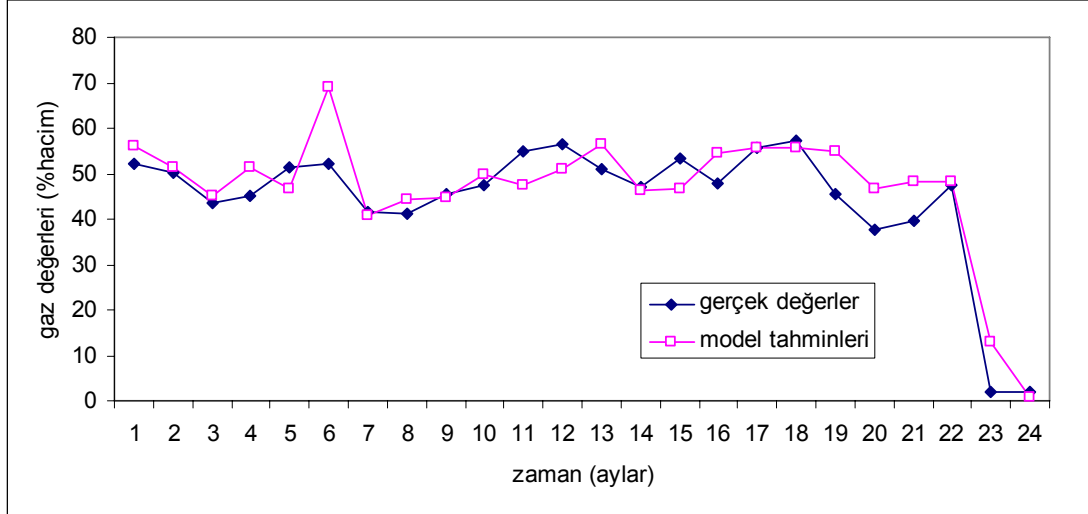
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix}
 \text{CH}_4(t_{1+1}) & \text{CH}_4(t_{2+1}) & \text{CH}_4(t_{3+1}) & \text{CH}_4(t_{4+1}) & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CH}_4(t_{33+1})
 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.57. Yakacık aylık ölçekli GA modellemesinde matris yapısı [giriş (P) ve çıkış (T)]

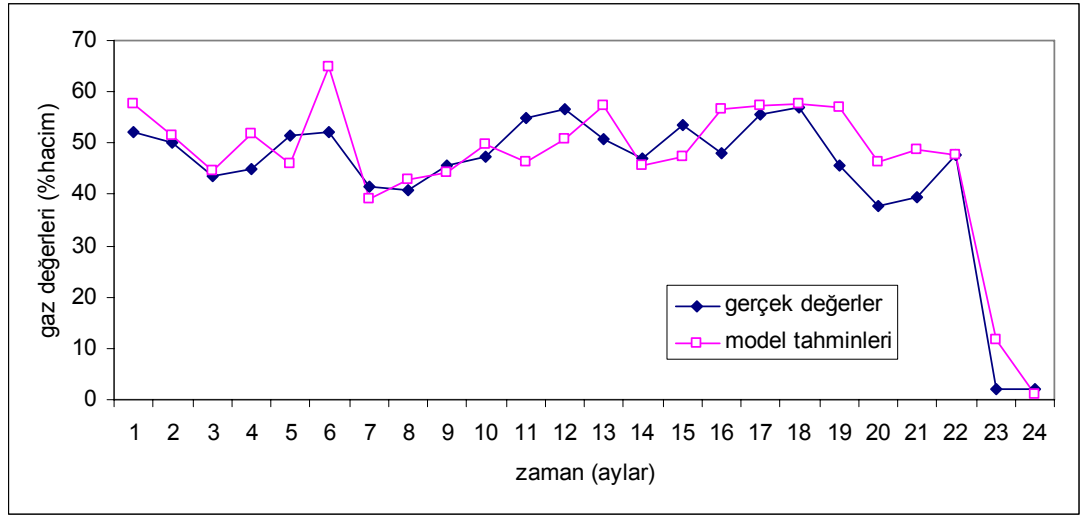
Bu dört farklı durum için elde edilen CH₄ değerlerinin zamansal değişimi Şekil 4.58 – 4.61’de gösterilmiştir.



Şekil 4.58. Yakacık aylık ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2001–Aralık 2004, Kromozom sayısı=50

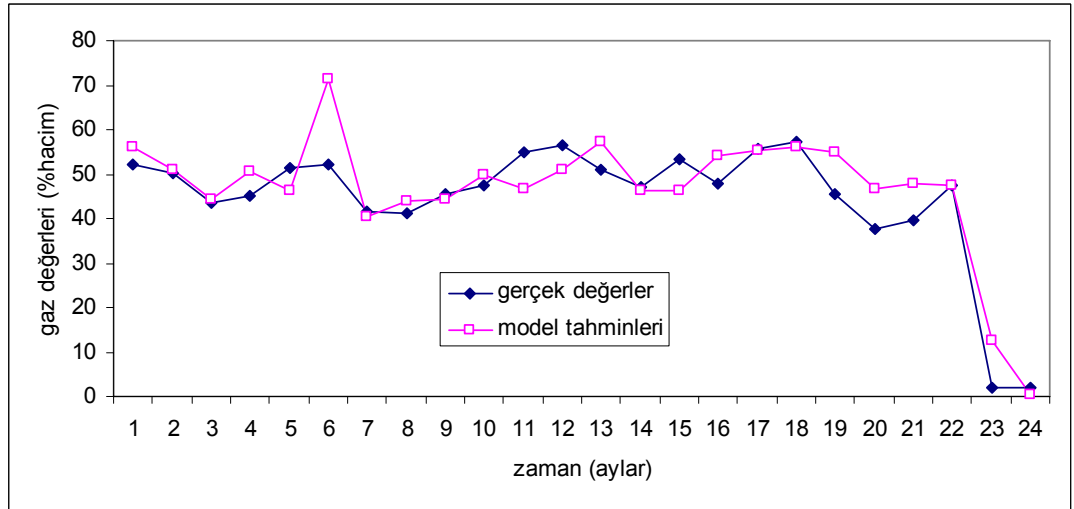


Şekil 4.59. Yakacık aylık ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2001–Aralık 2004, Kromozom sayısı=100

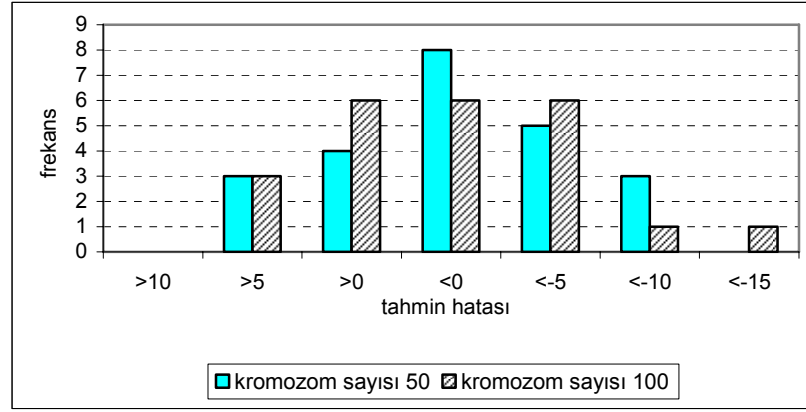


Şekil 4.60. Yakacık aylık ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2001–Aralık 2004, Kromozom sayısı=200

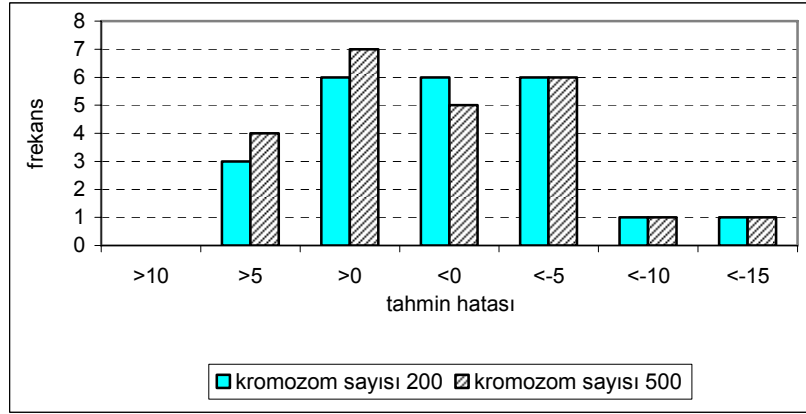
Yakacık tesisi aylık ölçekli GA sonuçlarının frekans değerlendirmeleri, Şekil 4.62 ve Şekil 4.63’de gösterilmiştir. GA sonuçlarının istatistiksel analizinde, diğer model yapılarında olduğu gibi, Bölüm 3.5’de açıklanan 5 farklı istatistiksel parametre kullanılmıştır. Model çıktıları için hesaplanan istatistiksel değerler Tablo 4.10’ da sunulmuştur.



Şekil 4.61. Yakacık aylık ölçekli GA model çıkışları, Ocak 2001–Aralık 2004, Kromozom sayısı=500



Şekil 4.62. Yakacık aylık ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı



Şekil 4.63. Yakacık aylık ölçekli GA model çıktılarının hata frekans dağılımı

Tablo 4.10. Yakacık aylık GA model çıktılarının istatistiksel performans analiz parametreleri

Kromozom Sayısı	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>BİAS</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>
50	0,90	0,94	-2,80	44,96	5,40
100	0,90	0,93	-2,37	40,20	4,81
200	0,91	0,94	-2,33	39,14	5,00
500	0,89	0,94	-2,19	43,41	4,89

4.3.3. Giriş Değişkenlerinin Model Sonuçlarına Etkisi

Daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi çalışmada kullanılan model 10 farklı değişkenden oluşmaktadır. Bu değişkenlerin 3 tanesi depo gazı bileşenleri (CH₄, CO₂ ve O₂) diğer 7 tanesi ise meteorolojik parametrelerdir (SI, NE, BA, GSUR, KAP, RH ve YAG). Bu değişkenlerin hem CH₄ ile hem de kendi aralarında olan ilişkileri bugüne kadar olan bütün model denemeleri için (Yakacık ve Hasdal tesisleri için) hesaplanmış

ve Tablo 4.11 – 4.14’de verilmiştir. Tablolardaki “-“ negatif yönlü, ”+” ise pozitif yönlü bir korelasyonu ifade eder.

Korelasyon değerlerini hesaplanmasının amacı, modelde kullanılan parametrelerin model sonucuna ne oranda etki ettiğini belirlemektir. Bu tabloların yardımıyla, CH₄ ile korelasyonu düşük olan parametreler modelden çıkarılıp farklı durumlar için model iyileştirmeleri denenebilmektedir.

Tablo 4.11. Modelleme çalışmasında kullanılan parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları (Günlük Model Tahminleri Yakacık Tesisi)

	CH ₄	CO ₂	O ₂	SI	NE	BA	GSUR	KAP	RH	YAG
CH ₄	1	0,754	-0,583	0,041	0,075	-0,026	0,147	0,004	0,052	-0,020
CO ₂	0,754	1	-0,550	0,152	0,073	-0,020	0,244	-0,083	0,092	-0,028
O ₂	-0,583	-0,550	1	-0,097	-0,009	0,159	-0,219	0,069	-0,051	0,055
SI	0,041	0,152	-0,097	1	-0,117	-0,364	0,601	-0,454	-0,156	-0,035
NE	0,075	0,073	-0,009	-0,117	1	-0,158	-0,355	0,390	0,188	0,222
BA	-0,026	-0,020	0,159	-0,364	-0,158	1	-0,010	-0,083	0,059	-0,138
GSUR	0,147	0,244	-0,219	0,601	-0,355	-0,010	1	-0,860	-0,098	-0,223
KAP	0,004	-0,083	0,069	-0,454	0,390	-0,083	-0,860	1	0,258	0,221
RH	0,052	0,092	-0,051	-0,156	0,188	0,059	-0,098	0,258	1	0,120
YAG	-0,020	-0,028	0,055	-0,035	0,222	-0,138	-0,223	0,221	0,120	1

Tablo 4.11’de görüleceği üzere; en yüksek korelasyon CH₄ ile CO₂ arasındadır (0,754). CH₄ ile O₂ arasında da yüksek bir korelasyon mevcuttur (0,583). Metan değerlerine diğer model parametrelerinin etki sıralaması mutlak değerler dikkate alınarak şu şekilde oluşmaktadır.

$$CO_2 > O_2 > GSUR > NE > RH > SI > BA > YAG > KAP$$

Tablo 4.12. Modelleme çalışmasında kullanılan parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları (Aylık Model Tahminleri Yakacık Tesisi)

	CH ₄	CO ₂	O ₂	SI	NE	BA	GSUR	KAP	RH	YAG
CH ₄	1	0,728	-0,848	-0,130	0,174	-0,014	-0,117	0,240	0,275	0,165
CO ₂	0,728	1	-0,676	0,084	0,123	0,017	0,022	0,054	0,074	0,086
O ₂	-0,848	-0,676	1	-0,131	-0,042	0,228	-0,212	0,075	-0,113	-0,041
SI	-0,130	0,084	-0,131	1	-0,207	-0,682	0,886	-0,847	-0,214	-0,260
NE	0,174	0,123	-0,042	-0,207	1	0,452	-0,355	0,290	-0,010	0,301
BA	-0,014	0,017	0,228	-0,682	0,452	1	-0,596	0,432	0,058	0,030
GSUR	-0,117	0,022	-0,212	0,886	-0,355	-0,596	1	-0,924	-0,101	-0,391
KAP	0,240	0,054	0,075	-0,847	0,290	0,432	-0,924	1	0,290	0,445
RH	0,275	0,074	-0,113	-0,214	-0,010	0,058	-0,101	0,290	1	-0,020
YAG	0,165	0,086	-0,041	-0,260	0,301	0,030	-0,391	0,445	-0,020	1

Tablo 4.12 incelendiğinde; aylık model tahminlerinde CH₄ ile en yüksek korelasyonun -0,848 ile O₂ ile olduğu görülmektedir. Bunun dışında CH₄ ile CO₂ arasında da 0,728 gibi yüksek bir korelasyon tespit edilmiştir. Aylık tahminler için CH₄ değerlerine diğer model parametrelerinin etki sıralaması mutlak değerler dikkate alınarak şu şekilde oluşmaktadır.

O₂ > CO₂ > RH > KAP > NE > YAG > SI > GSUR > BA

Tablo 4.13. Modelleme çalışmasında kullanılan parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları (Günlük Model Tahminleri Hasdal Tesisi)

	CH ₄	CO ₂	O ₂	SI	NE	BA	GSUR	KAP	RH	YAG
CH ₄	1	0,504	-0,701	-0,057	0,111	0,008	0,108	0,058	0,048	0,055
CO ₂	0,504	1	-0,499	0,352	0,073	-0,007	0,189	-0,168	-0,002	-0,037
O ₂	-0,701	-0,499	1	0,050	-0,117	0,022	0,051	-0,021	-0,045	-0,078
SI	-0,057	0,352	0,050	1	-0,302	-0,402	0,661	-0,506	-0,150	-0,268
NE	0,111	0,073	-0,117	-0,302	1	0,026	-0,527	0,488	0,172	0,281
BA	0,008	-0,007	0,022	-0,402	0,026	1	-0,101	-0,034	0,024	-0,058
GSUR	0,108	0,189	0,051	0,661	-0,527	-0,101	1	-0,854	-0,113	-0,314
KAP	0,058	-0,168	-0,021	-0,506	0,488	-0,034	-0,854	1	0,264	0,326
RH	0,048	-0,002	-0,045	-0,150	0,172	0,024	-0,113	0,264	1	0,135
YAG	0,055	-0,037	-0,078	-0,268	0,281	-0,058	-0,314	0,326	0,135	1

Tablo 4.13 – 4.14’de Hasdal tesisi model tahminlerinde kullanılan değişkenlerin korelasyonları görülmektedir. Tablo 4.13 incelendiğinde günlük model tahminlerinde en yüksek korelasyonun CH₄ ile O₂ arasında olduğu görülmektedir (-0,701). CH₄ ile CO₂ arasında da 0,504 gibi bir korelasyon bulunmaktadır. Bu iki model giriş değişkeninden başka diğer model parametrelerinin CH₄ ile düşük korelasyonda olduğu Tablo 4.13’den anlaşılmaktadır. Metan değerlerine model parametrelerinin etki sıralaması mutlak değerler dikkate alınarak şu şekilde oluşmaktadır.

O₂ > CO₂ > NE > GSUR > KAP > SI > YAG > RH > BA

Tablo 4.14’ den görüleceği üzere Hasdal tesisi aylık model tahminlerinde en yüksek korelasyon 0,660 ile CH₄ ile O₂ arasındadır. Tablo 4.13 ile benzer olarak CH₄ ile CO₂ arasında yüksek bir ilişki vardır (0,521). Bunun dışında kalan meteorolojik değişkenlerin CH₄ ile yüksek korelasyonlara sahip olmadığı görülmektedir.

Metan değerlerine model parametrelerinin etki sıralaması mutlak değerler dikkate alınarak şu şekilde olmaktadır:

$$O_2 > CO_2 > RH > BA > NE > GSUR > KAP > SI > YAG$$

Tablo 4.14. Modelleme çalışmasında kullanılan parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları (Aylık Model Tahminleri Hasdal Tesisi)

	<i>CH₄</i>	<i>CO₂</i>	<i>O₂</i>	<i>SI</i>	<i>NE</i>	<i>BA</i>	<i>GSUR</i>	<i>KAP</i>	<i>RH</i>	<i>YAG</i>
<i>CH₄</i>	1	0,521	-0,660	-0,108	0,168	0,213	-0,135	0,119	0,266	0,095
<i>CO₂</i>	0,521	1	-0,658	0,460	0,282	0,114	0,326	-0,365	0,031	-0,200
<i>O₂</i>	-0,660	-0,658	1	-0,046	-0,048	-0,087	-0,014	0,038	-0,211	0,024
<i>SI</i>	-0,108	0,460	-0,046	1	-0,275	-0,542	0,880	-0,884	-0,173	-0,684
<i>NE</i>	0,168	0,282	-0,048	-0,275	1	0,592	-0,398	0,333	-0,101	0,401
<i>BA</i>	0,213	0,114	-0,087	-0,542	0,592	1	-0,541	0,445	0,044	0,328
<i>GSUR</i>	-0,135	0,326	-0,014	0,880	-0,398	-0,541	1	-0,962	0,066	-0,817
<i>KAP</i>	0,119	-0,365	0,038	-0,884	0,333	0,445	-0,962	1	0,075	0,820
<i>RH</i>	0,266	0,031	-0,211	-0,173	-0,101	0,044	0,066	0,075	1	0,072
<i>YAG</i>	0,095	-0,200	0,024	-0,684	0,401	0,328	-0,817	0,820	0,072	1

4.3.4. Farklı Model Değişkenleri İçin Model Tahminlerinin Belirlenmesi

Bölüm 4.3.3’de açıklanan korelasyon tablolarından görüleceği üzere model giriş değişkenlerin arasında en yüksek ilişki *CH₄*, *CO₂*, ve *O₂* arasındadır. Diğer parametrelerin *CH₄* üzerine etkilerinin düşük olduğu görülmüştür. Çalışmanın bu aşamasında, korelasyonu düşük olan giriş değişkenleri matris yapısından çıkarılmıştır. Bu şekilde çalıştırılan model GA2 olarak tanımlanmış ve matris yapısı Şekil 4.64’de gösterilmiştir.

Bu model çalışmasında Hasdal depo sahası için günlük olarak metan gazı tahmin modelleri denenmiştir. En geniş veri setinin Hasdal tesisine ait olmasından dolayı bu alan seçilmiştir. Geniş veri setinin (gen havuzunun) daha güvenilir sonuçlar vermesi GA’ların temel ilkelerindedir. Çalışmada o günün *CH₄*, *CO₂* ve *O₂* verileri giriş değişkenleri ertesi günün *CH₄* değerleri ise çıkış değişkeni olarak kullanılmıştır.

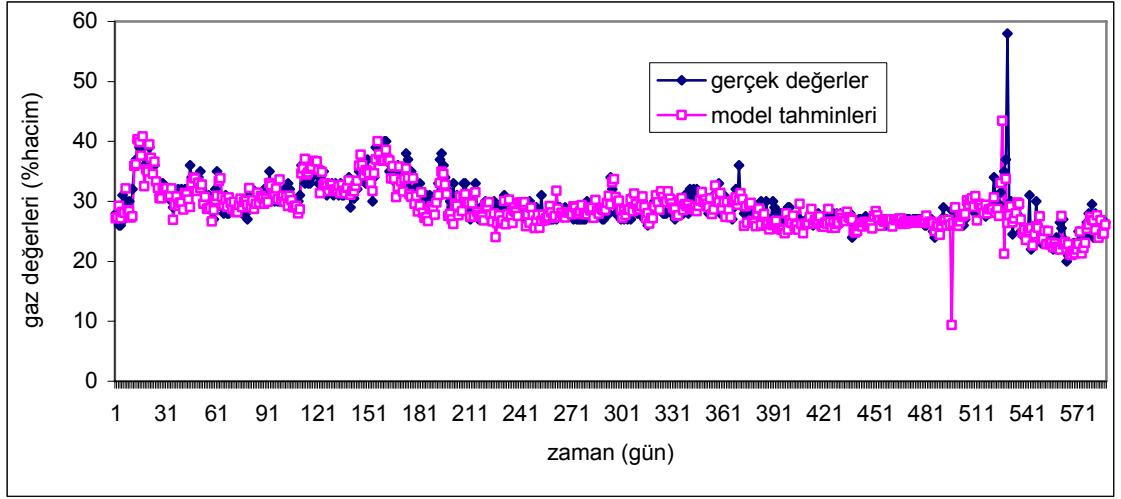
Veriler 1 Ocak 2003 ve 31 Mart 2006 tarihleri arasında sıralanmıştır. Diğer denemelerle paralelliğin sağlanması amacıyla, kromozom sayıları 50, 100, 200 ve 500 olacak şekilde

4 farklı durum için model çıktıları hesaplanmış ve edilen metan değerlerinin zamansal değişimi Şekil 4.65 – 4.68’de gösterilmiştir.

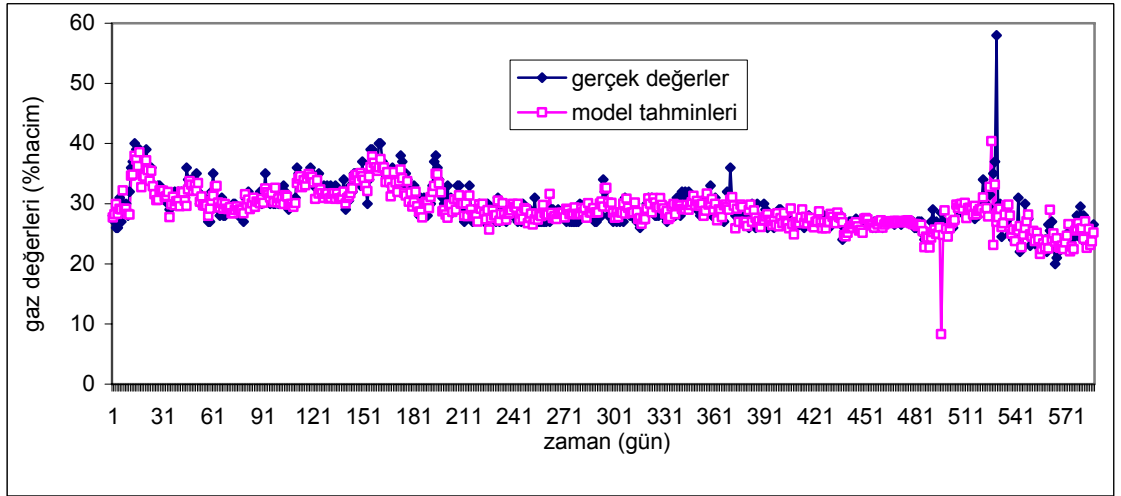
$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \text{CH}_{4,(t1)} & \text{CH}_{4,(t2)} & \text{CH}_{4,(t3)} & \text{CH}_{4,(t4)} & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CH}_{4,(tn)} \\ \text{CO}_{2,(t1)} & \text{CO}_{2,(t2)} & \text{CO}_{2,(t3)} & \text{CO}_{2,(t4)} & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CO}_{2,(tn)} \\ \text{O}_{2,(t1)} & \text{O}_{2,(t2)} & \text{O}_{2,(t3)} & \text{O}_{2,(t4)} & \cdot & \cdot & \cdot & \text{O}_{2,(tn)} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \text{CH}_{4,(t1+1)} & \text{CH}_{4,(t2+1)} & \text{CH}_{4,(t3+1)} & \text{CH}_{4,(t4+1)} & \cdot & \cdot & \cdot & \text{CH}_{4,(tn+1)} \end{bmatrix}$$

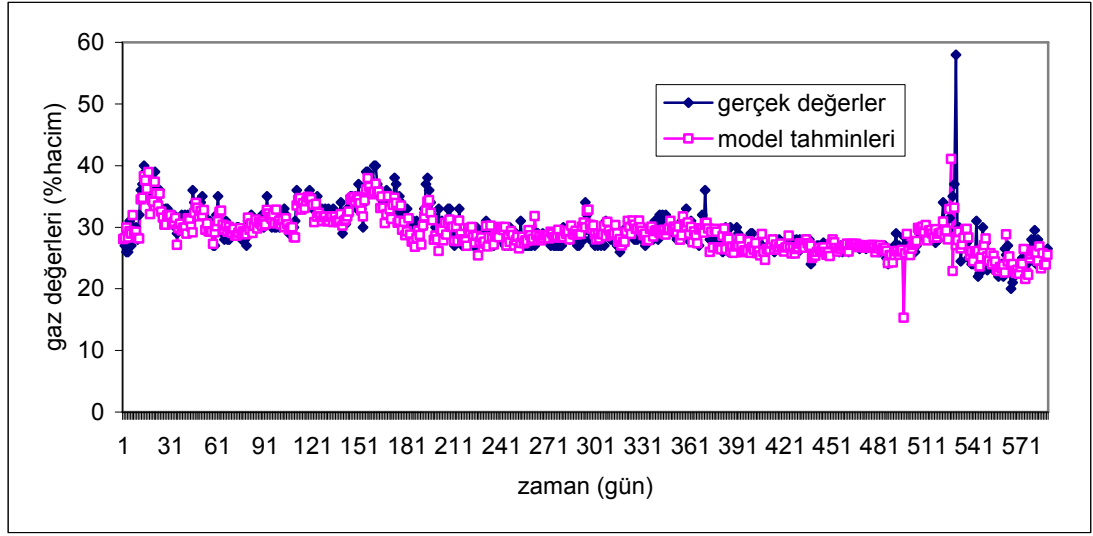
Şekil 4.64. Farklı model değişkenleri için model tahminlerinde kullanılan GA matris yapısı [giriş (P) ve çıkış (T)]



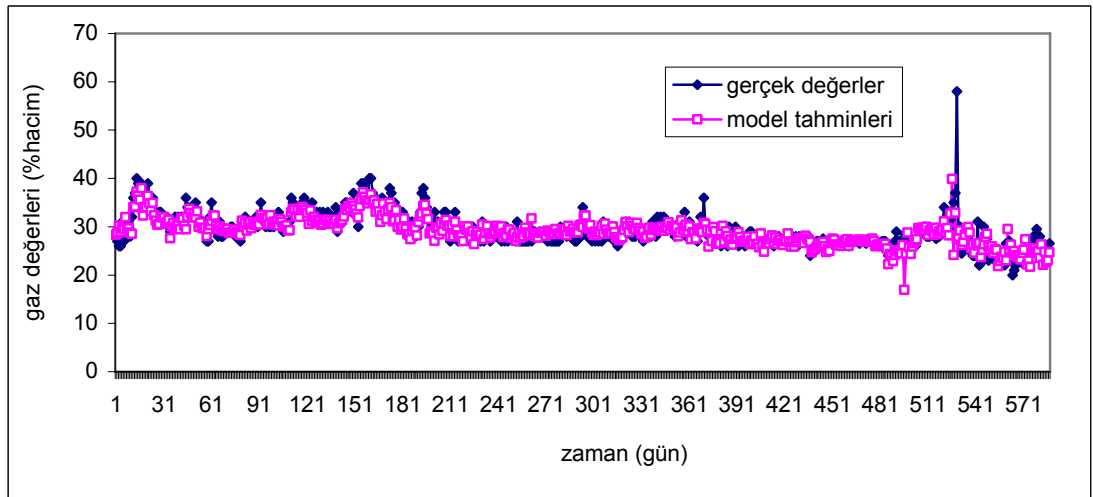
Şekil 4.65. GA2 model çıkışları, Hasdal (Ocak 2003 - Mart 2006), Kromozom sayısı=50



Şekil 4.66. GA2 model çıkışları, Hasdal (Ocak 2003 - Mart 2006), Kromozom sayısı=100

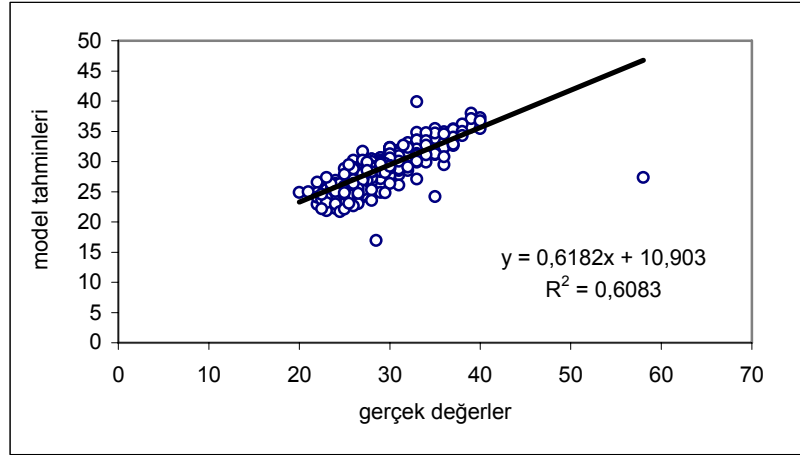


Şekil 4.67. GA2 model çıkışları, Hasdal (Ocak 2003 - Mart 2006), Kromozom sayısı=200



Şekil 4.68. GA2 model çıkışları, Hasdal (Ocak 2003 - Mart 2006), Kromozom sayısı=500

Şekil 4.65 – 4.68’ de gösterilen model çıktılarının r değerleri 50, 100, 200 ve 500 kromozom sayıları için sırasıyla; $r = 0,766, 0,774, 0,778$ ve $0,779$ olarak hesaplanmıştır. En yüksek r değerinin elde edildiği model çıktılarının grafiği Şekil 4.69’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.69. GA2 uygulaması için gerçek CH₄ değerleri ve model tahminleri arasındaki korelasyon

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Katı atık düzenli depo alanlarında oluşan biyolojik ve kimyasal değişimlerle depo gazlarının oluşması kaçınılmazdır. Bu gazlar doğru şekilde değerlendirilmezse çevre ve insan sağlığı için olumsuz durumlar oluşturabilirler. Depo sahası gazlarının büyük bir kısmını meydana getiren metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2), sera etkisine neden olan gazların başında gelir. Bu çalışmada, katı atık depo sahaslarından kaynaklanan başlıca depo gazı (CH_4 , CO_2) emisyonlarının belirlenmesi ve Genetik Algoritmalarla (GA) modellenmesi araştırılmıştır. Çalışmada, İstanbul ilinde bulunan 2 adet katı atık depo sahası uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bu alanlar; Avrupa yakasında bulunan Hasdal ve Asya yakasında bulunan Yakacık katı atık depo alanlarıdır. Çalışma alanı olarak seçilen katı atık depo sahaslarından CH_4 , CO_2 ve O_2 verileri temin edilmiş ve bu veriler GA tekniğiyle modellenmiştir. Bu sayede hem önemli bir çevre kirletici olan depo sahası gazları hakkında geniş bir veri tabanı oluşturulmuş, hem de yapılan modelleme çalışması ile bu gazların oluşumuna ve zamansal değişimine ait tahmin ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle Hasdal ve Yakacık tesislerine ait gaz değerleri günlük, aylık ve mevsimlik olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra aynı zaman ölçeklerinde (günlük, aylık, mevsimlik) CH_4 gazının meteorolojik faktörler de dikkate alınarak GA yapısı kullanılarak zamansal tahmini yapılmıştır. GA model sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve son olarak da modelin tutarlılığını denemek amacıyla aynı veri setlerine Lineer Regresyon (LR) uygulanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Hasdal katı atık depo sahasından elde edilen günlük CH_4 değerleri 2003 ve 2006 yıllarını kapsayan 3,5 yıllık verilerden oluşmaktadır. Bu veriler incelendiğinde ortalama CH_4 değerinin %28,24 olduğu tespit edilmiştir. CO_2 nin ortalama değeri ise %23,60 olarak bulunmuştur. Katı atık depo sahası gazları teorik olarak %60 CH_4 ve %40 CO_2

den oluşuyor olsa da depo alanının içerisindeki homojen olmayan ortamlardan dolayı bu oranlar değişebilmekte ve özellikle CH₄ miktarı sık sık teorik değerlerin altında kalabilmektedir. Bu çalışmada CH₄ değerlerindeki bu düşük seviyenin Hasdal katı atık depo alanının bir düzenli depolama sahası değil rehabilite edilmiş eski bir vahşi döküm alanı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük CH₄ seviyelerine rağmen çalışma süresi boyunca Hasdal’ da ölçülen CH₄ değerlerinin tamamı yanma değeri olan %15’in üzerindedir. Ölçümlerin sadece birinde CH₄ %50 seviyesinin üzerindeyken, 5 tanesinde ise %20 olarak tespit edilmiştir. Bunların dışında kalan 1097 ölçümde CH₄ %21 – 49 aralığında bulunmuştur.

Çalışma süresi boyunca Hasdal tesisinde O₂ değerlerinin beklenildiği üzere düşük miktarlarda olduğu görülmüştür. Ortalama O₂ değeri %1,95 olarak belirlenmiştir. Literatürde depo gazının O₂ miktarının %3’ten az olması gerektiği ve optimum O₂ miktarının %1 olduğu ifade edilmektedir (Greedy, 2007). Katı atık depo gazlarının CO₂/CH₄ oranı atık yaşı ve depo alanındaki atıkların ayrışma fazı ile doğrudan ilgilidir. CO₂/CH₄ oranına bağlı olarak bir katı atık depo sahanın içinde bulunduğu ayrışma fazı Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. CO₂/CH₄ oranına bağlı olarak ayrışma fazları (Reuther, 1996)

<i>CO₂/CH₄</i>	<i>Atık yaşı</i>	<i>Ayrışma fazı</i>
≥ 1	2 hafta – 2 ay	Hidroлиз safhası
≈ 1	< 2 yıl	Asit fazı
0,4 – 1	2 – 40 yıl	Metan fazı
≈ 0	> 40 yıl	Olgunlaşma fazı

Bu çalışmada Hasdal sahası için elde edilen CO₂/CH₄ oranı 0,83’tür. Tablo 5.1’den çalışma alanındaki ayrışma fazının metan fazı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.1, 4.4 ve 4.7 de gözlemlenen stabil metan değerleri de sahanın metan fazında olduğunun bir diğer göstergesidir.

Hasdal katı atık depo sahasında ölçülen CH₄ değerlerinin günlük ölçekli GA modellemesinde, korelasyon katsayısı (*r*) ve yaklaşım indeksi (*d*) değerlerinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kromozom sayılarının 50, 100, 200 ve 500 olduğu

durumlar için r değerleri sırasıyla 0,86, 0,72, 0,75 ve 0,75 olarak bulunmuştur. Tablo 4.5'den de görüleceği üzere en yüksek r değerine kromozom sayısının 50 olduğu durumda ulaşılmış, 200 ve 500 kromozom sayıları için sabit kalmıştır (0,75). Korelasyon katsayılarında (r) olduğu gibi d değerlerinde de benzer bir durum söz konusudur. 50, 100, 200 ve 500 kromozom sayıları için d sırasıyla 0,87, 0,83, 0,85 ve 0,85 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin 1'e yakın olması iyi bir modellemeyi ifade etmektedir.

Hasdal katı atık depo sahasına ilişkin günlük model tahminleri için *Bias* değerlerinin bütün model denemelerinde pozitif (+) değer aldığı görülmektedir. Bu durum model sonuçlarının gerçek ölçüm sonuçlarından daha düşük değerler aldığını göstermektedir. Şekil 4.26- 29'daki grafiklerde görülen günlük CH₄ tahminlerinin gerçek değerleri tutarlı bir şekilde takip ettiği görülmektedir. Bununla birlikte bu model çıktılarının hata dağılımları (frekans dağılımları) incelendiğinde hata değerlerinin sifıra yakınsadığı görülmektedir (Şekil 4.30–33). Sifıra yakınsayan hata dağılımları da iyi bir modellemenin göstergesidir.

Hasdal günlük ölçekli CH₄ değerlerinin Lineer Regrasyon (LR) modellemesinde, korelasyon katsayısı (r) 0,69, yaklaşım indeksi (d) ise 0,88 olarak bulunmuştur (Tablo 4.8). LR modelinde elde edilen negatif (-) *Bias* değerleri model tahminlerinin ölçüm sonuçlarından daha büyük olduğunu göstermektedir.

Hasdal tesisi aylık ölçekli CH₄ tahmin çalışmalarında günlük tahminlerle paralel olması açısından 50, 100, 200 ve 500 kromozom sayıları kullanılmıştır. Aylık ölçekli model çıktıları incelendiğinde GA tahminlerinin gerçek değerleri yüksek bir hassasiyetle takip ettiği görülmektedir (Şekil 4.35 – 38). Model sonuçlarının istatistiksel dağılımı incelendiğinde r değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4.6). Bu model yapısında en yüksek r değerine 0,77 ile kromozom sayısının 50 olduğu durumda ulaşılmıştır. Kromozom sayısının 500 olduğu durum için ise $r = 0,75$ değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu korelasyon katsayıları kromozom sayılarının artmasının model hassasiyetini çok fazla değiştirmedini göstermektedir. Bu durum günlük ölçekli CH₄ tahminleri ile de uyum sağlamaktadır. Aylık ölçekli tahminlerde *Bias* değerleri kromozom sayısı 50, 100 ve 200 için negatif (-), 500 için pozitif (+) olarak

bulunmuştur. Tablo 4.6'dan *Bias* değerlerinin -0,30 ile 1,51 arasında değiştiği görülmektedir. Günlük tahminlerde olduğu gibi aylık tahminlerde de frekans dağılımları iyi bir modellemeyi ifade etmektedir (Şekil 4.39 – 42). Aylık ölçekli veri setlerine uygulanan LR modelinde GA'ya oranla daha düşük *r* değeri elde edilmiştir ($r=0,50$). LR için yaklaşım indeksi (*d*) 0,45 olarak hesaplanmıştır.

Günlük ve aylık ölçekli modellerden sonra Hasdal Tesisi'nin mevsimlik (üç aylık) GA model sonuçlarının istatistiksel dağılımı incelendiğinde diğer model yapılarından bir farklılık ortaya çıkmaktadır. Günlük ve aylık modellerde en yüksek *r* değerine kromozom sayısının 50 olduğu durumda ulaşılrken, mevsimsel ölçekli model yapısında kromozom sayısının 200 olduğu durumda ulaşılmıştır (Tablo 4.7). Bu durumun populasyon matrisinin boyutlarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Günlük tahminlerde kullanılan GA model yapısında populasyon matrisi 10x586, aylık tahminlerde 10x19, mevsimsel ölçekli GA yapısında ise 7x10'dur. Populasyon matrisinin küçük olduğu denemede GA, kromozom sayısının büyük olduğu durum için daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu durum başlangıç populasyonunun modelin işleyişine olan etkisine açık bir örnek teşkil etmektedir.

Hasdal mevsimsel ölçekli GA modellemesinde elde edilen *r* değerleri 0,76 ile 0,78 arasında değişmektedir. Tablo 4.7' de görülen yüksek *r* ve *d* değerleri, sonuçların düzgün bir modellemeyi ifade ettiğini göstermektedir. Buna karşılık bu model yapısı için düzgün bir frekans dağılımı elde edilememiştir. Bunun nedeni ise, veri setinin yeterli olmamasıdır. Yine bu model yapısında LR tekniği sonuç vermemiştir. Mevsimsel ölçekli GA tahmin denemelerinde, LR gibi daha basit tekniklerin bile başarılı sonuç vermediği durumda GA'nın uygulanabileceği görülmüştür.

Farklı zamansal ölçekli GA tahmin çalışmalarının ardından, modelde kullanılan parametrelerin model sonucuna ne oranda etki ettiği araştırılmıştır. Hasdal tesisine ait model giriş değişkenlerinin ilişkilerinin sıralaması aşağıdaki şekilde olmaktadır:

Hasdal GA_{günlük} : O₂ > CO₂ > NE > GSUR > KAP > SI > YAG > RH > BA

Hasdal GA_{aylık} : O₂ > CO₂ > RH > BA > NE > GSUR > KAP > SI > YAG

Hasdal günlük ölçekli model yapısında en yüksek korelasyon -0,701 ile CH₄ – O₂ arasında oluşmuştur. Bu denemedeki CH₄ – CO₂ korelasyonu ise 0,504 olarak hesaplanmıştır. Bunun dışında kalan meteorolojik değişkenlerden en yüksek korelasyon 0,111 ile nem parametresine aittir. En düşük korelasyonun ise, 0,008 ile basınç değişkeniyle olduğu görülmüştür.

Aylık ölçekli model tahminlerinde de diğer denemelerle benzer bir durum söz konusudur. Tablo 4.14'den en yüksek ilişkinin CH₄ – O₂ arasında olduğu görülmektedir (-0,660). Bu denemedeki CH₄ – CO₂ ilişkisi 0,521 olarak hesaplanmıştır. Diğer model değişkenlerinin CH₄ ile olan korelasyonları, bu iki bileşenin değerlerinden daha düşük seviyelerde kalmıştır. Meteorolojik model değişkenlerinden en yüksek korelasyonun 0,266 ile rüzgar hızıyla, en düşüğün ise 0,095 ile yağış parametresiyle olduğu bulunmuştur.

Çalışmada incelenen bir diğer saha Yakacık katı atık depo alanıdır. Yakacık depo alanındaki gaz karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla 2004 yılına ait günlük, 2001-2004 yılları arasında ise aylık ölçekli veri setleri oluşturulmuştur. Yakacık tesisi CH₄ değerlerinin 2001, 2002 ve 2003 yılında daha durağan bir çizgide hareket ettiği, 2004 yılının sonlarına doğru keskin bir düşüş gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.22). Tesiste 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait ortalama CH₄ değerleri sırasıyla 50,9, 46,3, ve 55,6 iken, 2004 yılına ait ortalama CH₄ değeri 37,1 olarak belirlenmiştir.

Yakacık tesisinde 2001–2003 yılları arasında yapılan ölçümlerin tamamında CH₄ yanma değerinden yüksek seviyelerde bulunmuştur (>%15). Ancak 2004 yılında gerçekleştirilen 366 ölçümünün %77'sinde (280 adet) CH₄ yanma değerinin üzerindeyken, %23'ünde (86 adet) yanma değerinin altındaki seviyelerde bulunmuştur.

Çalışma süresince Yakacık depo alanında ölçülen O₂ değerleri genel olarak %1 seviyesindedir (Tablo 4.2). Ancak, 2004 yılının son çeyreğinde CH₄ miktarlarının düşmesine karşın O₂ değerleri yükselmiştir. Bu artışla birlikte (Şekil 4.24) yıllık

ortalama O₂ değeri de bir miktar artmış ve %4,45 seviyelerine ulaşmıştır. Depo gazlarının değerlendirilebilmesi için içerdiği O₂ miktarının %3'ten az, optimum değerinin ise %1 civarında olması gerektiği bilinmektedir (Greedy, 2007). Yakacık sahasına ait depo gazının, %1 civarında olan O₂ değerleriyle değerlendirilebilir nitelikte olduğu ifade edilebilir. Fakat çalışma süresinin son dönemlerinde O₂ değerindeki artış dikkat çekicidir.

Yakacık tesisi için CO₂ değerleri de CH₄'e benzer değişimler göstermiştir. 2001, 2002, 2003 ve 2004 yılları için ortalama CO₂ değerleri sırasıyla, 26,84, 20,30, 21,18 ve 16,38 olarak hesaplanmıştır. 3 yıl boyunca stabil bir çizgi izleyen CO₂, CH₄ değerlerinde olduğu gibi 2004 yılının sonlarına doğru keskin bir düşüş göstermiştir (Şekil 4.23).

Yakacık depo alanında çalışma süresince izlenen CO₂ ve CH₄ konsantrasyonlarından yararlanılarak CO₂/CH₄ oranı hesaplandığında bu değer 0,44 olduğu belirlenmiştir. Tablo 5.1'den bu değer kontrol edildiğinde Yakacık tesisindeki ayrışmanın metan fazında olduğu ve CO₂/CH₄ oranının sınır değere çok yakın olduğu görülmektedir. CO₂/CH₄ oranı 0,4'den küçük olduğunda (≈ 0) ayrışmanın olgunlaşma fazında olduğu görülmektedir. Bu durumda, Yakacık katı atık depo alanının metan fazının sonlarında ya da olgunlaşma fazında olduğu söylenebilir. Şekil 4.22 – 24'de gösterilen gaz değerlerinin değişimleri de bu sonucu desteklemektedir.

Yakacık katı atık depo alanından kaynaklanan CH₄ gazının günlük ölçekli GA modellemesine ait çıkışlar incelendiğinde, algoritmanın gaz miktarlarının zamansal değişimini tutarlı bir şekilde izlediği görülmektedir (Şekil 4.51–54). Günlük ölçekli model çalışmasında, model tahminleri ile gerçek sonuçlar arasındaki en yüksek korelasyon katsayısı (r) değeri 0,89 ile kromozom sayısının 200 olduğu model yapısında elde edilmiştir. Kromozom sayısının 50, 100 ve 500 olduğu diğer model denemelerinde de 0,88 ve 0,87 gibi yüksek değerler elde edilmiştir (Tablo 4.9). En yüksek korelasyon katsayısına kromozom sayısının 200 olduğu durumda ulaşılmasına rağmen, diğer model yapılarıyla aralarında çok büyük farklılıklar bulunmadığı belirlenmiştir. Bu durum, uygulanan model yapısı için kromozom sayısının arttırılmasının modelin hassasiyetini fazla değiştirmedini göstermektedir. Korelasyon katsayılarında olduğu gibi yaklaşım indeksi (d) değerleri de oldukça yüksek

bulunmuştur. Kromozom sayısının 100 olduğu durumda $d=0,95$ sonucu elde edilirken diğer model denemelerinde d , 0,94 olarak bulunmuştur (Tablo 4.9). *Bias* değerleri kromozom sayısının 200 olduğu denemede pozitif (+) iken diğer model denemelerinde negatif (-) bulunmuştur. Şekil 4.55 ve 4.56’da sunulan frekans dağılımlarından model hatalarının sıfır noktalarına toplandığı görülmektedir. Tahmin hatalarının sıfıra yakınsaması yüksek r değerlerinin bir sonucudur ve iyi bir modellemeyi ifade etmektedir.

Yakacık tesisi aylık ölçekli GA tahminleri model sonuçları Şekil 4.58 – 60’da görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, GA tahminlerinin gerçek CH_4 değerleri ile yüksek bir uyuma sahip olduğu anlaşılmaktadır. CH_4 değerlerindeki ani artış ve azalışlarda, modelin de aynı tepkiyi vermesi kullanılan modelin hassasiyeti açısından olumlu bir durumdur. Özellikle çalışma periyodunun son dönemindeki keskin azalmayı modelimiz yakalamış ve gerçek değerlerle benzer bir eğilim göstermiştir. Tablo 4.10 da sunulan aylık GA model çıktılarının istatistiksel analizi incelendiğinde en yüksek korelasyon katsayısına ($r=0,91$) kromozom sayısının 200 olduğu durumda ulaşıldığı görülmüştür. Bu durum Yakacık günlük model tahminleriyle benzerlik göstermektedir. Yakacık aylık ölçekli model denemelerinde kromozom sayısı 50 ve 100 için 0,90, 500 için 0,89 r değerleri elde edilmiştir. Korelasyon katsayılarında olduğu gibi yaklaşım indeksinde de oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Kromozom sayıları 50, 200 ve 500 için $d=0,94$ sonucuna ulaşılırken, kromozom sayısının 100 olduğu durumda d değeri 0,93 olarak bulunmuştur. Bu model denemesinde de r ve d değerlerinin 1’e yakınsaması iyi bir modellemenin ifadesidir. Aylık ölçekli model tahminlerinin *Bias* değerleri incelendiğinde, bütün denemeler için negatif (-) sonuçların alındığı görülmektedir. Bu da model sonuçlarının gerçek ölçüm sonuçlarından daha büyük değerler aldığı bir göstergesidir. Şekil 4.62 ve 63’de sunulan frekans dağılımlarında gerçek sonuçlarla model tahminleri arasındaki hata değerlerinin sıfır noktalarında yoğunlaştığı görülmektedir.

Yakacık tesisi için GA tahmin çalışmalarının ardından, modelde kullanılan parametrelerin model sonucuna ne oranda etki ettiği araştırılmış ve model giriş değişkenlerinin korelasyonları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Yakacık $GA_{günlük}$: $CO_2 > O_2 > GSUR > NE > RH > SI > BA > YAG > KAP$

Yakacık $GA_{aylık}$: $O_2 > CO_2 > RH > KAP > NE > YAG > SI > GSUR > BA$

Yakacık günlük ölçekli model tahminlerinin birbiriyle olan ilişkilerinde en yüksek korelasyon 0,754 ile $CH_4 - CO_2$ arasındadır. Bunun ardından -0,583 ile $CH_4 - O_2$ korelasyonu gelmektedir. Meteorolojik değişkenlerin CH_4 ile olan korelasyonlarını tamamı 0,50 seviyesinin altında kalmıştır. Modelde kullanılan meteorolojik parametrelerden en yüksek korelasyon 0,147 ile güneşlenme süresine aittir. En düşük korelasyon ise 0,004 ile kapalılık parametresindedir.

Aylık ölçekli tahminlerde en yüksek korelasyon -0,848 ile $CH_4 - O_2$ arasındadır. Bu model yapısında $CH_4 - CO_2$ korelasyonu 0,728 olarak hesaplanmıştır. Günlük ölçekli model tahminlerinde olduğu gibi aylık ölçekli tahminlerde de meteorolojik model parametrelerinin CH_4 ile düşük korelasyonda olduğu görülmüştür. En yüksek korelasyona sahip meteorolojik değişken 0,275 ile rüzgar hızı iken, en düşük korelasyon -0,014 ile basınç parametresiyledir.

Hem Hasdal hem de Yakacık tesisleri için uygulanan modelde kullanılan giriş değişkenlerinin CH_4 ile korelasyonları incelendiğinde, en yüksek ilişkinin depo gazlarının ($CH_4-CO_2-O_2$) kendi aralarında olduğu görülmektedir. Diğer meteorolojik model parametrelerinin etkisinin ise bu üç değişkene nazaran daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Sadece depo gazlarından oluşan model denemesinde elde edilen model çıkışlarında da başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu model yapısında ulaşılan en yüksek korelasyon katsayısı (r) değeri, 0,779 olarak hesaplanmıştır.

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde; eğitilebilir algoritmaların Çevre Mühendisliği uygulamalarında kullanımının daha çok hava kirletici gaz konsantrasyonlarının zamansal tahmini üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Spellman (1999), tarafından yapılan bir çalışmada korelasyon katsayıları 0,53 – 0,77 arasında bulunmuştur. Gardner ve Dorling (2000) gerçekleştirdikleri çalışmalarında, korelasyon katsayılarını 0,40 –

0,60 arasında değişen değerlerde bulmuşlardır. Sahin ve diğ. (2005), çalışmalarında atmosferik SO₂ tahminleri yapmışlar ve modellerinde korelasyon katsayısını 0,528 olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada uygulanan bütun model denemelerinde ulaşılan korelasyon katsayılarının ortalaması 0,79 olarak belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında çalışmamızda elde ettiğimiz istatiksels sonuçların literatürle uyumlu olduğu görölmektedir. Bu çalışmada incelenen farklı seçenekleri ve farklı model değişkenlerinde başarılı sonuçların alınması, modelin esnekliğini göstermektedir. Modelin bu özelliği eğitilebilir algoritmaların prensiplerinden kaynaklanmaktadır.

Depo gazının miktarının tahmin edilmesi amacıyla kullanılan Scholl Canyon Kinetik Modeli, Emcon Kinetik Modeli, Tabasaran/Rettenberger Modeli, LandGEM modeli gibi ampirik formüller mevcuttur. Fakat bu modellerin birçoğu metan gazının oluşum ve miktarını hesaplamayı amaçlayan matematiksel ifadelerdir ve çeşitli kabullere dayandırılmaktadır. Ampirik modellerle ancak belli şartlar ve belli kabuller için hesaplamalar yapılabilmesine karşın eğitilebilir algoritmalar giriş değişkenlerinin niteliğine göre özgün hesaplamaların yapılmasına imkan sağlamaktadır. Son yıllarda eğitilebilir algoritmalar mühendislik uygulamalarında oldukça sık kullanılmaktadır. Özellikle bazı kirletici parametrelerin konsantrasyon tahmininde yapay sinir ağ metotları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada önerilen Genetik Algoritma model yapısının ise, Çevre Mühendisliği uygulamalarında çok fazla kullanım alanı bulunmamaktadır. Özellikle optimizasyon amaçlı kullanılan GA'ların kirletici konsantrasyonlarının zamansal tahmininde kullanımının bu alanda bir yenilik getireceği düşünölmektedir. Metan gazından enerji üretimi yapan katı atık depo sahalarında oluşacak depo gazının geleceğe yönelik konsantrasyon tahminlerinin yapılması tesisin kapasite planlanmasında önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada ortaya konulan GA modelinin zamansal tahminlerde başarılı sonuçlar verdiği görölmüştür. Ayrıca gaz değişim grafiklerinden ve zamansal tahminlerden, metan üretiminin hangi aşamada olduğuna dair fikir edinilerek tesisin planlanmasının yapılabileceğini gösteren sonuçlara ulaşılmıştır. Gerçekleştirdiğimiz model çalışmalarına ait sonuçların, bu yönüyle de önem taşıdığı ifade edilebilir.

Çalışmada seçilen Hasdal ve Yakacık katı atık depo sahaları rehabilite edilmiş vahşi döküm alanlarıdır. Ülkemizde ve dünya da birçok vahşi döküm sahası bulunmakta ve bu

sahalarından çevreye depo gazı emisyonları yayılmaktadır. Bu nedenle; vahşi döküm sahalarının rehabilite edilerek ortaya çıkacak depo gazından enerji üretiminde yararlanılması hem ekonomik hem de çevresel açıdan fayda sağlayacaktır. Çalışmada elde edilen model sonuçları ise, düzenli depolama sahalarında, rehabilite edilmiş vahşi döküm sahası ve metan gazından enerji üretimi yapılacak tesisler için geleceğe yönelik tahminlerde GA uygulamalarının kolaylıkla tatbik edilebileceğini ve bu algoritmalar yardımıyla bu sahaların planlanmasının doğru bir biçimde yapılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

ABBOUND, N.M., 2000, *Lecture notes, The University of Connecticut solid waste engineering course*, University of Connecticut during the spring semester of 2000.

ABDEL-MAGID, Y.L., ABIDO, M.A., 2004, Robust coordinated design of excitation and TCSC-based stabilizers using genetic algorithms, *Electric Power Systems Research*, 69, 129-141.

ABDUL-WAHAB, S.A., 2004, Modeling methane and vinyl chloride in soil surrounding landfills, *International Journal of Environmental Pollution*, 21(4), 339-348.

ABRAHA, M.G., SAVAGE, M.J., 2008, Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 401 – 416.

AKBULUT, O., UÇAN, O.N., OSMAN, O., 2005, Genetik Algoritma kullanılarak bilgisayar ağ yapılarında optimizasyon yapılması, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, 17-19 Kasım 2005, İstanbul*, 255-261.

AL-AHMAD, I.A., AZID, A.R., YUSOF, K.N., 2004, Emission control in palm oil mills using artificial neural network and genetic algorithm, *Computers and Chemical Engineering*, 28, 2709-2715.

ALEIXANDRE, M., SAYAGO, I., HORRILLO, M.C., FERNANDEZ, M.J., ARES, L., GARCIA, M., SANTOS, J.P., GUTIERREZ, J., 2004, Analysis of neural networks and analysis of feature selection with genetic algorithm to discriminate among pollutant gas, *Sensors and Actuators B*, 103, 122-128.

ALLEN, C.T., YOUNG, G.S., HAUPT, S.E., 2007, Improving pollutant source characterization by better estimating wind direction with a genetic algorithm, *Atmospheric Environment*, 41, 2283-2289.

ALPARSLAN, M. N., 2005, *Katı Atıkların Yönetimi*, Emre Basımevi, İzmir

APAK, G., UBAY, B., 2007, *Türkiye iklim değişikliği birinci ulusal bildirim*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetim Genel Müdürlüğü, Ankara

AYALON, O., BECKER, N., SHANI, E., 2006, Economic aspects of the rehabilitation of the Hiriya landfill, *Waste Management*, 26, 1313-1323.

AYALON, O., AVNIMELECH, Y., SHECTER, M., 2001, Solid waste treatment as a high-priority and low cost alternative for greenhouse gas mitigation, *Environmental Management*, 27(5), 697-704.

AZADEH, A., GHADERI, S.F., TARVERDIAN, S., SABERI, M., 2007, Integration of artificial neural networks and genetic algorithm to predict electrical energy consumption, *Applied Mathematics and Computation*, 186, 1731-1741.

BAŞTÜRK, A., 1979, *İstanbul Katı Atık Problemlerinin Giderilmesinde Çözüm Yolları*, TÜBİTAK Çağ-II Projesi.

BERASTEGI, G.I., ELIAS, A., BARONA, A., SAENZ, J., EZCURRA, A., ARGANDONA, J.D., 2008, From diagnosis to prognosis for forecasting air pollution using neural networks: Air pollution monitoring in Bilbao, *Environmental Modelling & Software*, 23, 622-637.

BİLGİLİ, M.S., ÖZKAYA, B., 2002, Katı atık düzenli depo sahalarında oluşan depo gazlarının çevresel etkileri, *Atatürk Üniversitesi I. Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu*, Erzurum, 575-582.

BİLGİLİ, E., GOKNAR, C., ALBORA, A.M., UCAN, O.N., 2005, Potential anomaly separation and archeological site localization using genetically trained multi level cellular neural networks, *ETRI Journal*, 27(15), 294-303.

BLAHA, D., BARTLETT, K., CZEPIEL, P., HARRISS, R., CRILL, P., 1999, Natural and anthropogenic methane sources in New England, *Atmospheric Environment*, 33, 243-255.

BOLAT, B., EROL, K.O., İMRAK, C.E., 2004, Mühendislik uygulamalarında genetik algoritmalar ve operatörlerin işlevleri, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2004/4, 264-271.

BOTTOMLEY, V., 1993, *Monitoring of landfill gas*, The Institute of Wastes Management's Technical Sub Committee, Department of Environment, Third Print, 1993.

BOVE, R., LUNGHI, P., 2006, Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative Technologies, *Energy Conversion and Management*, 47, 1391-1401.

CAINE, M., CAMPBELL, D., SANTEN, A.V., 1999, The landfill gas timeline: the Brogborough test cells, *Waste Management Resources*, 17, 430-442.

CH2M Hill International Ltd.-Antel Aritma A.Ş., 1992, İstanbul anakenti katı atık yönetimi etüdü projesi raporu, İstanbul.

CHEN, Y.C., CHEN, K.S., WU, C.H., 2003, Numerical simulation of gas flow around a passive vent in a sanitary landfill, *Journal of Hazardous Materials*, B100, 39-52.

CHEN, I.C., HEGDE, U., CHANG, C.H., YANG, S.S., 2008, Methane and carbon dioxide emissions from closed landfill in Taiwan, *Chemosphere*, 70, 1484-1491.

CHOA, J.H, SUNG, K.S., HA, S.R., 2004, A river water quality management model for optimizing regional wastewater treatment using a genetic algorithm, *Journal of Environmental Management*, 73(3), 229-242.

CHRISTENSEN, T.H., KJELDSSEN, P., 1995, Basic biochemical process in landfills, *Symposium on Solid Waste Management in the Mediterranean Countries*, 9-13 September 1995, Cairo, Egypt, 29-49.

CURI, K., 1995, A simple method for the rehabilitation of solid waste dumping areas, *Symposium on Solid Waste Management in the Mediterranean Countries*, 9-13 September 1995, Cairo, Egypt.

CURİ, K.,1990, *Katı atıklar tanımlanması-sınıflandırılması*, Katı Atık Tanımı Toplanması Ve Uzaklaştırılması Kurs Notları, KAKAD Türk Milli Komitesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

CZEPIEL, P.M., SHORTER, J.H., MOSHER, B., ALLWINE, E., McMANUS, J.B., HARRISS, R.J., KOLB, C.E., LAMB, B.K., 2003, The influence of atmospheric pressure on landfill methane emissions, *Waste Management*, 23, 593-598.

ÇELİKTAŞ, F., 2001, Demirtaş eski çöp depolama alanından enerji üretimi, *II. Çevre ve Enerji Kongresi*, 15-17 Kasım 2001, İstanbul, 167-172.

DESIDERI, U., DIMARIA, F., LEONARDI, D., PROIETTI, S., 2003, Sanitary landfill energetic potential analysis: A real case study, *Energy Conversation Management*, 44 1969-1981.

DEMİR, A., OZKAYA, B., BILGILI, S.B., 2003, Effect of leachate recirculation on methane production and storage capacity in landfill, *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, 29-38.

DEMİR, G., OZCAN, H.K., NEMLIOĞLU, S., SEZGIN, N., BORAT, M., BAYAT, C., 2004, Gas emissions of Yakacik closed solid waste landfill site in Istanbul, *Fresenius Environmental Bulletin*, 13(10), 974-978.

DEMİR, İ., ALTINBAŞ, M., ARIKAN, O., 1999, Katı atıklar için entegre yönetim yaklaşımı, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, 17 – 19 Şubat 1999, İstanbul, 252-262.

DEVER, S.A., SWARBRICK, G.E., STUETZ, R.M, 2007, Passive drainage and biofiltration of landfill gas: Australian field trial, *Waste Management*, 27, 277-286.

DUERR, M., GAIR, S., CRUDEN, A., McDONALD J., 2007, Hydrogen and electrical energy from organic waste treatment, *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 705-709.

E.E.A, European Environment Agency, 2003, *Waste quantities by countries* [online], European Environment Agency, <http://waste.eionet.eu.int/wastebase/quantities>, [Ziyaret Tarihi: 28.01.2008].

EINOLA, J.M., KETTUNEN, R.H., RINTALA, J.A., 2007, Responses of methane oxidation to temperature and water content in cover soil of a boreal landfill, *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 1156-1164.

EL-FADEL, M., FINDIKAKIS, N.A., LECKIE, O.J., 1997, Environmental impacts of solid waste landfilling, *Journal of Environmental Management*, 50, 1-25.

EL-FADEL M., MASSOULD M., 2000, Emissions from landfills: A methodology comparative assessment, *Environmental Technology*, 21, 965-978.

EMEL, G.G., TAŞKIN C., 2002, Genetik algoritmalar ve uygulama alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(1), 129-152.

ENGİN, O., FIĞLALI, A., 2002, Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma yardımı ile çözümünde uygun çaprazlama operatörünün belirlenmesi, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 6, 27-35.

FALZON, J., 1998, LMS Landfill gas developments paper, 4th National Hazardous & Solid Waste Convention, Brisbane, April' 98 Queensland.

GARDNER, M.W., DORLING, S.R., 2000, Statistical surface ozone models; an improved methodology to account for nonlinear behavior, *Atmospheric Environment*, 34, 21-34.

GEBERT, J., GROENGROEFT, A., 2006, Passive landfill gas emission – Influence of atmospheric pressure and implications for the operation of methane-oxidising biofilters, *Waste Management*, 26, 245–251.

GENDEBIEN, A., PAUWELS, M., CONSTANT, M., DAMANET, M.J., NYNS, E.J., WILLUMSEN, H.C., BUTSON, J., FABRY, R., FERRERO, G.L., 1992, Landfill gas: from environment to energy, Commission of the European Communities, Final Report, Luxemburg.

GOLDBERG, D., 1999, *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, Addison-Wesley Longman publishing Co. Inc. Boston, MA, USA.

GREEDY, D., 2007, Landfill design and basic operations, *The Landfill Biogas Capture and Energy Recovery (Methane to Markets)*, Bogazici University, June 2007, Istanbul.

GÖNÜLLÜ, M.T., 1999, Patlama riski açısından çöp depo yerleri, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, 17 – 19 Şubat 1999, İstanbul, 313-321.

GÖSE, E., BÜYÜKATAK, K., UÇAN, O.N., KARGIN, S., 2004, Genetik algoritma ile kestirilmiş zamanla değişen kanallarda turbo kafes kodlamalı modülasyon (TTCM), *Havacılıkta İleri Teknolojiler ve Uygulamaları Sempozyumu HITEK'04*, İstanbul, 547-553.

GÖZÜTOK, S., ÖZDEMİR, O.N., 2004, Genetik algoritma yöntemiyle su şebekelerinde hidrolik kalibrasyonun geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 125-130.

HAARSTRICK, A., NORA-NARANJO, N., MEIMA, J., HEMPEL, D.C., 2004, Modeling anaerobic degradation in municipal landfills, *Environmental Engineering Science*, 21(4), 471-484.

HALDENBİLEN, S., CEYLAN, H., 2005, Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey, *Energy Policy*, (33), 89-98.

HEGDE, U., CHANG, T.C., YANG, S.S., 2003, Methane and carbon dioxide emissions from Shan-Chu-Ku landfill site in northern Taiwan, *Chemosphere*, 52, 1275-1285.

HOLLAND, J., 1975, *Adaptation in natural and artificial systems*, MIT press. Cambridge, MA.

HUI, L.Y., 2007, Evolutionary neural network modeling for forecasting the field failure data of repairable systems, *Expert Systems with Applications*, 33, 1090-1096.

HUMER-HUBER, M., 2004, International research into landfill gas emissions and mitigation strategies- IWWG working group "clear", *Waste Management*, 24, 424-427.

HUMER, M., LECHNER, P., 2001, Design of a landfill cover layer to enhance methane oxidation – results of a two year field investigation. *In: Proceedings of Sardinia 2001, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy.

HUMER, M., LECHNER P., 1999, Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills, *Waste Management Resources*, 17, 443-452.

JAFFRIN, A., BENTOUNES, N., JOAN, A.M., MAKHLOUF, S., 2003, Landfill biogas for heating greenhouses and providing carbon dioxide supplement for plant growth, *Biosystems Engineering*, 86 (1), 113-123.

JOHANNESSEN, L.M., 1999, Guidance note on recuperation of landfill gas from municipal solid waste landfills, *Urban Development Division Urban Waste Management Thematic Group, Working Paper Series*.

K.A.K.Y.,1994, Katı atıkların kontrolü yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı No:20814.

KALLISTOVA, A.Y., KEVBRINA, M.V., NEKRASOVA, V.K., GLAGOLEV, M.V., SEREBRYANAYA, M.I., NOZHEVNIKOVA, A.N., 2005, Methane oxidation in landfill cover soil, *Microbiology*, 74(5), 608-614.

KARADUMAN, Ö., AKPOLAT, Z.H., 2006, Bulanık model referans öğrenmeli denetim yönteminde kullanılan kazançların bir genetik algoritma ile belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 29-37.

KARAOĞLAN, İ., ALTIPARMAK, F., 2005, Konkav maliyetli ulaştırma problemi için genetik algoritma tabanlı sezgisel bir yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 443-454.

KAREN, İ., YILDIZ, A.R., KAYA, N., ÖZTÜRK, F., 2004, Genetik Algoritma yardımıyla çok amaçlı optimum ürün tasarımı, *Havacılıkta İleri Teknolojiler ve Uygulamaları Sempozyumu HITEK'04*, İstanbul, 195-198.-a

KAREN, İ., YILDIZ, A.R., KAYA, N., ÖZTÜRK, F., 2004, Evaluation of multi-objective genetic algorithm optimization program using test problems, *Proceedings of 4th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, September 6-8, Sakarya University, 384-393.- b

KIELY, G., 1997, *Environmental Engineering*, McGraw – Hill Publishing Companies, ISBN 0-07-013158-9, England.

KIM, K.H., 2006, Emissions of reduced sulfur compounds (RSC) as a landfill gas (LFG): A comparative study of young and old landfill facilities, *Atmospheric Environment*, 40, 6567-6578.

KIRKEBY, J.T, BIRGISDOTTIR, H., BHANDER, G.S., HAUSCHILD, M., CHRISTENSEN, T.H., 2007, Modeling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program EASEWASTE, *Waste Management*, 27, 961–970.

KİRİŞ, A., SALTABAŞ, F., 2007, Overview of landfilling and biogas energy applications in Istanbul, *The Landfill Biogas Capture and Energy Recovery (Methane to Markets)*, Bogazici University, June 2007, Istanbul.

KNAEBEL, K.S., REINHOLD, E.H., 2003, Landfill gas: From rubbish to resource, *Adsorption*, 9, 87-94.

KÖKÇAM, Z., BAHADIR, A.E., 2001, İklim değişikliği, Kyoto protokolü ve Türkiye, *II. Çevre ve Enerji Kongresi*, 15-17 Kasım 2001, İstanbul, 77-85.

KULLUK, S., TÜRKBEY, O., 2004, Tesis yerleşimi problemi için bir genetik algoritma *YA/EM'2004 - Yöneyem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi*, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep – Adana.

KURT, M., SEMETAY, C., 2001, Genetik algoritma ve uygulama alanları, *Mühendis ve Makina*, 42 (501), 19-24.

LAM, J.C., WAN, K. K. W., YANG, L., 2008, Solar radiation modelling using ANNs for different climates in China, *Energy Conversion and Management*, 49, 1080–1090.

- LAY, J.J., LI, Y.Y., NOIKE, T., 1998, Mathematical model for methane production from landfill bioreactor, *Journal of Environmental Engineering*, 124, 730-736.
- LEE, C.E, HWANG, C.H., 2007, An experimental study on the flame stability of LFG and LFG-mixed fuels, *Fuel*, 86, 649–655.
- LEAO, S., BISHOP, I., EVANS, D., 2001, Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamic modeling in a GIS environment *Resources, Conservation and Recycling*, 33, 289-313.
- LEE, L.W., WANG, L.H., CHEN, S.M., 2007, Temperature prediction and TAIFEX forecasting based on fuzzy logical relationships and genetic algorithms, *Expert Systems with Applications*, 33, 539–550.
- LIU, S. BUTLER, D., BRAZIER, R., HEATHWAITE, L., KHU, S.T., 2007, Using genetic algorithms to calibrate a water quality model, *Science of the Total Environment*, 374, 260–272.
- LIU, X., CHEN, X., WU, W., PENG, G., 2007, A neural network for predicting moisture content of grain drying process using genetic algorithm, *Food Control*, 18, 928–933.
- LOMBARDI, L., CARNEVALE, E., CORTI, A., 2006, Greenhouse effect reduction and energy recovery from waste landfill, *Energy*, 31, 3208–3219.
- MARTIN, S., MARANON, E.M., SASTRE H., 1997, Landfill gas extraction technology study, simulation and manually controlled extraction, *Bioresource Technology*, 62, 47-54.
- MAURICE, C., LAGERKVIST, A., 2003, LFG emission measurements in cold climatic conditions: seasonal variations and methane emissions mitigation, *Cold Regions Science and Technology*, 36, 37-46.
- McBEAN E.A., ROVERS F.A., FARQUHAR G.J., 1995, *Solid waste landfill engineering and design*, Prentice Hall PTR, ISBN 0130791873, New Jersey.
- MERAZ, R.L., VIDALES A.M., DOMINGUEZ A., 2004, A fractal –like kinetics equation to calculate landfill methane production, *Fuel*, 83, 73-80.
- MICKLER, R.A., 2004, Natural resource management to offset greenhouse gas emissions, *Environmental Management*, 33(4), 431-432.
- MONTASTRUC, L., AZZARO-PANTEL, C., PIBOULEAU L., DOMENECH S., 2004, Use of genetic algorithms and gradient based optimization techniques for calcium phosphate precipitation, *Chemical Engineering and Processing*, 43, 1289-1298.
- MOR, S., RAVINDRA, R., DeVISSCHER, A., DAHIYA, R.P., CHANDRA, A., 2006, Municipal solid waste characterization and its assessment for potential methane generation: A case study, *Science of the Total Environment*, 371, 1-10.

- MOSHER W.B., CZEPIEL M.P., HARRIS C.R., SHORTER H.J., KOLB E.C., McMANUS B.J., ALLWINE E., LAMB K.B., 1999, Methane emissions at nine landfill sites in the Northeastern United States, *Environmental Science & Technology*, 33, 2088-2094.
- NASTEV, M., THERRIEN R., LEFEBVRE, R., GELINAS, P., 2001, Gas production and migration in landfills and geological materials, *Journal of Contaminant Hydrology*, 52, 187-211.
- NISKA, H., HILTUNEN, T., KARPINEN, A., RUUSKANEN, J., KOLEHMANIEN, M., 2004, Evolving the neural network model for forecasting air pollution time series, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17, 159-167.
- OZTURK, H.K., CEYLAN, H., CANYURT, O.E., HEPBASLI, A., 2005, Electricity estimation using genetic algorithm approach: a case study of Turkey, *Energy*, 30, 1003-1012.
- PARK, W.J., SHIN, C. H., 2001, Surface emissions of landfill gas from solid waste landfill, *Atmospheric Environment*, 35, 3445-3451.
- PEAVY S., 1985. *Environmental Engineering*, McGraw-Hill International Editions.
- POULSEN, T.G., CHRISTOPHERSEN, M., MOLDRUP, P., KJELDTSEN, P. 2001, Modeling lateral gas transport in soil adjacent to old landfill. *Journal of Environmental Engineering*, 145-153.
- QIN, W., EGOLFOPOULOS, F.N, TSOTSIS, T.T., 2001, Fundamental and environmental aspects of landfill gas utilization for power generation, *Chemical Engineering Journal*, 82, 57-172.
- RAMILLEN, G., 2001, Genetic Algorithms for geophysical parameter inversion from altimeter data, *Geophysic Journal of International*, 147, 393-402.
- REUTHER, R., 1996, *Geochemical Approaches to Environmental Engineering of Metals*, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co.
- RUSHBROOK, P., PUGH, M., 1999, *Solid Waste Landfill in Middle- and Lower Income Countries*, Word Bank Technical Paper No. 426 , Washington, D.C.
- ROTH, J., 2007, Field assessments of landfill biogas resources, *The Landfill Biogas Capture and Energy Recovery (Methane to Markets)*, Bogazici University, June 2007, Istanbul.
- ROVERATO A., PATERLINI S., 2004, Technological modeling for graphical models: an approach based on genetic algorithms, *Computational Statistics & Data Analysis* 47, 323-337.

- SAHIN, U., UCAN, O.N., BAYAT, C., OZTORUN N., 2005, Modeling of SO₂ distribution in Istanbul using Artificial Neural Networks. *Environmental Modeling and Assessment*, 10, 135-142.
- SANCHEZ, R., HASHEMI, M., TSOTSIS, T.T., SAHIMI, M.M., 2006, Computer simulation of gas generation and transport in landfills II: Dynamic conditions, *Chemical Engineering Science*, 61, 4750 – 4761.
- SANCHEZ, R., HASHEMI, M., TSOTSIS, T.T., SAHIMI, M.M., 2007, Computer simulation of gas generation and transport in landfills. III: Development of landfills' optimal model, *Chemical Engineering Science*, 62, 6378-6390.
- SARPTAŞ, H., GÜNDÜZ, O., DÖLGEN, D., ALPASLAN, N., 2005, Düzensiz çöp depolama sahalarının rehabilitasyonu: Kuşadası örneği, *III. Ulusal Katı Atık Kongresi, UKAK 2005, 25-27 Mayıs 2005, İzmir*, 201-208.
- SCHARFF, H., JACOBS, J., 2006, Applying guidance for methane emissions estimation for landfills, *Waste Management*, 26, 417-429.
- SHIN, H.C., PARK, J.W., KIMB, H.S., SHIN, E.S., 2005, Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model, *Energy Policy*, 33, 1261-1270.
- SHIN, H.C., PARK, J.W., PARK, K., SONG, H.C., 2002, Removal characteristics of trace compounds of landfill gas by activated carbon adsorption, *Environmental Pollution*, 119, 227-236.
- SLINI, T., KARATSAZ, K., MOUSSIOPOULOS, N., 2003, Correlation of air pollution and meteorological data using neural networks, *International Journal of Environment and Pollution*, 20(1-6), 218-229.
- SPELLMAN, G., 1999, An application of artificial neural networks to the prediction of surface ozone concentrations in the United Kingdom, *Applied Geography*, 19, 123-136.
- SÖKE, A., BİNGÜL, Z., 2003, İki boyutlu kesme problemlerinin genetik algoritma yardımıyla çözümünün incelenmesi, *International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks – TAINN 2003*, 248-251.
- SRINIVAS, V., RAMANJANEYULU, K., 2007, An integrated approach for optimum design of bridge decks using genetic algorithms and artificial neural networks, *Advances in Engineering Software*, 38, 475-487.
- STEWART, T.J., JANSSEN, R., HERWIJNEN, M., 2004, A genetic algorithm approach to multi objective land use planning, *Computers & Operations Research*, 31, 2293–2313.
- ŞEN, Z., 2004, *Genetik algoritmalar ve en iyileme yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, ISBN: 975-6455-12-8.

ŞERİFOĞLU, S.F., ULUSOY, G., 2002, Çok işlemcili işlerin çok katmanlı paralel işlemcili akış atölyelerinde çizelgelenmesi, [online] *Endüstri Mühendisliği*, http://www.mmo.org.tr/endustrimuhendisligi/2002_4/cok_islemcili.htm. [Ziyaret tarihi, 04/02/2008].

TAGARIS, E., SOTIROPOULOU, R.E.P, PILINIS, C., HALVADAKIS, C.P., 2003, Atmospheric methane transport near landfill sites, *Waste Management Resources*, 21, 62–73.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S., 1993, *Integrated solid waste management-engineering principles and management issues*, McGraw-Hill, Inc. ISBN 0070632375.

THEMELIS, N.J., ULLOA, P.A., 2007, Methane generation in landfills, *Renewable Energy*, 32, 1243–1257.

TINMAZ, E., DEMİR, İ., 2005, Aerobik depolama yönteminin uygulanma esasları ve uygulamadan bazı örnekler, *III. Ulusal Katı Atık Kongresi, UKAK 2005, 25-27 Mayıs 2005, İzmir*, 193-200.

TSAI, W.T., 2007, Bioenergy from landfill gas (LFG) in Taiwan, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 331-344.

TUIK, Türkiye İstatistik Kurumu, 2008, [online], <http://www.tuik.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi:19.02.2008].

TURĞUT, P., ARSLAN, A., 2001, Sürekli bir kirişte maksimum momentlerin genetik algoritmalarla belirlenmesi, *DEU Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3), 1-9.

UÇANER, M.E., ÖZDEMİR, O.N., 2002, Genetik algoritmalar ile içme suyu şebekelerinde ek klorlama optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 17(4), 157-170.

U.S. Army Corps of Engineers, 1995, Landfill Off-Gas Collection and Treatment Systems –Engineering and Design, Technical Letter No. 1110-1-160.

USEPA, 2002, Solid waste management and greenhouse gases- a life cycle assessment of emissions and sinks, second edition, *EPA 530-R-02-006*.

USEPA, 1994, Design operation and closure of municipal solid waste landfills, *EPA/625/R-94/008*.

VATANDAŞ, E., ÖZKOL, İ., 2004, Genetik Algoritma ve dinamik ağ yöntemleriyle kanat optimizasyonu, *Havacılıkta İleri Teknolojiler ve Uygulamaları Sempozyumu HITEK'04, İstanbul*, 225-231.

VOELL, C., 2007, Landfill biogas (LFG) technology applications, *The Landfill Biogas Capture and Energy Recovery (Methane to Markets)*, Bogazici University, June 2007, İstanbul.

- WANG, K., SALHI, A., FRAGA, E.S., 2004, Process design optimization using embedded hybrid visualization and data analysis techniques within a genetic algorithm optimization framework, *Chemical Engineering and Processing*, 43, 663-675.
- WANICHPONGPAN, W., GHEEWALA, S.H., 2007, Life cycle assessment as a decision support tool for landfill gas-to energy projects, *Journal of Cleaner Production*, 15, 1819-1826.
- WHITE, J., ROBINSON, J., REN, QINGCHAO, 2004, Modelling the biochemical degradation of solid waste in landfills, *Waste Management*, 24, 227-240.
- WHO-UNDP, 1981, Solid waste management in the metropolitan area of Istanbul, Final Project Report, Istanbul.
- WUEBBLES, D.J., HAYHOE, K., 2002, Atmospheric methane and global change, *Earth-Science Reviews*, 57, 177-210.
- YENİAY, Ö., GÖKTAŞ, A., 2003, Doğrusal regresyonda en iyi alt küme seçimine genetik algoritma yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1), 37-45.
- YILDIRIM, M., ERKAN, K., OZTURK, S., 2006, Power generation expansion planning with adaptive simulated annealing genetic algorithm, *International Journal of Energy Research*, 30, 1188-1199.
- YILMAZ, E., ÖZTÜRK, F., 2003, Makine tasarım optimizasyon problemlerinin genetik algoritmalar ile çözümü, *International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks – TAINN 2003*.
- ZAIRI, M., FERCHICHI, M., ISMAIL, A., JENAYEH, M., HAMMAMI, H., 2004, Rehabilitation of El-Yahoudia dumping site, Tunisia, *Waste Management*, 24, 1023-1034.
- ZAMORANO, M., PEREZ, J.I.P., PAVES, I.A., RIDAO, A.R., 2007, Study of the energy potential of the biogas produced by an urban waste landfill in Southern Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 909-922.

ÖZGEÇMİŞ

11.05.1978 tarihinde Boyabat'ta doğdu. 1995 yılında Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nden mezun oldu. 1995 yılında Lisans eğitimine başladığı 19 Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programına başladı. 2000 Aralık ayında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı'na Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2003 yılı Temmuz ayında "Kemerburgaz Çöp Depo Alanındaki Metan ve Karbondioksit Emisyonlarının Mevsimlere Göre Değişimi" başlıklı Yüksek Lisans tezini tamamlayarak mezun oldu. 2003 yılında aynı anabilim dalında doktora eğitimine başladı. Araştırma Görevlisi olarak; Çevre Kimyası, Temel İşlemler, Suların Arıtılması, Hava Kirlenmesi, Katı Atıkların Kontrolü, Çevre Mikrobiyolojisi, Su Temini ve Kanalizasyon derslerinde uygulama, proje ve laboratuvar çalışmalarını yürüttü.