

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATI ATIK DEPOLAMA GAZINDAKİ BTEX BİLEŞİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE SAĞLIK RİSKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Çevre Yük. Müh. Fatih TAŞPINAR

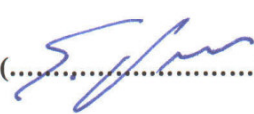
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 02.06.2008


Tezin Savunulduğu Tarih: 16.06.2008

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Aykan KARADEMİR **ÜYE**
Doç. Dr. Ertan DURMUŞOĞLU **ÜYE**
Doç. Dr. Yılmaz YILDIRIM

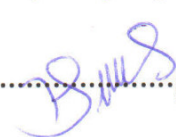
(.....

.....)

(.....

.....)

(.....

.....)

ÜYE
Yrd. Doç. Dr. Şenay ÇETİN

(.....

.....)

ÜYE
Yrd. Doç. Dr. İrfan YOLCUBAL

(.....

.....)

KOCAELİ, 2008

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATI ATIK DEPOLAMA GAZINDAKİ BTEX BİLEŞİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE SAĞLIK RİSKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Çevre Yük. Müh. Fatih TAŞPINAR

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Aykan KARADEMİR

KOCAELİ, 2008

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ülkemizde ve dünyada düzenli depolama yöntemiyle katı atık bertarafı uygulanan en yaygın yöntemdir. Atıklar, bertaraf alanına depolandıktan sonra, oldukça kompleks ve çok çeşitli prosesler sonucu atığın organik kısmında ayrışmalar meydana gelir. Bu ayrışmalar sonucu büyük bölümünü metan (CH₄) ve karbon dioksitin (CO₂) oluşturduğu deponi gazı meydana gelir. Bu iki temel gazın yanında, düşük konsantrasyonlarda fakat yüksek toksisiteye sahip benzen, toluen, etilbenzen ve ksilenler (BTEX) gibi uçucu organik bileşiklerde (VOC) oluşur. Bu organik gazların belirlenmesi ve dağılımlarının ortaya konulması, hem işletmede çalışan işçiler hem de ofis ortamında çalışan görevliler açısından ve hem de yakın yerleşim bölgesinde yaşayan insanların sağlığı açısından oldukça önemlidir.

Katı atık depolama gazındaki uçucu organiklerin belirlenmesi ve sağlık risklerinin değerlendirmesi konusunda bana her türlü desteği veren ve yönlendiren Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden çok değerli Sn. Doç. Dr. Ertan DURMUŞĞLU'na ve Sn. Doç. Dr. Aykan KARADEMİR'e, örnekleme ve analiz çalışmalarında katkıları bulunan Arş. Gör. M. Kemal KORUCU ve Uzman Seda ASLAN'a, örnekleme çalışmalarında yardımcı olan Emrehan ÇÖKELEK, Çağrı DİNÇTÜRK, Alâeddin KOLAT ve Selim TAVŞAN'a,

Laboratuvar çalışmaları sırasında katkıları bulunan GYTE Çevre Müh. Böl. öğretim üyeleri Sn. Prof. Dr. Bülent KESKİNLER, Yrd. Doç. Dr. Pınar KUŞ ve Doç. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ ile Arş. Gör. Aytuğ SİVASLIGİL'e,

Sağlamış oldukları imkan ve destekten dolayı çalışma alanı olarak seçilen İZAYDAŞ Tesisi yönetimine ve başta Deponi Şefi Özlem ERKAL olmak üzere tüm çalışanlarına,

Hassasiyetlerinden ve katkılarından dolayı Kocaeli Üniversitesi Ali Rıza Veziroğlu MYO Müdürü Sn. Yrd. Doç. Dr. Kadriye OKTOR'a ve Teknik Prog. Blm. Bşk. Yrd. Doç. Dr. Hakan PEKEY'e, Yüksekokul Sekreteri Arzu KIRMIZIOĞLU'na, Abdullah SEL'e ve ismini sayamadığım diğer tüm çalışanlarına,

Katkılarından ve desteklerinden dolayı hocam Sn. Dr. Mithat BAKOĞLU'na,

Tüm altyapı imkânlarından yararlanmamızı sağlayan Kocaeli Üniversitesi Müh. Fakültesi Dekanı ve Çevre Müh. Blm. Bşk. Sn. Prof. Dr. Savaş AYBERK'e,

Her türlü destekleri ve gösterdikleri sonsuz sabırdan dolayı, çok sevgili ve kıymetli aileme ve burada adını sayamadığım tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi ve minnet duygularımı sunarım.

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 104Y378 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER.....	x
ÖZET.....	xiii
İNGİLİZCE ÖZET.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KATI ATIK DEPOLAMA SAHALARINDA DEPONİ GAZI OLUŞUMU ve ÖZELLİKLERİ	4
2.1. Düzenli Depolama Yöntemiyle Katı Atık Bertarafı.....	4
2.2. Kentsel Katı Atık Bileşimi	8
2.3. Deponi Gazı Oluşumu.....	10
2.4. Deponi Gazı Bileşimi.....	13
2.4.1. Buswell denklemine göre deponi gazı kimyasal bileşimi	15
2.4.2. Deponi gazı miktarının hesaplanması	16
2.4.3. Deponi gazından enerji üretimi kapasitesinin hesaplanması	18
2.5. Deponi Gazı Kontrolü	19
2.5.1. Pasif Sistemle Deponi Gazı Toplama	20
2.5.2. Aktif Sistemle Deponi Gazı Toplama.....	21
2.6. Deponi Gazındaki Uçucu Organik Bileşikler (VOC)	22
3. KOCAELİ İLİ KENTSEL KATI ATIK BİLEŞİMİNİN VE DEPONİ GAZI ÜRETİM KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ	32
3.1. Kocaeli Bölgesi Katı Atık Özellikleri.....	32
3.2. Kocaeli Bölgesi Kentsel Katı Atık Kimyasal Kompozisyonu	35
4. İZMİT EVSEL ve ENDÜSTRİYEL KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ.....	38
4.1. Uygulama Alanının Tanıtılması.....	38
4.2. Düzenli Depolama Tesisi	39
5. MALZEME VE YÖNTEM.....	43
5.1. Modelleme Çalışmaları	43
5.1.1. LandGEM deponi gazı emisyon modeli	43
5.1.2. Hava dağılım modelleri ve ISCST3	47
5.1.2.1. ISCST3 hava dağılım modeli	50
5.1.2.2. Nokta kaynak emisyonları	50
5.1.2.3. Alan kaynak emisyonları.....	51
5.1.2.4. Açık-çukur emisyonları.....	51

5.1.2.5. Gauss denklemi	51
5.1.2.6. Rüzgar yönünde ve çapraz yöndeki uzaklıklar	52
5.1.2.7. Rüzgar hızı profili	53
5.1.2.8. Kirlilik bulutu yükselmesi formülleri.....	54
5.1.2.9. Yüzdürme ve momentum akıları.....	54
5.1.2.10. Kararsız veya nötral-momentum ve yüzdürme arasındaki etkileşim.....	54
5.1.2.11. Kararsız ya da nötral – yüzdürme etkisi ile yükselme	55
5.1.2.12. Kararsız ya da nötral – momentum etkisi ile yükselme	56
5.1.2.13. Kararlılık (stabilite) parametresi	56
5.1.2.14. Kararlı - momentum ve yüzdürme arasındaki etkileşim.....	56
5.1.2.15. Kararlı – yüzdürme etkisi ile yükselme	57
5.1.2.16. Kararlı – momentum etkisi ile yükselme	57
5.1.2.17. Tüm koşullar – nihai yükselme uzaklığından küçük uzaklıklar.....	58
5.1.2.18. Dağılım parametreleri	59
5.1.2.19. Yüzdürme etkisi nedeniyle oluşan dağılım.....	62
5.1.2.20. Dikey terim.....	63
5.1.2.21. Karışım yüksekliği (mixing height)	64
5.1.3. ISCST3 hava dağılım modelinin uygulanması	65
5.1.3.1. Modelleme programına meteorolojik veri temini	66
5.1.3.2. Modele veri girişi ve çalışma biçimi seçimi	67
5.1.3.3. Meteorolojik veri işleme ve çalışma zamanı seçimi	68
5.1.3.4. Çalışma alanını tanımlama ve harita seçimi	68
5.1.3.5. Kirlenici kaynağının (Lot 5 ve Lot 7) modele girilmesi	68
5.1.3.6. Alıcıların tanımlanması.....	70
5.1.3.7. Meteorolojik veri dosyasının modele girilmesi	71
5.1.3.8. MeteoOku programı	72
5.1.3.9. Aermet View yardımcı programı	76
5.1.3.10. Rammet View yardımcı programı.....	76
5.1.3.11. Modelin çalıştırılması ve dağılım gradyenti	84
5.2. Analiz Metodunun Geliştirilmesi ve Alanda Örneklemeye.....	85
5.2.1. Uçucu organik bileşikler için örneklem ve ölçüm teknikleri	85
5.2.2. GC ve Thermal Desorber kalibrasyonu ile metod geliştirme	99
5.2.3. Örneklem düzeneği.....	104
5.3. Sağlık Riski Değerlendirmesi	113
5.3.1. Risk değerlendirmesinde temel aşamalar.....	114
5.3.2. Risk değerlendirme çalışmasında yapılan kabuller.....	117
5.3.3. Palisade Software @Risk Desicion Tools v4.5 programı.....	118
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	121
6.1. Modelleme Sonuçları	121
6.1.1. LandGEM modeli tahmini VOC emisyonları	121
6.1.2. ISC-AERMOD View modelleme programı sonuçları.....	125
6.2. Analiz Sonuçları.....	135

6.3. Model ve Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	140
6.4. Sağlık Riski Değerlendirmesi Sonuçları	142
6.4.1. Ölçüm alanı içinde çalışanlar (1. grup) için risk değerlendirmesi	142
6.4.2. İdari binalarda çalışanlar (2. grup) için risk değerlendirmesi.....	145
6.4.3. Tesis çevresinde yaşayanlar (3. grup) için risk değerlendirmesi	148
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	151
KAYNAKLAR	156
EKLER.....	161
ÖZGEÇMİŞ	174

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Katı atık üretimi [1].	4
Şekil 2.2: Katı atık yönetimi [1].	5
Şekil 2.3: Katı atık depolama tesisi [4].	7
Şekil 2.4: Deponi tabanı geçirimsizlik sistemi.	7
Şekil 2.5: Atık ayrışmasında temel evreler [10].	12
Şekil 2.6: Deponi gazı oluşum evreleri [8].	12
Şekil 2.7: Yıllara göre deponi gazı oluşumu [8].	13
Şekil 2.8: Ortalama deponi gazı bileşenleri [13].	14
Şekil 2.9: Deponi gazı bacası (solda) ve yakıcı (flare) [1].	20
Şekil 2.10: Pasif gaz toplama sistemi [13, 2].	20
Şekil 2.11: Gaz toplama sistemi [13].	21
Şekil 2.12: Aktif gaz toplama sistemi [2].	21
Şekil 4.1: İzaydaş Tesisi [30].	40
Şekil 4.2: İZAYDAŞ tesisi Düzenli Deponi Alanları ve Kapasiteleri [30].	40
Şekil 5.1: LandGEM v3.02 programı açılış ekranı.	44
Şekil 5.2a: LandGEM 3.02 modeline ait Lot 5 için veri giriş sayfası.	46
Şekil 5.2b: LandGEM 3.02 modeline ait Lot 7 için veri giriş sayfası.	46
Şekil 5.3: Model parametreleri ve seçilen gaz kirletici türleri.	47
Şekil 5.3: ISC-AERMOD View programı başlangıç ekranı ve işlem sırası.	67
Şekil 5.4: ISC-AERMOD View programı genel ekran görüntüsü ve tanımlanan Lot 5 ile Lot 7 deponi alanları.	69
Şekil 5.5: ISC-AERMOD View’de alan kaynak olarak tanımlanan Lot 5 ve Lot 7 alanları.	70
Şekil 5.6: ISC-AERMOD View programı “Uniform Cartesian Grid (UCART1)” ve “Cartesian Plant Boundary (PLB1)” penceresi.	71
Şekil 5.7: MeteoOku programı “Meteorolojik Veri Dosyası” ekleme paneli.	74
Şekil 5.8: SCRAM veya SAMSON formatında veri dosyası hazırlama ekranı.	75
Şekil 5.9: Thermal Desorber ve GC (FID) çalışma düzeneği ile boş adsorban tüpler.	100
Şekil 5.10: Kalibrasyon düzeneği (O-Ring kalibrasyon kiti kesik çizgi içindedir).	101
Şekil 5.11: Termal desorpsiyon sistemi [49, 50].	101
Şekil 5.12: Paslanmaz çelik sorbent tüplerin resimleri ve pirinç kapama başlıkları [6].	104

Şekil 5.13: Sorbent tüplerin genel olarak yapısı ve yatak malzemesi [6].	104
Şekil 5.14: Örnekleme pompası ve düşük akımda hava numunesi alma düzeneği [49].	107
Şekil 5.15: Lot 5’te bir deponi gazı çıkış bacasında GPS koordinatlarının belirlenmesi.	108
Şekil 5.16: Lot 7’de flare noktasında numune alma işlemi.	108
Şekil 5.17: Lot 5’de bir deponi gazı çıkış bacasında numune alma işlemi.	109
Şekil 5.18: Lot 5 ve Lot 7 alanından alınan örneklere ait örnekleme noktaları.	112
Şekil 5.19: @Risk Decision Tools programı çalışma ekranı.	118
Şekil 6.1: Yıllara göre Lot 5’te oluşabilecek teorik BTEX emisyonları.	122
Şekil 6.2: Yıllara göre Lot 7’de oluşabilecek teorik BTEX emisyonları.	122
Şekil 6.3: Lot 5 için aylık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.	126
Şekil 6.4: Lot 5 için yıllık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.	127
Şekil 6.5: Lot 7 için aylık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.	128
Şekil 6.6: Lot 7 için yıllık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.	129
Şekil 6.7: Aylık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.	132
Şekil 6.8: Yıllık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.	133
Şekil 6.9: Çalışmada kullanılan ve ISC-Aermod View programı WrplotView modülü ile oluşturulan rüzgar gülü haritası.	134
Şekil 6.10: 1. örneklemeğe ait analiz sonuçlarını gösteren grafik.	136
Şekil 6.11: 2. örneklemeğe ait analiz sonuçlarını gösteren grafik.	137
Şekil 6.12: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için kanserojenlik riski dağılımı.	145
Şekil 6.13: İdari binalarda çalışanlar için kanserojenlik riski dağılımı.	147
Şekil 6.14: Tesis çevresinde yaşayanlar için kanserojenlik riski dağılımı.	149

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1: Tipik bir katı atık bileşimi [1, 12].....	9
Tablo 2.2: Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre katı atık bileşimi [1].....	9
Tablo 2.3: Mevsimsel bazda katı atık bileşimi ve yüzdelik değişim [1].....	10
Tablo 2.4: Kentsel katı atık bileşiminin ortalama kimyasal analiz sonuçları [3].....	10
Tablo 2.5: Düzenli depolama sahalarında en çok rastlanan iz gazlardan bazıları [1].	14
Tablo 2.6: Atık kompozisyonunu belirten kimyasal formüller [1].	16
Tablo 2.7: L_0 ve k değişkenlerin alabileceği değer aralıkları [1].	17
Tablo 2.8: Çeşitli depolama alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonları [6].....	23
Tablo 2.8 (Devam): Çeşitli depolama alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonları [6].....	24
Tablo 2.8 (Devam): Çeşitli depolama alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonları [6].....	25
Tablo 2.8 (Devam): Çeşitli depolama alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonları [6].....	26
Tablo 2.9: ABD’de bazı depolama alanlarında tespit edilen ortalama NMOC konsantrasyonları [6].....	26
Tablo 2.10: Deponi gazındaki NMOC konsantrasyonları [17].....	27
Tablo 2.10 (Devam): Deponi gazındaki NMOC konsantrasyonları [17].....	28
Tablo 2.11: Sağlık riski ve bazı LFG elementlerinin ölçülen maks. konsantrasyonları [18].	28
Tablo 2.11 (Devam): Sağlık riski ve bazı LFG elementlerinin ölçülen maks. konsantrasyonları [18].....	29
Tablo 2.12: ABD’nin Delaware Eyaleti’nde bulunan dört depolama tesisine ait VOC (ppbv) konsantrasyonları [19].	29
Tablo 2.12 (Devam): ABD’nin Delaware Eyaleti’nde bulunan dört depolama tesisine ait VOC (ppbv) konsantrasyonları [19].....	30
Tablo 2.13: Bazı LFG bileşenlerinin koku eşikleri [2].	31
Tablo 2.14: BTEX bileşenlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [20, 24-28].	31
Tablo 3.1: Kocaeli’nde aylık oluşan katı atık miktarları [23].....	33
Tablo 3.2: Teorik hesaplamalarda kullanılan kabuller [23].	34
Tablo 3.3: Atık bileşenlerine ait su içeriği ve özgül ağırlık değerleri [13].	34
Tablo 3.4: Atık bileşenlerine ait ortalama kimyasal bileşim içindeki elementler [13].	34
Tablo 3.5: Kocaeli için kentsel katı atık kompozisyonu.	35
Tablo 3.6: Atık kompozisyonunu belirten kimyasal bileşenlere ait bilgiler.	35
Tablo 3.7: Atık kimyasal formülündeki elementlere ait toplam ağırlıklar.....	36
Tablo 3.8: Atık kimyasal formülüne göre deponi gazı bileşenlerinin toplam kütleleri.	36
Tablo 3.9: Deponi gazı kompozisyonu.	37
Tablo 4.1: Deponi alanlarına ait alan ve hacim değerleri [30].....	41
Tablo 4.2: İZAYDAŞ tesisi katı atık düzenli depolama alanlarının işletmeye alınma tarihleri ve depolanan atık miktarları.	42

Tablo 5.1: LandGEM modeli için belirlenen çalışma parametreleri.....	45
Tablo 5.2: Düzenli depolama alanında Lot 5 ve Lot 7'ye 1997-2005 yılları arasında depolanan katı atık miktarları.....	46
Tablo 5.3: Pasquill-Gifford σ_y değerini hesaplamak için kullanılan parametreler [40].	60
Tablo 5.4: McElroy-Pooler σ_y değerini hesaplamak için kullanılan Briggs Formülleri [40].	60
Tablo 5.5: McElroy-Pooler σ_z değerini hesaplamak için kullanılan Briggs Formülleri [40].	60
Tablo 5.6: Pasquill-Gifford σ_z değerini hesaplamak için kullanılan parametreler [43].	61
Tablo 5.7: AERMOD View programında kullanılan yöreye özgü parametreler [46].	77
Tablo 5.8: Arazi Kullanım Türlerine Göre Minimum Monin-Obukhov Uzunlukları.	78
Tablo 5.9: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Yüzey Pürüzlülük Uzunlukları (m).	79
Tablo 5.10: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Albedo Değerleri (m)....	80
Tablo 5.11a: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Günlük Bowen Oranları-Kuru Koşullar.	81
Tablo 5.11b: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Günlük Bowen Oranları-Ortalama Koşullar.	81
Tablo 5.11c: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Günlük Bowen Oranları-İslak Koşullar.	82
Tablo 5.12: Bazı Şehirler İçin Ortalama Antropojenik Isı Akısı (Qf) ve Net Radyasyon (Q*) Değerleri.	83
Tablo 5.13: Gaz ayırma ve tanımlamada kullanılan analiz teknikler [6].	88
Tablo 5.14: Alanda veya kaynakta gaz ölçüm teknikleri [6].	89
Tablo 5.15. Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	90
Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	91
Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	92
Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	93
Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	94
Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	95
Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	96
Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	97
Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.	98
Tablo 5.16: Thermal Desorber için geliştirilen çalışma programı.	102
Tablo 5.17: GC - FID için geliştirilen fırın ve detektör programına ait metot detayları.	102

Tablo 5.18: BTEX kalibrasyonunda her bir bileşen için elde edilen tutulma zamanları.	103
Tablo 5.19: BTEX kalibrasyonu alan (Area) değerleri.	103
Tablo 5.20: BTEX kalibrasyonu korelasyon (R) değerleri.	103
Tablo 5.21: 19.04.2007 tarihinde gerçekleştirilen “1. örnekleme” ait detaylar. ..	110
Tablo 5.22: 21.06.2007 tarihinde gerçekleştirilen “2. örnekleme” ait detaylar. ..	111
Tablo 5.23: BTEX bileşenlerine ait çalışmada kullanılan toksikolojik parametreler [24-28].	116
Tablo 5.24: Sağlık riski değerlendirmesine ilişkin maruz kalma parametreleri ve kabuller.	117
Tablo 6.1: LandGEM sonuçları BTEX bileşenlerinin m ³ /sn olarak tahmini konsantrasyonları.	123
Tablo 6.2: LandGEM sonuçları BTEX bileşenlerinin g/sn olarak tahmini konsantrasyonları.	124
Tablo 6.3: 1. örneklemeye ait analiz sonuçları.	135
Tablo 6.4: 1. örneklemeye ait ortalama BTEX değerleri.	136
Tablo 6.5: 2. örneklemeye ait analiz sonuçları.	137
Tablo 6.6: 2. örneklemeye ait ortalama BTEX değerleri.	138
Tablo 6.7: Örneklemeleere ait en büyük, en küçük ve ortalama sonuçlar.	138
Tablo 6.8: Datianshan (Çin) depolama sahasında elde edilen VOC analiz sonuçları [56].	139
Tablo 6.9: Allen ve diğ. (1997) tarafından elde edilen sonuçların, diğer araştırmalarla karşılaştırması (mg/m ³) [57-60].	140
Tablo 6.10: Model sonuçları olan aylık ve yıllık ortalama değerler ile analiz sonuçlarının karşılaştırması (µg/m ³).	141
Tablo 6.11: Model sonuçları olan aylık ve yıllık ortalama değerler ile analiz sonuçlarının karşılaştırması (µg/m ³).	141
Tablo 6.12: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için risk değerlendirmesinde kullanılan ortalama BTEX değerleri.	143
Tablo 6.13: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için risk değerlendirmesinde kullanılan BTEX konsantrasyonları.	143
Tablo 6.14: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için solunum yoluyla alım değerleri.	143
Tablo 6.15: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için risk ve tehlike indeksi değerleri.	143
Tablo 6.16: İdari binalarda çalışanlar için risk hesaplamasında kullanılan BTEX konsantrasyonları.	146
Tablo 6.17: İdari binalarda çalışanlar için solunum yoluyla alım değerleri.	146
Tablo 6.18: İdari binalarda çalışanlar için bulunan risk ve tehlike indeksi değerleri.	146
Tablo 6.19: Tesis çevresinde yaşayanlar için risk hesaplamasında kullanılan BTEX konsantrasyonları.	148
Tablo 6.20: Tesis çevresinde yaşayanlar için solunum yoluyla alım değerleri.	148
Tablo 6.21: Tesis çevresinde yaşayanlar için bulunan risk ve tehlike indeksi değerleri.	148

SİMGELER

AT	: Ortalama maruz kalma zamanı (gün).
BW	: Vücut ağırlığı (kg).
C	: Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
CF	: Birim dönüşümü (0.001 mg/ μg).
CR	: Kontak oranı ($\text{m}^3/\text{gün}$).
D	: Gauss dağılım denklemi için üstel bozunma terimi (boyutsuz).
D_B	: Brownian difüzyon hızı (cm/s).
d_p	: Partikül emisyonu için partikül çapı (μm).
d_s	: Baca iç çapı (m).
EF	: Maruz kalma sıklığı (gün/yıl).
ED	: Maruz kalma süresi (yıl).
F_b	: Sıcaklık yükselmesi değişim parametresi (m^4/s^3).
F_d	: Kuru birikim değişimi (g/m^2).
F_m	: Momentum değişim parametresi (m^4/s^2).
F_Q	: Kuru birikim için kirlilik tükenim faktörü (boyutsuz).
F_T	: Arazi (yer seviyesi) düzeltme faktörü (boyutsuz).
F_w	: Islak birikim değişimi (g/m^2).
f	: Bir rüzgar hızının oluş frekansı ve stabilite kategorisi kombinasyonu (boyutsuz).
g	: Yer çekimi ivmesi ($9.80616 \text{ m}/\text{s}^2$).
h_b	: Bina yüksekliği (m).
h_e	: Efektif baca yüksekliği (m).
h_s	: Fiziksel baca yüksekliği (m).
h_{ter}	: Baca tabanı üstündeki arazinin yüksekliği (m).
h_s'	: Modifiye edilmiş baca tipi yıkanma için çıkış yüksekliği (m).
I	: Alım miktarı (mg/kg.gün).
k	: von Karman sabiti (= 0.4).
L	: Monin-Obukhov uzunluğu (m).
$P(x,y)$: Profil düzeltme faktörü (boyutsuz).
Q_s	: Kirletici emisyon miktarı (g/s).
Q	: Zaman periyodu içinde verilen toplam kirletici emisyonu (g).
PF	: Kanserojen maddelere ilişkin potansiyel faktörü ($1/(\text{mg}/\text{kg.gün})$).
R	: Yağış miktarı (mm/h).
RfC_i	: Kanserojen olmayan maddelere ilişkin referans konsantrasyonlar (mg/kg.gün).
$R(z,z_d)$: Dikey taşınım karşı atmosferik direnç (s/cm).
r	: Polar reseptör gridindeki radyal uzaklık aralığı (m).
r_a	: Atmosferik direnç (s/cm).
r_d	: Birikim katmanı direnci (s/cm).
s	: Stabilite parametresi (boyutsuz).
T_a	: Ortam havası sıcaklığı (^0K).
T_s	: Baca gazı çıkış sıcaklığı (^0K).
u_{ref}	: Anemometre yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s).

u_s	: Ayarlanmış nihai rüzgar hızı (m/s).
u^*	: Yüzey sürtünme hızı (m/s).
V	: Gauss dağılım denkleminin dikey terimi (boyutsuz).
V_d	: Gauss dağılım denkleminin, kuru birikimli dikey terimi (boyutsuz).
v_d	: Partikül birikim hızı (cm/s).
v_s	: Baca gazı çıkış hızı (m/s).
X	: Kartezyen grid ağındaki X koordinatı (m).
Y	: Kartezyen grid ağındaki Y koordinatı (m).
θ	: Polar reseptör grid için yön (derece).
x	: Kaynaktan alıcıya olan rüzgar mesafesi (m).
x_f	: Nihai duman bulutu için rüzgar altı mesafesi (m).
y	: Kaynaktan reseptöre rüzgar yönündeki uzaklık (m).
z	: Alıcıların ortalama deniz seviyesinden yüksekliği (m).
z_d	: Kuru birikim referans yüksekliği (m).
z_r	: Yer seviyesi üzerindeki alıcı yüksekliği (m).
z_{ref}	: Rüzgar hızı için referans ölçüm yüksekliği (m).
z_s	: Ortalama deniz seviyesi üstündeki baca taban yüksekliği (m).
z_i	: Karışım yüksekliği (m).
z_o	: Yüzey pürüzlülük yüksekliği (m).
β_j	: Jet sürüklenme katsayısı.
Δh	: Dağılım bulutu veya dumanı (plume) yüksekliği (m).
$\partial\theta/\partial z$: Yüksekliğe göre potansiyel sıcaklık gradyenti (K/m).
\wedge	: Yağışla sürüklenme oranı (s^{-1}).
λ	: Yağış oran katsayısı ($s.mm/h$) ⁻¹ .
π	: Pi sayısı (3.14159).
ψ	: Çürüme katsayısı ($0.693/T1/2$ (s^{-1})).
Ψ_H	: Stabilite düzeltme faktörü (boyutsuz).
ρ	: Partikül yoğunluğu (g/cm^3).
ρ_{air}	: Havanın yoğunluğu (g/cm^3).
σ_y	: Yanal dispersiyon parametresi (m).
σ_{y0}	: Sanal nokta kaynak için başlangıç yanal dağılım parametresi (m).
σ_{ye}	: Etkin yanal dispersiyon parametresi (m).
σ_z	: Dikey dispersiyon parametresi (m).
σ_{z0}	: Sanal nokta kaynak için başlangıç dikey dağılım parametresi (m).
σ_{ze}	: Etkin dikey dağılım parametresi (m).
ν	: Havanın viskozitesi (0.15 cm^2/s).
μ	: Havanın mutlak viskozitesi (1.81×10^{-4} $g/cm/s$).
χ	: Konsantrasyon ($\mu g/m^3$).
χ_d	: Kuru birikim - konsantrasyon miktarı ($\mu g/m^3$).

Kısaltmalar

AQM	: Air Quality Management.
BTEX	: Benzene Toluen Etyhlbenzene Xylenes.
DOE	: Department of Environment.
EPA	: Environmental Protection Agency.
EU	: European Union.
FID	: Flame Ionization Detector.
GC	: Gas Chromatography.
HAP	: Hazardous Air Pollutant.
HKKY	: Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği.
ISCST	: Industrial Source Complex Short Term.
ISWA	: International Solid Waste Association.
İZAYDAŞ	: İzmit Klinik ve Tehlikeli Atıkları Yakma ve Enerji Üretim Tesisi.
LandGEM	: Landfill Gas Emission Model.
MH	: Mixing Height.
MS	: Mass Spectrometer.
NAAQS	: National Ambient Air Quality Standarts.
NO _x	: Azot Oksitler.
NMOC	: Non-Methane Organic Compouns.
PBL	: Planetary Boundary Layer.
PPM	: Parts Per Million.
PPMV	: Parts Per Million Volume.
PPB	: Parts Per Billion.
TAKY	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TLV	: Threshold Limit Value.
TO	: Toxic Organic.
TWA	: Time Weighted Average.
VOC	: Volatile Organic Compund.
WHO	: World Health Organization.

KATI ATIK DEPOLAMA GAZINDAKİ BTEX BİLEŞİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SAĞLIK RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatih TAŞPINAR

Anahtar Kelimeler: Katı Atıklar, Kocaeli, Düzenli Depolama Alanları, Deponi Gazı, Uçucu Organik Bileşikler (VOC), BTEX, Hava Dağılım Modeli, ISCST3, Sağlık Riski Değerlendirmesi

ÖZET: Atıklar, depolama alanına depolandıktan sonra, çeşitli prosesler sonucu atığın organik kısmında ayrışmalar meydana gelir. Bu ayrışmalar sonucu büyük bölümünü metan ve karbon dioksitin oluşturduğu deponi gazı meydana gelir. Bu iki temel gazın yanında, çok düşük konsantrasyonlarda fakat yüksek toksisiteye sahip uçucu organik bileşiklerde (VOC) oluşur. Bu organik gazların belirlenmesi ve dağılımlarının ortaya konulması gerek işletmede çalışan işçiler açısından gerekse yakın yerleşim bölgesinde yaşayan insanlar açısından önemlidir.

Bu çalışmada, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilmekte olan İZAYDAŞ düzenli depolama alanında kapatılmış bulunan iki adet atık lotundan (Lot 5 ve 7) kaynaklanan BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve mpo-ksilen) emisyonları ve ortam havasındaki dağılımları belirlenmiştir. BTEX bileşikleri deponi alanlarından kaynaklanan uçucu organik bileşiklerin önemli bir kısmını oluşturduklarından dolayı, bu bileşiklerin varlığının ve miktarlarının tespiti diğer VOC'ler adına bir yol gösterici olmaktadır. İZAYDAŞ düzenli depolama alanına 1997 yılında atık depolanmaya başlanmış, 2000 yılında Lot 7 ve 2005 yılında ise Lot 5 kapatılmıştır. Diğer lotlarda depolama işlemi devam etmektedir.

Örnekleme ve analiz çalışmalarında USEPA metodu TO-17 (adsorban tüplere aktif örnekleme, GC(FID) ve Termal Desorpsiyon) takip edilmiştir. BTEX emisyonlarının havada dağılımının belirlenmesi amacıyla ISCST3 (ISC-AERMOD View 5.3) dağılım modeli kullanılmıştır. Deponi gazı tahmini emisyonu LandGEM 3.02 yazılımı ile hesaplanmıştır. Meteorolojik veri işlemek amacıyla Delphi programlama dilinde MeteoOku v1.2 Programı (Meteorolojik Veri Düzenleme Programı) geliştirilmiştir.

Laboratuarda elde edilen sonuçlar kullanılarak 3 farklı grup için BTEX kaynaklı sağlık riski değerlendirme yapılmıştır. Risk değerlendirme kanserojen (benzen) ve kanserojen olmayan (toluen, etilbenzen, ksilenler) bileşikler için ayrı ayrı yapılmıştır. Özellikle deponi alanında çalışanlar için Benzen kaynaklı kanserojenlik riskinin olabileceği ortaya konulmuştur.

DETERMINATION OF BTEX COMPOUNDS IN LANDFILL GAS AND HEALTH RISK ASSESSMENT

Fatih TAŞPINAR

Keywords: Solid Wastes, Kocaeli, Landfills, Landfill Gas (LFG), Volatile Organic Compounds (VOC), BTEX, Air Dispersion Modeling, ISCST3, Health Risk Assessment.

Abstract: Landfills are very complex systems in which various interactive processes proceed simultaneously. Following waste deposition, a landfill gas mainly comprised of methane and carbon dioxide is generated due to the decomposition. Various trace volatile organic compounds (VOCs) besides main components of landfill gas are also produced. Determination of concentrations and gradients of these trace gases is especially important for workers in the landfill and people living nearby.

In this study, emissions and dispersion of BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes) emitted from the two closed cells (Lot 5 and Lot 7) in the İZAYDAŞ landfill operated by the Kocaeli Metropolitan Municipality were determined. Since the BTEX are considered among the most important VOCs encountered in landfills, the measurements of levels of these compounds may be an indicator for other VOCs. İZAYDAŞ landfill having two closed cells has been in use since 1997. The cell 7 and 5 were closed in 2000 and 2005, respectively, and waste deposition is still in progress in other cells.

Samples were collected and analyzed by the USEPA Method TO-17. The ISCST3 (ISC-AERMOD View 5.3) model was employed for the air dispersion modeling of BTEX emissions. USEPA's LandGEM 3.02 program was used in order to calculate LFG emission rate. The MeteoOku v1.2 program was developed in Delphi programming language in order to make the meteorological parameters usable in the ISCST3.

The field measurements and model results were used in order to assess the health risks of BTEX for workers and employers, and the people living near the landfill area. Risk assessment was performed for both carcinogen (benzene) and non-carcinogen (toluene, ethylbenzene and mpo-xylenes) compounds. It is found that a carcinogenic health risk may be occurred due to benzene.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de katı atık üretimi her geçen gün artmaktadır. Bu artış nüfus artışıyla doğru orantılı olduğu gibi, yaşam standartlarının gelişmesiyle de ilişkilidir. Oluşan katı atıkların bertaraf edilmesi, günümüzde özellikle büyükşehirlerin en önemli sorunlarından bir tanesi haline gelmiştir. Modern katı atık yönetimi, atıkların sadece bertaraf edilmesini değil, çevresel açıdan kesinlikle problemsiz ve ekonomik açıdan da uygulanabilir bir yöntem tercih edilmesini gerektirmektedir. Bu ise en basit şekliyle “sürdürülebilir atık yönetimi” ni tarif etmektedir. Günümüzde, toprak birim fiyatlarının çok yüksek olduğu gelişmiş ülkelerde, katı atıklar yaygın olarak yakılarak bertaraf edilirken, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde bu atıklar düzenli depolama yöntemiyle bertaraf edilmektedir. Düzenli depolamayı, toprağa gömme veya depolamadan ayıran en önemli fark, bunların birer mühendislik yapıları olmalarıdır. Diğer bir deyişle, depolanacak alanın jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, geoteknik ve ekonomik açıdan uygunluğu dikkate alınmalıdır. Ayrıca, alanın taban yapısı, oluşacak süzüntü sularının drenajına uygun olmalı ve bu suların arıtılması sağlanmalıdır. Oluşan deponi gazı çevre kirliliğine sebep olmadan uzaklaştırılmalı ve alan kapatıldıktan sonra doğaya geri kazandırılmalıdır.

2007 yılı itibariyle ülkemizde bu şartlarda inşa edilmiş ve işletilmekte olan 12 adet düzenli depolama alanı bulunmaktadır. Bu çalışmada Kocaeli Büyükşehir Belediyesine bağlı bir kuruluş olan İzmit Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme A.Ş. tarafından işletilmekte olan İZAYDAŞ düzenli depolama alanı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Depolama alanı 1997 yılında işletilmeye açılmış olup toplam yüzey alanı 363007 m² ve toplam hacmi ise 3163000 m³'tür. Alanın süzüntü suları drenaj borularıyla toplanmakta, ön arıtmadan geçirildikten sonra Kocaeli şehir atıksularına karıştırılmaktadır. Oluşan deponi gazı gaz toplama boruları ile toplanmakta ve pasif gaz bacaları ile atmosfere verilmektedir. Kocaeli ve çevresinden toplanan atıklar herhangi bir ayırma veya işleme tabi tutulmadan olduğu gibi alana dökülmekte ve sıkıştırılmaktadır. Toplam 7 adet lota bölünmüş olan

aland, 6 adet lot (264842 m²) evsel atıkların depolanması için, 1 adet lot (98165 m²) ise endüstriyel atıkların depolanması için ayrılmıştır. 2000 yılında 7 numaralı lot, 2005 yılında 5 numaralı lot ve 2006 yılı sonunda ise 4 numaralı lot kapatılmış ve üzerleri doğal toprak örtüsü ile örtülmüştür. Şu anda depolama işlemi 3 numaralı lotta devam etmektedir. 2006 yılında 7 numaralı lotta bulunan gaz borularında gerekli bağlantılar oluşturularak tek bir noktada toplanma sağlanmış ve deponi gazı bir yakıcı (flare) yardımıyla yakılarak atmosfere vermeye başlanmıştır. Zaman içerisinde, diğer lotlarda da aynı işlemin yapılması düşünülmektedir.

Bu çalışma dört ana adımda gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

1. Hazırlık Çalışmaları: Çalışmanın gerçekleştirildiği İZAYDAŞ düzenli depolama alanına atık sağlayan Kocaeli ve çevresine ait atık miktarları ve bileşenleri belirlenmesini kapsamaktadır. Bu veriler elde edildikten sonra, depolanan atıklara ait teorik global kimyasal denklem elde edilmiş ve deponi gazının kompozisyonu öngörülmüştür.

2. Modelleme Çalışmaları: Hazırlık aşamasında elde edilen veriler kullanılarak, öncelikle USEPA tarafından önerilen LandGEM 3.02 modeli ile depolama alandan çıkması muhtemel gazlar, konsantrasyonları ve zamana bağlı olarak miktarları belirlenmiştir. Daha sonra, ISCST3 (ISC-AERMOD View 5.3) gaz dağılım modeli yazılımı ile gaz dağılımı tespit edilmiştir. Modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere, meteorolojik veri işlemek, düzenlemek ve kontrol etmek amacıyla Delphi Programlama dilinde MeteoOku yardımcı programı yazılmıştır.

3. Ortam Havasında BTEX Ölçümleri: Çalışma bölgesinde gaz çıkışının önemli oranda olduğu Lot 7 ve Lot 5'te bulunan gaz toplama ve tahliye bacaları etrafında belirlenen noktalardan atmosferik hava numuneleri alınmış ve BTEX konsantrasyonları, USEPA Method TO-17'ye göre Thermal Desorber ve GC-FID cihazları kullanılarak belirlenmiştir.

4. Sağlık Riski Değerlendirmesi: Elde edilen dağılım modelinden ve laboratuarda elde edilen analiz sonuçlarından yararlanarak, depolama alanında çalışan işçiler ve

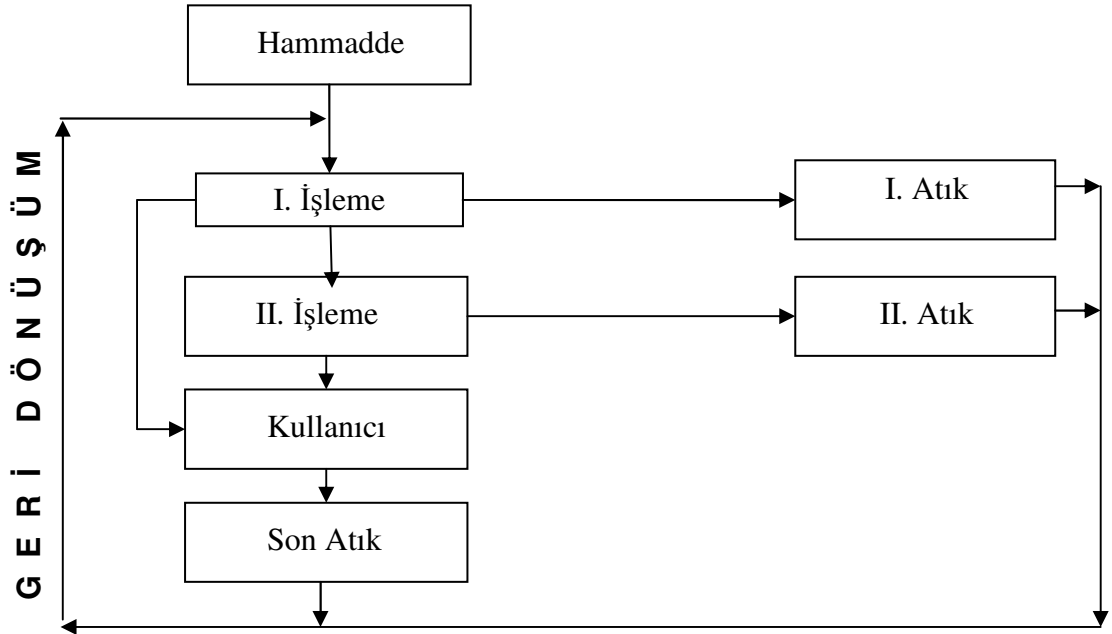
Çevredeki yakın yerleşim bölgelerinde yaşayanlar açısından olası sağlık riskleri değerlendirilmiştir.

Elde edilen dağılım modellemesi ve sağlık riski verilerine dayanılarak, öncelikle tesiste çalışanların ve daha sonra tesis çevresine yaşayan insanların maruz kalabilecekleri VOC miktarları ile kanserojen ve kanserojen olmayan risk değerleri hesaplanmıştır. Risk değerlendirmesi çalışmasının daha anlamlı olması ve daha gerçekçi bir dağılım elde etmek için @Risk Desicion Tools v4.5 (Palisade Software) programı kullanılarak veriler üzerinde “monte carlo” simülasyonu uygulanmıştır.

BÖLÜM 2. KATI ATIK DEPOLAMA SAHALARINDA DEPONİ GAZI OLUŞUMU ve ÖZELLİKLERİ

2.1. Düzenli Depolama Yöntemiyle Katı Atık Bertarafı

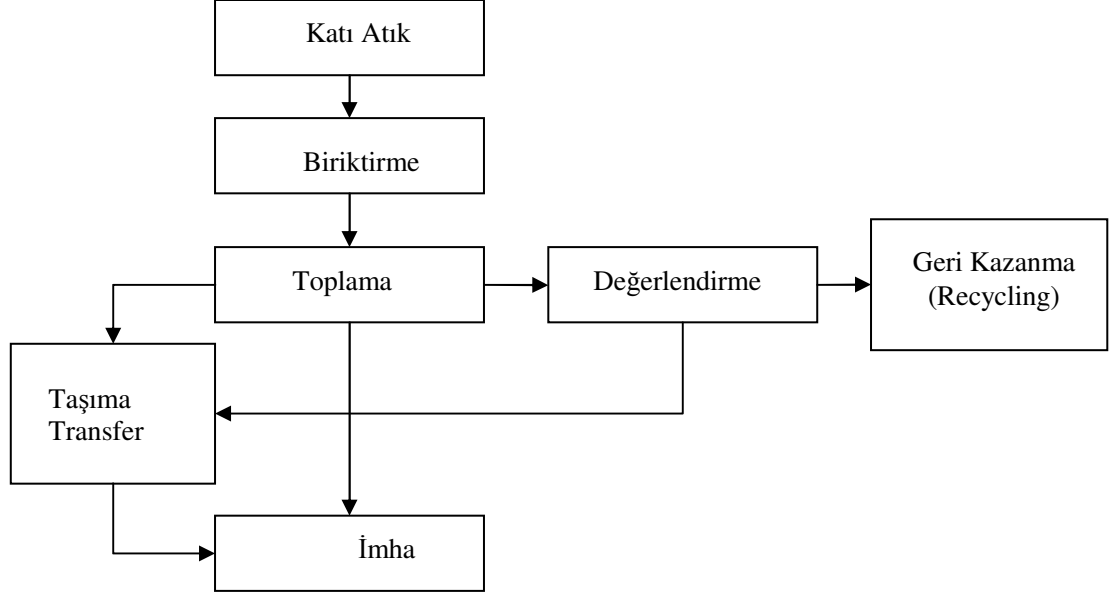
Her türlü üretim ve tüketim faaliyetleri sonucunda, fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özellikleriyle karıştırıldıkları alıcı ortamların doğal bileşim ve özelliklerinin değişmesine yol açarak, dolaylı veya doğrudan zararlara neden olabilen ve ortamın kullanım potansiyelini etkileyen katı haldeki maddelere katı atık denir. Hammaddenin maden olarak çıkarılıp, tüketime hazır ürün oluşması süreci boyunca katı atık oluşumu devam etmektedir. Gelişmiş toplumlarda katı atık oluşumu aşağıdaki şekilde olmaktadır.



Şekil 2.1: Katı atık üretimi [1].

Üretilen atıklar kaynaklarına göre evsel, endüstriyel, ticari, tıbbi, tarımsal, park ve bahçe, inşaat/hafriyat atıkları vb. şekilde sınıflandırılabilir. Oluşan atıkların yeniden kullanılması ve geri kazanımı günümüzde oldukça önem kazanmış olmakla birlikte,

katı atık yönetiminin temelini oluşturmaktadır. Şekil 2.2' de katı atık yönetiminin ana hatları gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Katı atık yönetimi [1].

Çoğunlukla katı atık tabiri tehlikeli olmayan katı atıkları ifade etmekle birlikte, kentsel yaşam sonucu ev, iş yeri, kurum ve kuruluşlarda oluşan kısmen küçük boyutlardaki kentsel katı atıkları (MSW) içermektedir. Bu atıkların çoğunluğa yakın bir kısmı çöp toplama sistemi ile toplanmakta ve ayırma, geri kazanma, depolama veya yakma gibi işlemlere tabii tutulmaktadır. Katı atıkların bertarafı halk sağlığı kurallarına, ekonomi, mühendislik, estetik ve çevresel faktörlere uyumlu şekilde yapılmalıdır [2].

Evler, yaşam alanları, parklar, caddeler ve ticari alanlarda üretilen katı atıklar evsel katı atık olarak tanımlanmakla birlikte bu atıklar genellikle farklı organik maddeleri, yiyecekleri, kâğıt, ahşap, nem ve plastik maddeleri içermektedir [3].

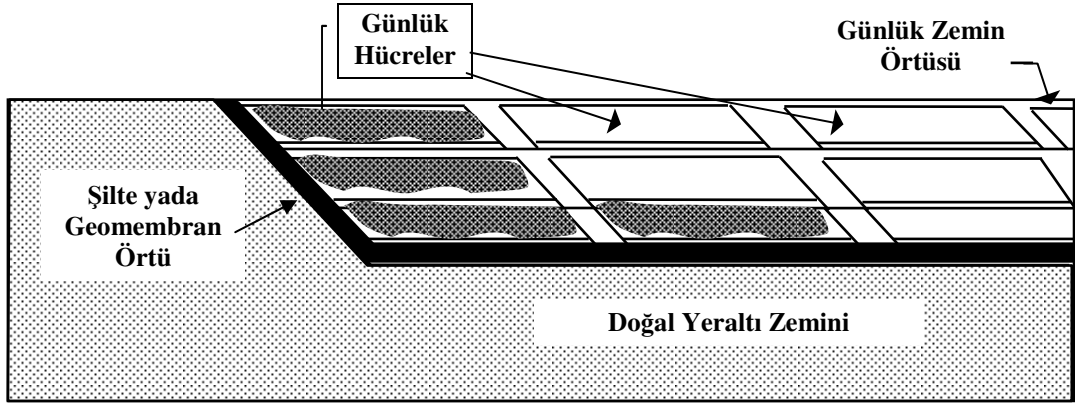
Hızla artan nüfus oranları ve tüketim alışkanlıklarındaki değişime paralel olarak büyük bir hızla üretilen katı atıkların bertarafı çok ciddi bir çevre problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Artan çevre bilincinin sonucu olarak katı atıkların çevreye zarar vermeyecek biçimde bertaraf edilmesine yavaş yavaş da olsa geçilmeye başlanmıştır. Bu sayede çok farklı katı atık bertaraf yöntemleri geliştirilmiştir.

Katı atık bertaraf yöntemleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Düzenli depolama,
2. Geri kazanım,
3. Yakma,
4. Kompostlaştırma,
5. Isıl parçalanma (Piroliz),
6. Diğer metotlar.

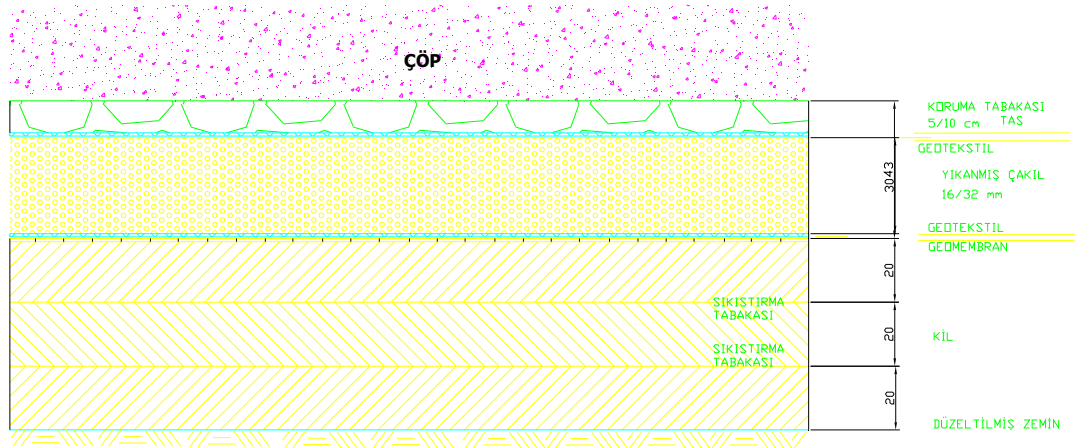
Katı atıkların nihai bertarafı için kullanılan en yaygın yöntem düzenli depolama veya sıhhi depolamadır. Örneğin ABD’de üretilen ve yıllık 220 milyon ton’u bulan kentsel katı atıkların %55’i sayıları 2500’ü bulan düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmektedir [6]. Düzenli depolama mühendislik işlemleri ile dizayn edilmekte ve bir takım standartlara göre işletilmektedir [2, 3]. Bu yöntemde genel olarak çöp özel yöntemlerle hazırlanmış depolama alanına (deponi) dökülmekte, dozerlerle sıkıştırılarak hacimsel küçültme yapılmakta ve dolan deponi alanı toprak örtüsü ile örtülerek kapatılmaktadır [3]. Deponi alanı için yer seçimi, yöntemin en önemli aşamasıdır. Çevreyi hiç bir şekilde kirletmeyecek düzenli bir depolama alanında, toplanan çöpleri uzaklaştırmak için seçilen alanın önce geçirimsizliği tam anlamıyla sağlanmalıdır. Bu geçirimsizlik sağlanırken çöplerden kaynaklanacak süzüntü sularını toplayacak drenaj sistemleri yapılmaktadır. Ayrıca depo alanında oluşan gazlar ve katı atıklar hiç bir şekilde çevreye zarar vermemelidir. Tüm bu hazırlıklar sağlandıktan sonra çöplerin bu sahaya dökülmesine başlanmaktadır. Dökülen çöpler her gün iyice sıkıştırıldıktan sonra her taraftan en az 20 cm. kalınlığında toprakla örtülmekte ve sıkıştırılmaktadır. Arazi doldukça, çürüme (putrefikasyon) neticesinde, içinde oluşacak olan gazları uzaklaştırmak için gerekli boru tertibatı yani depolama gazı (LFG) uzaklaştırma sistemi de yerleştirilmektedir. Arazi dolduktan sonra 1 m. toprakla örtülüp sıkıştırılmakta ve yeşillendirilmektedir [4, 5]. Şekil 2.3’te bir düzenli depolama tesisi üst yapısı ve Şekil 2.4’te dikey kesit yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Katı atık depolama tesisi [4].

Katı atık depo sahalarında, çevre kirliliği açısından en önemli problem “sızıntı suyu” dur. Her türlü kirletici parametreyi içeren sızıntı suyu yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını kirletmektedir. Sızıntı suyunun bu olumsuz etkilerini önlemek için depo sahasının tabanı geçirimsiz hale getirilmelidir.

Bu geçirimsizliği sağlamak için doğal veya suni malzemeler ya da her ikisi birlikte kullanılabilir. Bu konuyu daha iyi açıklamak amacıyla Şekil 2.4’te depolama sahaları için doğal malzemeli taban geçirimsizlik sistemi verilmiştir.



KATI ATIK DEPOLAMA ALANLARINDA
TABAN DRENAJ VE GEÇİRİMSİZLİK TABAKALARI

Şekil 2.4: Deponi tabanı geçirimsizlik sistemi.

Düzenli depo tesislerinin avantajları şunlardır [5]:

1. Uygun arazi bulunduğu takdirde ekonomik yöntemdir,
2. Ön yatırımı nispeten en az olan yöntemdir,
3. Nihai imha ya da bertaraf metodu olup her türlü çöp için uygulanabilir,
4. Esnek bir metottur. Katı atık miktarına göre kapasite kolaylıkla arttırılabilir.
5. Kullanılıp kapatılan araziden rekreasyon amacıyla istifade edilebilir. (Park, yeşil alan, spor tesisleri vb. yerler.)

Dezavantajları ise şunlardır [5]:

1. Kalabalık yörelerde, ekonomik taşıma mesafesi içinde uygun yer bulmak güçtür,
2. Yerleşim yerlerine yakın deponi alanları için, halkın muhalefetiyle karşılaşılabilir,
3. Tamamlanmış deponi alanlarında göçük ve yerel çökmeler olabileceğinden, devamlı olarak bakımı gereklidir,
4. Sıvı ve gaz sızıntıları kontrol edilmezse, sakıncalı durumlar ortaya çıkabilir,
5. Depo gazının meydana getirdiği patlama, yangın tehlikesi, kirlilik taşıyıcı ve haşere üremesi, çevreye toz ve kötü koku yayılmasına neden olur.

Tüm bu durumlar göz önüne alınarak ve genel bir değerlendirmesi yapılarak, seçilen alana bir düzenli depolama tesisinin yapılıp yapılamayacağı kararlaştırılır.

2.2. Kentsel Katı Atık Bileşimi

Kentsel katı atıklar (MSW) genellikle çöp olarak tanımlanmaktadır. Bu atıklar solventler, boyalar ve katkı maddeleri (vernik vs.), gazete kâğıtları, paketleri, kutuları, mürekkep, tekstil ürünleri, plastik içerikli ürünleri, cam şişeleri, pilleri, yemek artıklarını, çimen, ot ve dal, ağaç parçaları gibi organik materyalle ile diğer günlük tüketim maddelerini içermektedir. MSW bileşimi nüfusun yaşam stili, yaşam standartları, genel tüketici profili ve bölgenin teknolojik seviyesi gibi birkaç faktöre bağlıdır [12]. Tablo 2.1’de örnek bir katı atık bileşimi ABD için verilmiştir.

Tablo 2.1: Tipik bir katı atık bileşimi [1, 12].

Atık Bileşeni	Yüzde Ağırlık
Kâğıt	38.1
Bahçe atıkları	12.1
Yiyecek atıkları	10.9
Plastikler	10.5
Metaller	7.8
Lastik, deri ve tekstil	6.6
Cam	5.5
Ağaç	5.3
Diğer inorganik atıklar	3.2

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi de katı atık bileşimine oldukça etki etmektedir. Tablo 2.2’de ülkelerin gelişmişlik seviyeleri baz alınarak hazırlanmış ortalama katı atık bileşimi verilmiştir.

Tablo 2.2: Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre katı atık bileşimi [1].

Atık Bileşeni	Geri kalmış ülkeler	Gelişmekte olan ülkeler	Gelişmiş olan ülkeler
Organik			
Gıda artıkları	40-85	20-65	6-30
Kâğıt, karton	1-10	8-30	25-60
Plastik	1-5	2-6	2-8
Tekstil	1-5	2-10	2-8
Bahçe artıkları	1-5	1-4	10-20
Odun	1-5	1-1	1-4
İnorganik			
Cam	1-10	1-10	4-12
Metaller	1-5	1-5	2-12
Toprak, kül, cüruf, vs.	1-40	1-30	0-10

Mevsimsel değişiklikler de bir bölgede oluşan katı atık bileşimini etkilemektedir. Tablo 2.3’te mevsimsel bazda katı atık bileşimi verilmiştir.

Katı atık bileşimi C, N, S, nem ve yanabilirlik gibi bir takım kimyasal karakteristik özelliklere sahiptirler. Özellikle yanabilirliklerine göre katı atıklar yakma işlemine tabii tutularak bertaraf edilebilir [3]. Tablo 2.4’te yaklaşık ve kesin analiz sonuçlarına göre kentsel katı atık bileşiminin ortalama kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Katı atık bileşiminin yoğunluğu lokasyona, mevsime ve nem içeriği gibi bir takım özelliklere bağlı olarak değişmektedir [3].

Tablo 2.3: Mevsimsel bazda katı atık bileşimi ve yüzdelik değişim [1].

Atık Bileşeni	Yüzde Ağırlık		Yüzdelik Değişim	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz
Gıda artıkları	11.1	13.5	-	21.6
Kağıt, karton	45.2	40.0	11.5	-
Plastik	9.1	8.2	9.9	-
Tekstil	4.0	4.8	-	15.0
Bahçe artıkları	18.7	24.0	-	28.3
Cam	3.5	2.5	28.6	-
Metaller	4.1	3.1	24.4	-
Toprak, kül, cüruf, vs.	4.3	4.1	4.7	-
Toplam	100	100	-	-

Tablo 2.4: Kentsel katı atık bileşiminin ortalama kimyasal analiz sonuçları [3].

Parametre	Yaklaşık Analiz (%)	Nihai Analiz (%)
Nem	15-35	15-35
Uçucu madde	50-60	-
Yanmayanlar	15-25	-
En üst ısıl değer	3000-6000 Btu/lb	-
Karbon	-	15-30
Hidrojen	-	2-5
Oksijen	-	12-24
Azot	-	0.2-1.0
Kükürt	-	0.02-0.1

2.3. Deponi Gazı Oluşumu

Katı atıklar içindeki organik bileşiklerin oksijensiz (anaerobik) ortamda parçalanması neticesinde çöp gazları ya da depo gazları (landfill gas - LFG) denilen son ürünler ortaya çıkar [7]. Çöp gazlarının kimyasal bileşimi, atıkların miktar ve özellikleri, sıkışma durumu, yığının büyüklüğü ve ne kadar bir süredir kullanıldığı gibi bazı faktörlere bağlıdır. Normal şartlar altında çöp gazlarının hacimce %85' i aşan kısmı metan (CH₄) gazıdır. Geri kalan kısmı, başta karbondioksit (CO₂) olmak üzere daha az miktarda karbonmonoksit (CO), hidrojen sülfür (H₂S), hidrojen (H₂), nitrojen (N₂), toz ve su buharlarından meydana gelmektedir. Evsel nitelikteki çöplerin depolanmasından sonraki ilk bir kaç ay zarfında başlayan gaz çıkışı yaklaşık 20 yıl sürmektedir. Pratikte ölçülen toplam gaz miktarıysa depolanan 1 ton çöp başına 60 - 80 m³ arasında değişmektedir [7]. Depolama tesislerindeki gaz üretimi, depolama işleminden önce atıkları daha da küçük parçalara ayırmak ve nem içeriğini değiştirmek suretiyle kontrol edilebilmektedir [3].

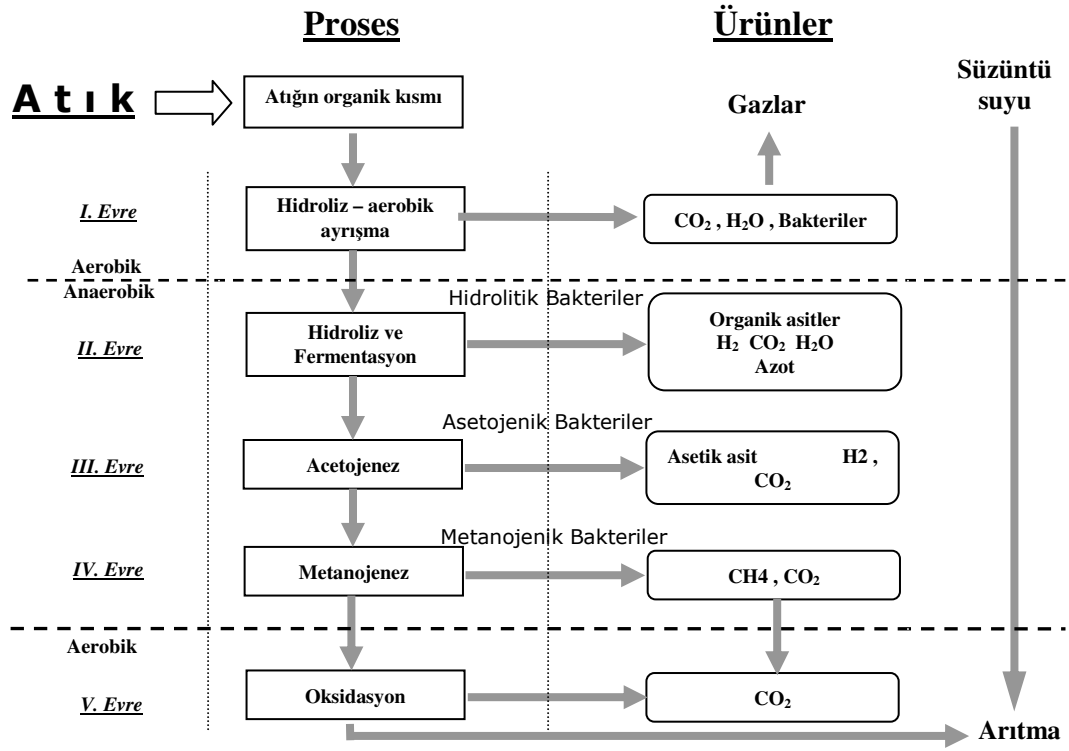
Depolanan atıklar genel olarak dört kategoride değerlendirilebilir; hızlı bozunabilen atıklar (gıda atıkları), orta hızlı bozunabilen atıklar (kâğıt, odun, vs), yavaş bozunabilen atıklar (tekstil, plastik atıkları) ve inorganik atıklar [8]. Depolanan atıkların organik kısmı, depolandıktan kısa bir süre sonra, buharlaşma (deponi içerisinde sıcaklık artışına bağlı olarak atıkların sıvı kısmının gaz haline dönüşmesi), kimyasal reaksiyonlar (atık içerisinde bulunan çok sayıda kimyasal madde arasında oluşabilecek reaksiyonlar sonucunda ürün olarak gazın oluşumu) ve bakteriyolojik ayrışmalar sonucu gaz haline dönüşmeye başlar [3, 9]. Bunların içerisinde bakteriyolojik ayrışma en önemli prosesdir. Bakteriyolojik ayrışma, başlangıçta oksijen mevcudiyetinden dolayı aerobik olarak gerçekleşirken, zamanla oksijenin tükenmesiyle beraber anaerobik olarak devam eder. Aerobik ayrışma prosesi sonucunda karbon dioksit (CO₂) ve su buharı (H₂O) oluşur. Örnek bir reaksiyon aşağıda verilmiştir.



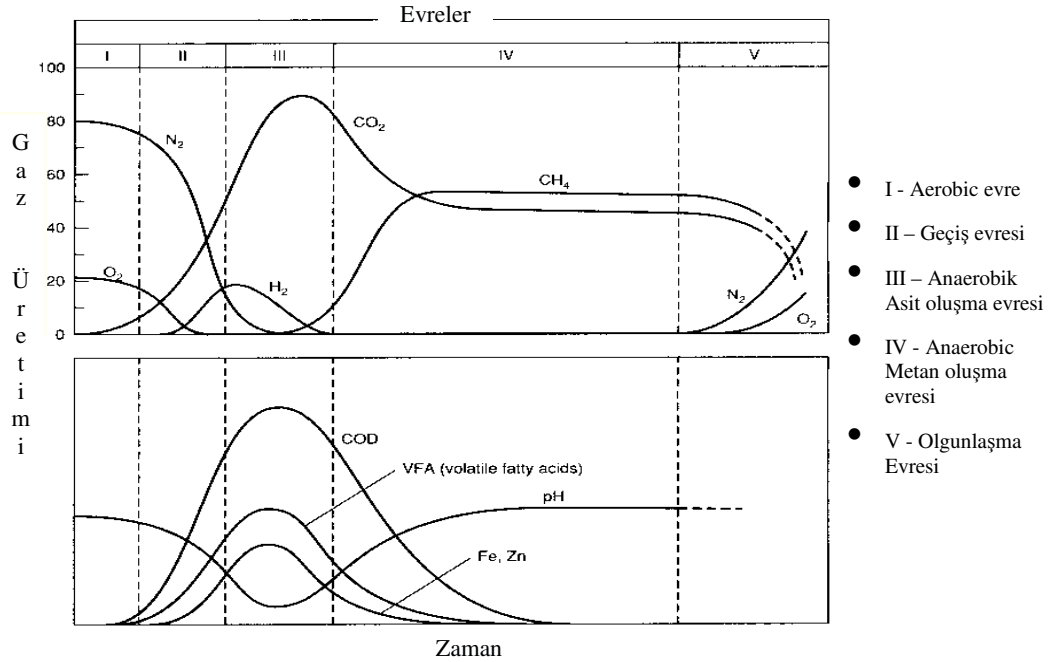
Ortamda kısa sürede oksijenin tükenmesi sonucu, reaksiyonlar anaerobik olarak gerçekleşmeye başlar ve büyük çoğunluğunu CH₄ ve CO₂'nin oluşturduğu deponi gazı (LFG) oluşur [1]:



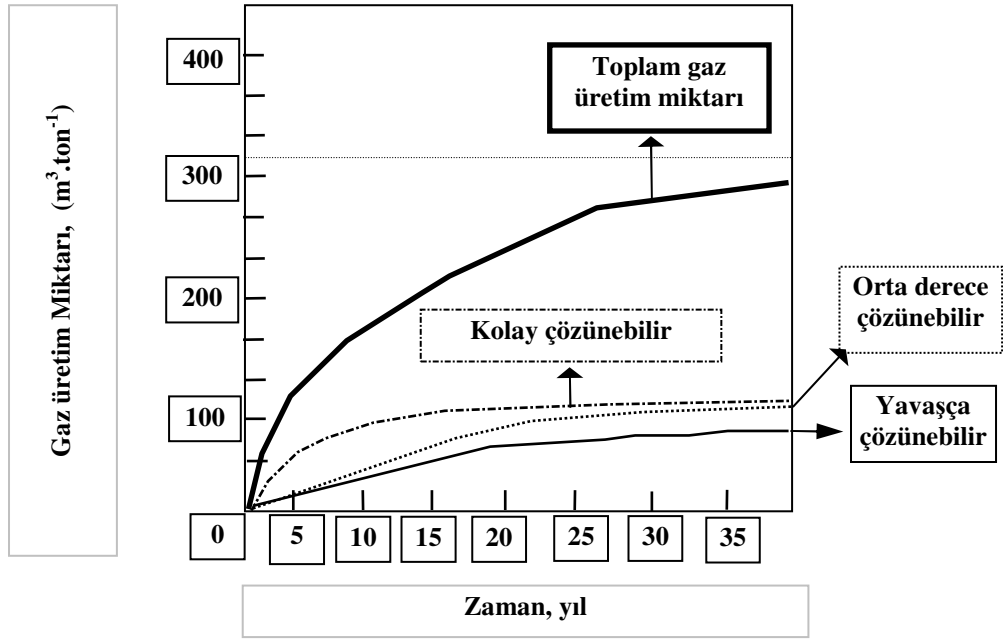
Atık ayrışımındaki temel evreler Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Aerobik evrede belli türde mikroorganizmalar rol oynarken, anaerobik evrede bakteriler konsorsiyum şeklinde görev alırlar. İlk evrede, büyük organik bileşikler (hidrokarbonlar, yağlar, proteinler), bakteriler tarafından kullanılabilir daha küçük moleküllere çevrilirler. İkinci evrede bu işlemler anaerobik olarak gerçekleşir. Üçüncü evrede asit oluşumuyla beraber ortamın pH'ı düşer. Son evrede ortam tamamen anaerobiktir ve metan üreten bakteriler baskındır. Bu evrede CH₄, CO₂ ve H₂'den veya asetik asitten üretilir. Son evrede, ortamdaki organik maddenin azalmasıyla beraber, gaz üretimi azalır ve ortam atmosferik koşullara geri dönmeye başlar (Şekil 2.6). Yıllara göre oluşabilecek toplam deponi gazı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Atık ayrışmasında temel evreler [10].



Şekil 2.6: Deponi gazı oluşum evreleri [8].



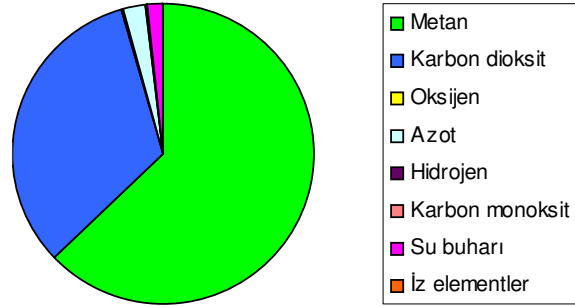
Şekil 2.7: Yıllara göre deponi gazı oluşumu [8].

2.4. Deponi Gazı Bileşimi

Deponi gazının büyük çoğunluğunu CH₄ ve CO₂ oluşturmaktadır. Teorik olarak 1 kg organik karbonun normal şartlarda tam olarak parçalanması sonucu, genellikle metan ve karbondioksitten oluşan 1.8 m³ lük bir gaz hacmi meydana gelir [11].

Oluşan bu gazların yanında konsantrasyonları daha düşük çok çeşitli gazlarda oluşmaktadır (Şekil 2.8). Deponi gazı, özellikle çok az konsantrasyonlarda fakat büyük çoğunluğunun toksik olma olasılığı yüksek iz gazları da içerir. Tablo 2.5'te düzenli depolama sahalarında en çok rastlanan bazı iz gazlar verilmiştir. Bu iz gazlar uçucu organik bileşikler (volatile organic compounds – VOCs) olarak isimlendirilir ve bazıları çok iyi bilinen kanserojen gazlardır. Örneğin benzen, toluen, etilbenzen ve ksilenler (m,p,o) kısaca BTEX olarak adlandırılan aromatik bir VOC grubudur. Deponi gazındaki uçucu organik bileşenlerin esas kaynakları olarak katı atıklarla beraber depolanan plastikler, solventler, boyalar ve katkı maddeleri (vernik vs.), gazete kâğıtları, mürekkep, tekstil ürünleri ve yapıştırıcı maddeler sayılabilir.

Bileşen	Değer (%)
Metan	63.8
Karbon dioksit	33.6
Oksijen	0.16
Azot	2.4
Hidrojen	0.05
Karbon monoksit	0.001
Su buharı	1.8
İz elementler	0.006



Şekil 2.8: Ortalama deponi gazı bileşenleri [13].

Tablo 2.5: Düzenli depolama sahalarında en çok rastlanan iz gazlardan bazıları [1].

Kimyasal isim	Kimyasal grup	Ort. Kompozisyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1,1-diklorometan	Halojenli organikler	476223
klorobenzen	Halojenli organikler	246589
1,1,1-trikloroetan	Halojenli organikler	189826
klorodiflorometan	Halojenli organikler	167403
hidrojen sülfür	Organo sülfür bileşikleri	134223
tetrakloroeten	Halojenli organikler	112746
toluen	Aromatik hidrokarbonlar	86221
kloroetan	Halojenli organikler	77867
n-butan	Aromatik hidrokarbonlar	67412
kloroeten	Halojenli organikler	64679
etilbenzen	Aromatik hidrokarbonlar	37792
1,2-diklorotetrafloroetan	Halojenli organikler	34046
alpha-pinen	Sikloalkanlar	33248
ksilen	Aromatik hidrokarbonlar	23900
n-hekzan	Alkanlar	19850
diklorometan	Halojenli organikler	19054
n-nonan	Alkanlar	19015
3-metil-2-butan	Ketonlar	13614

Deponi gazı üretimini etkileyen temel faktörler şunlardır [1]:

- Depolama alanının işletim yapısı: Depolanan atığın tane boyutunun azaltılması ve sıkıştırılması ortamın anaerobik koşulunu artırır. Küçük alanların hızlı bir şekilde

doldurulması da yine aerobik ortamın azalmasına ve dolayısı ile sıcaklığın düşmesine sebep olur.

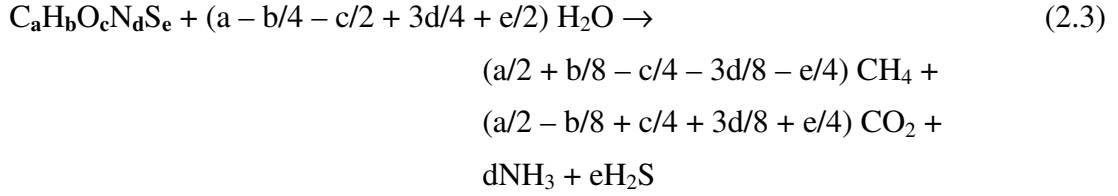
- Atık yoğunluğu : Yoğunluğun artması daha fazla gaz üretim potansiyeline sebep olur. Bunun yanında atığın geçirgenliği azalır ve gaz basıncının artmasına sebep olur. İlave olarak süzüntü suyu infiltrasyonu azalır ve su içeriğinin artmasına sebep olur.
- Su içeriği : Optimum su içeriği % 50 – 60' dır.
- pH : Optimum pH aralığı 6.5-8.5'dir. Bu aralığın dışında bakteriyel faaliyetler azalır. Genellikle evsel atıklar asidiktir.
- Sıcaklık : Optimum sıcaklık aralığı 35 – 45 °C'dir. 10 -15 °C 'den daha az sıcaklıklarda gaz üretimi azalır.
- Oksijen miktarı : Deponide oluşan gazın pompalanması sonucunda atmosferden oksijen girişi olabilir. Bu ise aerobik koşulların etkili olmasına ve metan üretiminin azalmasına sebep olur. İlave olarak yangın oluşumlarına da sebep olabilir.

Katı atık düzenli depolama alanlarının doğru yönetimi ve işletilmesi çevrenin korunması adına önemli bir konudur. CH₄ ve CO₂ nedeniyle meydana gelen global ısınma ve sera etkisinin yanı sıra oluşan uçucu organik bileşikler de bu alanlardan hem havaya hem de suya karışmaktadır. Suyu karışan gaz bileşikler suda çözünme oranlarına bağlı olarak su kirliliğine yol açmaktadırlar. Havaya karışan bileşikler ise başta koku oluşumu olmak üzere havanın kalitesini azaltıcı etki yapmaktadırlar. Bu bileşiklerin birçoğunun kanserojen olma olasılıklarının yüksekliği, insan sağlığı açısından da önem arz etmektedir [14].

2.4.1. Buswell denkleminde göre deponi gazı kimyasal bileşimi

Deponi alanına depolanan atıkların ayrışması sonucu oluşacak gaz miktarını, gaz bileşenlerini ve bileşenlerin yüzde oranlarını belirleyebilmek için, atığın teorik kimyasal denkleminin belirlenmesi gerekmektedir. Atığı C, H, O, N ve S içeren bir kimyasal formül ile karakterize etmek için aşağıda verilen Buswell denklemi kullanılmakta ve bu bileşenlerden yararlanılarak, katı atıkları temsil eden kimyasal formül elde edilmektedir. Bu denkleme göre atık C_aH_bO_cN_dS_e şeklindeki bir denklem

ile ifade edilebilir [13]. Hesaplamalarda kullanılan gerekli değerler Tablo 2.6’ da verilmiştir.



Tablo 2.6: Atık kompozisyonunu belirten kimyasal formüller [1].

Bileşen	Oran (%)	Atom Ağırlığı	Mol Miktarı
C	20.39	12.01	1.698
H	2.60	1.01	2.576
O	12.43	16.00	0.777
N	0.69	14.01	0.049
S	0.13	32.07	0.004
Kül	14.16	-	-
Toplam	50.40	-	-

Kocaeli bölgesinde üretilen katı atıkların içeriğine göre oluşabilecek depolama gazının kimyasal bileşiminin belirlenmesi daha sonraki bölümlerde kapsamlı olarak ele alınmıştır.

Buswell denklemi kullanılarak elde edilen, gaz kompozisyonu ve gaz miktarı teorik bir değerdir. Burada belirlenen değer, atığın organik kısmının tamamen ayrıştığı ve deponi gazına dönüştüğü durumu ifade etmektedir. Ancak, gerçekte organik kısmın ancak %80’i tam olarak ayrışabilmektedir. Dolayısıyla, bu yöntemle belirlenen gaz miktarı, teorik olarak elde edilebilecek maksimum gaz miktarıdır. Ayrıca kükürt miktarının diğer bileşenlere oranla, çok düşük olacağı göz önüne alındığında ihmal edilebilmesi, uygulanacak işlemleri daha da basite indirgeyebilmektedir.

2.4.2. Deponi gazı miktarının hesaplanması

Depolama alanına depolanan yıllık atık kabul miktarları belli ise aşağıdaki denklem kullanılarak yıllık bazda oluşan toplam deponi gazı miktarı hesaplanabilir [1].

$$Q = \sum_{i=1}^n 2kL_0M_i e^{-kt_i} \quad (2.4)$$

Bu denklemde;

- Q : Toplam gaz miktarı (m³),
n : Atık dolun periyodu (yıl sayısı),
M_i : t zamanında depolanan yaş atık miktarı (kg),
k : Gaz oluşum oranı (yıl⁻¹) (değer aralığı Tablo 2.7’de verilmiştir),
L₀ : Atığın toplam metan üretme potansiyeli (m³/kg) (Tablo 2.7’de verilmiştir),
t : Atığın i indeksindeki yaşını (yıl) ifade etmektedir.

Tablo 2.7: L₀ ve k değişkenlerin alabileceği değer aralıkları [1].

Değişken	Aralık	İklim koşulları		
		Yağışlı	Orta	Kuru
L ₀	0 - 5	2.25 - 2.88	2.25 - 2.88	2.25 - 2.88
k	0.003 - 0.4	0.1 - 0.35	0.05 - 0.15	0.02 - 0.10

Buna ilave olarak birinci dereceden bozunma denklemi de gaz miktarının belirlenmesi için kullanılabilir [1]:

$$Q_T = 2.L_0.R.(e^{-k.c} - e^{-k.t}) \quad (2.5)$$

Bu formülde;

- Q_T : Hesaplamanın yapıldığı yıl içerisinde üretilen toplam gaz miktarı (m³),
L₀ : Atığın toplam metan üretme potansiyeli (m³/kg),
R : Ortalama atık kabul oranı (ton),
k : Metan üretme oranı (yıl⁻¹),
t : Deponinin işletilmeye başlamasından itibaren geçen süre (yıl),
c : Deponinin kapatılmasından itibaren geçen süreyi (yıl) ifade etmektedir.

Modelleme çalışmasında kullanılan ve USEPA tarafından hazırlanan LandGEM modeli de bu ampirik denklemleri kullanarak depolama tesislerinin, gaz üretim

potansiyelini hesaplamaktadır. Buna dayanılarak ilerleyen bölümlerde Kocaeli bölgesi için gerçekleştirilen çalışmada LandGEM v3.02 modeli kullanılarak deponi gazı üretim potansiyeli hesaplanmıştır.

2.4.3. Deponi gazından enerji üretimi kapasitesinin hesaplanması

Katı atık depolama tesisleri aynı zamanda, oluşan son ürün gazlarını yakmak (özellikle CH₄) ve bundan elektrik enerjisi üretmek suretiyle bir enerji üretim tesis işlevi de görebilmektedir. Tüm dünyada bu konu özellikle ele alınmakta ve depo gazından enerji üretim sistemleri, uygun bir çok depolama tesisine kurulmaktadır. Bu tesislerin fizibilitesindeki ilk basamak gaz üretim potansiyelinin hesaplanması ve sonraki adım ise maliyet analizi yapmaktır.

LFG' den enerji üretmek için içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri ve yakıt hücreleri kullanılmaktadır. Üretilen elektrik enerjisi anlaşmalı bir kuruma satılabilmekte veya iç çevrimde kullanılabilir. İçten yanmalı motorlar gaz üretimi 1 – 3 MWh enerji kapasitesi için uygun olduğu durumlarda çok ekonomiktir. 3 MWh enerji kapasitesi üzerinde türbinler daha ekonomik olmaktadır. İçten yanmalı motorların avantajları arasında düşük çalışma maliyeti, iyi verim alınabilmesi, bir yeden başka bir yere götürülebilmesi nedeniyle mobil olabilmeleri sayılabilir [2].

Eğer deponi gazından enerji üretimi uygun kapasitede olmuyorsa, oluşan gaz kontrollü yakıcılarda (flare) yakılarak bertaraf edilmektedir.

Oluşacak gazların kısmi miktarları Buswell denklemine göre katı atık bileşiminden hesaplanabilmektedir. Toplam oluşacak gaz miktarları Denklem 2.4 veya Denklem 2.5 kullanılarak hesaplanabilir. Birim gaz başına elde edilebilecek enerji kapasitesi de belirlenebilirse, depolama tesisinin enerji üretim potansiyeli hesaplanabilir. Mesela gazın elektrik enerjisi üretiminde kullanılacağı varsayılırsa ve miktar olarak en önemli bileşenin CH₄ olduğu kabul edilirse, metanın ısı değeri ve miktarı çarpılarak üretilebilecek enerji miktarı bulunabilir. Metan gazının ısı değeri yaklaşık olarak 33810 kJ/m³'dir. Oluşan toplam deponi gazının yüzde ellisi metan olarak kabul edilirse, ısı değeri yaklaşık olarak 16905 kJ/m³ olur [1]. Örneğin, eğer

deponi alanı yaklaşık olarak yılda 4000000 m³ gaz üretebiliyorsa, saatte 457 m³ gaz oluşumu var demektir.

Buna göre;

Saatlik ısı değeri: $16905 \text{ kJ} \times 457 \text{ m}^3 = 7725585 \text{ kJ}$.

Eğer elektrik üretimi için içten yanmalı bir motor kullanılması düşünülür ve bu motorun 1 kW elektrik enerjisi üretmek için 13650 kJ'lük bir enerji gerektirdiği kabul edilirse deponi alanının sağlaması gerekli enerji miktarı:

$7725585 \text{ kJ} / 13650 \text{ kJ/kW} = 566 \text{ kW}$ olacaktır.

Yıllık üretilen kW saatlik (kWh) enerji:

$566 \times (24 \times 365) = 566 \times 8760 \text{ kWh} = 4958160 \text{ kWh} = 4958 \text{ MWh}$ olarak bulunacaktır [1].

2.5. Deponi Gazı Kontrolü

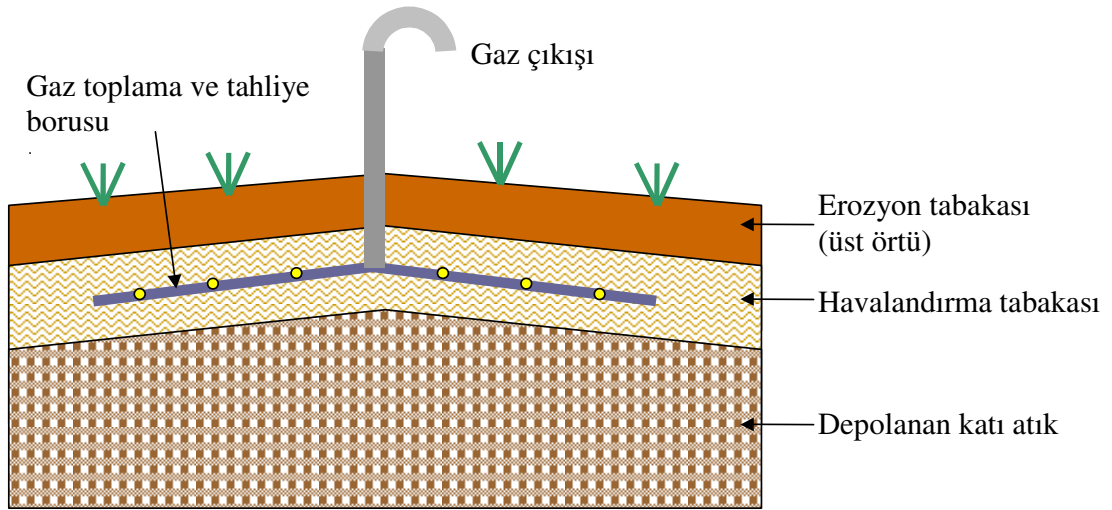
Katı atık düzenli depolama alanlarında oluşan deponi gazı, aktif veya pasif olmak üzere iki şekilde toplanabilmektedir. Aktif toplama işleminde dışarıdan bir pompa yardımı ile gazlar toplanır. Toplanan gazlar eğer mümkün ise enerji kaynağı olarak değerlendirilir. Eğer uygun tesis yoksa veya yeterince gaz oluşmuyorsa, deponi gazı kontrollü olarak yakıcılarda (flare) yakılır (Şekil 2.9) [1].



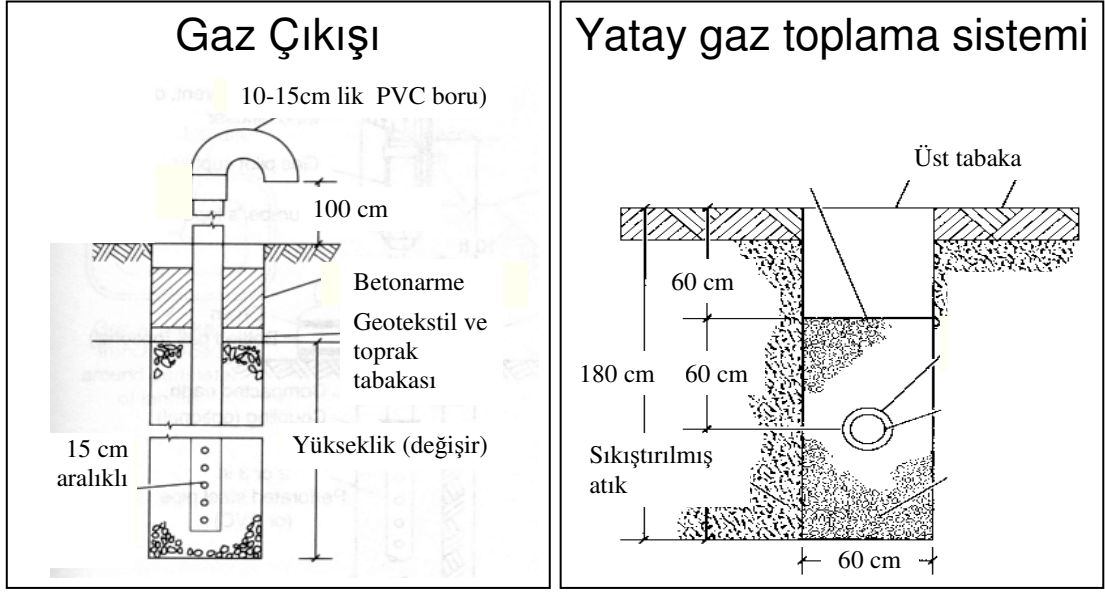
Şekil 2.9: Deponi gazı bacası (solda) ve yakıcı (flare) [1].

2.5.1. Pasif Sistemle Deponi Gazı Toplama

Pasif toplama işleminde ise herhangi bir pompa olmaksızın oluşan gaz depolama alanında meydana gelen basınç yardımı ile perfore borular ile yüzeyde toplanır [1, 2]. Pasif gaz toplama sistemleri depolama alanında veya çevrede bulunan gaz çıkış hendeğinden ibarettir (Şekil 2.10 ve Şekil 2.11) [2].



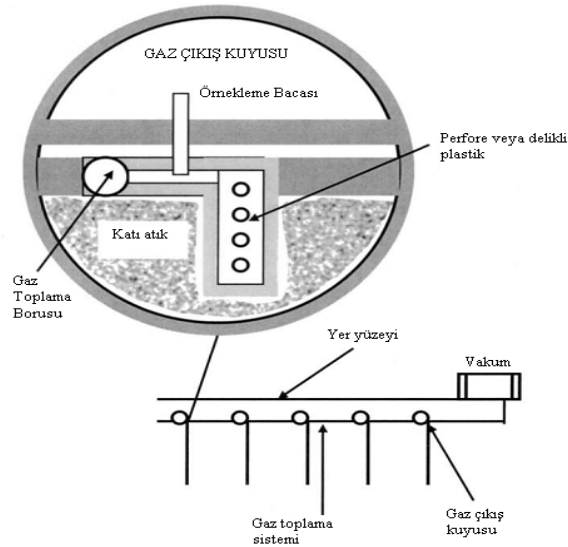
Şekil 2.10: Pasif gaz toplama sistemi [13, 2].



Şekil 2.11: Gaz toplama sistemi [13].

2.5.2. Aktif Sistemle Deponi Gazı Toplama

Gaz toplama sistemlerinin en efektif şekli aktif sistem ile vakum sayesinde gaz toplama sistemidir. Aktif gaz toplama sistemi, pasif sistemdekine benzer yatay ve dikey gaz tahliye kuyularından oluşur. Tahliye sistemi valfler aracılığıyla gaz çıkışı kontrol edebilecek şekilde dizayn edilmektedir. Örnekleme bacası gaz basıncı, gaz oluşumu ve gaz bileşimi bir takım parametrelerin ölçümü için operatöre yardımcı olur (Şekil 2.12) [2].



Şekil 2.12: Aktif gaz toplama sistemi [2].

2.6. Deponi Gazındaki Uçucu Organik Bileşikler (VOC)

USEPA'ya göre atmosferik kimyasal reaksiyonlara karışan CO, CO₂, karbonik asit, metal karbürler ve amonyum karbonatlar dışında tüm karbon türevleri uçucu organik bileşikler olarak tanımlanmıştır. Uçucu organik bileşiklerin oluşumu, taşınması, karakteristikleri, yönetimi ve kontrol sistemleri konusunda çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Uçucu organik bileşiklerin bileşimi depolama alanına depolanan atığın türü, bozunmanın evresi, oksijen varlığı, nem, yağmur suyu süzüntüsü, pH, katı atık miktarı, organik madde miktarı ve ortamda mevcut mikroorganizmalara bağlıdır. Bunlar biyokimyasal ayrışmayı etkileyen önemli faktörlerdir. Uçucu organik bileşiklerin oluşumu, taşınması ve atmosfere deşarjı bir çok değişkene bağlı karışık bir fonksiyondur. Bu değişkenler katı atığın doğası ve atığın yaşından, biyolojik aktivitenin gerçekleştiği çevreden, coğrafi koşullardan, depolama alanını tasarımı ve yönetim pratiklerinden oluşmaktadır [6, 21, 65].

Günümüzde depolama alanlarından kaynaklanan deponi gazlarının örneklenmesi ve analizi ile ilgili açık ve ileriye dönük bir standart metot bulunmamaktadır. Kentsel katı atık depolama bilimi ve teknolojisi oldukça yeni olmakla birlikte tesisin işletimi, data toplanması ve yönetim sistemleri ile çevresel etkileri endişe vermektedir. % 75 oranında organik atık içeren katı atıktan, atığın kilogramına karşılık 1.22 m³ gaz üretildiği tahmin edilmektedir [6].

Depolama gazındaki metan olmayan organik bileşenler (NMOC), LFG'nin bir fraksiyonu olarak tanımlanır ve hava kirleticilerini ve metan olmayan organik bileşenleri içerir. NMOC konsantrasyonları USEPA Method 25c'ye göre ölçülmektedir [6]. İngiltere'de yapılan bir çalışmada alınan deponi gazı örneklerinde 116 farklı iz organik bileşen tespit edilmiştir. NMOC konsantrasyonları deponi gazının % 1'den azını oluşturmaktadır. Uçucu organik bileşikler ise deponi gazı içindeki NMOC konsantrasyonlarının % 39'unu oluşturmaktadır [6]. Depolama alanlarından oluşan gaz türlerine ilişkin yapılan çalışmalarda birçok VOC türü saptanmıştır. Örneğin, 60 örnek üzerinde yapılan bir çalışmada 0.1 – 2.0 ppm arasında değişen oranlarda benzen ve en yüksek konsantrasyon olan 250 ppm oranında da Toluen saptanmıştır [15, 21]. Tablo 2.8 ve 2.9'da çeşitli depolama

alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonlarına ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Tablo 2.8: Çeşitli depolama alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonları [6].

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formül	VP mmHg @ 20C	Kayna. Nok. (°C)	VOC	Min. Kons. (mg/m ³)	Ort. Kons. (mg/m ³)	Max. Kons. (mg/m ³)	Örnek Sayısı
Dimetil Sulfid	C ₂ H ₆ S	420	38	**	0.20	1.12	2.04	2
2 –Metil, metilester propanoik asit					141.10	141.10	141.10	1
Karbon Tetraklorür (tetraklorometan)	CCl ₄	90	76.8	*	<DL	3.78	139.67	37
Karbonil Sulfür (carbonoxysulfide)	COS	3062.3	-50.2	*	2.04	2.04	2.04	1
1,1,2- Trikloroetan 1,2,2- Trifluoroetan					1.02	1.02	1.02	1
Stiren	C ₈ H ₈	5	145.2	*				
Benzil kloride(alpha-chlorotoluene)	C ₇ H ₇ Cl	1	179	*				
Metil etil sulfid	C ₆ H ₁₄ S	67	149		<DL	0.65	0.65	1
1,1,2 –Trikloroetan (viniltriklorür)	C ₂ H ₃ Cl ₃	19	113.7	*			0.20	28
1,3 –Bromokloropropan	C ₃ H ₆ BrCl						0.02	1
1,2 –Dibromoetan	C ₂ H ₄ Br ₂	10.3	131	*				2
1,2 Diklorobenzen	C ₆ H ₄ Cl ₂	1	179	*				29
Klorodibromometan	CHClBr ₂	50	120	*				
Tribromometan	CHBr ₃	5.6	149	*				
2,3 - Dikloropropen	C ₃ H ₄ Cl ₂	135	94	*				
t-1,3- Dikloropropen	C ₃ H ₄ Cl ₂	99.6	112	*				
n-undekan	C ₁₁ H ₂₄		195.9	*				
1,3 Butadien	C ₄ H ₆	2100	-4.4	*				
n-dekan	C ₁₀ H ₂₂	1	174.1	*				
p-Isopropil toluen	C ₁₀ H ₁₄		171.1					
Izobutan (2- metil propan, trimetilmetan)	C ₄ H ₁₀		-12	*				
3-metilpentan (dietilmetilmetan)	C ₆ H ₁₄	200	57	*				
Dimetil Disulfid	C ₂ H ₆ S ₂	29.5	112	*				2

Tablo 2.8 (Devam): Çeşitli depolama alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonları [6].

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formül	VP mmHg @ 20C	Kayna. Nok. (°C)	VOC	Min. Kons. (mg/m ³)	Ort. Kons. (mg/m ³)	Max. Kons. (mg/m ³)	Örnek Sayısı
1,2,4- Trimetil benzen	C ₉ H ₁₂		169	*				
Izoheptan	C ₇ H ₁₆	35		*				
2,3- dimetilpentan	C ₇ H ₁₆		89.8	*				
p-etiltoluen (1-etil-4metil benzen)	C ₉ H ₁₂		162	*				
Naftalen	C ₁₀ H ₈	0.23						
1 – Butanol	C ₄ H ₁₀ O	4.4	117.7		204.50	204.50	204.50	1
Butan	C ₄ H ₁₀	1823	-1	*	<DL	7.53	65.44	26
2 -Metil Propan (izobutan)	C ₄ H ₁₀	2	-12	*	171.78	171.78	171.78	1
1 -Metiletil ester butanoik asit					141.10	141.10	141.10	1
Kloroetan (etil khlorid)	C ₂ H ₅ Cl	1000	12.4	*	<DL	4.15	18.81	29
1,1,3 Trimetil Sikloheksan	C ₉ H ₁₈			*	116.56	116.56	116.56	1
2 -Metil - 1 – Propanol	C ₄ H ₁₀ O	4.4	117.7		104.29	104.29	104.29	1
1,2 - Dikloroetan (etilendiklorid)	C ₂ H ₄ Cl ₂	61	83.5	*	<DL	2.66	61.55	37
Trikloroflorometan (fluorotriklorometan)	CCl ₃ F	687	23.8		<DL	2.02	24.34	46
Kloroetan (metilklorit)	CH ₃ Cl	3800	-24	*				30
2,5 Dimetil Furan	C ₆ H ₈ O	92	170		<DL	2.82	20.90	1
2 - Metil furan	C ₅ H ₆ O	142	63		83.84	83.84	83.84	1
Klorodifluorometan	CHClF ₂		-40.8	x	127.61	81.80	81.80	27
Propen (Propilene)	C ₃ H ₆	7600	-47.8	*	<DL	2.76	25.73	1
Metil isobutil keton (hexon)	C ₆ H ₁₂ O	6	116	**	23.52	73.62	73.62	26
Etil merkaptan	C ₂ H ₆ S	440	36	**	73.62	2.82	23.52	3
Diklorofluorometan	CHCl ₂ F		9		2.04	24.40	48.67	28
1,1,1 –Trikloroethan (Methylchloroform)	C ₂ H ₃ Cl ₃	100	71	x	18.40	2.45	53.39	38
Tetrahidrofuran (metil etil keton)	C ₄ H ₈ O	131.5	65		<DL	1.72	18.40	1
Etil ester propanoik asit					61.35	61.35	61.35	1
Bromodiklorometan	CHBrCl ₂		90	*	53.17	53.17	53.17	29
Etil Asetat	C ₄ H ₈ O ₂	72.8	77		<DL	1.45	16.05	1
3-Metilheksan	C ₇ H ₁₆		92	*	40.90	40.90	40.90	1
Metilpropan	C ₄ H ₁₀		-11.7		40.90	40.90	40.90	1
Klofobenzen	C ₆ H ₅ Cl	8.8	132	*	24.54	24.54	24.54	29
Akrilonitril	C ₃ H ₃ N	100	77.4	*	<DL	0.78	20.45	26
Metiletilpropanoat	C ₆ H ₁₂ O ₂				<DL	0.65	15.13	1
1,1 –Dikloroeten	C ₂ H ₂ Cl ₂	500	31.9	*	14.93	14.93	14.93	32

Tablo 2.8 (Devam): Çeşitli depolama alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonları [6].

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formül	VP mmHg @ 20C	Kayna. Nok. (°C)	VOC	Min. Kons. (mg/m ³)	Ort. Kons. (mg/m ³)	Max. Kons. (mg/m ³)	Örnek Sayısı
Metil merkaptan	CH ₄ S		7.6	**	1.96	3.82	6.75	3
1,2 -Dikloropropan	C ₃ H ₆ Cl ₂	42	96.8	*	<DL	0.25	3.68	28
1- Proil Merkaptan	C ₃ H ₈ S	100	68		2.04	3.17	4.29	2
Kloroform (trichlorometan)	CHCl ₃	160	62	*	<DL	0.16	3.19	36
1,3,5- Trimetil benzen	C ₉ H ₁₂		164.7	*	0.00	0.00	0.00	
Asetonitril (metilcynide, ethanenitril)	C ₂ H ₃ N	74	82	*	0.00	0.00	0.00	
1,1,2,2 -Tetrakloroetan	C ₂ H ₂ Cl ₄	5	146.4	*	<DL	0.20	4.81	28
1,1,2,2-Tetrakloroeten (tetrachloroethylene)	C ₂ Cl ₄	15.6	121	*	0.10	2.72	5.32	2
2 -Kloroetilvinil Eter	C ₄ H ₇ ClO		109		0.00	0.00	0.00	28
Etan	C ₂ H ₆	2970	-89	x	<DL	0.16	4.60	26
Toluen	C ₇ H ₈	22	110.7	*	<DL	516.5	2184.05	40
Metilenklorür (diklorometan)	CH ₂ Cl ₂	349	39.8	*	0.41	121.3	2852.19	37
Hidrojen sülfür	H ₂ S	15200	-60.2		<DL	50.10	355.83	3
Etilbenzen	C ₈ H ₁₀	7	136.2	*	22.49	517.3	1431.49	31
Ksilen (xylene)	C ₈ H ₁₀	8.5	140		0.31	44.44	875.26	2
1,2 -Dimetil Benzen	C ₈ H ₁₀	5	144.4	*	7.57	682.7	1357.87	1
Limonen	C ₁₀ H ₁₆		176		1204	1202	1202.45	1
Toplam ksilen izomerleri				**	961.15	961	961.15	27
Pinen	C ₁₀ H ₁₆	5	156		<DL	35	144.99	1
Diklorodiflorometan	CCl ₂ F ₂	4250	-29.8		912.07	912	912.07	31
Etilester butanoic asit					<DL	26.79	89.96	1
Propan	C ₃ H ₈	6460	-42	*	813.91	814	813.91	26
Tetrakloroeten	C ₂ Cl ₄	15.6	121	*	<DL	27.79	176.89	39
Vinilklorür (kloroeten)	C ₂ H ₃ Cl	2548	-13.9	**	<DL	17.24	157.46	42
Metilester butanoic asit					<DL	15.77	98.36	1
Etilester asetik asit					623.72	623.7	623.72	1
Propilester butanoic asit					576.69	577	576.69	1
1,2 - Dikloroeten	C ₂ H ₂ Cl ₂	269	48	*	517.38	518	517.38	37
Metil etil keton	C ₄ H ₈ O	77.5	79.6	*	<DL	13.11	173.21	27
Thiobismetan	C ₂ H ₆ S	420	36.2	*	<DL	16.71	117.59	1
Metilsikloheksan	C ₇ H ₁₄	144	101	*	429.45	429	429.45	2
Trikloroeten	C ₂ HCl ₃	60	87	*	4.91	204	402.86	44
Nonan	C ₉ H ₂₀	3.22	151	*	0.02	8.14	69.53	1
Benzen	C ₆ H ₆	76	80.1	*	341.51	341.5	341.51	45
Etanol	C ₂ H ₅ OH	43.9	78.4		<DL	7.36	166.53	1

Tablo 2.8 (Devam): Çeşitli depolama alanlarında tespit edilen NMOC türlerinin konsantrasyonları [6].

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formül	VP mmHg @ 20C	Kayna. Nok. (°C)	VOC	Min. Kons. (mg/m ³)	Ort. Kons. (mg/m ³)	Max. Kons. (mg/m ³)	Örnek Sayısı
Aseton	C ₃ H ₆ O	266	56.2	x	<DL	12.15	75.91	26
2 – Butanol	C ₄ H ₁₀ O	12	99.5		310.84	310.84	460.04	1
Oktan	C ₈ H ₁₈	18	125.7	*	310.84	310.84	721.15	1
Pentan	C ₅ H ₁₂	430	36	*	<DL	11.53	95.15	26
Hekzan	C ₆ H ₁₄	120	69	*	<DL	10.90	51.12	26
Metilester asetik asit	C ₃ H ₆ O ₂	170	56.2		278.12	278.12	278.12	1
1-Metoksi-2 metil Propan	C ₅ H ₁₂ O		101.8		278.12	278.12	278.12	1
2- Butanon (metiletilketon)	C ₄ H ₈ O	77.5	79.6		263.80	263.80	263.80	1
1,1- Dikloroetan	C ₂ H ₄ Cl ₂	180	57.3	*	<DL	7.18	39.88	33
4 -Metil – 2 pentanon	C ₆ H ₁₂ O	6	116		182.00	182.00	182.00	1

* EPA VOC veritabanında bulunmakta,

** Muhtemel VOC, <DL: Ölçüm limitlerinin altında,

x EPA VOC veritabanında bulunmakta fakat VOC olarak değerlendirilmemekte.

Tablo 2.9: ABD’de bazı depolama alanlarında tespit edilen ortalama NMOC konsantrasyonları [6].

Eyalet	Deponi Alanı Sayısı	Ortalama NMOC Konsantrasyonu (ppmv-H)
Arizona	7	1144
California	14	660
Colorado	6	956
Kentucky	9	373
Illinois	7	256
Indiana	7	322
Missouri	6	311
North Carolina	10	587
Pennsylvania	6	246
Texas	17	366

Yine NMOC konsantrasyonlarının tespiti amacıyla yapılmış bir çalışmanın sonuçları Tablo 2.10’da verilmiştir.

Uçucu organik bileşiklerin insan sağlığına etkileri oldukça ciddi olabilir. Bu etkiler maruz kalınan doza, dozun insana ulaşma şekline bağlı olarak değişir. Uçucu organik bileşikler yağda çözünebilir ve vücuttaki yağ dokularında birikim yapabilir. Akciğer ve mide-bağırsak sistemi çok basit bir şekilde bu bileşikleri absorblayabilir.

Depolama alanları yakınlarındaki popülasyonlara ait sağlık risklerinin değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bulgular, maruz kalan ile kontrol popülasyonunun uçucu organik bileşiklerin seviyeleri arasında fark olmadığını göstermiştir. Depolama alanları yakınlarında yaşayanların maruz kaldıkları depolama gazının, havadaki seyrelmesinin normal bir şekilde onları yeterince koruduğuna inanılmaktadır [16, 21-22].

Tablo 2.11’de sağlık riski ile birlikte ölçülen maksimum deponi gazı bileşenlerinin konsantrasyonları verilmiştir [18]. Bu tabloda listelenen bileşenlerin çoğu uçucu organik bileşiklerdir. Bu bileşenlerden 10 tanesi, sınır değerleri olan TLV – TWA’larının (Threshold Limit Value - Time Weighted Average) üzerinde bulunmuştur. Aynı şekilde Amerika’nın Delaware eyaletinde bulunan dört depolama tesisinde tespit edilen uçucu organik bileşiklerin seviyeleri Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.10: Deponi gazındaki NMOC konsantrasyonları [17].

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formülü	WIAC * Alanı	AP-42 (mg/m ³)	WIAC-1 (mg/m ³)	WIAC-2 (mg/m ³)
1,1,1-Trikloroetan (metil kloroform)	C ₂ Cl ₃ H ₃	46	1.53	0.54	0.54
1,1,2,2-tetrakloroetan	C ₂ H ₂ Cl ₄	19	7.17	0.45	0.03
1,1-Dikloroetan (ethylidene dichloride)	C ₂ H ₄ Cl ₂	45	11.53	3.64	3.64
1,1-Dikloroeten (vinylidene chloride)	C ₂ H ₂ Cl ₂	45	0.72	0.33	0.33
1,2-Dikloroetan (ethylene dichloride)	C ₂ H ₄ Cl ₂	47	1.48	0.43	0.43
1,2-Dikloropropan (propylene dichloride)	C ₃ H ₆ Cl ₂	17	0.65	0.08	0.08
2-Propanol (isopropyl alkol)	C ₃ H ₈ O	3	180.32	28.46	28.46
Aseton	C ₃ H ₆ O	8	25.23	22.05	25.46
Acrylomtne	C ₃ H ₃ N	3	22.78	0.13	0.13
Benzen (Co-Disposal)		3	39.95	37.35	37.35
Benzen (No Co-disposal)	C ₆ H ₆	44	6.87	3.50	3.50
Bromodichloromethane	CHBrCl ₂	7	<DL	1.12	<DL
Karbon disülfür	CS ₂	31	2.09	1.15	0.80
Karbon tetraklorid	ecu	37	0.01	0.03	0.03
Karbonil sulfid	COS	29	1.76	0.66	0.66
Klorobenzen	C ₆ H ₅ Cl	46	0.90	0.82	0.82
Korodifloromethane (Freon 22)	CHClF ₂	1	4.68	1.28	1.28
Kloroetan (etil klorid)	C ₂ H ₅ Cl	21	4.50	0.86	1.61
Kloroform	CHCl ₃	45	0.11	0.08	0.04
Klorometan	CH ₃ Cl	8	4.36	0.90	0.49
Diklorobenzen	C ₆ H ₄ Cl ₂	34	0.76	5.78	5.21
Diklorodiflorometan (Freon 12)	CCl ₂ F ₂	19	56.51	6.30	3.47
Diklorometan (Metilen klorid)	CH ₂ Cl ₂	47	51.47	12.22	12.22

Tablo 2.10 (Devam): Deponi gazındaki NMOC konsantrasyonları [17].

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formülü	WIAC* Alanı	AP-42 (mg/m ³)	WIAC-1 (mg/m ³)	WIAC-2 (mg/m ³)
Dimetil sülfür (metil sülfid)	(CH ₃) ₂ S	34	31.02	27.01	27.01
Etan	C ₂ H ₆	1	1090.80	9.75	9.75
Etanol	C ₂ H ₅ OH	4	51.17	223.17	121.21
Etilmerkaptan (Ethanethiol)	C ₂ H ₆ S	36	4.66	2.77	0.46
Etilen dibromid	C ₂ Br ₂ H ₄	30	0.00	0.09	0.01
Florotnklorometan (Freon 11)	CCl ₃ F	25	1.55	0.67	0.67
Hekzan	C ₆ H ₁₄	4	13.44	4.75	4.22
Hidrpjen sülfür	H ₂ S	40	72.60	48.22	48.22
Metil etil keton	C ₄ H ₈ O	8	14.50	21.59	25.96
Metil isobutil keton	C ₆ H ₁₂ O	7	3.82	1.53	1.53
Metil merkaptan	C ₂ H ₆ S	36	5.09	2.64	2.59
Perkloroetilen (tetrakloroetilen)	C ₂ Cl ₄	48	7.63	2.44	2.44
Propan	C ₃ H ₈	1	22.70	30.18	40.61
Toluen (co-disposal)	C ₇ H ₈	3	337.42	76.60	76.60
Toluen (no co-disposal)	C ₇ H ₈	43	80.37	51.95	51.95
Trans-1,2 Dikloroeten	C ₂ H ₂ Cl ₂	1	5.81	0.10	0.10
Trikloroetilen (trikloroeten)	C ₂ HCl ₃	48	5.77	1.39	1.39
Vinil klorür	C ₂ H ₃ Cl	46	15.01	2.20	2.20
Ksilen	C ₈ H ₁₀	45	24.74	33.91	33.91

* WIAC (Waste Industry Air Coalition)

Tablo 2.11: Sağlık riski ve bazı LFG elementlerinin ölçülen maks. konsantrasyonları [18].

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formül	Maks. Kon. (mg/m ³)	ACGIH TLV* TLV-TWA (mg/m ³)	(1993-1994) TLV-STEL (mg/m ³)	ACGIH TLV* TLV-TWA ppbv	(1993-1994) TLV-STEL* ppbv
Triklorometan	CHCl ₃	2	49 A2	-	10.026	-
Tetraklorometan	CCl ₄	n.d.	31 A3	63 A3	4.922	10.002
1,1-Dikloroetan	C ₂ H ₄ Cl ₂	21	405	-	100.023	-
Trikloroetan	C ₂ H ₃ Cl ₃	29	1910	2460	349.809	450.539
Diklorotetrafloroetan	C ₂ Cl ₂ F ₄	20	6990	-	999.447	-
Triklorotrifloroetan	C ₂ Cl ₃ F ₃	2	7670	9590	1000.16	1250.536
Vinyl klorür	C ₂ H ₃ Cl	264	13 A1	-	5.086	-
1,1-Dikloroetilen	C ₂ H ₂ Cl ₂	138	20	79	5.041	19.913
1,2-cis-Dikloroetilen	C ₂ H ₂ Cl ₂	294	793	-	119.885	-
1,2 trans-Dikloroetilen	C ₂ H ₂ Cl ₂	-	-	-	-	-
Trikloroetilen	C ₂ HCl ₃	312	269 A5	537 A5	50.016	99.845
Tetrakloroetilen	C ₂ Cl ₄	250	170 A3	685 A3	25.039	100.893
Klorotrifloroetilen	C ₂ ClF ₃	2.3	-	-	-	-
Klorodiflorometan	CHClF ₂	276	3540	-	1000.613	-
Klorotriflorometan	CClF ₃	10	-	-	-	-
Diklorofluorometan	CHCl ₂ F	5	42	-	9.970	-

Tablo 2.11 (Devam): Sağlık riski ve bazı LFG elementlerinin ölçülen maks. konsantrasyonları [18].

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formül	Maks. Kon. (mg/m ³)	ACGIH TLV* TLV-TWA (mg/m ³)	(1993-1994) TLV-STEL (mg/m ³)	ACGIH TLV* TLV-TWA ppbv	(1993-1994) TLV-STEL* ppbv
Diklorodiflorometan	CCl ₂ F ₂	602	4950	-	1000.23	-
Hidrojen sülfür	H ₂ S	19.8	14	21	10.068	15.101
Thioglicolik asit	CH ₃ SCOOH	n.d	3.8	-	611	-
1-Propil alkol	C ₃ H ₈ O	630	492	614	200.490	250.205
2-Butil alkol	C ₄ H ₁₀ O	626	303	455	100.113	150.334
Metil merkaptan	CH ₄ S	430	0.98	-	499	-
Etil merkaptan	C ₂ H ₆ S	120	1.3	-	513	-
Metilen diklorür	CH ₂ Cl ₂	684	174 (A2)	-	50.051	-
Metil klorür	CH ₃ Cl	10	103	-	49.868	-
İzopropil benzen	C ₉ H ₁₂	173	-	207	-	42.176
Tetrahidrobenzen	C ₆ H ₁₀	-	-	-	-	-
Etilbenzen	C ₈ H ₁₀	236	434	-	100.107	-
Benzen	C ₆ H ₆	15	32 (A2)	543	10.031	170.210
Toluen	C ₇ H ₈	615	188	-	49.963	-
Ksilen	C ₈ H ₁₀	383	434	-	100.107	-
Nonane	C ₉ H ₂₀	270	1050	651	200.566	124.351
Oktan	C ₈ H ₁₈	99	1400	-	300.263	-
Heptan	C ₇ H ₁₆	47	1640	1750	400.980	427.875
Sikloheksan	C ₆ H ₁₂	40	1030	2050	299.804	596.696
Hekzan	C ₆ H ₁₄	76	176	-	50.037	-

* TLV-STEL (threshold limit value - short-time exposure limit).

Tablo 2.12: ABD'nin Delaware Eyaleti'nde bulunan dört depolama tesisine ait VOC (ppbv) konsantrasyonları [19].

Kimyasal Adı	1		2		3		4		
	10/98	01/99	10/99	10/98	10/99	10/98	10/99	10/98	10/99
Aseton	ND	1180	-	ND	-	ND	-	ND	-
Benzen	256	258	479	229	365	271	2	401	141
2-Butanone (MEK)	ND	2570	-	ND	-	ND	-	ND	-
Karbon disülfür	ND	ND	-	ND	-	ND	-	ND	-
Klorobenzen	ND	126	150	ND	24	ND	<2	ND	<4
Kloroetan (Etil klorür)	ND	164	<5	ND	<3	ND	<2	ND	<3
Korometan (Metil klorür)	ND	12	17	ND	59	ND	<1	ND	4
1,4-Diklorobenzen	ND	768	1400	ND	<4	16	<2	ND	<4
1,1-Dikloroetan	196	213	259	211	391	97	4	ND	2.2
1,2-Dikloroetan (EDC)	ND	7	9	ND	8	ND	<1	ND	<1
cis-1,2-Dikloroeten	165	282	458	323	374	40	<3	ND	<3
trans-1,2-Dikloroeten	ND	9	-	ND	-	ND	-	ND	-
Diklorometan (Metilen klorid)	176	161	236	804	989	54	<3	94	<4

Tablo 2.12 (Devam): ABD'nin Delaware Eyaleti'nde bulunan dört depolama tesisine ait VOC (ppbv) konsantasyonları [19].

Kimyasal Adı	1			2		3		4	
	10/98	01/99	10/99	10/98	10/99	10/98	10/99	10/98	10/99
Etilbenzen	669	3180	5620	495	1930	339	<1	94	<2
4-Metil-2-Pentanon (MIBK)	ND	165	-	ND	-	ND	-	ND	-
Stiren	ND	164	360	ND	27	ND	<2	ND	<2
Tetrakloroeten (PCE)	62	367	608	113	161	13	<2	ND	2.2
Toluen	1910	9700	2200	3490	8740	1060	16	207	5.29
1,1,1-Trikloroetan (TCA)	47	69	46	107	149	ND	<2	ND	<2
Trikloroeten (TCE)	45	122	187	62	148	13	<3	ND	<3
Trikloroflorometan	219	240	180	378	426	708	<2	ND	<2
Triklorotriflorometan	120	33	14	39	22	12	<2	ND	<2
Vinil klorür	663	728	923	562	1060	161	170	51	85.7
Ksilen (ortho)	164	1640	2840	153	179	225	3	35	<2
Ksilen (meta + para)	476	6220	1090	350	965	287	12	76	<2
Diklorodifluoromethane	ND	730	622	ND	586	ND	832	ND	148
1,2-Diklorotetrafluoroethane	94	31	97	66	27	22	14	ND	32
Bromometan (Metil Bromid)	ND	ND	<5	ND	<3	ND	<2	ND	<3
1,1-Dikloroeten	ND	11	16	ND	12	ND	<3	ND	<3
Kloroform	ND	ND	<4	ND	<3	ND	<2	ND	<3
Karbondotetraklorür	ND	ND	<6	ND	<4	ND	<3	ND	<4
1,2-Dikloropropan	ND	4	6	ND	4	ND	<1	ND	<2
cis-1,3-Dikloropropen	ND	ND	<6	ND	<4	ND	<2	ND	<4
trans-1,3-Dikloropropen	ND	ND	<4	ND	<3	ND	<2	ND	<3
1,1,2-Trikloroetan	ND	ND	<6	ND	<4	ND	<2	ND	<4
1,2-Dibromoetan	ND	ND	<4	ND	<3	ND	<2	ND	<3
1,1,2,2-Tetrakloroetan	ND	ND	<2	ND	<1	ND	<1	ND	<1
1,3,5-Trimetilbenzen	75	740	1630	53	13	108	2	ND	<1
1,2,4-Trimetilbenzen	132	1260	2920	82	7	167	3	57	<1
1,2-Diklorobenzen	ND	19	41	ND	<4	ND	<2	ND	<4
1,3-Diklorobenzen	ND	ND	<5	ND	<4	ND	<2	ND	<4
1,2,4-Triklorobenzen	ND	ND	<10	ND	<6	ND	<4	ND	<6
Hekzaklorobutadien	ND	ND	<3	ND	<2	ND	<1	ND	<2

ND: Belirlenemedi.

Depolama gazındaki VOC'lerin kötü kokuları nedeniyle tüm depolama alanı boyunca ve hatta çevrede yaşayan insanlar tarafından da hissedilmektedir. Bu istenmeyen kötü kokuların baş ağrısı, mide bulantısı vs. gibi ters etkilerinin bulunduğu bilinmektedir [2]. Hatta başka çevrelere de taşınabildikleri ifade edilmektedir [2]. Bazı VOC türlerine ve LFG gazlarına ait koku eşik değerleri ve kokularına ait bilgiler Tablo 2.13'te verilmiştir.

Tablo 2.13: Bazı LFG bileşenlerinin koku eşikleri [2].

LFG Bileşeni	Koku açıklaması	Koku Eşik Değeri (ppb - V)
Hidrojen Sülfür	Çürük yumurta kokusu	0.5 – 1
Amonyak	Keskin ve boğucu bir koku	1000 – 5000
Benzen	Boya inceltici kokusu gibi (tiner)	840
Dikloroetilen	Hoş, eter gibi hafifçe asidik	85
Diklorometan	Hoş, kloroform kokusu gibi	205000 - 307000
Etilbenzen	Benzen gibi aromatik kokulu	90 – 600
Toluen	Benzen gibi aromatik kokulu	10000 – 15000
Trikloroetilen	Hoş, kloroform kokusu gibi	21400

BTEX, yukarıdaki tablolarda da verilen 160'tan fazla türü bilinen uçucu organik bileşenlerden depolama alanlarında en fazla görüleni olmakla beraber, benzen tehlikeli ve iyi bilinen bir kanserojen madde olarak belirtilmektedir [24]. Bu nedenle BTEX bileşenlerine ait bir takım özellikler Tablo 2.14'te verilmiştir. İZAYDAŞ depolama alanında kapatılan lotlardan Lot 5 ve Lot 7'de oluşarak atmosfere verilen önemli uçucu organik bileşenlerden olan BTEX emisyonlarının modelleme çalışmalarına başlamak için genel bir emisyon tahmini yapılmıştır.

Tablo 2.14: BTEX bileşenlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [20, 24-28].

Özellik	Benzen	Toluen	Etilbenzen	m-Ksilen	p-Ksilen	o-Ksilen
Kimyasal Formül	C_6H_6	$C_6H_5CH_3$	$C_6H_5C_2H_5$	$C_6H_4(CH_3)_2$	$C_6H_4(CH_3)_2$	$C_6H_4(CH_3)_2$
Kaynama Noktası (°C)	80	111	136	138	138	144
Buharlaşma Noktası (°C)	6	-95	-95	-48	13	-25
Relatif yoğunluk (su = 1)	0.88	0.87	0.9	0.68	0.86	0.88
Relatif yoğunluk (buhar/hava karışımında, 20°C'de, hava = 1)	1.2	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02
TLV (ppm)	0.5	50	100	100	100	100

BÖLÜM 3. KOCAELİ İLİ KENTSEL KATI ATIK BİLEŞİMİNİN VE DEPONİ GAZI ÜRETİM KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Kocaeli, ülkemizin sanayi ve nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu illerden biridir. En son yapılan nüfus sayımına göre Kocaeli nüfusu 1206085'dir. Kocaeli'yi çevre il ve ilçelerini de içeren geniş bir bölge olarak ele aldığımızda, oluşan tehlikeli, endüstriyel, evsel ve kentsel katı atıkların bertarafı ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. İZAYDAŞ tesisi depolama alanı, hem kentsel hem de endüstriyel ve tehlikeli atıkları kabul edebilmesi nedeniyle bu çevre problemini bir noktaya kadar kapatabilmişse de hızla artan nüfus ve hayat standartlarındaki değişimler, var olan tesislerin kapasitelerinin dolması, benzer tesislere olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmanın ilk aşaması olan hazırlık aşamasında Kocaeli'nde üretilen kentsel katı atık miktarı, atık kimyasal bileşimi ve deponi gazı potansiyeli, Buswell açılımına göre belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen gaz üretim potansiyeli özellikle metan gazı miktarının tayininde, uçucu organik bileşenlerin "%" oranlarının tayininde ve modelleme çalışmalarında gerekli olacaktır.

3.1. Kocaeli Bölgesi Katı Atık Özellikleri

Çalışma alanı olarak seçilen İZAYDAŞ düzenli depolama alanına kabul edilen atıklar Kocaeli ve çevre bölgelerden gelmektedir. Dolayısıyla öncelikle Kocaeli bölgesi için katı atık oluşum mekanizması belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre Kocaeli' de oluşan katı atıkların cins, miktar, kompozisyon, katı/sıvı oranı ve C/H/O/N oranları hesaplanmıştır. Bölge adına yapılan ilk ve tek çalışma olma özelliğini gösteren Kocaeli Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü tarafından, 2005 yılında hazırlanan "Kocaeli İli Çevre Durum Raporu", bu çalışmada dikkate alınmıştır. Bu raporda belirtilen Kocaeli'ne ait aylık ortalama kentsel katı atık miktarları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Kocaeli’nde aylık oluşan katı atık miktarları [23].

Aylar	Ortalama Kentsel Katı Atık Miktarı, (Ton/Gün)
Ocak	375
Şubat	383
Mart	420
Nisan	350
Mayıs	367
Haziran	425
Temmuz	455
Ağustos	455
Eylül	340
Ekim	380
Kasım	405
Aralık	378
Toplam (Ton/Gün):	4733
Ortalama (Ton/gün):	394
Ortalama (Kg/gün):	394417

Son nüfus sayımına göre Kocaeli nüfusu 1206085’dir. Depolanan katı atıkların Gebze bölgesi hariç tutulduğunda sadece Kocaeli’nin 784153 kişiden oluştuğu kabul edilmiştir. Çünkü Gebze belediyesi yöresi kentsel katı atık bertarafını olarak kendisi çözmektedir. Gerekli diğer kabuller Tablo 3.2’de verilmiştir.

Kocaeli için katı atık kompozisyonuna ait değerlerin belirlenebilmesi için, literatürde kabul edilen ve yaygın olarak kullanılan veriler kullanılmıştır. Buna göre Tablo 3.3’de atık bileşenlerine ait su miktarları ve özgül ağırlıklar verilmiştir. Ayrıca, atığın kimyasal olarak ifade edilebilmesi için gerekli olan C, H, O, N ve S oranlarına ilişkin değerler ise Tablo 3.4’te sunulmuştur. Kentsel katı atıkların temel bileşenleri olarak şu kategoriler kabul edilmiştir: gıda, kağıt, plastik, tekstil, bahçe, cam, metal ve diğer atıklar.

Tablo 3.3 ve 3.4’te verilen değerlere dayanarak Kocaeli için atık bileşenlerine ait kuru ve ıslak ağırlıklar ile elementel bazda kimyasal içerikleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 3.5’te verilmiştir. Bu verilere göre toplam atığın su içeriği % 49.6 olarak belirlenmiştir. Bu değer ortalama değer olan % 20-30’ dan fazladır. Bu fark, Kocaeli’ne ait atık bileşenlerindeki gıda atıklarının oranının (yaklaşık % 70) fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.2: Teorik hesaplamalarda kullanılan kabuller [23].

Parametre	Değer	Birim
Toplam Kişi Sayısı (Gebze ilçesi hariç)	784153	Kişi
Haftalık Yaş Çöp Hacmi	1057	m ³ /hafta
Günlük Yaş Çöp Hacmi	7399	m ³ /gün
Günlük Kişi Başına Düşen Çöp Hacmi	0.009	m ³ /gün.kişi
Yaş Çöp Özgül Ağırlığı	211	kg/m ³
Kişi Başına Düşen Yaş Çöp Miktarı	1.988	kg/gün.kişi
Sadece Toplam Katı Atık Miktarı	198778	kg/gün
Atıklardaki Toplam Su Miktarı	195639	kg/gün
Toplam Atık Miktarı (Günlük)	394417	kg/gün

Tablo 3.3: Atık bileşenlerine ait su içeriği ve özgül ağırlık değerleri [13].

Katı Atık Tipi	Su İçeriği, (%)	Özgül Ağırlık, (kg/m ³)
Gıda Atıkları	70	290
Kağıt Atıkları	6	90
Plastik Atıklar	2	65
Tekstil Atıkları	10	65
Bahçe Atıkları	60	100
Cam Atıkları	2	200
Metal Atıkları	3	150
Toz, kül, vs.	8	500

Tablo 3.4: Atık bileşenlerine ait ortalama kimyasal bileşim içindeki elementler [13].

Katı Atık Bileşenleri	Kimyasal Bileşim, (% kuru ağırlık içinde)					
	C	H	O	N	S	Kül
Gıda Atıkları	48.00	6.40	37.60	2.60	0.40	5.00
Kağıt Atıkları	43.50	6.00	44.00	0.30	0.20	6.00
Plastik Atıklar	60.00	7.20	22.80	0.00	0.00	10.00
Tekstil Atıkları	55.00	6.60	31.20	4.60	0.10	2.50
Bahçe Atıkları	47.80	6.00	38.00	3.40	0.30	4.50
Cam Atıkları	0.50	0.10	0.40	0.10	0.00	98.90
Metal Atıkları	4.50	0.60	4.30	0.10	0.00	90.50
Toz, kül, vs.	26.30	3.00	2.00	0.50	0.20	68.00

Tablo 3.5: Kocaeli için kentsel katı atık kompozisyonu.

Katı Atık Bileşenleri	Toplam Ağırlık (%)	Kuru Ağırlık (%)	Islak Ağırlık (%)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Kül (%)
Gıda Atıkları	65.4	19.62	45.78	9.42	1.26	7.38	0.51	0.08	0.98
Kağıt Atıkları	6.6	6.20	0.40	2.70	0.37	2.73	0.02	0.01	0.37
Plastik Atıklar	5.4	5.29	0.11	3.18	0.38	1.21	0.00	0.00	0.53
Tekstil Atıkları	1.1	0.99	0.11	0.54	0.07	0.31	0.05	0.00	0.02
Bahçe Atıkları	3.1	1.24	1.86	0.59	0.07	0.47	0.04	0.00	0.06
Cam Atıkları	1.4	1.37	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	1.36
Metal Atıkları	0.8	0.78	0.02	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.70
Toz, kül, vs.	16.2	14.90	1.30	3.92	0.45	0.30	0.07	0.03	10.13
TOPLAM	100	50.40	49.60	20.39	2.60	12.43	0.69	0.13	14.16

3.2. Kocaeli Bölgesi Kentsel Katı Atık Kimyasal Kompozisyonu

Deponi alanına depolanan atıkların ayrışması sonucu oluşacak gaz miktarını, gaz bileşenlerini ve bileşenlerin yüzde oranlarını belirleyebilmek için, atığın teorik kimyasal denkleminin belirlenmesi gerekmektedir. Kuru atığı, C, H, O, N ve S içeren bir kimyasal formül ile karakterize etmek için Bölüm 2’ de verilen Buswell denklemi (Denklem 2.3) kullanılmış ve atık bileşenlerden yararlanılarak, katı atıkları temsil eden kimyasal formül elde edilmiştir. Bu denkleme göre katı atık, $C_aH_bO_cN_dS_e$ şeklindeki bir kimyasal denklem ile ifade edilmektedir [13]. Hesaplamalarda kullanılan gerekli değerler Tablo 3.6’ da verilmiştir.

Tablo 3.6: Atık kompozisyonunu belirten kimyasal bileşenlere ait bilgiler.

Bileşen	Oran, (%)	Atom Ağırlığı	Mol Miktarı
C	20.39	12.01	1.698
H	2.60	1.01	2.576
O	12.43	16.00	0.777
N	0.69	14.01	0.049
S	0.13	32.07	0.004
Kül	14.16	-	-
Toplam	50.40	-	-

Tablo 3.6’ da verilen, hesaplanmış mol sayıları kullanılarak, depolanan atığa ait kimyasal denklem “C₃₄H₅₂O₁₆N₁” olarak belirlenmiştir. Burada kükürt miktarı çok düşük olduğu için ihmal edilmiştir. Bu denklem kullanılarak atığın ayrışması sonucu oluşacak gaz bileşenleri hesaplanabilir.

Buswell denklemine göre katı atığın kimyasal formülünü belirleyen bileşenlere ait mol değerleri ve kimyasal formüller Tablo 3.7’ de verilmiştir. Deponi gazı metan, karbondioksit ve amonyaktan (ve çok az miktarda diğer gazlardan) oluştuğu için oluşan her bir bileşenin kütlesi bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.7: Atık kimyasal formülündeki elementlere ait toplam ağırlıklar.

Element	Atom Ağırlığı	Mol Oranı	Toplam, (g/mol)
C	12.01	34	412.16
H	1.01	52	52.59
O	16.00	16	251.26
N	14.01	1	14.01
Toplam:			730.03

Tablo 3.8: Atık kimyasal formülüne göre deponi gazı bileşenlerinin toplam kütleleri.

Bileşen	Mol oranı	Toplam Kütle, (g)
H ₂ O	14.20	255.85
CH ₄	19.37	310.84
CO ₂	14.95	657.99
NH ₃	1.00	17.04

Bileşiğin Buswell denklemine göre reaksiyonu sonucu elde edilen ve Denklem 3.1’de gösterilen bileşimine göre, 1 ton kuru atıktan oluşabilecek deponi gazı bileşenlerinin miktarları Tablo 3.9’da verilmiştir.



Tablo 3.9: Deponi gazı kompozisyonu.

Gaz Bileşeni	Hacim, (m³)	Hacim, (%)
CH ₄	596.11	54.90
CO ₂	458.86	42.26
NH ₃	30.76	2.83
Toplam	1085.73	100

Elde edilen sonuçlara göre, yaklaşık 1 ton kuru katı atıktan teorik olarak 596 m³ metan gazı oluşmaktadır veya teorik olarak “0.596 m³ metan gazı/kg atık” gaz üretim kapasitesi bulunmaktadır.

Oluşan bu deponi gazları ile birlikte miktarsal olarak çok da az olan fakat insan sağlığı açısından son derece tehlikeli olan uçucu organik gazlarda oluşmaktadır. Oluşabilecek bu gazların teorik miktarlarının bulunmasında, bundan sonraki bölümde ele alınan ve USEPA tarafından geliştirilmiş olan LandGEM modeli kullanılmıştır. Bu bölümde elde edilen metan gazı üretim oranı (%), LandGEM modelinin bir girdi parametresi olarak modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. Kocaeli’de oluşarak İZAYDAŞ tesisi düzenli depolama alanı lotlarına depolanan kentsel katı atıklar için LandGEM v3.02 modeline gerekli diğer modelleme parametreleri girilerek, uçucu organiklerin ve özellikle BTEX bileşenlerinin teorik konsantrasyonları hesaplanmış ve modelleme çalışmalarına temel oluşturmuştur.

BÖLÜM 4. İZMİT EVSEL ve ENDÜSTRİYEL KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ

4.1. Uygulama Alanının Tanıtılması

1960'lı yıllardan bu yana başlayan endüstri ve ticaretteki hızlı artış ile göçlerin neden olduğu yüksek nüfus artışı ilimizi nüfus yoğunluğu bakımından ülke sıralamasında ikinciliğe, toplam ülke üretimi bazında ise sanayinin % 15-20'sini oluşturacak seviyeye yükseltmesine rağmen yetersiz alt yapı ve çevresel önlemlerin eksikliğinden ötürü hava, yeraltı suyu ve toprak kirliliğine neden olmuştur. İlimiz yurdumuzda en çok sanayileşmiş ve o oranda da kirlenmiş bölgesidir. Mayıs 1995 tarihinde yapılan araştırmaya göre km² başına 52 ton/yıl tehlikeli atık düştüğü hesaplanmıştır.

1990'lı yılların başında İzmit Büyükşehir Belediyesi hava, yeraltı suyu ve toprak kirliliğinin önlenmesi ile İzmit Körfezi'ndeki kirliliğin önlenmesi, koku probleminin giderilmesi, kentsel arazi kullanımının geliştirilmesi ve değer kaybının önlenmesi, halk ve çevre sağlığının korunması amacı ile İzmit Entegre Çevre Projesini hayata geçirilmiştir.

Bahsedilen İzmit Entegre Çevre Projesi kapsamında;

- Klinik ve Tehlikeli Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi,
- Evsel ve Endüstriyel Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi,
- İzmit Doğu Kısmı Endüstriyel ve Evsel Atıksu Arıtma Tesis,
- Atıksu Kollektörleri,
- Dere Islahları (kapsam dahiline sonra alınmıştır) gerçekleştirilmiştir.

İzmit Entegre Çevre Projesi Evsel ve Endüstriyel Sıvı Atıklarla yine Evsel ve Endüstriyel Katı Atıklarla, Klinik ve Tehlikeli Atıkların bir program içinde ele alındığı ve yasa ve yönetmelikler çerçevesi dahilinde bertaraf edildiği kapsamlı bir projedir.

İzmit Entegre Çevre Projesi kapsamındaki projeler işletmek üzere Mayıs 1996 İzmit Büyükşehir Belediyesi'nce İZAYDAŞ adı ile şirket kurmuştur.

İZAYDAŞ tesisi, İzmit'in 15 km doğusunda, ortalama yükseltisi 130 m olan bir tepe üzerinde ve Solaklar - Durhasan köyü yakınında yer almaktadır. Tesisin bulunduğu yerde Marmara Bölgesi iklim özellikleri hakimdir. İlkbahar ve Sonbahar ayları yağışlı olup, Kış aylarında yoğun sağanak yağışlar görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 14.7 °C ve yağış miktarı ise 876.6 mm'dir (Şekil 4.1) [29].

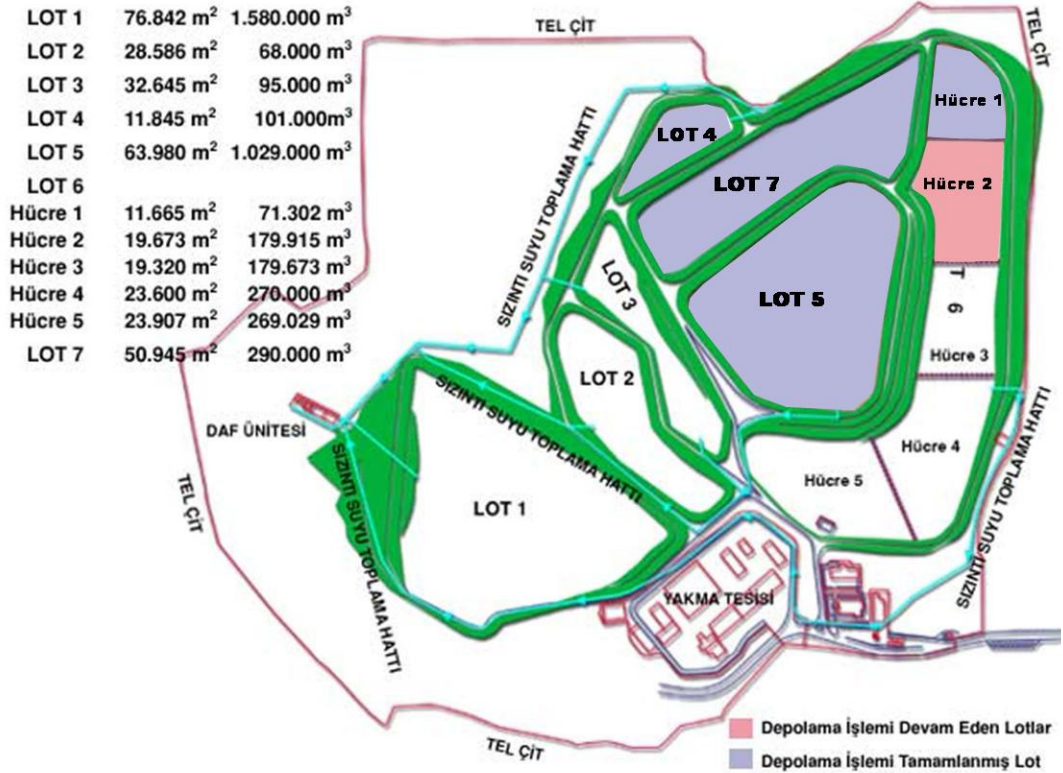
İZAYDAŞ tesisi, idari binalar ve sosyal tesislerin de yer aldığı 800000 m² alanın 363007 m²'lik bölümünde inşa edilmiştir. Tesis içinde; "evsel katı atıklar" için 264842 m² toplam alana sahip 6 adet lot, "endüstriyel katı atıklar" için ise 98165 m² alana sahip 1 adet lot yapılmıştır. Evsel Katı Atık Depolama Alanı'nda, evsel katı atıklar ve bunlarla birlikte depolanabilen endüstriyel katı atıklar bertaraf edilmektedir. 3163000 m³ toplam hacimli depolama alanlarının tabanı, "Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (1991)" nde belirtilen değerleri sağlayacak geçirimsizlik tabakası ile kaplanmıştır. Endüstriyel Katı Atık Düzenli Depolama Alanı'nda, Klinik ve Tehlikeli Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesis'nden çıkan cüruf, küller ve atık su arıtım tesislerinden gelen arıtım çamurunun depolanması planlanmıştır. Depolama hacmi 969919 m³ olan bu alanda tehlikeli katı atıkların da depolanabilmesi için, hazırlanan bir proje doğrultusunda gerekli değişiklikler yapılmıştır. Tamamlanan değişiklikler sonucunda depolama alanı, Çevre Bakanlığı tarafından, "Tehlikeli Atık Depolama Alanı" olarak lisanslandırılmıştır [30].

4.2. Düzenli Depolama Tesisi

Çalışmaya konu olan VOC türleri, İzmit'te oluşan kentsel katı atıkların İZAYDAŞ tesisi düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmesi ile oluşmaktadır. Çalışma alanı örnekleme ve modelleme çalışmalarının yapıldığı, evsel ve kentsel katı atıkların depolandığı lotları ifade etmektedir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Katı atıkların depolandığı toplam hacmi 4132919 m³ olan farklı hacimlerde 7 adet lot bulunmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1: İzaydaş Tesisleri [30].



Şekil 4.2: İZAYDAŞ tesisi Düzenli Deponi Alanları ve Kapasiteleri [30].

Toplam 7 adet lota bölünmüş olan depolama alanında, 6 adet lot (Lot1-7, toplam 264842 m²) evsel atıkların depolanması için ve sadece Lot 6 alanı (98165 m²) ise endüstriyel atıkların depolanması için ayrılmıştır. Her bir lotun kapasite değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. 2000 yılında 7 numaralı lot, 2005 yılında 5 numaralı lot ve 2006 yılı sonunda ise 4 numaralı lot kapatılmış ve üzerleri doğal toprak örtüsü ile örtülmüştür. Atık depolama işlemine 3 numaralı lotta devam edilmektedir. Depolama alanı günlük 500 tona ulaşan katı atığı depolanmak üzere kabul etmektedir.

Tablo 4.1: Deponi alanlarına ait alan ve hacim değerleri [30].

LOT NO	Alan (m ²)	Hacim (m ³)
1	78841	1580000
2	28586	68000
3	32645	95000
4	1145	101000
5	63980	1029000
6	98165	969919
7	50945	290000
Toplam:	363007 m²	4132919 m³

2006 yılında 7 numaralı lotta yani Lot 7’de bulunan gaz borularında gerekli bağlantılar oluşturularak tek bir noktada toplanma sağlanmış ve deponi gazı bir yakıcı (flare) yardımıyla yakılarak atmosfere verilmeye başlanmıştır. Aynı şekilde 2007 yılı sonunda Lot 5 alanında da gaz toplama ve bertaraf sistemi kurulmuştur. Örneklemeye çalışmalarımız esnasında test aşamasına gelen sistemin 2008 yılında devreye alınması öngörülmüştür. Zaman içerisinde, lotlar dolup kapatıldıkça diğer lotlarda da aynı işlemin yapılması düşünülmektedir.

İZAYDAŞ tesis düzenli depolama alanına depolanan evsel veya kentsel nitelikli katı atıklara ait depolama miktarları Tablo 4.2’ de verilmiştir. Önce Lot 7 alanına depolanan atıklar bu lotun dolmasıyla sırasıyla Lot 5 ve Lot 4’ e depolanmıştır. Halen atıklar Lot 3 alanına depolanmaya devam edilmektedir.

Tablo 4.2’ de verilen katı atık depolama miktarları ile deponi alanının işletmeye alınma ve kapatılma tarihleri, özellikle deponi gazı oluşumu ve buna bağlı olarak

modelleme çalışmalarında ve VOC türlerinin tahmini konsantrasyonlarının hesaplanmasında gerekli olmaktadır.

Tablo 4.2: İZAYDAŞ tesisi katı atık düzenli depolama alanlarının işletmeye alınma tarihleri ve depolanmış atık miktarları.

Aylar	LOT 7	LOT 5	LOT 4	LOT 2 + LOT 3
	İşletmeye Açılış: 09.07.1997	İşletmeye Açılış: 23.02.2000	İşletmeye Açılış: 21.02.2005	İşl. Açılış Lot:2: 09.08.2005 İşl. Açılış Lot:3: 05.09.2006
	İşl. Kapatılış: 22.02.2000	İşl. Kapatılış: 20.02.2005	İşl. Kapatılış: 08.08.2005	İşletmeye Kapatılış: (DEVAM)
	EVSEL	EVSEL	EVSEL	EVSEL
	Gelen (kg)	Gelen (kg)	Gelen (kg)	Gelen (kg)
1997	51063660	-	-	-
Devir/1998	152708160	-	-	-
Devir/1999	163950038	-	-	-
Devir/2000	26072608	162466918	-	-
Devir/2001	-	183840358	-	-
Devir/2002	-	184169820	-	-
Devir/2003	-	180516056	-	-
Devir/2004	-	220165794	-	-
Devir/2005	-	36043600	118375240	105496050

Her bir kapatılan lot için atık depolama miktarları LandGEM modelinin girdi parametrelerinden birisidir. Bu değerler yıllarına göre modele girilmiştir. LandGEM modeli bu değerlere göre atıklardan deponi gazı oluşum miktarlarını hesaplamaktadır.

BÖLÜM 5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Modelleme Çalışmaları

İZAYDAŞ düzenli depolama alanında oluşan deponi gazı bileşenlerinin, atmosferdeki teorik konsantrasyonlarının bulunması amacıyla, günümüzde oldukça fazla kullanım alanı bulan iki model olan; gaz oluşumunu modelleyen LandGEM 3.02 (Landfill Gas Emissions Model - Deponi Gazı Emisyon Modeli) ve kirlilik dağılımını modellemede USEPA tarafından geliştirilmiş olan “ISCST3 Air Dispersion Model (ISC AERMOD View 5.3, Lakes Environmental Software) (hava dağılım modeli)” kullanılmıştır. Ayrıca, ISCST3 modelinde kullanılan gerekli tüm meteorolojik datayı oluşturabilen, veri matrisi içinde hata kontrolü yapan ve istenen formata çeviren MeteoOku v1.2 Programı, bu çalışma kapsamında tarafımızdan geliştirilmiş ve ISCST3 modeli ile birlikte kullanılmıştır.

5.1.1. LandGEM deponi gazı emisyon modeli

LandGEM Version 3.02 programı, Microsoft Excel ortamında VBA (Visual Basic for Applications) makro programlama dilinde yazılmış, açık kaynak kodlu bir programdır. Bu program, depolama alanı kapatıldıktan sonra gaz üretiminin başlamasından itibaren yıllık olarak ne kadar gaz üretilebileceğini teorik olarak hesaplamaktadır. LandGEM programı USEPA tarafından geliştirilmiş ve en yaygın kullanılan programdır (Şekil 5.1).

Program, depolanan atıkların birinci dereceden bozunma denklemine uygun olarak ayrıştığını kabul edilerek emisyon hesaplamaları yapmaktadır. Denklem 5.1’de verilen ampirik formülü kullanarak katı atıklardan ne kadar gaz üretilebileceği hesaplanmaktadır [26].



Şekil 5.1: LandGEM v3.02 programı açılış ekranı.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (5.1)$$

Burada;

Q_{CH_4} = Yıllık metan üretim oranı ($m^3/yıl$),

i = 1 yıl zaman artımı,

n = (hesaplama yılı) - (atık kabulünün başlangıç yılı),

j = 0.1 yıl zaman artımı,

k = metan oluşum oranı ($yıl^{-1}$),

L_o = potansiyel metan oluşturma kapasitesi (m^3/Mg),

M_i = i . yılda depolanan katı atık miktarı (Mg - megagram),

T_{ij} = i . yılda depolanan M_i atığının, j . bölümünün yaşıdır (yıl).

LandGEM'i çalıştırmak için çeşitli parametreler gerekmektedir. Gerekli parametreler ve bu çalışmada kullanılan veriler Tablo 5.1'de ve kullanıcı girdilerini gösteren ekran Şekil 5.2a ve b'de verilmiştir.

Hazırlanan modelleme projesinde, bu çalışmanın konusu olan uçucu organik bileşikler olarak BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve m,p,o-ksilenler) dikkate alınmıştır.

Tablo 5.1: LandGEM modeli için belirlenen çalışma parametreleri.

Parametre	Lot 5	Lot 7
Deponi Açılış Tarihi	2000	1997
Deponi Kapatış Tarihi	2005	2000
Atık Dizayn Kapasitesi (Mg)	970000	400000
Metan Oluşum Oranı (yıl ⁻¹)	0,05	
Potansiyel Metan Oluşum Kapasitesi, L ₀ (m ³ /Mg)	Genel (CAA – 170)	
Metan İçeriği (%)	54.9 (Bkz. Bölüm 3, Tablo 3.9)	
Gaz Kirletici #1	Methane	
Gaz Kirletici #2	Carbon dioxide	
VOCs	Benzen Toluen Etilbenzen Ksilenler (mp ve o)	

Modelin temel parametrelerinden birisi de depolanan atık miktarlarıdır. İZAYDAŞ tesisinin kapatılan lotları olan Lot 5 ve 7'de 1997-2005 yılları arasında depolanan katı atık miktarları Tablo 5.2'de verilmiştir. Bu değerler, İZAYDAŞ düzenli depolama alanı işletilmesi sırasında kaydedilen verilerdir. Program, atıkların depolama miktarını gösteren ve ana birim olan "short tons/yıl" birimine, girilen Mg/yıl değerlerini kullanarak ulaşmaktadır.

Ayrıca, deponi alanı için yıllık yağış oranı olarak 835 mm ve ortalama yıllık sıcaklık olarak 14.5 °C kabul edilmiştir. Şekil 5.3'te kabul edilen LandGEM model parametreleri gösterilmiştir.

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2000	162.467	178.714
2001	183.840	202.224
2002	184.169	202.586
2003	180.516	198.568
2004	220.166	242.183
2005	36.044	39.648
2006		
2007		
2008		
2009		
2010		
2011		
2012		

Şekil 5.2a: LandGEM 3.02 modeline ait Lot 5 için veri giriş sayfası.

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
1997	51.063	56.169
1998	152.708	167.979
1999	163.950	180.345
2000	26.073	28.680
2001		
2002		
2003		
2004		
2005		
2006		
2007		
2008		
2009		

Şekil 5.2b: LandGEM 3.02 modeline ait Lot 7 için veri giriş sayfası.

Tablo 5.2: Düzenli depolama alanında Lot 5 ve Lot 7'ye 1997-2005 yılları arasında depolanan katı atık miktarları.

Yıl	Depolanan Atık Miktarı, (Mg/yıl)	
	Lot 7	Lot 5
1997	51063	-
1998	152708	-
1999	163950	-
2000	26073	162467
2001	-	183840
2002	-	184169
2003	-	180516
2004	-	220166
2005	-	36044
Toplam	393794	976202

Tablo 5.2'deki verilere göre toplam olarak Lot 5'e 976000 ton ve Lot 7 ise 394000 ton katı atık depolanmıştır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
11	2: DETERMINE MODEL PARAMETERS					Parameters				
12	Methane Generation Rate, k (year⁻¹)									
13	0.05									
14	Potential Methane Generation Capacity, L₀ (m³/Mg)									
15	CAA Conventional - 170									
16	NMOC Concentration (ppmv as hexane)									
17	CAA - 4,000									
18	Methane Content (% by volume)									
19	User-specified					User-specified value: 55				
20										
21										
22	3: SELECT GASES/POLLUTANTS									
23	Gas / Pollutant #1					Default pollutant parameters are currently being used by model.				
24	Benzene - Co-disposal - HAP/VOC									
25	Gas / Pollutant #2					Edit Existing or Add New Pollutant Parameters				
26	Ethylbenzene - HAP/VOC									
27	Gas / Pollutant #3					Restore Default Pollutant Parameters				
28	Toluene - Co-disposal - HAP/VOC									
29	Gas / Pollutant #4									
30	Xylenes - HAP/VOC									
31										

Şekil 5.3: Model parametreleri ve seçilen gaz kirletici türleri.

5.1.2. Hava dağılım modelleri ve ISCST3

Herhangi bir bacadan atmosfere salınacak kirletici emisyonlarının havadaki dağılımları ve neden olacakları ortam havası konsantrasyon değerleri hava dağılım modelleri yardımıyla tahmin edilir. Bu modeller, bir yörede geçmişteki herhangi bir periyotta gözlenen meteorolojik koşulları baz alarak, mevcut emisyon oranlarını ve bu emisyonların atmosfere salındıkları yükseklikleri kapsayan belirli formüller yardımıyla kirleticinin atmosferde nasıl bir dağılıma uğrayacağını tahmin ederler. Bu konulardaki bilgi birikiminin zamanla artması ve modelleme tekniklerinin de artan bilgisayar olanaklarıyla gelişmesi ile birlikte bu modeller gittikçe daha ileri seviyelere ulaşmış ve kirleticinin dağılımı ile ilgili daha gerçekçi tahminler yapılmaya başlanmıştır. İstatistiksel süreçlerin de modellere katılmasıyla kirletici dağılımları hakkında daha ayrıntılı tahminler yürütme olanağı doğmuştur. Ancak unutmamak gerekir ki, kullanılan modele, modelin uygulandığı yörenin spesifik özelliklerine ve model dahilinde yapılan kabullere göre belirli sapmaların meydana gelmesi, ya da özellikle bazı konularda bilgi birikiminin yetersizliği nedeniyle henüz

doğruluğu genel olarak kabul edilmiş bir modelleme prosedürünün geliştirilmemiş olması nedeniyle gerçekçi tahminlerden uzaklaşma olasılığı her zaman söz konusu olabilir. Bu uzaklaşma, gözlenebilecek değerden çok büyük bir değer tahmini şeklinde olabileceği gibi (tutucu tahmin), aksine, bu değerden çok daha küçük bir değer tahmin edilmesi şeklinde de olabilir. Birinci durum, kirletici kaynaklı tehlikenin büyütülmesine neden olurken, ikinci durum, riskin küçümsenmesine yol açar. Her iki durumun da kendine özgü dezavantajları vardır. Kısaca söylemek gerekirse, riskin büyütülmesi, aşırı derecede sıkı önlemler alma yoluna sevk edeceği için zaman, çaba ve kaynak israfına yol açabilir. Riskin küçümsenmesi ise yeterli derecede (veya hiç) önlem almamaya yol açarak yörede yaşayan insanları tehlikeye atabilir. Kirleticilerin havadaki hareketleri ve dağılımları, emisyon oranları, baca yükseklikleri ve meteorolojik koşulların yanı sıra kirleticinin spesifik (fiziksel, kimyasal, termodinamik vs.) özelliklerine de bağlıdır. Mevcut modeller daha çok partiküller, NO_x ve SO₂ vb. genel kirleticilerin dağılımları için kullanıldığından bu özelliklerden bir kısmını dikkate almaktadır. Hava kalitesinin en uygun teknolojiyi kullanarak en etkin tarzda kontrol edilebilmesi için;

- a) Kirleticilerin emisyon ve imisyon standartlarının sağlanacağı seviyelere düşürüleceği miktarların,
- b) Konutsal alanların ve yüksek bacaların yer seviyesine bağlı katkılarının,
- c) Yeni bir emisyon kaynağının yerleştirileceği yerin,
- d) Çalışma saatleri değiştirilerek trafik yükünün azaltılmasının, hava kalitesindeki iyileşmeye etkilerinin,
- e) Diğer bir çok kirleticinin başlangıcı olan birincil kirleticilerin emisyonlarındaki azalmaların, ikincil kirleticilerin derişimlerindeki değişimlere etkilerinin,
- f) Gelecekte beklenen hava kalitesinin bilinmesi, tahmin edilebilmesi veya hesaplanabilmesi,

istenilebilir. Tespit edilen açık ortam (ambient / imisyon) derişim seviyeleri çeşitli modeller yardımıyla yeni kurulacak olan tesisler için müsaade edilebilir kirletici emisyonları ile ilişkilendirilebilir. Mevcut kurulu bir tesisin atmosfere deşarj edilen kirletici bileşenlerin meteorolojik, topografik ve benzeri faktörlerin etkisiyle dağılımı

sonucunda belirli konumlardaki kirletici bileşenlerin derişimlerinin hesaplanabilmesi ve hatta o yöreye uygun giderme ve kontrol teknolojilerinin uygulanabilirliklerinin incelenebilmesi için dağılım veya dispersiyon modellerinden yararlanılmaktadır. Kirletici kaynak emisyonlarının atmosferde dağılımının belirlenebilmesinde kullanılan nümerik modellerin çoğu Gauss normal dağılım modelinin, tek veya çok boyutlu dispersiyonlar için geliştirilmiş modifikasyonlarıdır. Bu çalışmada kullanılan yazılım da, USEPA – ISCST3 modelini kullanmaktadır. Bu model de Gauss dispersiyon modeline dayanmaktadır.

Hava dağılım modelleri, risk değerlendirme çalışmalarında son derece önemli bir yer tutar, zira maruz kalma yollarına ilişkin tüm tahminler bu modellerin sonuçlarına dayanır. Bu bakımdan önce bacadan atmosfere atılan kirleticinin emisyon oranı belirlenir. Risk değerlendirme çalışmalarının çoğunda durağan-durum Gauss bulutu (GP-Gaussian plume) modelleri kullanılır. Bu modeller saatlik meteorolojik verileri kullanarak havadaki uzun ve kısa vadeli kirletici konsantrasyonlarını tahmin ederler. Halen çok sayıda GP modeli mevcut olup dünya çapında kirletici dağılımlarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Dahası GP modelleri, yaklaşık 25 yıldır ABD çevre yasalarının bir parçası olup bilimsel ve teknik çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Bu modellerden bir çoğu USEPA tarafından geliştirilmiş ve onaylanmıştır [31].

COMPLEXI, ISCST (Industrial Source Complex Short Term), COMPDEP (COMPLEXI ve ISCST' nin birleşimi), ISCST2 ve ISCST3, ISC PRIME ve ISC AERMOD bu modellerden bir kaçı olup çoğu USEPA tarafından geliştirilmiş ve onaylanmıştır. NOx'ler ile ilgili değerlendirmelerde de bu modeller kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak Zemba et al (1996)'da COMPDEP kullanılmış iken, Basham and Whitwell (1999) ve Lorber et al. (2000) gibi daha yeni çalışmalarda ISCST3 kullanılmıştır. COMPDEP, ISCST3'e göre daha eski olup artık yasal uygulamalarda USEPA tarafından önerilmemektedir ancak bazı risk değerlendirme çalışmalarında kullanılmaktadır [31-33, 65].

Bu çalışmada hava dağılım modeli olarak ISCST3 (Lakes-Environmental Software) kullanılmıştır. ISCST3'te yer alan formüller ve modelin ayrıntılı bir şekilde anlatımı bu bölümde verilmiştir. Lorber et al. (2002)'de bu modelin kısa süreli olaylara

nazaran uzun vadeli (örneğin yıllık) tahminlerde daha iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir [33]. Ayrıca ülkemizde Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde (HKKY) atmosferik dağılım için Gauss dağılımı temelli benzer tür bir dispersiyon modeli esas alınmıştır [34, 65].

5.1.2.1. ISCST3 hava dağılım modeli

Industrial Source Complex Short Term (ISCST) modeli, çeşitli endüstriyel kirlilik kaynaklarının söz konusu olduğu yerlerde, bu kaynaklara ait emisyonların dağılımlarının modellenmesi yönünde farklı seçenekler sunabilen bir modelleme yaklaşımıdır. Modelin temeli Gauss dağılım denklemi olup, bu denklem, bazı modifikasyonlarla birlikte bacalardan kaynaklanan basit nokta kaynak emisyonları, kaynağa yakın binaların neden olduğu aerodinamik yıkanma etkilerine yol açan baca emisyonları, yalın ya da çoklu gaz çıkışları, kirlilik yaratıcı depolama faaliyetleri, hareketli kaynak emisyonları vb. emisyonların modellenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

“ISC Short Term” modeli, kirlilik bulutunun yükselmesi, taşınımı, dağılımı ve birikimini tanımlamak üzere saatlik meteorolojik verileri kullanmaktadır. Model, saatlik meteorolojik verilere göre kaynak ve alıcı gruplarının bileşimi temelinde konsantrasyon ve birikim miktarlarını tahmin eder ve istenen kısa vade ortalamalarını hesaplar. Birikim değerlerine ilişkin olarak kuru birikim hızı, ıslak birikim hızı ya da toplam birikim hızı tahmin edilebilmektedir. Toplam birikim hızı, basit olarak, herhangi bir alıcı grubu noktasındaki kuru ve ıslak birikim hızlarının toplamını ifade eder.

5.1.2.2. Nokta kaynak emisyonları

ISC Short Term modeli, bacalar veya yalın gaz çıkışları gibi nokta kaynak emisyonlarının modellenmesinde durağan-durum Gauss dağılım denklemini kullanır [36]. Bu bölümde Gauss nokta kaynak modeli tanımlanmış ve temel Gauss denklemi, kirlilik dağılımı formülleri ve dağılım parametrelerini belirlemek için kullanılan formüller verilmiştir.

5.1.2.3. Alan kaynak emisyonları

Alan kaynaklar düşük seviyeli veya yer seviyesindeki baca gazı yükselmesinin olmadığı gaz emisyonlarının örneğin yığıntılardan, çöplüklerden veya lagünlerden kaynaklanan emisyonların modellenmesinde kullanılmaktadır [35-36]. ISCST3 modeli kuzey veya güneye göre belli açığa sahip olan dikdörtgen alanları kabul etmektedir. Düzgün olmayan alanlar (poligon şekilli alanlar) daha küçük fakat çok sayıda dikdörtgen alana bölünerek hesaplamalar yapılmaktadır. Bir alan kaynak için alanın koordinatları, taban yüksekliği ve emisyon oranı bilgileri gerekmektedir.

5.1.2.4. Açık-çukur emisyonları

Maden ocakları veya taş ocaklarından kaynaklanan partikül veya toz emisyonlarının modellenmesinde açık-çukur modeli (open-pit model) kullanılmaktadır [35-36].

5.1.2.5. Gauss denklemi

Bacalardan kaynaklanan emisyonlar için kullanılan ISC Short Term modeli, sabit yükseklikteki bir kaynak için verilen durağan-durum Gauss dağılım denklemini uygulamaktadır. Her kaynak ve periyot için kaynağın koordinat sisteminin orijini, yer yüzeyinde bacanın tabanına yerleştirilir. Burada x eksenini pozitif rüzgar yönünü gösterirken, y eksenini bu yöne dik (normal) kesen yönü, z eksenini de yer yüzeyini (ve diğer eksenleri) dik kesen yükseklik doğrultusunu gösterir. Sabit alıcı noktaları ise, saatlik konsantrasyon hesaplamaları için kaynağın koordinat sistemi temel alınarak belirlenirler. Rüzgar yönünde (x eksenini) ve buna dik yöndeki (y eksenini) hesaplamalar ilerleyen bölümlerde verilmiştir. Daha sonra, her alıcı grubu için birden çok kaynaktan çıkan emisyonların ürettiği toplam konsantrasyon değerini elde etmek üzere, alıcı grubunun her bir kaynaktan dolayı (hesaplamalar yoluyla elde edilen) maruz kalacağı saatlik konsantrasyon değerleri toplanır. Durağan-durum Gauss denklemi için, rüzgar yönündeki herhangi bir x (metre) ve buna dik yöndeki herhangi bir y (metre) uzaklığında saatlik konsantrasyon değerleri şu şekilde ifade edilir:

$$\chi = \frac{Q}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left(\exp\left[-0.5\left(\frac{H-Z}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H+Z}{\sigma_z}\right)^2\right] \right) \quad (5.2)$$

Bu formülde;

X : Kirletici konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),

Q : Kirletici emisyonun debisi (g/s),

H : Efektif yükseklik (m),

σ_y, σ_z : Yatay ve dikey konsantrasyon dağılımının standart sapması (m),

u_s : Emisyonun atmosfere salınma yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı (m/s).

Denklem (5.2) bir dikey terim (V), y ve z yönlerindeki dağılım parametreleri (σ_y, σ_z) içermektedir. Bu denklemdeki üstel terimlerden ilki yatay düzlemde rüzgar yönüne dik y eksenindeki dağılımı, ikincisi ise z eksenindeki dikey dağılımı (V) ifade eder. Bu terimler daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Buradaki dikey terim; kaynak ve alıcı yüksekliklerinin, kirlilik bulutunun havadaki yükselişinin, dikey doğrultudaki sınırlı karışımın, yerçekiminden kaynaklanan çökelmenin ve parçacıkların (çapları yaklaşık olarak $0.1 \mu'$ dan büyük) kuru birikiminin etkilerini içermektedir.

5.1.2.6. Rüzgar yönünde ve çapraz yöndeki uzaklıklar

ISC modeli, kullanıcı tarafından tanımlanan alıcı gruplarının polar ya da Kartezyen bir şebekesi üzerinde çalışabilmektedir. Dağılımla ilgili hesaplamalardan önce tüm alıcı noktaları Kartezyen {X,Y} koordinatları üzerinde tanımlanır. Polar koordinat sisteminde ise kullanıcı tarafından tanımlanan bir orijine göre noktanın radyal koordinatı (r, θ) ölçülür, açısal θ koordinatı ise kuzeyden başlanarak saat yönünde belirlenir. Kartezyen koordinat sisteminde ise X-ekseni, belirlenen orijinin doğu yönünde, Y-ekseni de kuzey yönünde pozitifdir. Bu alıcı şebekelerinin her birinde Kartezyen koordinatlar yardımıyla gridin orijinine göre emisyon kaynaklarının yerleri tanımlanır. Polar koordinat sisteminde, orijin $X=X_0, Y=Y_0$ olarak alınırsa (r, θ) noktasındaki bir alıcının X ve Y koordinatları şu şekilde belirlenir:

$$X(R) = r \cdot \sin \theta - X_0 \quad (5.3)$$

$$Y(R) = r \cdot \cos \theta - Y_0 \quad (5.4)$$

Eğer kaynağın X ve Y koordinatları X(S) ve Y(S) alınır, rüzgar yönünde, yani kirlilik bulutunun gittiği yöndeki alıcıya uzaklığı x, şu şekilde hesaplanabilir:

$$x = -(X.(R) - X(S)).\sin(WD) - Y((R) - Y(S)).\cos(WD) \quad (5.5)$$

Burada WD, rüzgarın hangi yönden estiğini belirtir. Rüzgar yönündeki uzaklık, kirlilik bulutunun uzaklığa bağlı yükselişinin ve dağılım parametrelerinin hesaplanmasında kullanılır. Kirlilik bulutu hareketinin merkez hattını oluşturan eksenden, rüzgar yönüne dik yönde (yani çapraz yönde) alıcıya uzaklık y ise şu şekilde verilmektedir:

$$y = (X.(R) - X(S)).\cos(WD) - Y((R) - Y(S)).\sin(WD) \quad (5.6)$$

Rüzgar yönüne dik doğrultudaki bu uzaklık Denklem 5.1’de kullanılmıştır.

5.1.2.7. Rüzgar hızı profili

Rüzgar gücü kanunu, gözlenen rüzgar hızının (u_{ref}), bir referans ölçüm yüksekliği (z_{ref}) yardımıyla, baca veya atmosfere salınma yüksekliğine (h_s) göre ayarlanması amacıyla kullanılır. Gauss dağılım denkleminde ve kirlilik bulutunun yükselmesi denklemlerinde baca yüksekliğindeki rüzgar hızı (u_s) kullanılır. Güç kanunu denklemi şu şekildedir:

$$u_s = u_{ref} \cdot \left(\frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p \quad (5.7)$$

Burada p, rüzgar profili üssüdür. p değerleri, durağanlık (stabilite) kategorisi ve rüzgar hızı sınıfına göre belirlenir. Bu değerler aşağıda verilmiştir.

<u>Stabilite Sınıfı</u>	<u>Kırsal Bölge</u>	<u>Kentsel Bölge</u>
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

Baca yüksekliğindeki rüzgar hızının (u_s) 1.0 m/s' nin altında olmasına izin verilmez.

5.1.2.8. Kirlilik bulutu yükselmesi formülleri

Kirlilik bulutunun yüksekliği, daha önce tanımlanan “Dikey Terimin” hesaplanmasında kullanılır. Briggs kirlilik bulutu yükselmesi denklemleri aşağıda ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Burada yer alan tanımlar “Addendum to the MPTER User’s Guide- Appendix B” de, bina engellerinden etkilenmeyen kirlilik bulutları için verilen tanımları izlemektedir [39]. Eğer bulut herhangi bir engelden etkileniyorsa, bina yıkanmasının hesaplanması için Bowers et al. (1979) tarafından verilen uzaklığa bağlı momentumu baz alan kirlilik bulutu yükselmesi denklemleri kullanılır [38]. Bu tür engellerin etkilerini belirlemeyi amaçlayan bulut yükselmesi denklemleri, baca-ucu yıkanmasının olmadığı kabul edilerek uygulanır.

5.1.2.9. Yüzdürme ve momentum akıları

Kirlilik bulutunun yükselmesi denklemlerinde Briggs yüzdürme akısı parametresi, F_b (m^4/s^3) istenir. Bunun için Briggs (1975)’ te Denklem (12) olarak belirtilen denklemin eşdeğeri olan aşağıdaki eşitlik verilmiştir:

$$F_b = g \cdot v_s \cdot d_s^2 \cdot \left(\frac{\Delta T}{4 \cdot T_s} \right) \quad (5.8)$$

Burada $\Delta T = T_s - T_a$ olup, T_s baca gazı sıcaklığını (0K); T_a ise ortam havası sıcaklığını (0K) gösterir.

Bulutun momentumundan kaynaklanan bulut yükselmesini bulmak içinse, aşağıdaki formül kullanılarak momentum akısı parametresi, F_m (m^4/s^2) hesaplanır:

$$F_m = v_s^2 \cdot d_s^2 \cdot \left(\frac{T_a}{4 \cdot T_s} \right) \quad (5.9)$$

5.1.2.10. Kararsız veya nötral-momentum ve yüzdürme arasındaki etkileşim

Baca gazı sıcaklığının ortam sıcaklığına eşit ya da ondan büyük olduğu durumlarda, bulut yükselmesindeki baskın etkenin momentum ya da yüzdürme parametrelerinden hangisi olduğunun belirlenmesi gerekir. Bu durumu ifade eden sıcaklık farkı, $(\Delta T)_c$,

Briggs (1969)'da, Denklem 5.2 olarak verilen denklemin Briggs (1971)'de verilen Denklem 5.7 ve Denklem 5.8'in bir bileşimine eşitlenmesi ve daha sonra da (ΔT) için çözülmesi ile elde edilir [37, 40]:

$$F_b < 55 \text{ için: } (\Delta T)_c = 0,0297.T_s \cdot \frac{v_s^{1/2}}{d_s^{2/3}} \quad (5.10)$$

$$F_b \geq 55 \text{ için: } (\Delta T)_c = 0,0575.T_s \cdot \frac{v_s^{2/3}}{d_s^{1/3}} \quad (5.11)$$

Baca gazı sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farklılık, (ΔT) , $(\Delta T)_c$ ' ye eşit ya da ondan büyük ise, bulutun yükselişindeki baskın etkenin yüzdürme, aksi halde ise momentum etkisi olduğu kabul edilir.

5.1.2.11. Kararsız ya da nötral – yüzdürme etkisi ile yükselme

Yukarıda sözü edildiği gibi (ΔT) 'nin $(\Delta T)_c$ ' yi aştığı durumlarda, yüzdürme etkisinin baskın olduğu düşünülür. Bu durumda, nihai yükselişe olan uzaklık, x_f , Briggs (1971)'de verilen Denklem 5.8'e eşdeğer bir formül yardımıyla belirlenir ve nihai yükselişe olan uzaklık $[3.5 x]$ olarak kabul edilir [41]. Burada x' , atmosferik türbülansın sürüklenmeye baskın olmaya başladığı noktadaki uzaklığı belirtir. x_f ' in değeri aşağıdaki şekilde belirlenir [41]:

$$F_b < 55 \text{ için: } x_f = 49.F_b^{5/8} \quad (5.12)$$

$$F_b \geq 55 \text{ için: } x_f = 119.F_b^{2/5} \quad (5.13)$$

Nihai etkin bulut yüksekliği, h_e (m), Briggs (1971)'deki Denklem (6) ve (7)'nin birleşimine eşdeğer bir denklem yardımıyla bulunur [41]:

$$F_b < 55 \text{ için: } h_e = h_s' + 21,425 \frac{F_b^{3/4}}{u_s} \quad (5.14)$$

$$F_b \geq 55 \text{ için: } h_e = h_s' + 38,71 \frac{F_b^{3/5}}{u_s} \quad (5.15)$$

5.1.2.12. Kararsız ya da nötral – momentum etkisi ile yükselme

Baca gazı sıcaklığının ortam havası sıcaklığına eşit ya da ondan küçük olduğu durumlarda, bulut yükselmesindeki baskın etkenin momentum olduğu kabul edilir. Denklem (5.10) veya (5.11)'e göre, (ΔT) 'nin $(\Delta T)_c$ ' den küçük olduğu durumlarda da, bulut yükselmesinin momentum tarafından belirlendiği kabulü yapılır. Bu durumda bulut yüksekliği Briggs (1969)'da Denklem (5.2) olarak verilen denklem yardımıyla hesaplanır:

$$h_e = h'_s + 3.d_s \frac{v_s}{u_s} \quad (5.16)$$

Briggs (1969), bu denklemin, v_s/u_s oranının 4'ten büyük olduğu koşullarda en uygun şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir [40].

5.1.2.13. Kararlılık (stabilite) parametresi

Kararlı durumlarda, kararlılık parametresi, s , aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$s = g \cdot \frac{\partial \theta / \partial z}{T_a} \quad (5.17)$$

Mevcut yaklaşımda, $\partial \theta / \partial z$ değeri, E (veya 5) kararlılık sınıfı için 0.020 K/m; F (veya 6) kararlılık sınıfı için ise 0.035 K/m olarak alınmıştır [41].

5.1.2.14. Kararlı - momentum ve yüzdürme arasındaki etkileşim

Baca gazı sıcaklığının ortam sıcaklığına eşit ya da ondan büyük olduğu durumlarda bulut yükselmesindeki baskın etkenin momentum ya da yüzdürme parametrelerinden hangisi olduğunun belirlenmesi gerekir. Bu durumu ifade eden sıcaklık farkı, $(\Delta T)_c$, Briggs (1975)' te Denklem (59) olarak verilen denklemin Briggs (1969)'da verilen Denklem (4.28)'e eşitlenmesi ve daha sonra da (ΔT) için çözülmesi ile elde edilir:

$$(\Delta T)_c = 0,019582.T_s.v_s.\sqrt{s} \quad (5.18)$$

Baca gazı sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farklılık, (ΔT) , $(\Delta T)c'$ ye eşit ya da ondan büyük ise, bulutun yükselişindeki baskın etkenin yüzdürme, aksi halde ise momentum etkisi olduğu kabul edilir [41].

5.1.2.15. Kararlı – yüzdürme etkisi ile yükselme

Yukarıda sözü edildiği gibi (ΔT) 'nin $(\Delta T)c'$ yi aştığı durumlarda, yüzdürme etkisinin baskın olduğu düşünülür. Bu durumda, nihai yükselişe olan uzaklık, x_f , Briggs (1975)'te verilen Denklem (48) ile Denklem (59)'un birleşimine eşdeğer bir formül yardımıyla belirlenir:

$$x_f = 2,0715 \cdot \frac{u_s}{\sqrt{s}} \quad (5.19)$$

Bulut yüksekliği, h_e (m), Briggs (1975)'teki Denklem (59)'a eşdeğer bir denklem yardımıyla bulunur [42]:

$$h_e = h'_s + 2,6 \left(\frac{F_b}{u_s \cdot s} \right)^{1/3} \quad (5.20)$$

5.1.2.16. Kararlı – momentum etkisi ile yükselme

Baca gazı sıcaklığının ortam havası sıcaklığına eşit ya da ondan küçük olduğu durumlarda, bulut yükselmesindeki baskın etkenin momentum olduğu kabul edilir. (5.18) denklemine göre, (ΔT) 'nin $(\Delta T)c'$ den küçük olduğu durumlarda da, bulut yükselmesinin momentum tarafından belirlendiği kabulü yapılır. Bu durumda bulut yüksekliği Briggs (1969)'da Denklem (4.28) olarak verilen denklem yardımıyla hesaplanır [40]:

$$h_e = h'_s + 1,5 \left(\frac{F_m}{u_s \cdot \sqrt{s}} \right)^{1/3} \quad (5.21)$$

Burada ayrıca, kararsız-nötral momentum yükselmesini tanımlayan (1.16) denklemini de değerlendirilir. Sonuçta bulut yüksekliği olarak, bu iki eşitliğin sonuçlarından daha küçük olanı alınır, zira kararlı bulut yükselmesinin, kararsız-nötral bulut yükselmesini aşmaması gerekir [40, 41, 42].

5.1.2.17. Tüm koşullar – nihai yükselme uzaklığından küçük uzaklıklar

Kararsız, nötral ya da kararlı koşullar için yavaş ve kademeli bir yükselmenin tahmin edildiği durumlarda, rüzgar yönünde kaynak ile alıcı arasındaki uzaklık, x , nihai yükselme uzaklığından küçük ise, bulut yüksekliğini bulmak için Briggs (1971)'de Denklem (2) olarak verilen denklemin bir eşdeğeri kullanılır [41]:

$$h_e = h'_s + 1,60 \cdot \frac{F_b^{1/3} \cdot x^{2/3}}{u_s} \quad (5.22)$$

Bu yükseklik sadece yüzdürme etkisinin baskın olduğu durumlarda kullanılır. Belirlenen koşulda nihai yükselme değerini aşıyorsa, bunun yerine nihai yükselme değeri kullanılır [41].

Momentum etkisinin baskın olduğu durumlarda ise, bu etkinin neden olduğu bulut yükselmesine bağlı uzaklığı hesaplamak için Bowers et al. (1979) tarafından verilen aşağıdaki denklemler kullanılır [38, 40]:

Kararsız Koşullar:

$$h_e = h'_s + \left(\frac{3 \cdot F_m \cdot x}{\beta_j^2 \cdot u_s^2} \right)^{1/3} \quad (5.23)$$

Burada x (m), rüzgar yönündeki uzaklık olup, maksimum değeri, x_{\max} şu şekilde belirlenir:

$$\begin{aligned} x_{\max} &= \frac{4 \cdot d_s \cdot (v_s + 3 \cdot u_s)^2}{v_s \cdot u_s} && F_b = 0 \text{ için,} \\ x_{\max} &= 49 \cdot F_b^{5/8} && 0 < F_b \leq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3 \text{ için,} \\ x_{\max} &= 119 \cdot F_b^{2/5} && F_b > 55 \text{ m}^4/\text{s}^3 \text{ için.} \end{aligned} \quad (5.24)$$

Kararlı Koşullar:

$$h_e = h'_s + \left[3 \cdot F_m \frac{\sin(x \cdot \sqrt{s} / u_s)}{\beta_j^2 \cdot u_s \cdot \sqrt{s}} \right]^{1/3} \quad (5.25)$$

Burada x (m), rüzgar yönündeki uzaklık olup, maksimum değeri, x_{max} şu şekilde belirlenir:

$$x_{\max} = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot u_s}{\sqrt{s}} \quad (5.26)$$

Jet sürüklenme katsayısı, β_j ise şu şekilde belirlenir:

$$\beta_j = \frac{1}{3} + \frac{u_s}{v_s} \quad (5.27)$$

Yüzdürme etkisiyle kademeli yükselmeye olduğu gibi, burada da, uzaklığa bağlı momentum yükselmesi, belirlenen koşulda nihai yükselme değerini aşıyorsa, yerine nihai yükselme değeri kullanılır. Bu çalışmada yer seviyesinde ve alan kaynak ile çalışıldığı için kirlilik bulutunun herhangi bir bina ya da başka bir tür engelle karşılaşmayacağı göz önüne alınarak kirlilik bulutunun hareketine bina etkisinin olmayacağı kabul edilmiş ve bu nedenle engel etkilerine ait denklem ve hesaplamalar verilmemiştir.

5.1.2.18. Dağılım parametreleri

Kırsal alanda σ_y ve σ_z değerlerini (m olarak) hesaplamak için Turner (1970) tarafından verilen ve Pasquill-Gifford eğrilerini yaklaşık olarak tanımlayan denklemler kullanılır [43]. σ_y değerini hesaplamak için şu denklemler kullanılır:

$$\sigma_y = 465.11628 \cdot x \cdot \tan(\text{TH}) \quad (5.28)$$

Burada;

$$\text{TH} = 0.017453293 \cdot [c - d \cdot \ln(x)] \quad (5.29)$$

şeklinde verilmektedir. (5.31) ve (5.32) denklemlerinde rüzgar yönündeki uzaklık, x, kilometre cinsinden verilmiştir. c ve d katsayıları ise Tablo 5.3'te verilmektedir. σ_z ise şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_z = a \cdot x^b \quad (5.30)$$

Burada rüzgar yönündeki uzaklık, x , kilometre cinsinden; σ_z ise metre cinsinden ifade edilir. Tablo 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6'da ise kentsel alanlardaki σ_y ve σ_z değerlerini belirlemede kullanılan denklemleri ve tipik göstermektedir. Bu ifadeler, Gifford (1976) tarafından da belirtildiği üzere Briggs tarafınca ortaya konmuşlardır ve McElroy and Pooler (1968)'de verilen kentsel dikey difüzyon verileriyle en iyi uyumu temsil ederler [44].

Tablo 5.3: Pasquill-Gifford σ_y değerini hesaplamak için kullanılan parametreler [40].

Pasquill Kararlılık Sınıfı	$\sigma_y = 465.11628 (x) \tan (TH)$ $TH = 0.017453293 [c - d \ln(x)]$	
	c	d
A	24.1670	2.5334
B	18.3330	1.8096
C	12.5000	1.0857
D	8.3330	0.72382
E	6.2500	0.54287
F	4.1667	0.36191

Burada σ_y metre, x ise kilometre cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.4: McElroy-Pooler σ_y değerini hesaplamak için kullanılan Briggs Formülleri [40].

Pasquill Kararlılık Sınıfı	σ_y (m)*
A	$0.32 x (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
B	$0.32 x (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
C	$0.22 x (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
D	$0.16 x (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
E	$0.11 x (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$
F	$0.11 x (1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$

* Burada x metre cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.5: McElroy-Pooler σ_z değerini hesaplamak için kullanılan Briggs Formülleri [40].

Pasquill Kararlılık Sınıfı	σ_z (m)*
A	$0.24 x (1.0 + 0.001 x)^{1/2}$
B	$0.24 x (1.0 + 0.001 x)^{1/2}$
C	0.20 x
D	$0.14 x (1.0 + 0.0003 x)^{-1/2}$
E	$0.08 x (1.0 + 0.0015 x)^{-1/2}$
F	$0.08 x (1.0 + 0.0015 x)^{-1/2}$

* Burada x metre cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.6: Pasquill-Gifford σ_z değerini hesaplamak için kullanılan parametreler [43].

Pasquill Kararlılık Sınıfı	x (km)	$\sigma_z = a \cdot x^b$	
		a	b
A*	<0.10	122.800	0.94470
	0.10-0.15	158.080	1.05420
	0.16-0.20	170.220	1.09320
	0.21-0.25	179.520	1.12620
	0.26-0.30	217.410	1.26440
	0.31-0.40	258.890	1.40940
	0.41-0.50	346.750	1.72830
	0.51-3.11	453.850	2.11660
	>3.11	**	**
B*	<0.20	90.673	0.93198
	0.21-0.40	98.483	0.98332
	>0.40	109.300	1.09710
C*	Tümü	61.141	0.91465
D	<0.30	34.459	0.86974
	0.31-1.00	32.093	0.81066
	1.01-3.00	32.093	0.64403
	3.01-10.00	33.504	0.60486
	10.01-30.00	36.650	0.56589
	>30.00	44.053	0.51179
E	<0.10	24.260	0.83660
	0.10-0.30	23.331	0.81956
	0.31-1.00	21.628	0.75660
	1.01-2.00	21.628	0.63077
	2.01-4.00	22.534	0.57154
	4.01-10.00	24.703	0.50527
	10.01-20.00	26.970	0.46713
	20.01-40.00	35.420	0.37615
	>40.00	47.618	0.29592
F	<0.20	15.209	0.81558
	0.21-0.70	14.457	0.78407
	0.71-1.00	13.953	0.68465
	1.01-2.00	13.953	0.63227
	2.01-3.00	14.823	0.54503
	3.01-7.00	16.187	0.46490
	7.01-15.00	17.836	0.41507
	15.01-30.00	22.651	0.32681
	30.01-60.00	27.074	0.27436
	>60.00	34.219	0.21716

* Eğer hesaplanan σ_z değeri 5000 m' yi aşarsa, σ_z 5000 m kabul edilir.
** σ_z 5000 m'ye eşittir.

Yukarıdaki tablolarda verilen denklemler, ideal bir nokta kaynak için dağılım parametrelerini tanımlamaktadır. Ancak, belli bir hacme sahip kaynakların başlangıç yatay ve dikey boyutları vardır. Dahası, binalar gibi çeşitli engeller, bacadan çıkan kirlilik bulutlarının başlangıçtaki gelişmesini etkileyebilmektedir. Bu durumlarda,

etken yatay (x_y) ve dikey (x_z) uzunluklar, ISC modelleri tarafından, σ_y ve σ_z hesaplamalarında, rüzgar yönündeki gerçek uzunluğa (x) eklenirler.

Ancak bu çalışmada ele alınan kaynak, bir tesis bacası olduğu için ideal bir nokta kaynak olarak kabul edilebilir. Bu bakımdan bu parametrelere ilişkin tanımlamalar ve formüller burada verilmemiştir.

5.1.2.19. Yüzdürme etkisi nedeniyle oluşan dağılım

Kirlilik bulutunun türbülanslı hareketi ve ortam havasının türbülansının bulutun başlangıçtaki dağılımına etkisini tanımlamak üzere, Pasquill (1976)'da belirtilen yöntem kullanılır. Bu yöntemde etkin dikey dağılım, σ_{ze} , şu şekilde hesaplanır [43]:

$$\sigma_{ze} = \left[\sigma_z^2 + \left(\frac{\Delta h}{3,5} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.31)$$

Burada σ_z , ortam havasındaki türbülansın neden olduğu dikey dağılım; Δh ise, momentum ve/veya yüzdürme nedeniyle meydana gelen bulut yükselmesidir. Bulutun yataydaki dağılımı da benzer bir ifade ile bulunur:

$$\sigma_{ye} = \left[\sigma_y^2 + \left(\frac{\Delta h}{3,5} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.32)$$

Burada σ_y , ortam havasındaki türbülansın neden olduğu yatay dağılımı gösterir. Δh 'nin, alıcının, kaynak ile nihai yükselme uzaklığı arasında bulunduğu durumlarda uzaklığa-bağlı bir bulut yükselmesi; alıcının, nihai yükselme uzaklığının ötesinde olduğu durumlarda ise nihai bulut yükselmesi olduğunun unutulmaması gerekir. Bu bakımdan kullanıcı, tüm alıcı noktaları için nihai bulut yükselmesini kullanmayı seçerse, yüzdürme etkisinin neden olduğu dağılımın hesaplanmasında uzaklığa-bağlı bulut yükselmesi; konsantrasyon denklemlerinde ise nihai bulut yükselmesi kullanılır.

5.1.2.20. Dikey terim

Denklem 5.2'de bulunan dikey terim (V), Gauss bulutunun dikey dağılımını ifade eder. Bu terim, kaynak yüksekliği, alıcı yüksekliği, bulut yükselmesi ve dikey doğrultudaki sınırlı karışımın etkileri ile, partiküllerin yerçekimi ile çökmeleri ve kuru birikimini içerir. Dikey Terimin hesaplanması, bulut yüksekliği, alıcı yüksekliği ve karışım yüksekliğinin yanı sıra dikey dağılım parametresini (σ_z) de gerektirir.

Kuru birikim olmadığı durumda dikey terim:

Genel olarak, yerçekimi ile çökme ve kuru birikimin ortam konsantrasyonlarına etkisi, gaz halindeki kirleticiler ve küçük partiküller (çapları 0.1 mikrondan küçük partiküller) için ihmal edilebilir. Kuru birikim etkisi olmaksızın dikey terim şu şekilde ifade edilir:

$$V = \exp\left[-0,5\left(\frac{z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{z_r + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \exp\left[-0,5\left(\frac{H_1}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_2}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_3}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_4}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (5.33)$$

Bu formülde;

$$h_e = h_s + \Delta h,$$

$$H_1 = z_r - (2iz_i - h_e),$$

$$H_2 = z_r + (2iz_i - h_e),$$

$$H_3 = z_r - (2iz_i + h_e),$$

$$H_4 = z_r + (2iz_i + h_e),$$

$$z_r = \text{alıcının yüksekliği (m)},$$

$$z_i = \text{karışım yüksekliği (m)' dir.}$$

5.1.2.21. Karışım yüksekliği (mixing height)

Yezyüzü sınır katmanı (planetary boundary layer, PBL) dünya yüzeyinin büyük ölçekli atmosferik akımlarının etkileşimde bulunduğu yer olarak tanımlanmaktadır [63]. Atmosferin bu tabakasına karışan maddeler, yatayda ve dikeyde türbülansın etkisiyle yeterli bir zaman sonra tamamen karışım halinde olacağından, bu katman aynı zamanda karışım katmanı (mixing layer, ML) olarak da adlandırılmaktadır [63]. PBL yüksekliği veya karışım yüksekliği (mixing height, MH), hava kirleticilerinin belli bir hacim içindeki dağılımını modellemek için gerekli olan anahtar bir parametredir. Bu kadar önemli bir parametre olmasına rağmen MH'yi direkt belirleyebilecek bir metod günümüzde bulunmamaktadır. Fakat bu amaçla en çok radyo dalgaları (radiosounding), uzaktan algılama (remote sounding) ve parametrik metodlar kullanılmaktadır. Sayılan bu metodlar, PBL'nin bir takım özelliklerden dolayı bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Celiometer isimli yeni uygulanan bir ekipman ile MH daha doğru ölçülebilmektedir. Bunun yanında özellikle ISCST3 modelindeki gibi parametrik yaklaşımlarla MH hesaplanmaktadır. Yaklaşık MH hesaplamasında kullanılan bazı eşitlikler aşağıda verilmiştir [63]:

$$h = C_{st} \cdot L_N^{3/4} \cdot L^{1/2} \quad (5.34)$$

Denklem (5.34)'te; h : karışım yüksekliği (m), C_{st} : 7.71 sabiti, L: Monin-Obukhov uzunluğu (m) ve $L_N : u_* / N$ (u_* : yüzey sürtünme hızı (m/sn), N: Brunt-Vaisala frekansı).

Bir başka eşitlik ise u_* 'ı ve Coriolis-parametresi f 'yi kullanan nötral hal denklemidir:

$$h = a \cdot \frac{u_*}{f} \quad (5.35)$$

Denklem (5.35)'te; a: 0.05-0.3 arasında alınabilir (0.14 kabul edilebilir). Ayrıca Holzworth (1972)'ye göre MH eşitliği aşağıdaki şekilde kullanılabilir [64];

$$h = 320 \cdot u_{10} \quad (5.36)$$

Denklem (5.36)'da, u_{10} yeryüzeyinden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızıdır (m/sn).

5.1.3. ISCST3 hava dağılım modelinin uygulanması

Bu çalışmada hava dağılım modeli olarak Lakes Environment Software tarafından hazırlanan ISC-AERMOD View 5.3 kullanılmıştır. Bu yazılım, USEPA tarafından geliştirilmiş olan ISCST3 (Industrial Source Complex Short-Term) modelini kullanmaktadır. Kirletici kaynak emisyonlarının atmosferde dağılımının belirlenebilmesinde kullanılan nümerik modellerin çoğu Gauss normal dağılım modelinin, tek veya çok boyutlu dispersiyonlar için geliştirilmiş modifikasyonlarıdır.

ISCST modeli, çeşitli endüstriyel kirlilik kaynaklarının söz konusu olduğu yerlerde, bu kaynaklara ait emisyonların dağılımlarının modellenmesi yönünde farklı seçenekler sunabilen bir modelleme yaklaşımıdır. Modelin temeli Gauss dağılım denklemi olup, bu denklem, bazı modifikasyonlarla birlikte bacalardan kaynaklanan basit nokta kaynak emisyonları, kaynağa yakın binaların neden olduğu aerodinamik yıkanma etkilerine yol açan baca emisyonları, yalın ya da çoklu gaz çıkışları, kirlilik yaratıcı depolama faaliyetleri, hareketli kaynak emisyonları vb. emisyonların modellenmesi amacıyla kullanılmaktadır. “ISC Short-Term” modeli, kirlilik bulutunun yükselmesi, taşınımı, dağılımı ve birikimini tanımlamak üzere saatlik meteorolojik verileri kullanmaktadır. Model, saatlik meteorolojik verilere göre kaynak ve alıcı gruplarının bileşimi temelinde konsantrasyon ve birikim miktarlarını tahmin eder ve istenen kısa vade ortalamalarını hesaplar. Birikim değerlerine ilişkin olarak kuru birikim hızı, ıslak birikim hızı ya da toplam birikim hızı tahmin edilebilmektedir. Toplam birikim hızı, basit olarak, herhangi bir alıcı grubu noktasındaki kuru ve ıslak birikim hızlarının toplamını ifade eder.

Bu modeli, bacalar veya yalın gaz çıkışları gibi nokta kaynak emisyonlarının modellenmesinde durağan-durum Gauss dağılım denklemini kullanır. Alan kaynak algoritması, düşük seviyeli ve yer seviyesindeki emisyonların kirlilik bulutu yükselmesi olmayan durumunu modellemektedir. USEPA tarafından geliştirilmiş olan ISCST3, ISC-PRIME, ve AERMOD modelleri kuzey veya güneye göre belli açığa sahip olan dikdörtgensel alanları kabul etmektedir. Düzgün olmayan alanlar (poligon şekilli alanlar) daha küçük fakat çok sayıda dikdörtgensel alana bölünerek

hesaplamalar yapılmaktadır. Bir alan kaynak için alanın koordinatları, taban yüksekliği ve emisyon oranı bilgileri gerekmektedir.

Bacalardan kaynaklanan emisyonlar için kullanılan ISCST3 modeli, sabit yükseklikteki bir kaynak için verilen durağan-durum Gauss dağılım denklemini uygulamaktadır. Her kaynak ve periyot için kaynağın koordinat sisteminin orijini, yer yüzeyinde bacanın tabanına yerleştirilir. Burada x eksenini pozitif rüzgar yönünü gösterirken, y eksenini bu yönü dik (normal) kesen yönü, z eksenini de yer yüzeyini (ve diğer eksenleri) dik kesen yükseklik doğrultusunu gösterir. Sabit alıcı noktaları ise, saatlik konsantrasyon hesaplamaları için kaynağın koordinat sistemi temel alınarak belirlenirler. Daha sonra, her alıcı grubu için birden çok kaynaktan çıkan emisyonların ürettiği toplam konsantrasyon değerini elde etmek üzere, alıcı grubunun her bir kaynaktan dolayı (hesaplamalar yoluyla elde edilen) maruz kalacağı saatlik konsantrasyon değerleri toplanır. Durağan-durum Gauss denklemi için, rüzgar yönündeki herhangi bir x (metre) ve buna dik yöndeki herhangi bir y (metre) uzaklığında saatlik konsantrasyon değerleri Denklem 5.2’de verilmiştir.

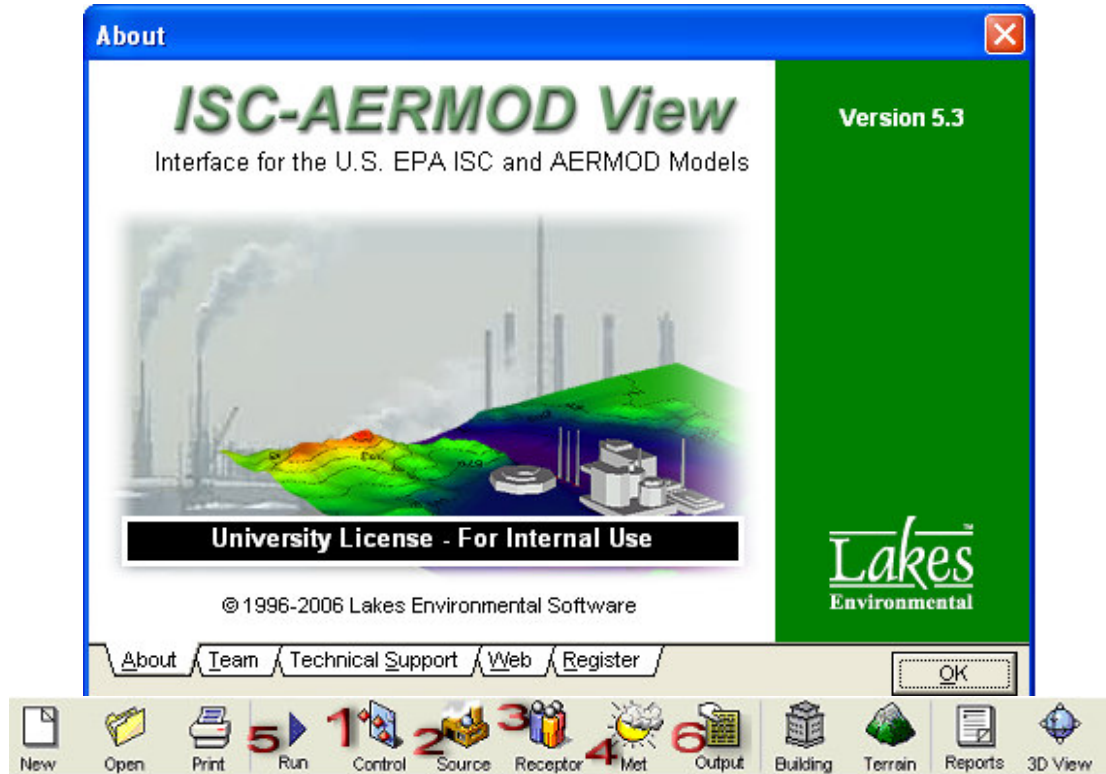
Gauss denkleminde bir dikey terim (V), bir çürüme terimi (D) ve dağılım parametreleri (σ_y , σ_z) içermektedir. Bu terimlere ait seçimler daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Buradaki dikey terim; kaynak ve alıcı yüksekliklerinin, kirlilik bulutunun havadaki yükselişinin, dikey doğrultudaki sınırlı karışımın, yerçekiminden kaynaklanan çökmenin ve parçacıkların (çapları yaklaşık olarak 0.1 μ ’ dan büyük) kuru birikiminin etkilerini içermektedir.

5.1.3.1. Modelleme programına meteorolojik veri temini

ISCST3 modeli meteorolojik veri olarak saatlik bazda yıllık veri kullanmaktadır. Modelde kullanılmak üzere Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne bağlı olan ve İzmit Merkez Bağçeşme Mahallesi’nde bulunan Kocaeli Meteoroloji İstasyonu (İstasyon No. 17066; Enlem: 49⁰ N; Boylam: 29⁰ E) tarafından kaydedilen 2000-2004 yılı meteorolojik verileri kullanılmıştır. Bu veriler saatlik sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, basınç, günlük bulut yükseklikleri ve yağış ölçümlerini içermektedir. Günlük değerlerin saatlik değerlere dönüştürülmesinde, çalışmada kullanılan ve

geliştirilen MeteoOku v1.2 Programı sayesinde enterpolasyon ve tahmin yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen saatlik değerler PCRAMMET için uygun formatlarda MeteoOku programı yardımıyla (SCRAM, SAMSON, CD-144, TD-3240 vb.) yeniden üretilmiş ve ISCST3 için uygun meteoroloji dosyaları elde edilmiştir. Karışım yükseklikleri ise meteorolojik istasyonlarda ölçülmediği için ISCST3 modeli tarafından sağlanan Rammet View veya Aermet gibi bir yardımcı işlemci ile hesaplanarak elde edilmiştir.

ISC-AERMOD View Modelinin açılış sayfası Şekil 5.3'te verilmiştir. Modeli çalıştırmak için yeni bir proje oluşturulmuştur (FT_ISC.isc) ve proje başlığı olarak "IZAYDAS LOT 5 ve LOT 7 BTEX Kons. Modeli" olarak girilmiştir.



Şekil 5.3: ISC-AERMOD View programı başlangıç ekranı ve işlem sırası.

5.1.3.2. Modele veri girişi ve çalışma biçimi seçimi

İkinci adım olan "Pollutant/Averaging" kısmında kirletici türü olarak diğer seçeneği seçilmiş ve "VOCs" olarak tanımlanmıştır. Çalışma Şekil 5.3'te ifade edilen sıradaki adımlarla ilerlemektedir.

“Control Pathway/Dispersion Option” kısmında “Output Type - Concentration” konsantrasyon olarak seçilmiştir. Uçucu organik bileşenleri birikim özellikleri çok sınırlı olduğundan ve suda çok az çözündükleri için sadece konsantrasyon seçeneği seçilmiştir.

5.1.3.3. Meteorolojik veri işleme ve çalışma zamanı seçimi

Control Pathway/Pollutant/Averaging ekranında, modelin çalışma zamanı ortalaması için sadece yıllık ve aylık bazda sonuç üretmesi belirtilmiştir. Dağılım katsayısı, çalışma bölgesi kırsal bir alan olduğu için “rural” olarak seçilmiştir. Control Pathway/Terrain Options ekranında ise çalışma alanının yüzey özellikleri tanımlanmaktadır. Burada, depolama tesisini ifade eden çalışma alanı “Simple Terrain” olarak girilmiştir.

5.1.3.4. Çalışma alanını tanımlama ve harita seçimi

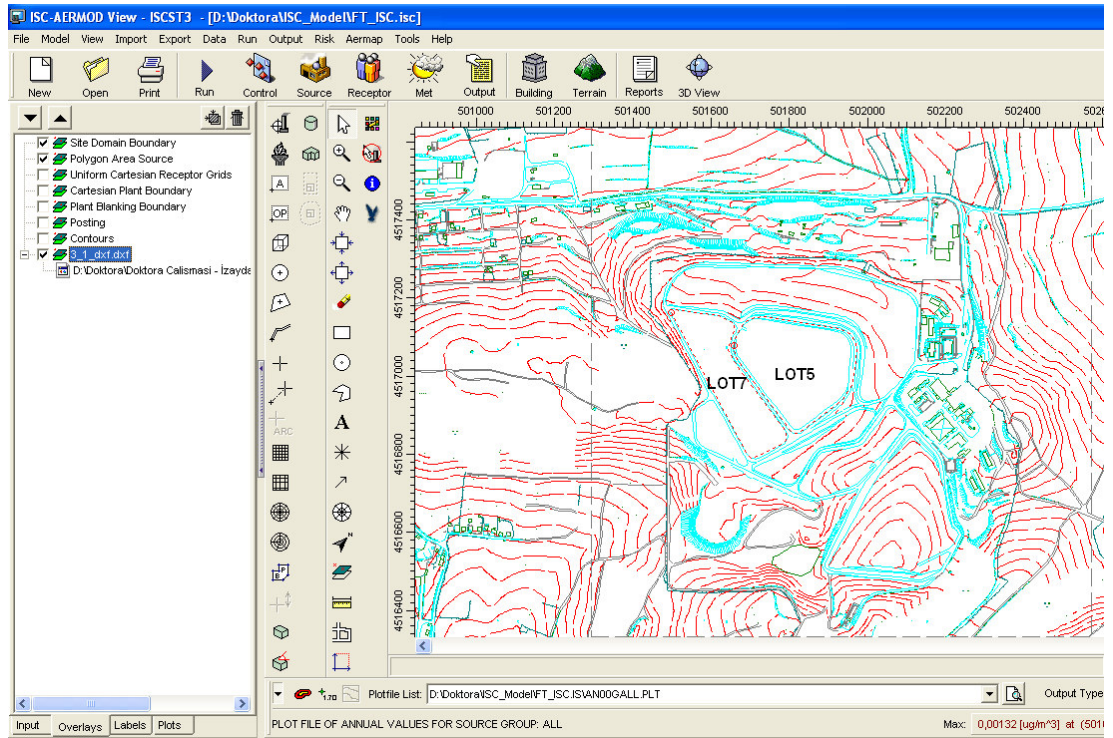
Modelleme programının View menüsü altında bulunan “Site Domain” seçeneği ile öncelikle tesis alanını veya çalışma alanını gösteren AutoCAD dxf formatındaki harita modele girilmiştir. “dxf” formatında olan ve depolama alanını gösteren harita Kocaeli Büyükşehir Belediyesi - Harita Departmanı tarafından ve NetCAD programı ortamında hazırlanmıştır. NetCAD formatındaki dosya modele girilememektedir. Bu nedenle NetCAD programında harita dosyasının format konversiyonu yapılarak “dxf” dosyası üretilmiştir. Üretilen bu en son Kocaeli haritası kullanılmıştır. Tesis alanını belirleyen 3_1_dxf.dxf haritası, uygun koordinatlar seçilerek modele “çalışma alanı” olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanı haritası 1/5000 ölçekli olup, tesisin gerçek boyutlarını çok iyi yansıtması açısından dağılım modelinde bu ölçekte haritaların kullanılması iyi sonuç vermektedir. Bu harita üzerinde ayrıca kirleticilere maruz kalan veya etkilenen alıcı grubu da tanımlanacaktır.

5.1.3.5. Kirletici kaynağının (Lot 5 ve Lot 7) modele girilmesi

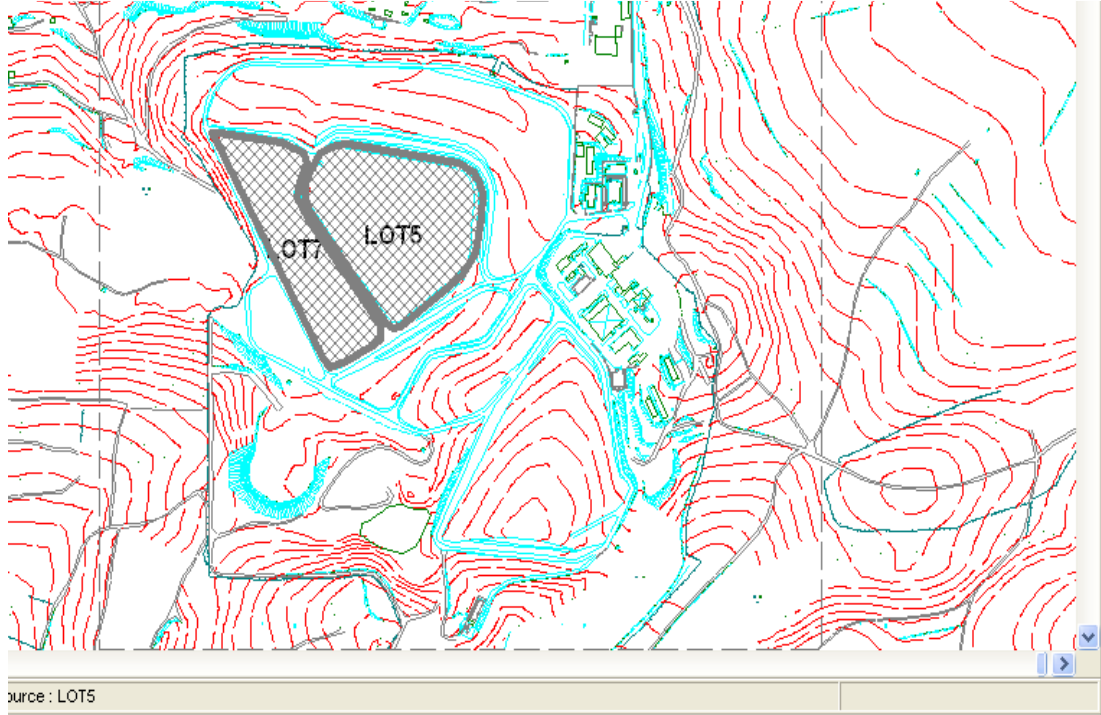
“Source Pathway/Source Summary” ekranında seçilen kirleticilerin, nereden veya hangi kaynaktan atmosfere dağıldığı modele girilmektedir. Bu amaçla seçilen harita üzerinde alan kaynak aracı kullanılarak Lot 5 ve Lot 7 alanı tanımlanmıştır (Şekil 5.4 ve Şekil 5.5). Her bir alan kaynak dikkatlice tanımlanmış ve gerekli bilgiler

düzenleme seçeneği kullanılarak girilmiştir. Lot 5 ve Lot 7 alanı için alan-kaynak bilgileri “Source Input” kısmından yapılmaktadır. Burada “Base Elevation” yani tesisin rakımı, GPS verileri yardımıyla ortalama 145 m olarak bulunmuş ve “Release Height” yani emisyon çıkış yüksekliği 1 m olarak girilmiştir. Çünkü, deponi gazı yer seviyesinden yaklaşık 1 m yüksekliğindeki gaz çıkış bacalardan ortama karışmaktadır.

Lot 5 ‘in 63980 m² ve Lot 7’nin 50945 m² olan alanından faydalanılmış ve g/m².sn biriminde emisyon değerleri bulunmuştur. Atmosfere karışan emisyon değerleri olarak tahmini modellemede LandGEM‘den elde edilen g/sn birimindeki veriler kullanılarak bulunan değerler girilmiştir. Bu değerler Lot 5 alanı için 5.33×10^{-6} g/m².sn ve Lot 7 alanı için 2.25×10^{-6} g/m².sn’ dir.



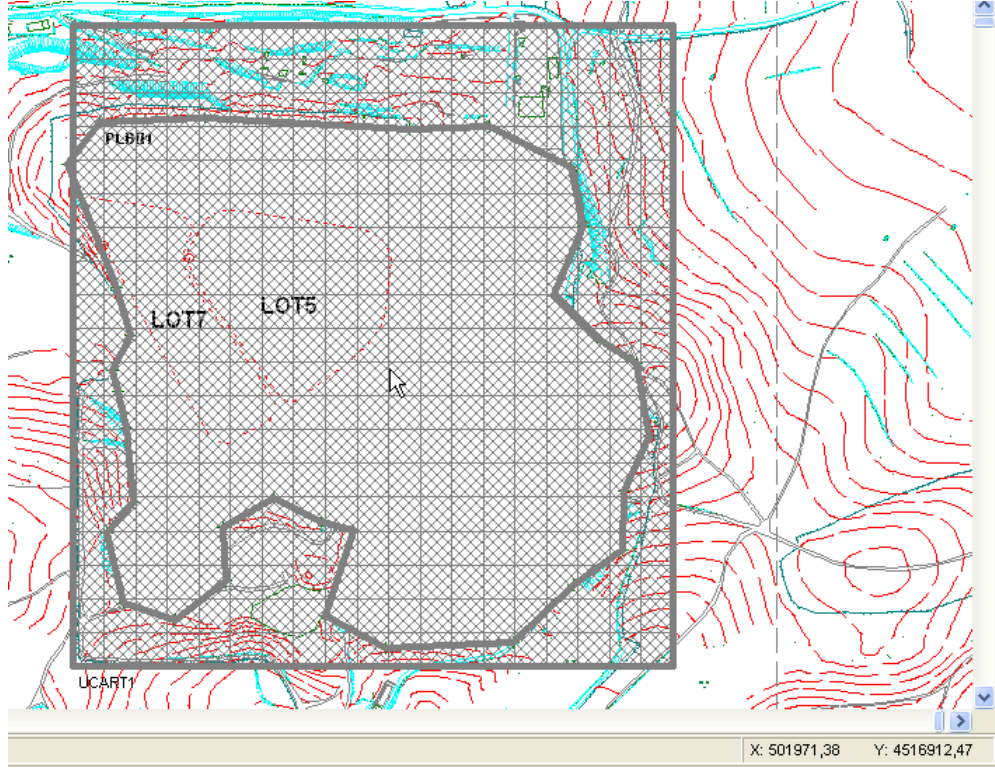
Şekil 5.4: ISC-AERMOD View programı genel ekran görüntüsü ve tanımlanan Lot 5 ile Lot 7 deponi alanları.



Şekil 5.5: ISC-AERMOD View’de alan kaynak olarak tanımlanan Lot 5 ve Lot 7 alanları.

5.1.3.6. Alıcıların tanımlanması

Çalışma alanı tanımlama işlemine, “Receptor Pathway” ile devam edilmiştir. Alandaki reseptör yani alıcı grubunu tanımlanmıştır. Alıcı ağı denilen ve çalışma alanını düzgün olarak x ve y eksenleri boyunca belli sayıda ve daha küçük alana bölmeyi sağlayan bu işlem “Uniform Cartesian Grid” aracı ile yapılmıştır. Oluşturduğumuz “Uniform Cartesian Grid Receptor Network” bileşeni UCART1 ile adlandırılmış olup, 20x20 noktadan oluşmakta, genişliği (Dx) 49 m ve yüksekliği (Dy) 52 m’ dir. Elde edilen ağ (grid) boyutları ise yaklaşık olarak 900x990 m’ dir. Bu sayede tüm Lot 5 ve Lot 7 alanı alıcı ağ içinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Bu bölümde bir çok alıcı ağı yerine düzgün ve tüm alanı içine alan bir alıcı grubunun tanımlanması uygun görülmüştür. ISC-AERMOD View programının Receptor Pathway/Fenceline/Cartesian Plant Boundary seçeneği ile çalışma alanının kesin sınırları belirlenerek çalışmaya devam edilmiştir. Şekil 5.6’da dıştaki seçili ve içi taralı dikdörtgensel bölge UCART1 isimli Uniform Cartesian Grid’ini ve içteki PLB1 isimli polygon alanı ise “Cartesian Plant Boundary” alanını gösterilmektedir.



Şekil 5.6: ISC-AERMOD View programı “Uniform Cartesian Grid (UCART1)” ve “Cartesian Plant Boundary (PLB1)” penceresi.

Şekil 5.6’da gösterilen ve hem tesis alanını hem de alıcı alanını tanımlayan poligonlar alanlar ile çalışma sonucu üretilen data, sadece bu alan içinde kalacak şekilde üretilir. Bu sayede, dağılım gradyenti kırılarak (polygon clipping) çok fazla ve uzun vakit alan işlem süreci, göreceli olarak kısaltılmaktadır.

5.1.3.7. Meteorolojik veri dosyasının modele girilmesi

Modelleme çalışmasının diğer adımı olan ve meteorolojik verilerin modele girilmesinin içeren “Meteorology Pathway” adımı bu modelin en önemli kısımlarındadır. ISC-AERMOD View 5.3 programı, deponi alanında oluşan uçucu organik bileşenlerin dağılımının modellemesinde yöreye ait bir takım meteorolojik bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Model öncelikle karışım yüksekliği ve dağılımı belirlemek amacıyla verilen meteorolojik veriler yardımıyla ile hesaplama yapmaktadır. Bahsedilen meteorolojik veriler, SAMSON, SCRAM, TD3240 ve CD144 vb. gibi dünya standardında belirli formatlarda hazırlanan text veya binary dosyalardır. Bu veri dosyaları saatlik bazda;

- Rüzgar hızı ve yönü verileri,
- Sıcaklık verileri,
- Toplam bulutluluk ve opak bulutluluk verileri,
- Maksimum ve minimum bulut yüksekliği verileri,
- Nem ve güneşlenme verileri,
- Yağış ve basınç verilerini içermektedir.

Kocaeli Meteoroloji İstasyonu (İstasyon No. 17066; Enlem: 49⁰ N; Boylam: 29⁰ E) tarafından kaydedilen veriler, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu veriler incelendiğinde bir çok eksik satır (günlük veya saatlik verilerde), yanlış veri vb. gibi hatalar olduğu görülmüş ve model çalıştırılmamıştır. Bu nedenle MeteoOku programı, “Borland Delphi” programlama dilinde, ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilmiştir. Program tamamen özelleştirilebilmektedir.

5.1.3.8. MeteoOku programı

ISC-AERMOD View programı kirleticilerin atmosferdeki dağılımını belirlemek amacıyla bir çok farklı veri grubunu içeren ve dünya standartlarında hazırlanmış meteorolojik veri dosyasına ihtiyaç duymaktadır. Programa modelin çalışması için ihtiyaç duyduğu temel veriler olan saatlik bazda; rüzgar hızı ve yönü verileri, sıcaklık verileri, toplam bulutluluk ve opak bulutluluk verileri, maksimum ve minimum bulut yüksekliği verileri, nem ve güneşlenme verileri ile yağış ve basınç verilerini içeren bir veri dosyası temin edilmelidir.

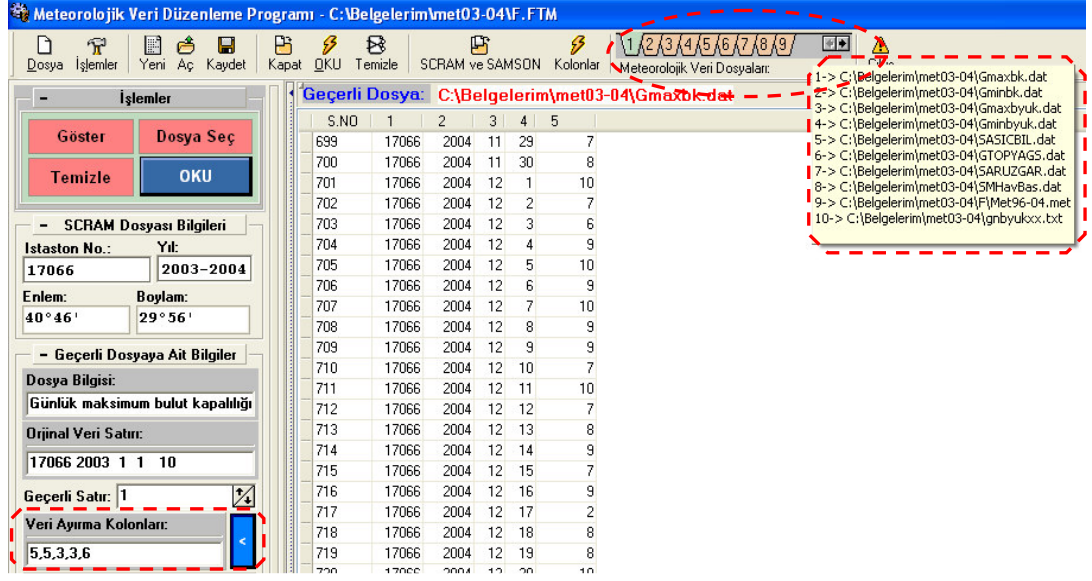
Bu çalışmada SAMSON formatında tarafımızdan hazırlanan veri dosyası kullanılmıştır. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen data dosyalarının bir çok zamanı eksik ve hava dağılım modelinde kullanılabilecek formata uygun değildir. Bu hataları hem düzeltmek (eksik olan güne veya saate ait veriyi uygun bir yolla doldurmak) hem de standart formatta meteorolojik veri dosyası elde etmek amacıyla MeteoOku isimli “Meteorolojik Veri Düzenleme Programı” geliştirilmiştir. MeteoOku programı Borland Delphi programlama dili kullanılarak 32-bit Windows ortamı için hazırlanmıştır (Şekil 5.7). MeteoOku tarafından üretilen

“.ftm” uzantılı dosyalar proje dosyasıdır. Bu dosya seçildiğinde Windows ile uyumlu olup direk proje dosyası MeteoOku’ da açılmaktadır.

ISC-AERMOD View programı “Meteorology Pathway” ekranında “.met” uzantılı bir meteorolojik veri dosyası istenmektedir. İstenen bu dosya, gerekli verilerin temin edilmesi halinde başka hiçbir ara yardımcı programa gerek kalmadan, hata kontrolü de yapılarak MeteoOku ile hazırlanabilmektedir.

MeteoOku şu şekilde kullanılmaktadır:

1. Yeni menüsü ile yeni bir proje oluşturulur (.ftm uzantılı proje dosyası oluşur),
2. Gözlem istasyonunun İstasyon numarası (17066) ve enlem ile boylamı, çalışma yılı (1996-2002 gibi) girilir ve proje açıklayıcı bir isimle kaydedilir,
3. “İşlemler” menüsünde bulunan “Dosya Seç” e tıklanarak saatlik bazda; rüzgar hızı ve yönü verileri, sıcaklık verileri, toplam bulutluluk ve opak bulutluluk verileri, maksimum ve minimum bulut yüksekliği verileri, nem ve güneşlenme verileri ile yağış ve basınç verilerini içeren bir veri dosyaları, yukarıdaki “Meteorolojik Veri Dosyası” paneline sırasıyla eklenir. Bu panelde her bir dosya farklı bir numaraya eklenmeli (Şekil 5.7) ve proje kaydedilmelidir. Eklenen her bir dosyaya ait “Dosya Bilgisi” nin de girilmesi hangi dosyanın ne veri içerdiğini anlamada faydalı olacaktır. “Dosya Ayırma Kolonu” ise seçili veri dosyasını kolon kolon ayırmaya yarayan veridir ve mutlaka girilmelidir. Bu veri Şekil 5.7’den de görülebileceği gibi 5,3,2,2,2 gibi aralarında virgül bulunan sayılardan oluşmaktadır. Bu işlemi kısa yoldan yapmak için projeyi kaydettikten sonra “Kolonlar” butonuna tıklayarak ekrana çıkan “Otomatik Veri Kolonu Oluşturma Formu” kullanılarak yapılabilir. Burada da proje kaydedilmelidir. İşlemler bitince “Çıkış” a basılarak proje ekranına dönülür ve “Oku” düğmesine basılarak kolonların düzgün ayrılıp ayrılmadığı test edilmelidir. Eğer her şey doğru ise proje kaydedilmeli ve bu işlem her bir dosya için tek tek yapılmalıdır.



Şekil 5.7: MeteoOku programı “Meteorolojik Veri Dosyası” ekleme paneli.

4. Eğer gerekli tüm meteorolojik veri dosyaları projeye eklenmiş ise “SCRAM ve SAMSON” düğmesine tıklanarak, ISC-AERMOD View programının ihtiyaç duyduğu Scram veya Samson formatında hazırlanacak olan veri dosyası hazırlanabilir (Şekil 5.7). Burada, İstasyon No., Max. ve Min. Bulut Yüksekliği, Rüzgar Yönü ve Hız, Sıcaklık (Fah.), Max. Bulut Kapallılığı - Toplam Bul. Max., Min. Bul. Kapallılığı - Opak Bul., Nem, Güneşlenme, Yağış ve Basınç dosyaları her bir kolon için doğru şekilde seçilmelidir. Burada proje kaydedilmelidir. Sırasıyla Bulut Yük (Feet), Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$ veya $^{\circ}\text{F}$), Bulutluluk (Opak Bul. – Toplam Bul.), Yağış (mm), Rüzgar Hız – Yön, Nem ve Güneşlenme ile Basınç butonlarına tıklanarak ekrana gelen formlardaki “Thread ile Oku” düğmesine basılır. Bu sayede her bir veri dosyası kontrol edilir, eksik veriler uygun ortalama ile doldurulup ve met dosyasının gerekli parçası, MeteoOku projesinin kayıtlı olduğu dizinde otomatik olarak oluşturulur. Örnek bir işlem Şekil 5.7’de verilmiştir. Bu işlemler biraz uzun sürebilir fakat kontrol yapılması gereklidir.
5. Her bir dosya tek tek bu şekilde işlenir ve proje kaydedilir. Eklenen tüm dosyalar sağ üst köşede bulunan sekmeli listeden görülebilmektedir.
6. Özellikle doğru dosyaların işleme konulduğundan emin olunması gerekir. Aksi takdirde yanlış dosya met dosyasının kolonunu işgal edecektir.

7. Bu çalışmada kullanılan ve SAMSON formatında veriler içeren meteorolojik veri dosyasını elde etmek için Şekil 5.8’de gösterilen Scram veya Samson formatında veri dosyası hazırlama ekranında bulunan “SAMSON” butonu tıklanır. Ekran, “Samson Formatında Meteorolojik Veri Dosyası Oluşturma ve Düzenleme Formu” gelir.

Kolon Bilgileri	Hangi Dosyadan Alınacağı ve Diğer Değerler
İstasyon Numarası	17066
Yıl	2003-2004
Ay	1..12
Gün	1..31
Saat	00..23
Max. Bulut Yüksekliği	C:\Belgelerim\Met03-04\Gmaxbyuk.dat
Min. Bulut Yüksekliği	C:\Belgelerim\Met03-04\Gminbyuk.dat
Rüzgar Yönü-Hız Dosyası	C:\Belgelerim\Met03-04\SARUZGAR.dat
Sıcaklık (Fah.)	C:\Belgelerim\Met03-04\SASICBIL.dat
Max Bulut Kapallığı - Top.Bul.Max	C:\Belgelerim\Met03-04\Gmaxbk.dat
Toplam Bulutluluk Min.	
Min Bulut Kapallığı - Opak Bulutluluk	C:\Belgelerim\Met03-04\Gminbk.dat
Nem Dosyası	C:\BELGELERIM\MET03-04\F\Nem2003-2004.txt
Güneşlenme Dosyası	C:\BELGELERIM\MET03-04\F\Gunes2003-2004.txt
Yağış Dosyası	C:\Belgelerim\Met03-04\GTOPYAGS.dat
Basınç Dosyası	C:\Belgelerim\Met03-04\SMHavBas.dat

Bulut Yük. (Feet)	Sıcaklık (°C veya °F)	Bulutluluk (Opak Bul. - Toplam Bul.)
Yağış (mm)	Rüzgar Hız-Yön	Nem ve Güneşlenme
		Basınç (mBar)

Şekil 5.8: SCRAM veya SAMSON formatında veri dosyası hazırlama ekranı.

Bu formda bulunan dosyalar otomatik olarak belirlenmekte olup değiştirilmemesi gereklidir. Burada sadece yapılması gereken “Dosyaları Otomatik Algıla” butonuna basarak, gerekli dosyaları teyit etmek ve listeye eklenmesini sağlamaktır. Otomatik algılama işlemi dosyaların varlığını ve bütünlüğünü kontrol ederken yanlış bir durumda da gösterge “kırmızı” olarak yanarak kullanıcıya bilgi vermektedir. Eğer hiçbir hata yoksa “SAMSON Dosyası Oluştur” butonuna tıklanarak kullanıcı tarafından belirtilen dizinde ve dosya adında, MeteoOku süratle dosyayı oluşturur ve kaydeder. Eğer işlem iptal edilmek istenirse “İPTAL ET” butonuna tıklanabilir. Elde edilen “.dat” dosyası aynı zamanda mutlaka “Excel Dosyası” olarak kaydedilmelidir keza yardımcı programlar SAMSON dosyasını Excel (xls) dosyası formatında istemektedir. Elde edilen SAMSON formatındaki Excel dosyası ISC-AERMOD View programının yardımcı programları olan “Aermet View” veya “Rammet View”

yardımcı programlarında işlenerek gerekli olan “.met” uzantılı meteorolojik veri dosyası elde edilebilir.

5.1.3.9. Aermet View yardımcı programı

Aermet programı ISC-AERMOD View programının bir yardımcı programı olup meteorolojik datayı işleyerek standart formatta dağılım modelinde kullanılabilen veri dosyasını oluşturmaktadır. Bu program ISC-AERMOD View programının “Tools” menüsünde bulunan “Aermet View” menüsüne tıklanarak çalıştırılabilir.

Programda yeni bir proje oluşturulur ve kaydedilir. “Hourly Surface Data” olarak SAMSON formatında hazırlanmış veri dosyası kullanılarak Aermod için “.sfc” uzantılı meteorolojik veri dosyası üretilir. Bu dosya AERMOD için kullanılabilir.

5.1.3.10. Rammet View yardımcı programı

Rammet programı ISC-AERMOD View programının bir yardımcı programı olup meteorolojik datayı işleyerek standart formatta dağılım modelinde kullanılabilen veri dosyasını oluşturmaktadır. Bu program ISC-AERMOD View programının “Tools” menüsünde bulunan “Rammet View” menüsüne tıklanarak çalıştırılabilir.

Bu programda öncelikle yapılması gereken, yeni bir proje oluşturulmasıdır. Sonraki işlem MeteoOku tarafından üretilen ve SAMSON formatında veri içeren Excel veri dosyasını, Rammet programının “Tools” menüsü altındaki “Hourly Surface Data/Import From Excel” menüsünü kullanarak “.sam” uzantılı SAMSON dosyası elde etmektir. Bu amaçla MeteoOku’nun ürettiği Excel dosyası seçilir, dosya otomatik olarak açılır. Altta bulunan “Excel File” alanında tüm sütunlar sırasıyla “Data Fields” türüne uygun olarak seçilir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da birimlerin uyuşmasıdır. Her bir veri sütununa denk düşen sütun buradan seçilerek uyum sağlanır. “Import” butonuna basılarak Excel dosyasından “.sam” uzantılı SAMSON formatındaki dosya üretilmiş olur. Üretilen bu dosya “Hourly Surface Data File” olarak ifade edilen ve saatlik bazda meteorolojik verileri içeren SAMSON formatında hazırlanmış bir dosyadır.

Rammet View yardımcı programında SAMSON dosyasından “.met” uzantılı meteorolojik veri dosyası üretilmesi “Mixing Height” yani karışım yüksekliğinin belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla, “Edit” butonuna basılarak ekrana gelen düzenleme penceresinde bulunan “Mixing Height Estimator” butonuna basılarak karışım yüksekliği dosyası elde edilmelidir. Bu işlem yapılırken yöreye özgü bir takım parametrelerin girilmesi gerekmektedir. Bu parametreler Tablo 5.7’de verilmiştir. USEPA karışım yüksekliği hesaplamalarında Holzworth (1972) ‘de verilen hesaplama sistemini önermektedir [45]. Bu çalışmada kullanılan “.met” uzantılı meteorolojik veri dosyası Rammet aracılığıyla anlatıldığı şekilde üretilmiştir. Üretilen “.met” uzantılı dosya, modelleme de kullanılacak olan temel meteorolojik veri dosyası olup, bundan sonraki bir çok modelleme çalışmasında da kullanılabilir. Bu çalışmada hazırlanan met dosyası 2000-2004 yıllarını kapsayan 5 yıllık meteorolojik verileri içermektedir.

Tablo 5.7: AERMOD View programında kullanılan yöreye özgü parametreler [46].

Parametre	Değer
Anemometre yüksekliği	10 m
Minimum Monin-Obukhov uzunluğu	5.5 m
Yüzey pürüzlülük uzunluğu (ölçüm yeri)	1.0 m
Yüzey pürüzlülük uzunluğu (pilot bölge)	0.05 m
Öğle-vakti albedosu	0.22
Bowen oranı	0.74
Antropojenik ısı akısı	19 W/m ²
Yere Absorplanan Net Radyasyon Fraksiyonu	0.17

Burada geçen bazı terimler ve yapılan kabullerin içeriği aşağıda verilmiştir.

1. Minimum Monin-Obukhov uzunluğu – kararlı koşullar:

Monin-Obukhov uzunluğu atmosferik kararlılığın bir ölçüsüdür. Yüzey ısınmasının kararsız atmosfer koşullarına neden olduğu gündüz boyunca negatif, yüzeyin soğuduğu (dolayısıyla atmosferin kararlı olduğu) gece boyunca ise pozitifdir. Sıfıra yakın değerler, işaretine bağlı olarak çok kararsız ya da kararlı koşulları gösterir. Kararlı koşullar süresinde kentsel alanlarda tahmin edilen Monin-Obukhov uzunluğu

(L) değerleri, daha az kararlı sınır tabakasını yeterince yansıtmayabilir. Kentsel bölgelerde engeller (binalar) tarafından üretilen mekanik türbülansın, engelsiz bir alana göre “daha nötral” bir yüzey tabakası oluşturma eğiliminde olacağını belirtilmiştir. Dolayısıyla, bu etkiyi göstermek amacıyla kararlı saatler için minimum L değerinin baz alınmasını önermişlerdir. Yazarlar ayrıca, engel yüksekliği ile bu engel tarafından etkilenen akış bölgesi arasında var olan yaklaşık bir ilişkiyi kullanarak birçok kentsel arazi kullanım sınıfına göre Tablo 5.8’deki minimum değerleri önermişlerdir:

Tablo 5.8: Arazi Kullanım Türlerine Göre Minimum Monin-Obukhov Uzunlukları.

Arazi Kullanım Türü	Değer
Tarımsal (açık alan)	2 m
Yerleşim	25 m
Yerleşim/endüstriyel	50 m
Ticari (19-40 katlı binalar)	100 m
Ticari (40 kattan yüksek binalar)	150 m

İzmit, her ne kadar ileri derecede sanayileşmiş ve buna bağlı yoğun nüfus artışıyla yerleşim yerlerinin de hızla arttığı bir kent olsa da, çalışmanın yapıldığı alanın büyük bir kısmı gibi tarımsal köy arazisidir. Pilot bölgede bulunan yerleşim alanlarından Yuvam-Akarca konutları kentsel bir yerleşim alanı olarak kabul edilebilirler. Alikahya beldesi ise 2-3 katlı binaların çoğunlukta olduğu yarı-kentsel bir yerleşim alanı olarak kabul edilmiştir. Pilot bölgede bu iki yerleşim alanının kapsadıkları kısım, yaklaşık olarak sırasıyla % 10 ve % 15 olup, geriye kalan % 75’lik kısım köy ya da tarım arazisi olup açık alan kategorisinde değerlendirilebilir. Buna göre % 75’lik kısım açık alan, % 15’lik kısım yarı-kentsel yerleşim (bu sınıfa ait Monin-Obukhov uzunluğu 10 m alınmıştır) ve % 10’luk kısım da kentsel yerleşim alanı olarak kabul edilmiş ve ağırlıklı ortalama alınarak pilot bölge için Monin-Obukhov uzunluğu 5.5 m olarak bulunmuştur.

2. Yüzey pürüzlülük uzunluğu – ölçüm alanı ve uygulama alanı:

Yüzey pürüzlülük uzunluğu, rüzgarın esmesini engelleyen yüksekliklerin bir ölçüsüdür. Bu engellerin fiziksel boyutlarına eşit olmamakla birlikte, genel olarak bununla doğru orantılıdır. Mevsimlerin fonksiyonu olarak arazi kullanım türlerine göre tipik değerler Tablo 5.9’da verilmiştir.

Ölçüm Alanı : Bu değer rüzgar ölçümlerinin yapıldığı alanı temsil eder.

Uygulama Alanı : Bu değer, meteorolojik değerlerin uygulanacağı çalışma alanını temsil eder.

Tablo 5.9: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Yüzey Pürüzlülük Uzunlukları (m).

Arazi Kullanım Türü	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Su Yüzeyi	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Ağaçlık (kalın yapraklı)	1.00	1.30	0.80	0.50
Ağaçlık (iğne yapraklı)	1.30	1.30	1.30	1.30
Bataklık	0.20	0.20	0.20	0.05
Ekili arazi	0.03	0.20	0.05	0.01
Otlak	0.05	0.10	0.01	0.001
Kentsel	1.00	1.00	1.00	1.00
Fundalık	0.30	0.30	0.30	0.30

Çalışmada kullanılan meteorolojik veriler Kocaeli Meteoroloji İstasyonu’nda ölçülmüştür. İstasyon İzmit Merkez Bağçeşme Mahallesi’nde kentsel yerleşim bölgesi içinde, denizden 76 m yükseklikte bulunmakta, rüzgar ölçümleri de aynı yerde bulunan bir apartmanın üstünde yapılmaktadır (anemometre yüksekliği 10 m). Bu bakımdan yüzey pürüzlülük uzunluğu ölçüm alanı için 1.00 m alınmıştır.

Uygulama alanı değeri ise pilot bölgenin özelliklerine göre belirlenmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi çalışılan bölgenin yaklaşık $\frac{3}{4}$ ’ü kırsal alandır. Bu alanın da büyük bir kısmını ekili arazi ve otlaklar oluşturmaktadır. Bu araziler Tablo 5.9’dan da görüleceği üzere küçük pürüzlülük değerlerine sahiptirler. Öte yandan yörenin ve İZAYDAŞ’ın kurulduğu alanın topoğrafik yapısı (deniz seviyesinden yaklaşık 140 m

yükseklikte) göz önüne alınırsa bacadan çıkararak rüzgarlarla taşınacak olan kirlilik bulutunun yer yüzeyine ulaşırken kayda değer herhangi bir engelle karşılaşmayacağı görülebilir. Bu bilgilerin ışığında uygulama alanı için yüzey pürüzlülük uzunluğu 0.01 m (ekili arazi için verilen minimum değer) olarak kabul edilmiştir.

3. Öğle vakti albedosu:

Öğle vakti albedosu, güneş tam tepede iken yer yüzeyine gelen güneş ışımalarının yüzeyden yansıyan fraksiyonu olarak tanımlanır. Albedonun güneş ışınlarının gelme açısıyla birlikte değişmesine ilişkin ayarlamalar PCRAMMET tarafından otomatik olarak yapılır. Mevsimlere ve arazi-kullanım türlerine göre tipik değerler Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Albedo Değerleri (m).

Arazi Kullanım Türü	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış*
Su Yüzeyi	0.12	0.10	0.14	0.20
Ağaçlık (kalın yapraklı)	0.12	0.12	0.12	0.50
Ağaçlık (iğne yapraklı)	0.12	0.12	0.12	0.35
Bataklık	0.12	0.14	0.16	0.30
Ekili arazi	0.14	0.20	0.18	0.60
Otlak	0.18	0.18	0.20	0.60
Kentsel	0.14	0.16	0.18	0.35
Fundalık	0.30	0.28	0.28	0.45

* Kış albedosu kar örtüsünün kalma süresi ile değişir. Bu değer 0.30 (hiç kar yağmadığı zaman) ile 0.65 (kar örtüsü sürekli mevcut ise) arasında değişebilir.

Albedo değerleri belirlenirken pilot bölgedeki kullanım alanları fraksiyonları ve yıllık değeri temsil etmek üzere, bu alanlara ilişkin Tablo 5.10'da verilen değerlerin ortalamaları esas alınmıştır. Pilot alanın % 25'i kentsel alan, % 75'i ise kırsal alan kabul edilmiş, kırsal alanın da % 70'i ekili arazi, % 30'u ise otlaklar olarak alınmıştır. Kış mevsimine ilişkin albedo değerleri ise, kentin yağışlı iklimi ve kar örtüsünün kısa süreli olması nedeniyle bütün alanlar için 0.35 olarak alınmıştır. Buna göre yıllık albedo, kentsel alanlarda 0.21, ekili alanlarda 0.22 ve otlaklarda 0.23 olarak belirlenmiştir. Bu verilerden hareketle ağırlıklı ortalama 0.22 olarak bulunmuştur.

4. Bowen oranı:

Bowen oranı, yüzeyde bulunan nemin bir ölçüsüdür. Yer yüzeyinde nemin varlığı enerji dengesinin ve böylece hassas ısı akısı ve Monin-Obukhov uzunluğunun değişmesine neden olur. Arazi kullanım türleri, mevsimler ve nem koşullarına göre tipik değerler Tablo 5.11a, 11b ve 11c’de verilmiştir.

Tablo 5.11a: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Günlük Bowen Oranları-Kuru Koşullar.

Arazi Kullanım Türü	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Su Yüzeyi	0.1	0.1	0.1	2.0
Ağaçlık (kalın yapraklı)	1.5	0.6	2.0	2.0
Ağaçlık (iğne yapraklı)	1.5	0.6	1.5	2.0
Bataklık	0.2	0.2	0.2	2.0
Ekili arazi	1.0	1.5	2.0	2.0
Otlak	1.0	2.0	2.0	2.0
Kentsel	2.0	4.0	4.0	2.0
Fundalık	5.0	6.0	10.0	10.0

Tablo 5.11b: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Günlük Bowen Oranları-Ortalama Koşullar.

Arazi Kullanım Türü	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Su Yüzeyi	0.1	0.1	0.1	1.5
Ağaçlık (kalın yapraklı)	0.7	0.3	1.0	1.5
Ağaçlık (iğne yapraklı)	0.7	0.3	0.8	1.5
Bataklık	0.1	0.1	0.1	1.5
Ekili arazi	0.3	0.5	0.7	1.5
Otlak	0.4	0.8	1.0	1.5
Kentsel	1.0	2.0	2.0	1.5
Fundalık	3.0	4.0	6.0	6.0

Tablo 5.11c: Mevsimler ve Arazi Kullanım Türlerine Göre Günlük Bowen Oranları-İslak Koşullar.

Arazi Kullanım Türü	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Su Yüzeyi	0.1	0.1	0.1	0.3
Ağaçlık (kalın yapraklı)	0.3	0.2	0.4	0.5
Ağaçlık (iğne yapraklı)	0.3	0.2	0.3	0.3
Bataklık	0.1	0.1	0.1	0.5
Ekili arazi	0.2	0.3	0.4	0.5
Otlak	0.3	0.4	0.5	0.5
Kentsel	0.5	1.0	1.0	0.5
Fundalık	1.0	5.0	2.0	2.0

İzmit yöresi genel olarak Karadeniz iklimi özellikleri göstermekte ve çok yağış almaktadır. Meteorolojik verilerin ait olduğu 2000 yılı içerisinde toplam 132 gün yağış kaydedilmiş, ortalama günlük yağış ise 2.3 mm olmuştur. Yağış kaydedilmediği zamanlarda bile toprak görece uzun süreler ıslak kalabilmektedir. Pilot bölge için Bowen oranı, yıllık sürenin yarısında ıslak, yarısında da ortalama koşulların mevcut olduğu varsayımı ile Tablo 5.11b ve 5.11c’de verilen değerlerin ortalaması alınarak ve bu değerlerin yukarıda yapıldığı gibi arazi kullanım fraksiyonları bazında ortalaması bulunarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık ortalama Bowen oranları, ekili arazi için 0.55, otlaklar için 0.68 ve kentsel yerleşim alanları için de 1.19 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin arazi kullanım fraksiyonlarına göre ağırlıklı ortalaması alınmasıyla modelde kullanılacak Bowen oranı 0.74 olarak belirlenmiştir.

5. Antropojenik ısı akısı:

Antropojenik ısı akısı aşırı derecede kentleşmiş yerler hariç, genellikle ihmal edilir (sıfır olarak alınır). Ancak yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ya da yüksek enerji kullanımını olan yerlerde bu akı ihmal edilebilir derecede düşük olmayabilir. Oke (1978) 10 ayrı kent için kişi başına enerji kullanımı ve nüfus yoğunluğuna ilişkin tahminlerini sunarak her bir kent için ısı akısı değerlerini elde etmiştir. Yaz mevsimi değerleri genelde ortalamanın % 50’si civarında olup kış mevsimindeki daha soğuk havalarda bu değerler, ortalamanın % 150’sine çıkabilmektedir. Tablo 5.12’de birçok kentsel alan için kullanılabilir değerleri vermektedir.

İzmit şehri yaklaşık 40 yıldır yoğun bir sanayileşmeye maruz kalmış ve bununla birlikte göç alan bir şehir konumuna gelmiştir. Özellikle son 20 yıldır bu göç daha da artarak devam etmiştir. Şehrin nüfusu 1960'ta 297000 (112000 kent, 185000 kır) iken 1990'da yaklaşık 3 kat artarak 937000'e (583000 kent, 354000 kır) çıkmıştır. Bu süre içerisinde kentte yaşayan kişi oranı da % 18'den % 62'ye çıkmıştır. 1997 yılı nüfus sayımına göre Kocaeli nüfusu 1177379, genel nüfus yoğunluğu ise 336 kişi/km²'dir. Aynı yılın değerlerine göre İzmit merkezdeki kentsel nüfus 450000 civarında olup, kent merkezindeki nüfus yoğunluğu yaklaşık olarak 10000 kişi/km²'dir. Enerji kullanımına ilişkin herhangi bir veri elde edilememiştir. İzmit için antropojenik ısı akısı bulunurken Tablo 5.12'deki şehirlerden nüfus ve nüfus yoğunluğu olarak İzmit'e benzer durumdaki Sheffield ve Vancouver kentleri baz alınmış ve buradan hareketle antropojenik ısı akısı 19 W/m² olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5.12: Bazı Şehirler İçin Ortalama Antropojenik Isı Akısı (Qf) ve Net Radyasyon (Q*) Değerleri.

Kent Alanı (enlem/periyot)	Nüfus (x 10 ⁶)	Nüfus Yoğunluğu (kişi/km ²)	Kişi başına enerji kullanımı (MJx10 ³ /yıl)	Qf (W/m ²)	Q* (W/m ²)
Manhattan (40°N) yıllık yaz kış	1.7	28810	128	117 40 198	93
Montreal (45°N) yıllık yaz kış	1.1	14102	221	99 57 153	52 92 13
Budapest (47°N) yıllık yaz kış	1.3	11500	118	43 32 51	46 100 -8
Sheffield (53°N) yıllık	0.5	10420	58	19	56
Batı Berlin (52°N) yıllık	2.3	9830	67	21	57
Vancouver (49°N) Yıllık, yaz kış	0.6	5360	112	19 15 23	57 107 6
Hong Kong (22°N) yıllık	3.9	3730	34	4	~110
Singapore (1°N) yıllık	2.1	3700	25	3	~110
Los Angeles (34°N) yıllık	7.0	2000	331	21	108
Fairbanks (64°N) yıllık	0.03	810	740	19	18

6. Yere absorplanan net radyasyon fraksiyonu:

Gün boyunca meydana gelen yere ısı akısı, net radyasyon fraksiyonu olarak parametrelendirilmiştir. Önerilen değerler aşağıda verilmiştir:

Kırsal : 0.15, Yarı-kentsel : 0.22, Kentsel : 0.27.

Pilot bölge için alınan değer, % 75 kırsal, % 15 yarı-kentsel ve % 10'da kentsel alan üzerinden ortalama alınarak 0.17 bulunmuştur.

5.1.3.11. Modelin çalıştırılması ve dağılım gradyenti

Modelin çalıştırılması için gerekli tüm veriler ve meteorolojik veri dosyası temin edildikten sonra, bir kontrol yapılması gereklidir. Bu amaçla ISC-AERMOD View ekranında “Run” butonuna basılarak gösterilen proje durum raporuna bakılır. Proje durum raporunda eksik bir nokta bulunmadığı tespit edilmesi halinde bu ekranda bulunan “Run” butonuna tıklanarak model çalıştırılır. Bu esnada ekrana gelen “Run Status” penceresinde görülen projenin “input” ve “output” dosyaları hazırlanarak, meteorolojik veri dosyasındaki her yılın, her ayının, her gününün her saati için model uzun çalışma sürecine girer. İşlemin süresi meteorolojik veri dosyasının ne kadar süreyi kapsadığına bağlı olarak değişir. Bu çalışmada 5 yıllık süreyi kapsayan 2000-2004 yıllarını içeren meteorolojik veri dosyası kullanılmış olup modelin çalışma süresi, Intel Centrino işlemcili ve 1.25 GB Ram'i bulunan dizüstü bilgisayarda 4-5 saat civarında sürmektedir. Nitekim model 5 yıllık süre zarfı için 500000 den fazla veri satırında işlem yapmaktadır. Çalışma süresinin başarılı olarak bitirilmesi halinde işlemin bittiğini gösterir bilgi penceresi ekrana gelmektedir. Bu sayede “Contours“ ile adlandırılan ve emisyonların dağılımını gösteren kontür gradyenti elde edilmiş olmaktadır. İki farklı zamanı gösteren yani yıllık ve aylık ortalama değerler bazında verilerin işlenerek modellendiği dağılımı gösteren “plt” uzantılı aylık “1st – Month, MOH1GALL.plt” ve yıllık “Others – Annual, AN00GALL.plt” dosyaları proje dizininde oluşturulmaktadır.

Model sonuçları olan hava dağılım gradyentleri ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

5.2. Analiz Metodunun Geliştirilmesi ve Alanda Örnekleme

İZAYDAŞ katı atık depolama tesisinin kapatılan lotlarından Lot 5 ve Lot 7’de oluşarak atmosfere karışan BTEX emisyonlarının tespiti amacıyla çeşitli tarihlerde örnekleme yapılmıştır. Kış ve yaz mevsimlerini ifade edecek şekilde, yağmurlu olmayan ve nem oranı düşük iki farklı tarihte 10’ar adet sorbent tüpe numuneler alınmıştır. Alınan örnekler laboratuarda kalibrasyonu yapılmış olan Termal Desorber ekipmanlı GC (FID) sisteminde analiz edilmiştir.

Literatür verilerine göre, uçucu organiklerden BTEX bileşiklerinin katı atık depolama alanlarında çok yaygın olarak bulunduğu bilinmektedir. Risk değerlendirmesi açısından BTEX bileşikleri hem kanserojen (benzen) hem de kanserojen olmayan bileşikler (toluen, etilbenzen, mpo-ksilenler) içerdiğinden dolayı çok daha iyi bir değerlendirmenin yapılacağı düşünülmüştür. İlave olarak, gerek BTEX bileşikleri gerekse vinil klorür ve diklorometan bileşikleri aynı uçucu organik bileşikler kategorisinde kabul edildiklerinden dolayı, örnekleme ve ölçüm açısından herhangi bir değişiklik oluşturmamaktadır.

5.2.1. Uçucu organik bileşikler için örnekleme ve ölçüm teknikleri

Örnekleme teknikleri iki ana kategoriye ayrılmaktadır: Yakalama ve konsantrasyon.

i. Yakalama Tekniği (Capturing Sampling): Bu örnekleme sisteminde örnek bir kanister içine yada bir hava torbası içine örnek toplama noktasında alınmaktadır. Örnekleme işleminin üstün yanları çok büyük hacimlerde örnekler alınabilir ve bir çok kere analiz edilebilir. Yakalama tekniği, sorpsiyon ve desorpsiyon basamağını atladığı için kirlenmelerden çok daha az etkilenmektedir (gazın istenmeyen difüzyonu veya örnek alınan malzeme cidarına gazın adsorbsiyonu gibi). Bu teknik, kimyasal olarak stabil maddelerin örneklenmesi için çok uygun olmaktadır.

ii. Konsantrasyon Tekniği (Concentration Sampling): Bu teknikte gaz molekülleri yüzeylerinde adsorblayan bir ortamdan geçirmek suretiyle toplanmaktadır. Bu metodun yakalama metoduna göre üstün tarafı, moleküllerin relatif konsantrasyonlarına oranla çok yüksek konsantrasyonlarda örnek alınması sayesinde

çok düşük konsantrasyonlardaki gazlar bile saptayabilmesidir. Adsorbsiyon amacıyla kullanılan bir çok ortam vardır [6, 49]. Bunlar:

- Porous Polymers: Bu malzemeler moleküllerin kimyasına bakmaksızın adsorbsiyonunda ve sonradan desorbsiyonu için çok idealdir. XAD, Tenax ve bir çok GC kolonunda kullanılan malzemeler poroz polymer malzemelerdir. Bu metot adsorbsiyon ile konsantre etmek ve sonra belli bir sıcaklıkta bileşenleri desorbe etmeyle sağlanmaktadır.
- Tenax: Bu malzemeler düşük konsantrasyonların (ppb) alınmasında çok güvenilirdir. Tenax 6 veya daha fazla karbon içeren bileşenlerin örneklenmesi çok iyi sonuçlar verir. Tenax'ın vinil klorid ve metilen klorid gibi aşırı uçucu bileşikleri tutamadığı ve ayrıca Tenax içinde benzaldehit ve fenol gibi bazı sonradan oluşan bileşenlerin oluştuğu belirtilmektedir. Tenax'ta tutulan bileşenlerin geri alınması termal desorbsiyon sayesinde olmaktadır.
- Charcoal: Charcoal, poroz polymerler gibi olmakla birlikte tek farklı yani ayırma metodunun farklı (kimyasal veya termal) olmasındadır. Termal ayırma moleküllerin yapısını bozduğu için bu malzeme için uygun değildir. Adsorbe edilmiş moleküller karbon disülfid gibi bir solvent ile geri alınmaktadır. Bu malzeme düşük konsantrasyonlardaki tutulmasında uygun değildir ve genellikle 1-100 ppm arasındaki konsantrasyonlar için kullanılmaktadır. Charcoal'ın avantajı laboratuvara kolay taşınması ve bir çok molekül için yüksek adsorbsiyon kapasitesidir.
- Polyurethane Foam: PCB ve pestisidlerin tutulması için özel olarak geliştirilmiş metotlar bulunmaktadır. Bunlar büyük bileşiklerin tutulmasında poroz polymerlere benzemektedir. Ancak ayırma için birkaç solvent kullanılmakta ve adsorbe edilen moleküler kantitatif olarak bulunmaktadır.
- Cryogenic Teknikler: Bu teknik moleküllerin donma noktasını dayanmaktadır. U şekilli bir tüp kuru ve içinde sıvı azot veya sıvı helyum olan bir ortam daldırılmıştır. Bu metot kullanılarak, bazı özel moleküller

toplanabilmektedir. Eğer kaynakta fazla su varsa, su donmakta ve örnek toplama işlemi yapılamamaktadır.

- **Multisorbent Sistemleri:** Çoklu sorbent sistemleri, çok geniş bir kimyasal ve uçucu gaz tipini tutmak için geliştirilmiş, peş peşe sıra dizilmiş sorbent sistemlerdir. Örneğin, bir multisorbent sisteminde Tenax önce ve sonrada charcoal kullanılabilir. Tenax ağır bileşikler tutarken, charcoal Tenax'ta tutulmayan bileşikler tutar.

Aşağıda deponi alanlarındaki bir çok farklı kirleticinin ölçülmesinde kullanılan yaygın metotlar verilmiştir. Bu kirleticiler NMOC, CH₄, CO₂, N₂, O₂, CO ve HAP içermektedir.

Metot	Analiz Edilen Gaz	Ekipman
EPA 3C	O ₂ , CO ₂ , CH ₄ , CO	GC19/TCD20
EPA 25C	NMOC	GC/FID
EPA 18	Speciated VOC (HAP)	GC/FID, ECD
EPA TO 14/15/17	Speciated VOC (HAP)	GC/MS, GC/FID
EPA 15/16	H ₂ S, COS, CS ₂ and merkaptanlar	GC/FPD
EPA 25	NMOC	GC/FID
EPA 25A	TOC	FIA
SCAQMD Method 25.3	VOC	GC/FID

GC: Gas Chromatography; TCD: Thermal Conductivity Detector; FID: Flame Ionization Detector; ECD: Electron Capture Detector; GC-MS: Gas Chromatography Mass Spectrometry; FPD: Flame Photometric Detector; TOC: Total Organic Compound; FIA: Flame Ionization Analyzer.

Laboratuar ortamında uçucu organik bileşiklerin analizi için birçok metot bulunmaktadır (Tablo 5.13). Genelde örnekler GC' de analiz edilecek şekilde ayarlanmaktadır. Flame Ionization Detection (FID), Electron Capture Detection ve Mass Spectrometry (MS) bilinen üç tanımlama ve bulma teknikleridir. Ancak GC/MS bir çok kimyasal tanımlamada daha çok yeteneklidir.

Tablo 5.13: Gaz ayırma ve tanımlamada kullanılan analiz teknikler [6].

GC 'de Ayırma ve Tanımlama	Metodun İşlevi
Thermal conductivity detector (TCD): Sürekli gazlar: Metan ve Etan.	Bileşen tanımlaması tutulma zamanı (retention time- RT irdelemesiyle olur. Dolayısıyla tanımlama çıkarımla bulunur. Eğer bileşenlerin RT süreleri aynı ise tanımlama başarısız olur.
Flame ionization detector (FID): Temel hidrokarbon türleri.	
Electron capture detector (ECD): Klorlu bileşikler için.	
Photo ionization detector (PID) FID/PID: Aromatik and alifatik hidrokarbonların analizinde	
Electrolytic conductivity detector (ELCD): Çoğunlukla halojenli hidrokarbon türlerinin analizinde.	
Gas Chromatography-mass spectrometry (GC/MS): GC ile özelleştirilmiş kütle tanımlama spectrometersi.	Her bir iyon için uygulana voltaj farklı olup, 50.000'den fazla iyonun parmak izi olan veri bir veritabanında kayıtlıdır. GC, gelen karmaşık karışımı bileşenlerine ayırarak, aynı zamanda sadece bir tanesinin MS' e girmesini sağlayacaktır. MS bileşenler için uygulanan voltaj çizimi ile iyon yoğunluğunu bulur ve veritabanındaki bilgilerle karşılaştırır. Veritabanı ile aynı olan bilgiler o bileşenin tanımlanmasını sağlar.
Titrasyon	İlgilenilen bileşenler alıcı solüsyonda örneklenir. Bu solüsyon, bulunacak bileşenin miktarını tespit etmek üzere titrasyona tabii tutulur.
GC Sniffing	Kalitatif bir teknik olup, kokulu bileşenlerin tespitinde çok iyidir. GC ile gaz çıkışında koku tespitinin operatör tarafından tespiti dışında aynı mantığa sahiptir. Sağlık riskleri vardır.

Eğer ölçümler kaynakta, alanda veya depolama sahasında yapılacak ise Tablo 5.14'te belirtilen teknikler kullanılabilir. Tek bir metot standart olarak kabul edilmemektedir. "Tenax ve pazlanmaz çelik canister" lerin kullanıldığı metotlar çok yaygın olarak ABD'de kullanılmaktadır. USEPA ve ASTM tarafından yayınlanan bir çok metot bulunmakla birlikte bunlar dış ortam havası metotları ve kaynak testi başlıkları altında yer almaktadır. USEPA Toxic Organic (TO) metotları genellikle kolay ve daha az maliyetlidir. USEPA'nın TO-01, TO-02, TO-05, TO-06, TO-07, TO-08, TO-11, TO-14, TO-17 metotları VOC' lerin tespiti ve analizinde kullanılmaktadır [51].

Adsorban tüpler ile numune alınmasını ve Termal Desorpsiyon - GC/FID 'de analizi tanımlayan USEPA Method TO-17 metodu bu çalışmada kullanılmıştır [51].

Tablo 5.14: Alanda veya kaynakta gaz ölçüm teknikleri [6].

Ekipman	Özellik
Organik Buhar Analizörü (OVA)	Ayırma kolonu olmayan sadece detektörden oluşan bir GC' dir. Organik buharları ölçer. Taşınabilir ve kullanımı kolaydır. Yüksek organik buharların tespitinde iyidir. Çalışma limiti 500 ppb' dir. Endüstriyel hijyen çalışmalarında iyi fakat koku ile ilgili çalışmalarda kullanışlı değildir.
Absorpsiyon Tüpleri	Kimyasal reaksiyon sonucu renk değişmesine neden olan bir madde kullanılmaktadır. Yarı-nicel analizler için iyidir. Endüstriyel hijyen çalışmalarında sıklıkla kullanılır.
Taşınabilir GC and GC-MS	Kompakt (tek parça ve sesli). Temiz örnekler gereksinim duyar. Deneyimli ve analitik kullanıcı gerekir.
Sürekli izleme (Monitors)	Nokta emisyonları için iyidir. Amonyak, H ₂ S veya Toplam organikler için özelleştirilmiştir.

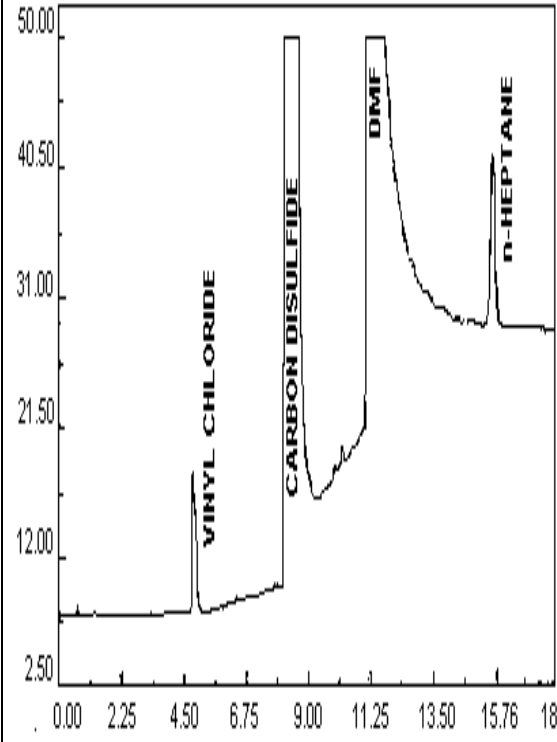
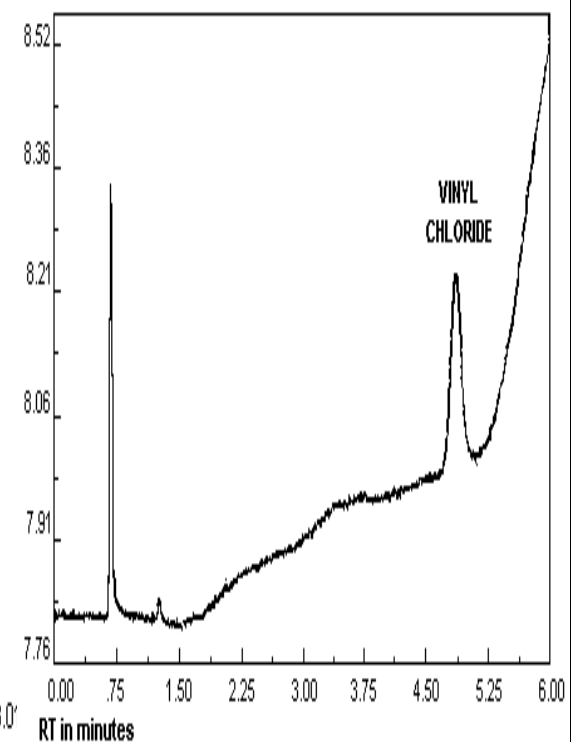
Özellikle kanserojen olmaları ve çok sık rastlanmaları sebebiyle gerek ortam havasında gerekse iç ortam havasında uçucu organik bileşiklerin örnekleme ve analizleri çok yaygın olarak yapılmıştır. Literatürde kaydedilen bilgiler ışığında aktif veya pasif örnekleme metotlarına göre örnekleme yapılmış Purge&Trap veya Thermal Desorpsiyon ve GC/FID-MS ekipmanları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Literatürde yayınlanmış olan ve içlerinden seçilen bazı önemli kaynaklar Tablo 5.15'te genel olarak verilmiştir.

Bu çalışmada, literatürden elde edilen ve daha önce kullanılan analiz yöntemleri dikkatlice incelenmiştir. Bu veriler ışığında çalışmada kullanılacak olan Thermal Desorber ve GC/FID enstrümanlarının metotları geliştirilmiştir.

Tablo 5.15. Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.

No	Çalışmanın İsmi	Uygulanan Metot ve Yöntemler
1	<p>Y. T. Gagnon and G. David Foley, NIOSH/DPSE , NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, 8/15/94.</p> <p>(Occupational Safety & Health Administration - OSHA 200 Constitution Avenue, NW Washington, DC 20210)</p>	<p>Teknik: GC/FID</p> <p>ANALYTE: Methyl chloride</p> <p>Desorpyion: 3 mL CH₂Cl₂</p> <p>Enjenksiyon: 5 µL</p> <p>SICAKLIK - INJECTOR: 200 °C - DETECTOR: 260 °C - COLUMN: 100 °C</p> <p>Taşıyıcı gaz: N₂ , 30 mL/min</p> <p>GC kolonu: stainless steel, 1.2 m x 6-mm OD, packed with 80/100 mesh Chromosorb 102</p> <p>Kalibrasyon: standard solutions of methyl chloride in CH₂Cl₂</p> <p>Aralık: 0.1 to 1 mg / örnek.</p> <p>ESTIMATED LOD: 0.01 mg per sample [2]</p> <p>Hassasiyet (S): 0.017 @ 0.16 to 0.62 mg / örnek [1]</p>
2	<p>A. W. Teass, Ph. D., NIOSH/DBBS., NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, 8/15/94.</p> <p>(Occupational Safety & Health Administration - OSHA 200 Constitution Avenue, NW Washington, DC 20210)</p>	<p>Teknik: GC / FID</p> <p>Analit: Vinil klorür.</p> <p>Desorpyion: 1 mL carbon disulfide; 30 dak.</p> <p>Enjenksiyon: 5 µL</p> <p>GC kolonu: stainless steel, 6.1 m x 3.2 mm, 10% SE-30 on 80/100 mesh Chromosorb W (AW-DMCS)</p> <p>Taşıyıcı gaz: He, 40 mL/dak</p> <p>SICAKLIK - INJECTOR: 230 °C - DETECTOR: 230 °C - COLUMN: 60 °C</p> <p>Kalibrasyon: CS₂ içinde vinil klorür çözeltisi.</p> <p>Aralık: 2 - 200 µg</p> <p>Tahmini LOD: 0.04 µg.</p> <p>Hassasiyet (S) : -</p>

Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.

6		<p>Tutulma zamanı : 4.8 dak. (vinil klorür), 15.5 dak. (n-heptane).</p> <p><u>FID Şartları</u> :</p> <p>Hydrogen Flow : 30 mL/min, Air Flow : 450 mL/min.</p>
 <p>Vinil klorür konsantrasyonu.</p>		 <p>Vinil klorür deteksiyon limiti, 0.760 ng enjeksiyon başına.</p>

Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.

7	<p>Rainer A. Hallama, Erwin Rosenberg, Manfred Grasserbauer , 1998. Development and application of a thermal desorption method for the analysis of polar volatile organic compounds in workplace air, Journal of Chromatography A, 809 (1998) 47–63.</p> <p>Not: Carbosieve SIII, Carboxen 569, Carbopack B and Tenax TA adsorbanları kullanılmış. Thermal desorpsiyon & GC–FID de analizi yapılmıştır. HP 624 thick film column (30 m x 30.32 mm x 31.8 mm, Hewlett-Packard)</p> <p>Tüpe 2 µL kalibrasyon karışımı enjekte edilmiştir.</p>	GC Çalışma Şartları:	
		Parametre	Değer
		Taşıyıcı gaz (99.999%)	He (saflık)
		Inlet sıcaklığı	250 0C
		Inlet basıncı (0.44 bar)	6.4 p.s.i.
		Toplam gaz akımı ml.dak-1	243
		Split oranı	200:1
		Split akımı ml.dak-1	239
		Gaz saver mode	Off
		Kolon akımı	1.2ml.dak ⁻¹
		Linear velocity of the carrier gas in the column	22 cm.s-1
		Fırın sıcaklığı (start)	45 0C over 4 dak.
		First ramp	15 0C dak-1 → 135 0C
		Second ramp	90 0C dak-1 → 225 0C
		Fırın temperatur (end)	225 0C'de 2 dak
		Detektör temperature	250 0C
		Hidrojen akımı (FID)	40 ml.dak ⁻¹
		Hava akımı (FID)	264 ml dak-1
		Azot flow (make-up gas, FID)	30 ml dak-1
		Thermal Desorpsiyon	:
		Adsorbent tube desorption:	
		Temperature of the focusing trap	25 0C
		Temperature	300 0C
		Desorption time	5 dak.
		Drying step	No
		Desorption:	
		Desorb preheat	No
		Time	2 dak.
		Bake	
		Temperature of the internal trap	220 0C.
		Time	4 dak.
		Auxiliary temperatures transfer hattı 180 0C.	Valf ve

Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.

8	<p>US EPA Method 0030, Volatile Organic Sampling Train (VOST), s11-12.</p>	<p>GC çalışma şartları :</p> <p>Column: Packed column 6 ft x 1/8" stainless steel 1.0 percent SP-1000 on Carbopack B 60/80, or equivalent.</p> <p>Sıcaklık programı : 50 °C for 5 min, 20 °C/min increase to 190 °C hold 13 min.</p> <p>Injektör : 200 °C.</p> <p>Detektör : F.I.D. 250 °C.</p> <p>Taşıyıcı Gaz : Helium at 25 mL/min.</p> <p>Sample valve : Valco 6-port with 40" x 1/16" stainless steel trap packed with 60/80 mesh glass beads.</p> <p>Cryogen : Liquid nitrogen.</p> <p>Trap heater : Boiling water, hot oil, or electrically heated.</p> <p>Desorption heater : Supelco "clam shell" (high capacity carrier gas purifier) heater and Variac, 180°C - 200 °C'ye ayarlanmış.</p>
9	<p>Hiroto Kawashimaa, Shigeki Minamib, Yoshimichi Hanaic, Akihiro Fushimi, 2006. Volatile organic compound emission factors from roadside measurements, Atmospheric Environment 40 (2006) 2301–2312.</p>	<p>GC/FID ve GC/MS şartları:</p> <p>C₂–C₅ hydrocarbons: GC/FID 6890/5890A, Hewlett Packard Kolon: Activated Alumina TR 60/80 mesh, SUS Corporation 2mx3mm i.d. Kolon sıcaklık programı: 50 °C, 10 °C.dak⁻¹ to 130 °C Taşıyıcı gaz N₂, 10 mL.min⁻¹ Tedlar bags adsorblyıcı olarak kullanılmıştır.</p> <p>C₆–C₁₂ hydrocarbons: GC/MS 6890/5973 N, Agilent Technologies Kolon: HP5–MS, Agilent Technologies 35mx0.25mm i.d., 0.25 mm film. Kolon sıcaklık programı: 5 dak 25 °C, 10 °C.dak⁻¹ - 250 °C, 20 °C.dak⁻¹ - 325 °C, 10 dak 325 °C bekle Taşıyıcı gaz : He, 1 mL.dak⁻¹ Detection mode : SCAN (m/z: 35–200)</p>

Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.

10	<p>Volatile organic compounds in an urban airborne environment adjacent to a municipal incinerator, waste collection centre and sewage treatment plant, Atmospheric Environment 33 (1999) 4309–4325.</p> <p>J. Leach, A. Blanch, A.C. Bianchi.</p>	<p>Aylık Pasif (diffusion) ile örnekleme yapılmış ve 12 saatlik aktif örnekleme (yatak malzemesi Supelco Corp “Carbotrap 3000”).</p> <p>GC Perkin-Elmer Series, 8500 twin channel FID GC, fitted with data handling facilities.</p> <p>Thermally desorbed components were chromatographed Column: BP-1 chemically-bonded fused silica capillary column (50 m x 0.22 mm ID, 1.0 µm film thickness) (SGE Ltd, UK).</p>
11	<p>C1 to C9 volatile organic compound measurements in urban air, Science of the Total Environment 334– 335 (2004) 167–176.</p> <p>V. Fernandez Villarrenaga, P. Lopez-Mahia, S. Muniategui-Lorenzo, D. Prada-Rodriguez, E. Fernandez-Fernandez, X. Tomas, (2004).</p>	<p>Ortam havasında BTEX (VOC) analizi yapılmıştır 46 VOC üzerinde çalışılmış fakat 26 tanesi tanımlanabilmiştir</p> <p>Perkin-Elmer STS-25 otomatik örnekleme (Norwalk, CT, USA) kullanılmış, debisi 60 dakika boyunca 50 ml.dak⁻¹ dir.</p> <p>Stainless-steel tubes (90 mm, ID= 5 mm; Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA) çok yataklı sorbent tüp kullanılmış, 40 mg of Tenax GR (60–80 mesh, 25 m².g⁻¹; Chrompack, Middelbourg, NL) ve 60 mg Chromosorb 106 (60–80 mesh, 750 m².g⁻¹; SKC, Eighty Four, PA, USA).</p> <p>GC Turbomass & Thermal Desorption unit ATD-400 (Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA).</p> <p>İki adımlı desorpsiyon kullanılmıştır. Tüp190 °C / 5 min de desorbe edilmiş (Helyum 60 ml.min⁻¹), Tenax TA (60–80 mesh, 35 m².g⁻¹; Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA) ve -30 °C’de soğutulmuş, sonra trap 300 °C /4 min çıkarılmıştır. Column: HP-624 fused silica capillary, 60 mx0.32 mmx1.8 µm film thickness (Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, USA). Fırın: 40 °C’den (1 dak. bekle) 119 °C’ye</p>

Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.

11		<p>(2 dak. bekle) 5⁰C.dak⁻¹ ile çıkılmış,140⁰C'ye (1 dak. bekle) 2.4⁰C.min⁻¹ ile gelinerek 170⁰C de bitirilmiştir.</p> <p>Taşıyıcı gaz Helium 1 ml.min⁻¹ debiye ayarlanmıştır.</p> <p>MS: Tarama 35 - 200 a.m.u. aralığında her 1.1 s 'de yapılmıştır.</p> <p>Electronic impact (70 eV) mode. Ion source temperature 200⁰C ve multiplier voltage 350 V.</p>
12	<p>Hydrocarbons, Aromatic 1501. NIOSH Manual Of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, 15 March 2003.</p> <p>(NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health, http://www.cdc.gov/niosh/)</p>	<p>Bu çalışma metodu ile Solid Sorbent tüplere (coconut shell charcoal, 100 mg/50 mg) alınan numunelerin GC/FID' de analizi tanımlanmıştır. Aromatik hidrokarbonların analizinin ve BTEX bileşenlerinin analizinde kullanılabileceği belirtilmektedir. Bunlar; Group A: benzene toluene ethylbenzene o-xylene m-xylene p-xylene, Group B: cumene p-tert-butyltoluene methylstyrene -methylstyrene styrene olarak gruplandırılmıştır.</p> <p>GC / FID:</p> <p>ANALYTE: Hydrocarbons (BTEX).</p> <p>Desorpsiyon: 1 mL CS₂, stand 30 min with agitation</p> <p>ENJEKSİYON Hacim: 1 µL (Group A: split 5:1; Group B: split 1:1)</p> <p>Sıcaklıklar</p> <p>-Enjektör : 250 °C</p> <p>-Detektör: 300 °C</p> <p>-Kolon:</p> <p>Group A: 40 °C (10 min) to 230°C (10 °C/dak)</p> <p>Group B: 35°C (8 min) to 225°C (10°C/dak)</p>

Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.

12		<p>Taşıyıcı Gaz: He, gaz debisi: 2.6 mL/dak,</p> <p>Kolon : Capillary, fused silica,</p> <p>Group A: 30m x 0.32-mm ID; 1-μm film 100% PEG or equivalent,</p> <p>Group B: 30m x 0.53-mm ID; 3-μm film crossbonded@ 35% diphenyl 65% dimethyl polysiloxane or equivalent</p> <p>Kalibrasyon: CS₂ içinde standart.</p>
13	<p>Bu çalışma kapsamında GC (FID) ve Termal desorber cihazları için geliştirilen çalışma metotları.</p> <p>Literatürden elde edilen çalışma koşulları değerlendirilerek GC (FID) ve Termal Desorber cihazları için ayrı ayrı kalibrasyon programları hazırlanmıştır.</p>	<p>Kullanılan ekipmanlar:</p> <p>Analiz düzeneği Unity Markes marka Thermal Desorber ve HP 6890N model FID detektörlü GC'den oluşmaktadır.</p> <p>Thermal Desorber cihazına kalibrasyonda kullanılmak üzere bir kalibrasyon kiti bağlanmıştır (Şekil 5.10). GC'de 30 m uzunluğunda ve 0.25 μm film kalınlığına DB-VRX kolon kullanılmıştır.</p> <p>Thermal desorpsiyon için iki farklı gaz kullanılmaktadır: taşıyıcı gaz olarak Helyum (He) ve hat içinden geçen kuru hava. GC cihazı için ise H₂, He ve N₂ gazı kullanılmaktadır.</p> <p>Çalışma sırasında, önce Thermal Desorber ve sonra GC açılarak sistem devreye alınır. Bilgisayarda Thermal Desorber programından kalibrasyon metodu seçilerek sistem kalibrasyona başlanmaktadır.</p> <p>Kalibrasyon kitine boş ve temiz bir sorbent tüp bağlanır ve tüpe mikro enjeksiyon şırıngası (Hamilton marka) ile 2 μL hacimde ve çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanan BTEX standardı enjekte edilir.</p>

Tablo 5.15 (Devam): Literatürden seçilen GC/FID(MS) ile VOC analiz metotları ve uygulanan yöntemler.

13	<p>Thermal Desorber cihazında gerçekleşen olaylar sırasıyla aşağıda verilmiştir:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Stand-by modu, 2. Leak-test (kaçak testi), 3. Purge mode-Cold Trap off, 4. Purge mode-Cold Trap on, 5. Primary tube desorbtion mode, 6. Pre-trap fire purge mode, 7. Secondary (trap) desorption mode (GC' ye). <p>Unity Thermal Desorber için geliştirilen çalışma programı.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Primary Desorb</td> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">dak.</td> </tr> <tr> <td>Tube Desorb</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">dak.</td> </tr> <tr> <td>Tube Desorb Temp.</td> <td style="text-align: center;">300</td> <td style="text-align: center;">0C</td> </tr> <tr> <td>Trap Desorb (LOW)</td> <td style="text-align: center;">-10</td> <td style="text-align: center;">0C</td> </tr> <tr> <td>Trap Desorb (HIGH)</td> <td style="text-align: center;">300</td> <td style="text-align: center;">0C</td> </tr> <tr> <td>Trap Desorb Hold Time</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">dak.</td> </tr> </table> <p>GC - FID için geliştirilen fırın ve detektör programına ait metot detayları. GC Fırın Programı:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">°C/Min</th> <th style="text-align: left;">Next (°C)</th> <th style="text-align: left;">Hold (bekleme süresi, dak.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-</td> <td style="text-align: center;">45</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td style="text-align: center;">240</td> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Toplam süre (dak.):</td> <td style="text-align: center;">24.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>GC Detektör (FID) Programı:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Heater</td> <td style="text-align: center;">250</td> <td style="text-align: center;">°C</td> </tr> <tr> <td>H₂ Akışı</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">ml/dak</td> </tr> <tr> <td>Air Akışı</td> <td style="text-align: center;">350</td> <td style="text-align: center;">ml/dak</td> </tr> <tr> <td>Make-up Flow (N₂)</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">ml/dak</td> </tr> </table>	Primary Desorb	0.5	dak.	Tube Desorb	10	dak.	Tube Desorb Temp.	300	0C	Trap Desorb (LOW)	-10	0C	Trap Desorb (HIGH)	300	0C	Trap Desorb Hold Time	3	dak.	°C/Min	Next (°C)	Hold (bekleme süresi, dak.)	-	45	0	10	240	5	Toplam süre (dak.):		24.5	Heater	250	°C	H ₂ Akışı	30	ml/dak	Air Akışı	350	ml/dak	Make-up Flow (N ₂)	7	ml/dak
Primary Desorb	0.5	dak.																																									
Tube Desorb	10	dak.																																									
Tube Desorb Temp.	300	0C																																									
Trap Desorb (LOW)	-10	0C																																									
Trap Desorb (HIGH)	300	0C																																									
Trap Desorb Hold Time	3	dak.																																									
°C/Min	Next (°C)	Hold (bekleme süresi, dak.)																																									
-	45	0																																									
10	240	5																																									
Toplam süre (dak.):		24.5																																									
Heater	250	°C																																									
H ₂ Akışı	30	ml/dak																																									
Air Akışı	350	ml/dak																																									
Make-up Flow (N ₂)	7	ml/dak																																									

5.2.2. GC ve Thermal Desorber kalibrasyonu ile metot geliştirme

Adsorban tüplere numune alınmasından önce, numunelerin GC' de analizlerin yapılabilmesi için kalibrasyon eğrisinin elde edilmesi gereklidir. Kalibrasyon eğrisini oluşturmak ve GC kolonunu numuneler için hazırlamak amacıyla, 200 ppm ve 2000 ppm konsantrasyonlarında, ayrı tüplerde benzen, toluen, etilbenzen, mp-ksilen ve o-ksilen (BTEX) içeren standartları (ChemService sertifikalı) temin edilmiştir. Bu standartlar, kullanılan tüpe özgü ve sadece BTEX içeren karışıma ait kalibrasyon eğrisinin eldesinde gereklidir.

Kalibrasyonun gerçekleştirilmesi amacıyla 7 noktalı ve 2 tekrarlı enjeksiyon yapılmıştır. 0.1, 1, 5, 10, 20, 50 ve 200 ppm hazırlanan standart BTEX çözeltilerinden 2 µL enjekte edilmiştir. 0.1 ppm enjeksiyonu ortam havası için çok küçük kalacağı için kalibrasyon eğrisinden çıkarılmıştır. Çalışmada kullanılan cihaz ve çalışma düzeneği Şekil 5.9'da verilmiştir.

Analiz düzeneği Unity Markes marka Thermal Desorber ve HP 6890N model FID detektörlü GC'den oluşmaktadır. Thermal Desorber cihazına kalibrasyonda kullanılmak üzere bir kalibrasyon kiti bağlanmıştır (Şekil 5.10). GC'de 30 m uzunluğunda ve 0.25 µm film kalınlığına DB-VRX kolon kullanılmıştır.

Thermal desorpsiyon için iki farklı gaz kullanılmaktadır: taşıyıcı gaz olarak Helyum (He) ve hat içinden geçen kuru hava. GC cihazı için ise H, He ve N₂ gazı kullanılmaktadır. Çalışma sırasında, önce Thermal Desorber ve sonra GC açılarak sistem devreye alınır. Bilgisayarda Thermal Desorber programından kalibrasyon metodu seçilerek sistem kalibrasyona hazır hale getirilir.

Kalibrasyon kitine boş ve temiz bir sorbent tüp bağlanır ve tüpe mikro enjeksiyon şırıngası (Hamilton marka) ile 2 µL hacimde ve çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanan BTEX standardı enjekte edilir.



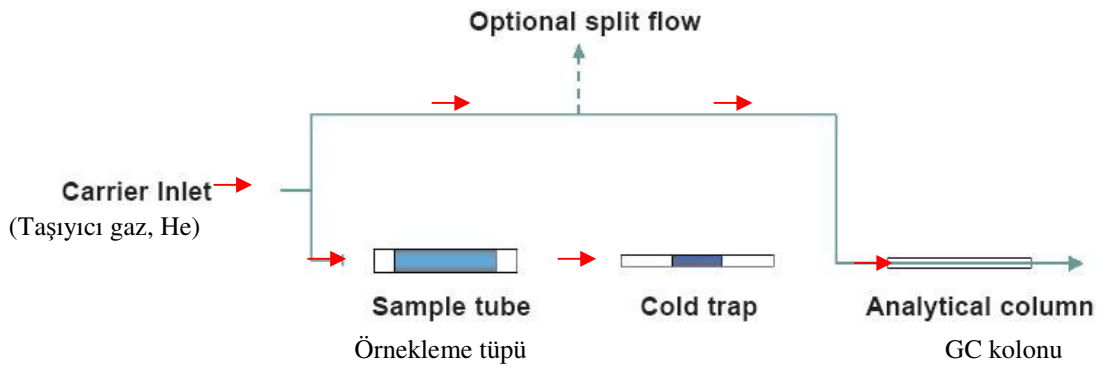
Şekil 5.9: Thermal Desorber ve GC (FID) çalışma düzeneği ile boş adsorban tüpler.

Enjeksiyondan 10 ile 30 saniye gibi çok kısa bir süre sonra Thermal Desorber programından çalıştır seçilerek kalibrasyona başlanır. Analiz veya kalibrasyon süreci içinde Thermal Desorber cihazında gerçekleşen olaylar sırasıyla aşağıda verilmiştir (Şekil 5.11):

8. Stand-by modu,
9. Leak-test (kaçak testi),
10. Purge mode-Cold Trap off,
11. Purge mode-Cold Trap on,
12. Primary tube desorbtion mode,
13. Pre-trap fire purge mode,
14. Secondary (trap) desorption mode (GC' ye).



Şekil 5.10: Kalibrasyon düzeneği (O-Ring kalibrasyon kiti kesik çizgi içindedir).



Şekil 5.11: Termal desorpsiyon sistemi [49, 50].

Thermal Desorber için geliştirilen çalışma programı Tablo 5.16’da verilmiştir. Kalibrasyon işlemi de bu çalışma programına göre yapılmıştır.

Tablo 5.16: Thermal Desorber için geliştirilen çalışma programı.

Unity Thermal Desorber Programı		
Primary Desorb	0.5	dak.
Tube Desorb	10	dak.
Tube Desorb Temp.	300	⁰ C
Trap Desorb (LOW)	-10	⁰ C
Trap Desorb (HIGH)	300	⁰ C
Trap Desorb Hold Time	3	dak.

Termal desorpsiyon ile GC’ ye ulaşan gazlar, FID detektörü sayesinde ayrılabilir. Bu nedenle hem GC hem de FID için ayrı ve uyumlu çalışma programlarının belirlenmesi gereklidir.

GC için ayrı bir kalibrasyon programı geliştirilmiştir. “BTEX_M” adıyla oluşturulan GC metoduna ilişkin ayrıntılar Tablo 5.17’de verilmiştir.

Tablo 5.17: GC - FID için geliştirilen fırın ve detektör programına ait metot detayları.

GC Fırın Programı		
⁰ C/Min	Next (⁰ C)	Hold (bekleme süresi, dak.)
-	45	0
10	240	5
Toplam süre (dak.):		24.5
GC Detektör (FID) Programı		
Heater	250	⁰ C
H ₂ Flow	30	ml/dak
Air Flow	350	ml/dak
Make-up Flow (N ₂)	7	ml/dak

Her bir çözelti 2 kere enjekte edilerek çok noktalı ve 10 adımlı kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon sonuçları Tablo 5.18’de verilmiştir.

Tablo 5.18: BTEX kalibrasyonunda her bir bileşen için elde edilen tutulma zamanları.

BTEX	Tutulma zamanı (Retention Time), (dak.)
Benzen	4.564
Toluen	6.484
Etilbenzen	8.334
mp-Ksilen	8.595
o-Ksilen	9.087

Kalibrasyonda elde edilen alan (area) değerleri Tablo 5.19’da verilmiştir.

Tablo 5.19: BTEX kalibrasyonu alan (Area) değerleri.

BTEX	1 ppm		5 ppm		10 ppm		50 ppm		200 ppm	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Benzen	55.62	52.28	196.93	193.55	307.41	319.93	1752.75	1649.10	5126.79	4888.88
Toluen	62.21	60.85	189.08	193.20	310.07	319.69	1749.65	1673.95	5312.09	5227.77
Etilbenzen	40.34	40.44	167.49	169.55	290.63	300.06	1700.55	1653.53	5278.82	5186.55
mp-Ksilen	83.56	84.09	335.37	340.44	577.02	593.22	3353.55	3271.88	10407.50	10192.00
o-Ksilen	37.49	37.60	162.40	164.84	283.97	291.81	1677.57	1634.14	5264.17	5199.27

Korelasyon değerleri göz önüne alındığında kalibrasyon işleminde yaklaşık olarak ortalama % 99.7’lik bir doğruluk elde edilmiştir (Tablo 5.20).

Tablo 5.20: BTEX kalibrasyonu korelasyon (R) değerleri.

BTEX	Y = m.X+b		Korelasyon, R
	m	b	
Benzen	24.83	121.038	0.9957
Toluen	26.163	107.279	0.9972
Etilbenzen	26.063	87.508	0.99745
mp-Ksilen	51.280	177.955	0.99736
o-Ksilen	26.078	79.985	0.99772

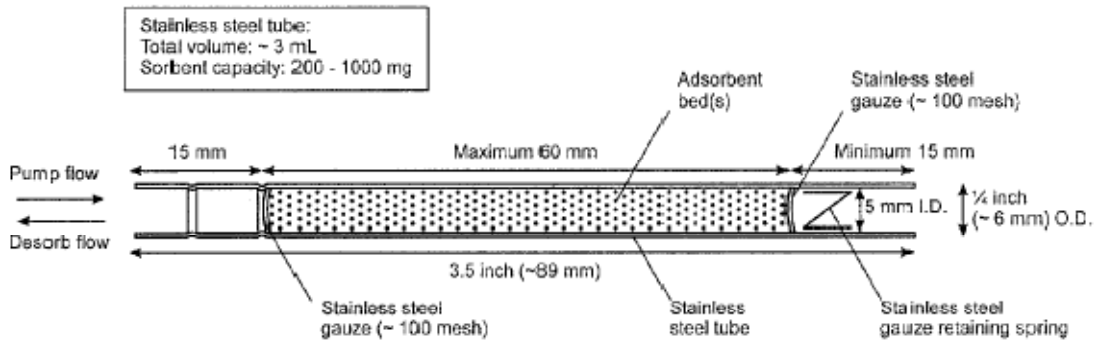
Analizlerde elde edilen kalibrasyon eğrileri ve GC grafikleri EK-B’de verilmiştir.

5.2.3. Örnekleme düzeneği

Bu çalışmada takip edilen örnekleme yöntemi, sistem düzeneği ve analiz tekniği USEPA tarafından geliştirilmiş olan Method TO-17’de geniş bir şekilde belirtilmiştir [51]. Bu metot ile sorbent tüplere aktif örnekleme yapılması ve örneklerin Termal Desorber ekipmanlı GC/(FID)(MS) ile nasıl analiz edileceği açıklanmıştır. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’te örneklemede kullanılan sorbent tüplerin resimleri ve iç yapısı görülmektedir. Bu tüplere sızdırmazlığı sağlamak amacıyla “PFTE ferrule” uzun süreli saklama contaları tüplerin her iki tarafına da takılmıştır.



Şekil 5.12: Paslanmaz çelik sorbent tüplerin resimleri ve pirinç kapama başlıkları [6].



Şekil 5.13: Sorbent tüplerin genel olarak yapısı ve yatak malzemesi [6].

Bu çalışmada yapılan örneklemede kullanılan Carbograph 1TD (Graphitised Carbon Black) sorbent malzemeli tek yataklı tüplere ait özellikler aşağıda verilmiştir:

- Maksimum desorpsiyon sıcaklığı 350 °C'dir,
- Desorpsiyon için saf azot veya helyum kullanılabilir,
- Akış oranı ise 50 ml/dak – 100 ml/dak arasında değişmektedir,
- Tüp içini dolduran yatak malzemesi Carbograph 1TD'nin ağırlığı ortalama yaklaşık 400 gramdır.

Tüplerin ilk kullanım için şartlandırılmasında tavsiye edilen desorpsiyon basamakları şu şekilde belirtilmiştir:

- 1- 1 saat boyunca 100 °C'de,
- 2- 1 saat boyunca 200 °C'de,
- 3- 1 saat boyunca 300 °C'de,
- 4- 30 dak. boyunca 335 °C'de (max. 350 °C) bekletilmesidir.

Temizlenen tüpler derhal pirinçten yapılmış yüzüklü PTFE kapatma contası ve kapağı ile iyice sıkılarak; kuru, ışık görmeyen ve ortam sıcaklığı max. 4 °C olan saklama koşulları sağlandıktan sonra örnekleme alanında kullanılmıştır. Ölçüm zamanına kadar rejenere edilmiş temiz tüplerin kapakları hiçbir şekilde açılmamıştır.

Örnekleme için kullanılan tüpler, kullanımına uygun olarak şartlandırıldıktan sonra örnekleme noktasında düzeneğe takılmış (Şekil 5.14), pompa debisi ayarlanıp kalibre edildikten sonra numune alım işlemi gerçekleştirilmiştir.

Numune almak için 5– 3000 mL/dak debide numune alabilen, kaçak akım ve düşük akım kontrollü bir pompa gereklidir. Ayrıca çekilen hava akımının kontrolü ve debi takibi için akım izleyici (flow metre, flow tracker) ekipmanı da gerekli olmaktadır. USEPA Method TO-17'ye göre numune alma işleminde iki farklı debi seçilebilmektedir.

Bunlar;

- 1 saat içinde 1 L numune almak için 16.7 ml/dak,
- 1 saat içinde 4 L numune almak için 66.7 ml/dak'dır.

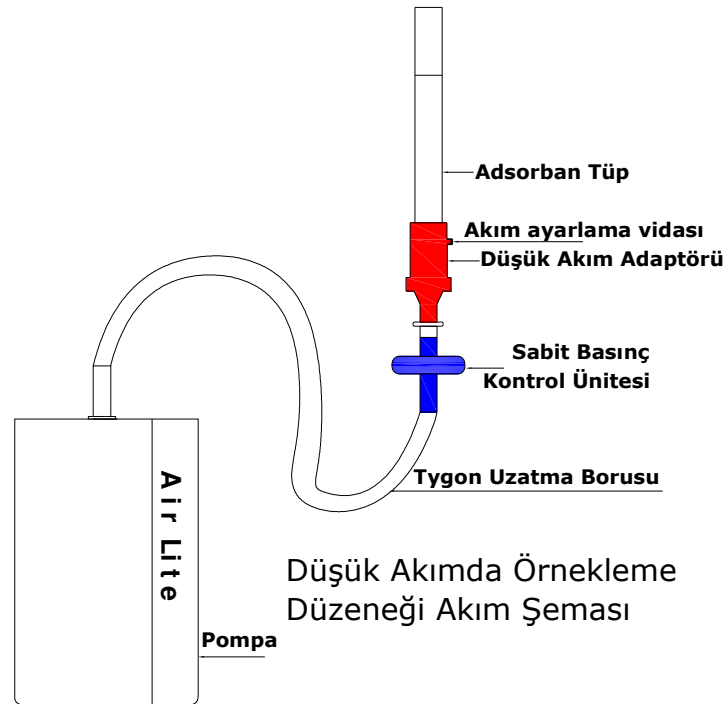
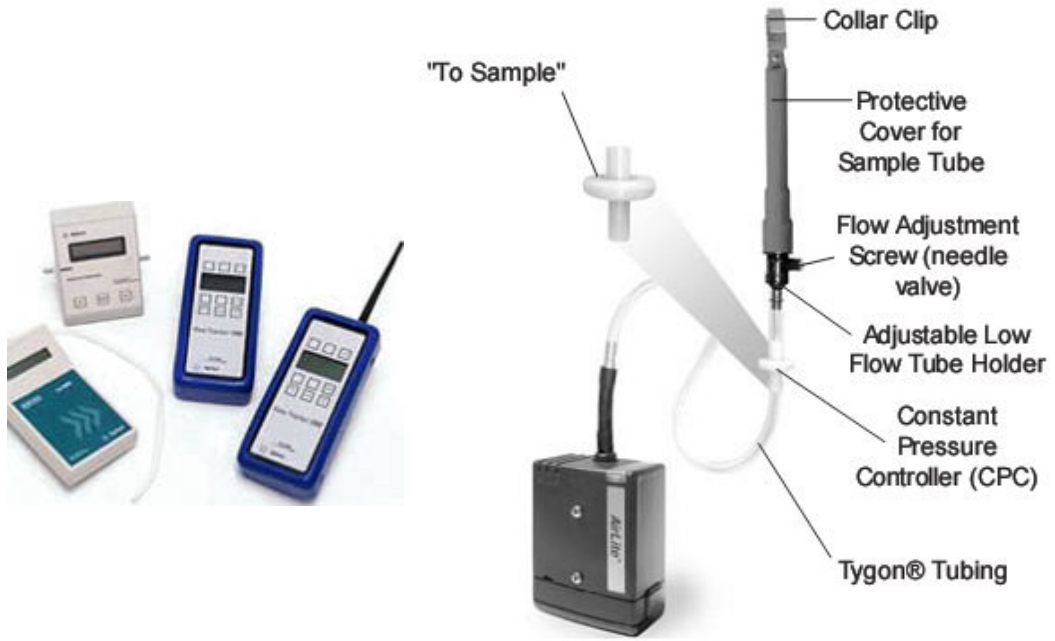
Bu şekilde ayarlanabilen AirLite marka pompa sayesinde istenilen hacim istenilen sürede alınabilmektedir. Numune alma işlemi için kullanılacak olan sorbent tüplerin en geç 30 gün önceden rejenerasyonu veya temizlenmesi yapılmış olmalıdır. Numune alındıktan sonra sorbent tüpler, temiz ve 4 °C'den daha düşük sıcaklıklarda saklanmalıdır. Sorbent tüplere uygun olarak alınan ve uzun süreli saklama imkânı sunan kapatma aparatlı kapaklar ile alınan numuneler 90 güne kadar belirtilen ortamlarda saklanabilmektedir.

İZAYDAŞ düzenli depolama tesisinin çalışma alanı olarak seçilen Lot 5 ve Lot 7 alanından 19.04.2007 (1. örnekleme) ve 21.06.2007 (2. örnekleme) tarihlerinde iki farklı örnekleme yapılmıştır. Her iki tarihte yapılan örneklemede de 10 sorbent tüpe numune alınmıştır. Numuneler yerden yaklaşık 1.5 m yüksekten alınmıştır.

Yapılan ön çalışmalarda, 1 saat içinde 1 L numunenin alınmasının yeterli olacağı 66.7 ml/dak'lık debinin fazla olacağı görülmüş, ve çalışma tüplere 16.7 ml/dak debide 1 saat numune alınması şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Örneklemele ilgili her bir örnek noktasında tüp numarası, baca numarası, ölçüm yerinin GPS koordinatları, ölçüm yerinin kotu, hava sıcaklığı ile CH₄, CO₂, O₂, ve N₂ değerleri portatif gaz analizörü ile tespit edilmiştir.

Alınan örnekler 1 saatin sonunda kapatma koşullarına uygun olarak PTFE contalı pirinç kapaklarla kapatıldıktan sonra buzlu taşıma kabına konularak laboratuara ulaştırılmıştır. Analiz edilinceye kadar, alınan numuneler -10 °C'de saklanmıştır. Düşük akımlı numune alma işleminin şematik görünüşü Şekil 5.14'te verilmiştir. Numune alma işlemini gösteren resimler ise Şekil 5.15 – 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.14: Örneklemeye pompası ve düşük akımda hava numunesi alma düzeneği [49].



Şekil 5.15: Lot 5'te bir deponi gazı çıkış bacasında GPS koordinatlarının belirlenmesi.



Şekil 5.16: Lot 7'de flare noktasında numune alma işlemi.



Şekil 5.17: Lot 5’de bir deponi gazı çıkış bacasında numune alma işlemi.

19.04.2007 tarihinde gerçekleştirilen “1. örnekleme” ve 21.06.2007 tarihinde gerçekleştirilen “2. örnekleme” işlemine ait detaylar Tablo 5.21 ve Tablo 5.22’de verilmiştir. Örnekleme noktalarını gösteren harita ise Şekil 5.40’da verilmiştir.

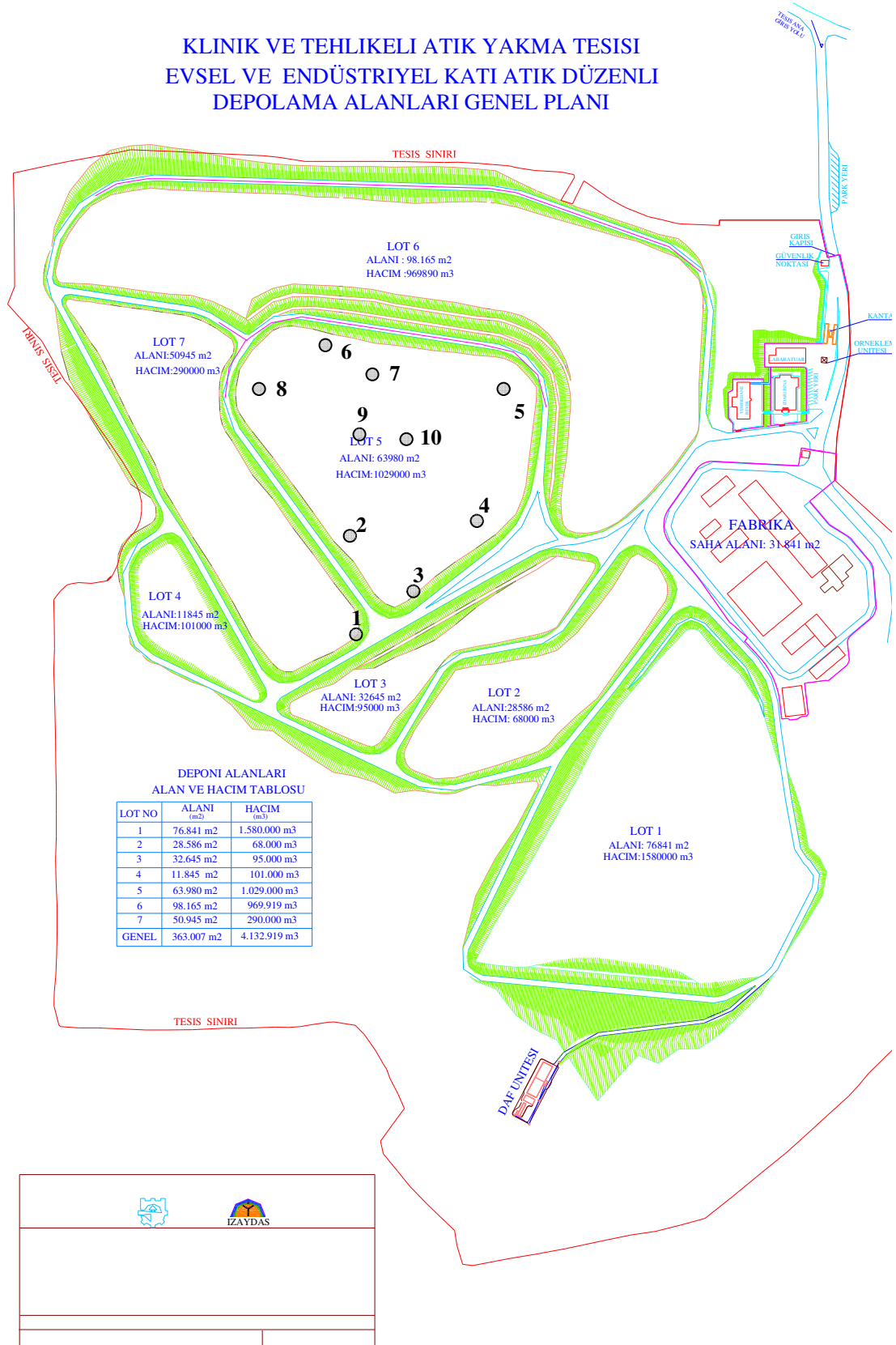
Tablo 5.21: 19.04.2007 tarihinde gerçekleştirilen "1. örnekleme" ait detaylar.

Deponi Alanı:	LOT 7 (19.04.2007)	LOT 5 (19.04.2007)								
Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baca No	Flare	1	25	19	11	8	6	3	9	4
Tüp No	MI088210	MI088201	MI088203	MI088202	MI088204	MI088205	MI088206	MI088209	MI088207	MI088208
Debi (mL/dk)	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67
Hacim (L)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Süre (saat)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GPS Koordinatları	N 40 47 04.7 E 30 01 15.3	N 40 47 07.2 E 30 01 14.6	N 40 47 07.2 E 30 01 17.1	N 40 47 09.5 E 30 01 19.3	N 40 47 10.5 E 30 01 18.8	N 40 47 12.2 E 30 01 12.9	N 40 47 12.5 E 30 01 10.6	N 40 47 10.4 E 30 01 12.5	N 40 47 11.2 E 30 01 13.0	N 40 47 09.7 E 30 01 14.4
Kot (m)	127	147	130	138	142	140	144	157	168	173
Sıcaklık (°C)	14	14	14	13	13	12	12	10	10	10
Hava Durumu	Az Bulutlu	Az Bulutlu	Az Bulutlu	Az Bulutlu	Parçalı Bulutlu	Parçalı Bulutlu	Az Bulutlu	Az Bulutlu	Az Bulutlu	Az Bulutlu
CH ₄ (%)	63	1.8	1.7	2.3	35.5	28.5	58	63	52.5	40.5
CO ₂ (%)	31	0	12	0	23	29	33	33	0	0
O ₂ (%)	16.7	17.7	15.2	23.1	8.1	10.3	2.6	3.2	9.5	6.2
N ₂ (%)	72.4	78.4	65.5	70.1	33.3	23.6	6.3	8.9	28.1	26.2

Tablo 5.22: 21.06.2007 tarihinde gerçekleştirilen "2. örneklere" ait detaylar.

Deponi Alanı:	LOT 7 (21.06.2007)	LOT 5 (21.06.2007)								
Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Baca No	Flare	1	25	19	11	8	6	3	9	4
Tüp No	MI088210	MI088201	MI088203	MI088202	MI088204	MI088205	MI088206	MI088209	MI088207	MI088208
Debi (mL/dk)	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67
Hacim (L)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Süre (saat)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GPS Koordinatları	N 40 47 04.7 E 30 01 15.3	N 40 47 07.2 E 30 01 14.6	N 40 47 07.2 E 30 01 17.1	N 40 47 09.5 E 30 01 19.3	N 40 47 10.5 E 30 01 18.8	N 40 47 12.2 E 30 01 12.9	N 40 47 12.5 E 30 01 10.6	N 40 47 10.4 E 30 01 12.5	N 40 47 11.2 E 30 01 13.0	N 40 47 09.7 E 30 01 14.4
Kot (m)	127	147	130	138	142	140	144	157	168	173
Sıcaklık (C°)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Hava Durumu	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık
CH ₄ (%)	61.0	55.0	50.0	58.0	34.0	33.5	47.5	17.5	20.5	24.0
CO ₂ (%)	28.0	39.0	50.0	40.0	27.0	22.0	30.0	13.0	14.0	17.0
O ₂ (%)	0.0	0.0	1.6	0.0	8.8	8.7	4.3	13.3	13.2	11.4
N ₂ (%)	0.0	0.0	5.0	1.9	35.6	35.7	18.1	56.1	56.0	47.5

KLİNİK VE TEHLİKELİ ATIK YAKMA TESİSİ
EVSEL VE ENDÜSTRİYEL KATI ATIK DÜZENLİ
DEPOLAMA ALANLARI GENEL PLANI



Şekil 5.18: Lot 5 ve Lot 7 alanından alınan örneklere ait örnekleme noktaları.

5.3. Sağlık Riski Değerlendirmesi

Risk, bir tehlikenin oluşturabileceği muhtemel zararlardır [1, 3]. Tehlike, bir şeyin istenmeyen ters sonuçlar oluşturabilme potansiyelidir. Maruz kalma ise tehlikeye karşı savunmasız, etkisiz veya güçsüz kalınmasıdır [3].

Sağlık riski değerlendirme, bir tehlikeli maddeye maruz kalma sonucunda meydana gelebilecek istenmeyen sağlık etkilerinin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Meydana gelen bu riskin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması ise risk yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Risk yönetimi, risk değerlendirmesinde elde edilen bilgileri kullanarak sosyal, ekonomik, politik, ahlaki ve teknik şartlar göz önüne alınarak olası risklerin yok edilmesi veya kabul edilebilir seviyelere indirgenmesini kapsamaktadır [1, 3, 52].

Çeşitli kimyasal maddeler ile kirletilmiş alanlar ekolojik çevre ve insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Katı atık ve tehlikeli atık bertaraf alanları, çok çeşitli kaynaklardan değişik özellikteki maddelerin depolandığı alanlar olduklarından dolayı, genellikle kirletilmiş alanlar olarak kabul edilirler. Değişik tipte ve derecede bir çok kalitatif ve kantitatif analizi içeren risk değerlendirme, günümüzde özellikle tehlikeli atık yönetim kararları ile ilgili uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde, hızlı ve önemli araçlardan biri haline gelmiştir [52].

Risk değerlendirme çalışmaları değişik amaçlar için gerçekleştirilebilir. Bunlar;

1. Muhtemel aktivitelerin ve maddelerin sağlık ve çevre açısından oluşturacakları problemlerin belirlenmesi,
2. Hali hazırda kullanılan teknolojiler ile yeni teknolojilerin risk azaltılması açısından değerlendirilmesi,
3. Muhtemel tehlikeli işletmelerin belirlenmesi,
4. Kirletilmiş bölgelerin hangi durumlarda temizlenmiş olabileceğini belirleyen standartlarının oluşturulması,
5. Kabul edilebilir kalite standartlarının belirlenmesi,
6. Endüstriyel hijyen standartlarının belirlenmesidir.

Risk değerlendirmesi çalışmalarında dört ana adım bulunmaktadır. Bunlar;

1. Risk veya tehlikenin belirlenmesi (ortamdaki kimyasal nedir?, konsantrasyonu nedir?, tehlike senaryoları nerededir?),
2. Toksisite değerlendirmesi (ne kadar tehlikeli?, muhtemel sonuçlar neler olabilir?),
3. Tehlike veya riskin maruziyetinin değerlendirmesi (insanlar maruz kaldı mı?, ne kadar?),
4. Tehlike veya risk karakterizasyonu (matematiksel olarak riskin tahmini).

5.3.1. Risk değerlendirmesinde temel aşamalar

Birinci adım gerçekleştirildikten sonra, ikinci ve unc adımlar beraber gerçekleştirilir. Son olarak dördüncü adımda, risk matematiksel olarak hesaplanır ve riskin mevcudiyeti ortaya konur.

Birinci adım, tehlikeli maddenin detaylı bilgilerinin ortaya konmasını içermektedir. Bu adımda pozitif bir bulgu var ise diğer adımlar sırasıyla gerçekleştirilir. Bu çalışmada dikkate alınan BTEX bileşikleri gaz halinde kirleticiler olup, konsantrasyonları ölçüm ve modelleme yollarıyla belirlenmiştir. Ayıca, toksikolojik veriler BTEX bileşenlerinin bilinen kanserojen veya muhtemel kanserojen maddeler olduklarını ortaya koymaktadır [24-28, 54-55, 65].

İkinci aşamada, kimyasal madde dozuna karşı risk ihtimalinin (yani istenmeyen sağlık tepkilerinin) değerlendirilmesi gerçekleştirilir. Diğer bir değişle, doz ile risk ihtimali arasında ilişki ortaya konulur. Literatürde, çok yaygın kimyasal kirleticiler için toksikolojik veriler mevcuttur. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında, BTEX için gerekli toksikolojik değerler literatürden sağlanmıştır. Benzen deneylerle kanıtlanmış kanserojen bir madde (A sınıfı) olmasına rağmen toluen, etilbenzen ve ksilenlerin ise kanserojen olduklarına dair çok kesin kanıt yoktur (D sınıfı). Dolayısıyla benzen ve diğer BTEX bileşenlerinin ayrı olarak değerlendirilmesi gerektiğinden dolayı risk değerlendirmesi, kanserojen ve kanserojen olmayan olmak üzere iki kısımda

yapılmıştır. Benzen'in her konsantrasyonu sağlık riski oluştururken, toluen, etilbenzen ve ksilenler için ise eşik değer söz konusudur.

Üçüncü aşamada, tehlikeli maddeye karşı, bir insanın maruz kalabileceği değişik durumlar belirlenerek tehlike veya risk maruziyeti ortaya konur. Bu durumlar bir kimyasal ile bir insanın maruz kalma süresi olabileceği gibi, maruz kalma noktasında kimyasal maddenin konsantrasyonu veya kimyasal maddenin taşınımını sağlayan ortamın (mesela hava, su vs.) akış miktarı da olabilir. Bu çalışma kapsamında, gerek İZAYDAŞ depolama alanında çalışan işçiler gerekse yakın yerleşim bölgesinde yaşayan insanlar için sadece solunum yoluyla BTEX bileşenlerine maruziyetin olduğu kabul edilmiştir. Deponi sahasında çalışanların vardiyalı çalışması nedeniyle 8 saat süreyle BTEX bileşenlerine maruz kaldıkları kabul edilmiştir. Yerleşim alanlarında yaşayan insanların ise 24 saat boyunca maruz kaldıkları kabul edilmiştir.

Son adımda, diğer işlemler sonucunda elde edilen sonuçların birleştirilmesi ve kimyasal maddenin, sağlık açısından oluşturacağı tehlikenin boyutlarının matematiksel olarak belirlenmesi gerçekleştirilir. Bu amaçla, öncelikle mevcut konsantrasyonun ne kadarının vücut tarafından alındığının belirlenmesi gereklidir. Denklem 5.37'de verilen ampirik formül bu amaçla kullanılmıştır:

$$I = \frac{C \times CF \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (5.37)$$

Burada;

- I : Alım miktarı (mg/kg.gün),
- C : Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),
- CF : Birim dönüşümü (0.001 mg/ μg),
- CR : Kontak oranı ($\text{m}^3/\text{gün}$),
- EF : Maruziyet frekansı (gün/yıl),
- ED : Maruziyet süresi (yıl),
- BW : Vücut ağırlığı (kg),
- AT : Ortalama maruziyet zamanı (gün).

Denklem 5.37'den elde edilen günlük kilogram vücut ağırlığı başına kimyasal maddenin vücuda alım miktarı hesaplandıktan sonra, Denklem 5.38 kullanılarak kanserojen kimyasal maddeler için (örneğin benzen) risk hesaplanmıştır:

$$Risk = PF \times I \quad (5.38)$$

Burada,

PF = Kanserojen maddelere ilişkin potansiyel faktörü (1/(mg/kg.gün)).

Kanserojen olmayan maddeler (toluen, etilbenzen, ksilenler) için ise Denklem 5.39 kullanılarak tehlike indeksi belirlenmiştir:

$$Tehlike\ Indeksi = \sum_i^3 \frac{I_i}{RfC_i} \quad (5.39)$$

Burada,

RfC_i = Kanserojen olmayan maddelere ilişkin referans konsantrasyonlar (mg/kg.gün)

USEPA tarafından hazırlanan ve her bir BTEX bileşeni için verilen solunum yoluyla maruziyete ilişkin toksikolojik parametreler (PF ve RfC) Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.23: BTEX bileşenlerine ait çalışmada kullanılan toksikolojik parametreler [24-28].

BTEX Bileşenleri	PF (1/(mg/kg.gün))	RfC (mg/kg.gün)	Kanserojen Sınıfı
Benzen	2.90x10 ⁻²	-	A*
Toluen	-	1.40	D**
Etilbenzen	-	0.29	D**
Ksilenler	-	2.00	D**

* Bilinen bir kanserojen.

** Kanserojen olduğuna ilişkin veri eksikliği bulunmaktadır (günümüz koşullarında sadece hayvanlar üzerinde çalışmalar bulunmakta).

Alım değerleri Denklem 5.37 kullanılarak hesaplandıktan sonra, kanserojen maddeler için risk Denklem 5.38 ve kanserojen olmayan maddeler için ise Denklem 5.39 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

5.3.2. Risk değerlendirme çalışmasında yapılan kabuller

Ülkemizde risk değerlendirmesi işlemi sonucu bulunan değerlerin yorumlanmasına ilişkin bir yönetmelik bulunmamaktadır. ABD’de kanserojen maddeler için 1.00×10^{-6} (1 milyonda 1 kişinin kanser olma ihtimali) risk değeri sınır değer olarak kabul edilmekte ve daha fazla hesaplanan değerlerin risk oluşturacağı bildirilmektedir [54, 55]. Diğer taraftan, kanserojen olmayan maddeler için eğer belirlenen tehlike indeksi 1’den büyük veya eşit ise risk mevcuttur, aksi halde risk mevcut değildir. Burada elde edilen değerler, ortam havasında elde edilen ve sadece BTEX bileşenlerine ait değerlerdir. Bulgular, deri yoluyla alım miktarını kapsamamaktadır.

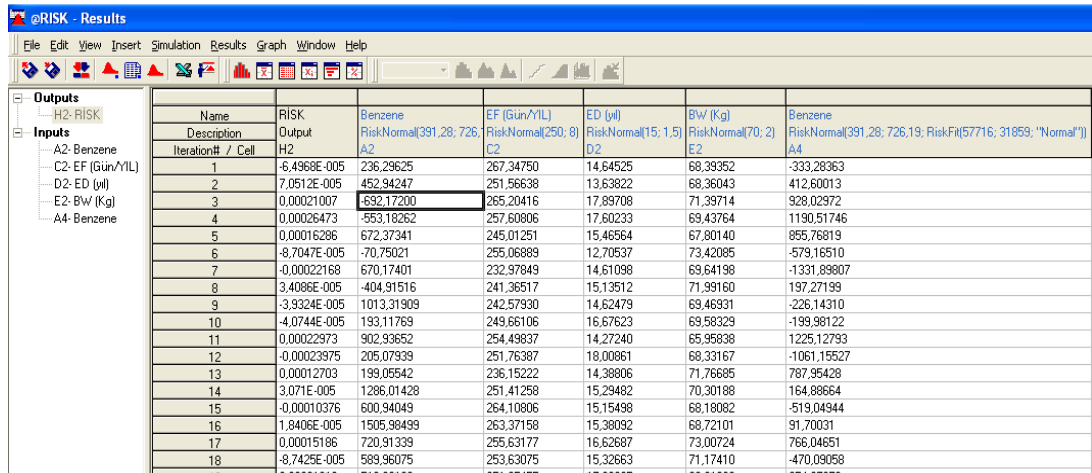
Risk değerlendirmesi üç farklı alıcı grubu için hesaplanmıştır. Bunların ilk ikisi ölçümüm yapıldığı lotlarda çalışan işçiler ve idari binada çalışanlar, üçüncüsü ise tesisin yakın çevresinde yaşayan insanlardır. Bu alıcı gruplarına ilişkin maruz kalma parametreleri Tablo 5.24’te verilmiştir. Burada tesiste çalışanların maksimum 25 yıl aynı işyerinde çalıştıkları kabul edilmiştir. Bu çalışma süresince yıllık izin dolayısıyla yılda iki hafta ve hafta sonları iki gün çalışmadıkları kabul edilmiştir. İlave olarak, çalışma günlerinde 8 saat bu ortam havasını soludukları kabul edilmiştir. Tesis çevresinde yaşayanların ise günde 24 saat boyunca bu havayı soludukları ve 70 yıl boyunca aynı yerde yaşadıkları kabul edilmiştir.

Tablo 5.24: Sağlık riski değerlendirmesine ilişkin maruz kalma parametreleri ve kabuller.

Risk Parametreleri	Parametre Değeri		
	Lot İçi	İdari Bina	Tesis Çevresi
Solunum oranı (70 kg yetişkin) (CR), m ³ /gün	3	3	15
Maruziyet frekansı (EF), gün/yıl	250	250	365
Maruziyet süresi (ED), yıl	25	25	70
Kişi ağırlığı (BW), kg	70	70	70
Ortalama maruziyet zamanı (70 yıl), gün	25550	25550	25550

5.3.3. Palisade Software @Risk Decision Tools v4.5 programı

Palisade software tarafından geliştirilmiş olan @Risk Decision Tools v4.5.2 yazılımı risk değerlendirmesi çalışmasında kullanılmıştır. @Risk Decision Tools programı Microsoft Excel programı içinde çalışan bir eklenti yazılımıdır (Şekil 5.19). Bu yazılım ile daha önce Denklem 5.37 ve Denklem 5.38 kullanılarak elde edilen kanserojenlik riski (benzen kaynaklı), değere uydurma (fitting) veya simülasyon gibi teknikler kullanarak, belirli bir güven aralığındaki doğruluğu, uyumu, yakınsaklık-ıraksaklık vb. istatistiksel işlemler ile en doğru risk modellemesi yapılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada, özellikle @Risk programıyla değişkenlerin durumuna göre modelleme veya simülasyon yapabilmesi sayesinde, en iyileme yapılarak, en uygun “fitting” yöntemi bulunmuş ve buna göre risk hesaplanmıştır.



Name	RISK	Benzene	EF (Gün/YIL)	ED (yıl)	BW (Kg)	Benzene
Output		RiskNormal(391,28; 726,)	RiskNormal(250; 8)	RiskNormal(15; 1,5)	RiskNormal(70; 2)	RiskNormal(391,28; 726,19; RiskFit(57716; 31859; "Normal"))
Iteration# / Cell	H2	A2	C2	D2	E2	A4
1	-6,4968E-005	236,29625	267,34750	14,64525	68,39352	-333,28363
2	7,0512E-005	452,94247	251,56638	13,63822	68,36043	412,60013
3	0,00021007	632,17200	265,20416	17,89708	71,39714	928,02972
4	0,00026473	-553,18262	257,60806	17,60233	69,43764	1190,51746
5	0,00016286	672,37341	245,01251	15,46564	67,80140	855,76819
6	-8,7047E-005	-70,75021	255,06889	12,70537	73,42085	-579,16510
7	-0,00022168	670,17401	232,97849	14,61098	69,64198	-1331,89807
8	3,4086E-005	-404,91516	241,36517	15,13512	71,99160	197,27199
9	-3,9324E-005	1013,31909	242,57930	14,62479	69,46931	-226,14310
10	-4,0744E-005	193,11769	249,66106	16,67623	69,58329	-199,98122
11	0,00022973	902,93652	254,49837	14,27240	65,95838	1225,12793
12	-0,00023975	205,07939	251,76387	18,00861	68,33167	-1061,15527
13	0,00012703	199,05542	236,15222	14,38806	71,76685	787,95428
14	3,071E-005	1286,01428	251,41258	15,29482	70,30188	164,88654
15	-0,00010376	600,94049	264,10806	15,15498	68,18082	-519,04944
16	1,8406E-005	1505,98499	263,37158	15,38092	68,72101	91,70031
17	0,00015186	720,91339	255,63177	16,62687	73,00724	766,04651
18	-8,7425E-005	589,96075	253,63075	15,32663	71,17410	-470,09058

Şekil 5.19: @Risk Decision Tools programı çalışma ekranı.

Kanserojenlik riskinin bulunmasında alım (I) ve risk değerlerinin bilinmesi gereklidir. Denklem 5.37’de verilen alım fomülünde geçen değişkenler ve sabitler ile dağılım türü şunlardır;

1. Değişkenler (variables, output),
 - a. C : LogNormal dağılım (normal logaritmik),
 - b. EF : Normal dağılım (tesiste çalışan veya orada yaşayan bir insan bir yıl boyunca değeri yaklaşık olarak belirli günler boyunca maruz kalır),

- c. ED : Normal dağılım (tesiste çalışan veya o bölgede yaşayan bir insan değeri yaklaşık olarak belirli yıllar boyunca maruz kalır),
- d. BW : Normal dağılım (tesiste çalışan veya o bölgede yaşayan bir insanın kilosu (ağırlığı), değeri yaklaşık olarak belli bir aralıktadır).

2. Sabitler (konstant),

- a. CR (konstant - sabit) : Normal dağılım (tesiste çalışan veya orada yaşayan bir insan gün boyunca yaklaşık olarak belirli miktarda solunum yapar): $3 \text{ m}^3/\text{gün}$ (8 saat içinde),
- b. CF (sabit) : 1.0×10^{-3} ,
- c. AT (sabit): 25550.

Denklem 5.38’de verilen ve Risk hesapladığımız formül, sonucu birimsiz kanserojenlik riskidir. Burada alım ve PF olarak potansiyel faktörü kullanılmaktadır. PF değeri kanserojenlik riski oluşturan birçok madde için belirlenmiş olup, Benzen için 0.029 sabit sayısıdır. Alım (I) değeri ise birçok parametreye bağlı olarak değişebilen bir parametredir. Hem değişkenliğin uydurulması hem de en uygun sonuçlara göre alım (I) parametresinin dağılım türü LogNorm olarak belirlenmiştir. Şekil 5.19’da kanserojenlik riski değerlendirmesi için kullanılacak olan bir Excel tablosu ve yukarıda bahsedilen girdi parametreleri gösterilmiştir. Burada @Risk Decision Tools programında risk değerlendirmesi için kullanılacak değişkenlere ait ayrıntılar, kabuller ve sonuçlar da gösterilmiştir.

Tüm dağılım türleri belirlendikten sonra yapılacak işlem çıktıyı (output) veya risk modelini simüle etmektir. Bu amaçla “Add Output” butonuna basılarak risk sonucunu veren hücre tıklanır ve bir isim verilir (risk_modeli gibi). Simülasyon ayarları “Simulation Settings” butonuna tıklanarak ayarlanabilir.

Burada iteratif hesaplama yapılarak en yakınsama yoluyla değerlere uygunluk tespit edilir. Kullanılan yöntem “Monte Carlo” simülasyonu olarak anılmaktadır. Bu yöntemde göre belirlenen değişkenler ile varolan verilerden örnekleme yapılarak değerlerin istenen dağılıma göre uyumu sağlanabilmektedir.

İşlem adımları aşağıdaki şekilde olmaktadır [61]:

- Probleme ait önemli değişkenler belirlenip, bu değişkenlerin ihtimal dağılımları saptanır,
- Her bir değişken için kümülatif ihtimal dağılımı belirlenir,
- Her bir değişken için rastgele sayı aralıkları belirlenir,
- Rastgele sayılar seçilir (veya üretilir),
- Seçilen rastgele sayılar kullanılarak denemeler gerçekleştirilir.

Monte Carlo metodu, olasılık teorisi üzerine kurulu bir sistemdir. Monte Carlo metodunda istatistiksel ve matematiksel tekniklerle bir deneyi veya çözülmesi gereken bir fiziksel olayı, tesadüfi sayıları defalarca kullanarak simüle edip çözmek esastır. Günümüzde bu metot finans, fizik, istatistik, ve matematik problemlerinin çözümünde MCNP (Monte Carlo N – Parçacık Taşınım) kodunu kullanarak nükleer transport hesaplamalarda iyi sonuçlar vermektedir [62].

Bu çalışmada 1000 iterasyonlu, çift döngülü ve normal örnekleme (Latin Hypercube sampling seçili) Monte Carlo simülasyonu uygulanmıştır. Excel altında çalışan @Risk programı 1000 iterasyonlu ve çift döngülü çalışma sonucunda elde ettiği dağılım grafiğini sonuç olarak vermektedir.

Risk değerlendirmesi kapsamında bu çalışmada tesis için, bina içi ve tesis çevresini içeren çalışma gruplarının her biri için özellikle kanserojenlik riskinin değerlendirilmesi amacıyla, @Risk programında uygun senaryolar ve modeller oluşturulmuş ve gerekli kanserojenlik riski dağılımları elde edilmiştir.

BÖLÜM 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

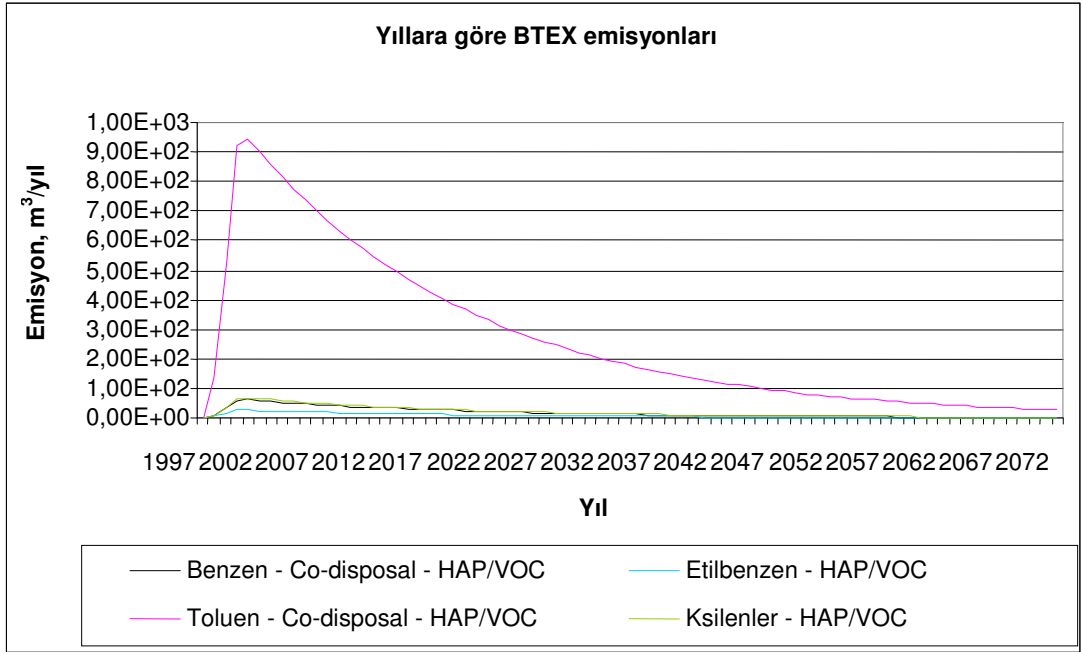
6.1. Modelleme Sonuçları

6.1.1. LandGEM modeli tahmini VOC emisyonları

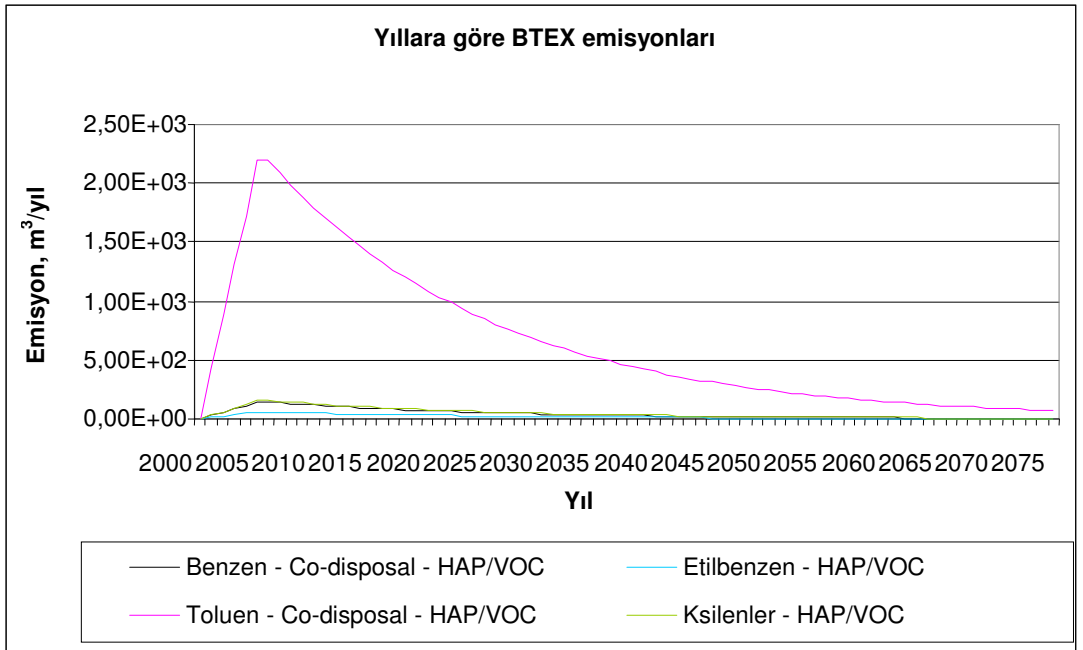
USEPA LandGEM modeline ait ayrıntılı bilgi girişleri Bölüm 5’te verilmiştir. Model istenilen zaman aralıkları için örneğin 2000-2040 yılı aralığı için veri üretebilmektedir. Gerekli girdi parametreleri girildiğinde (Bkz. Bölüm 5, Şekil 5.3) otomatik olarak sonuçlar üretilmektedir. LandGEM girdi değerlerine göre oluşabilecek toplam deponi gazı, CH₄, CO₂ ve diğer gaz bileşenlerinin örneğin BTEX bileşenleri gibi emisyonlarını m³/yıl (m³/sn birimine geçilebilir) ve g/sn olarak hesaplamaktadır.

Bu çalışmada, emisyon değerleri araştırılan BTEX bileşenlerine ait LandGEM modeli çıktısı, her bir lot için (Lot 5 ve Lot 7) ayrı ayrı Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmiştir. Model aynı zamanda diğer deponi gazları (başka uçucu bileşikler, çok zararlı gazlar, CH₄ ve CO₂ vs.) içinde teorik emisyon değeri üretebilmektedir. Buraya, Excel programının altında çalışan LandGEM modelinin “Input Review”, “Inventory” veya “Report” sayfalarından ulaşmak mümkündür.

Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de ise LandGEM modeline göre yıllık bazda, Lot 5 ve Lot 7’de oluşabilecek BTEX bileşenlerinin tahmini konsantrasyonları m³/sn ve g/sn olarak verilmiştir.



Şekil 6.1: Yıllara göre Lot 5’te oluşabilecek teorik BTEX emisyonları.



Şekil 6.2: Yıllara göre Lot 7’de oluşabilecek teorik BTEX emisyonları.

Tablo 6.1: LandGEM sonuçları BTEX bileşenlerinin m³/sn olarak tahmini konsantrasyonları.

Yıllar	Benzen (m ³ /sn)	Etilbenzen (m ³ /sn)	Toluen (m ³ /sn)	Ksilenler (m ³ /sn)
Lot 5 Alanı				
2001	8.649x10 ⁻⁷	3.617x10 ⁻⁷	1.337x10 ⁻⁵	9.435x10 ⁻⁷
2002	1.801x10 ⁻⁶	7.533x10 ⁻⁷	2.784x10 ⁻⁵	1.965x10 ⁻⁶
2003	2.694x10 ⁻⁶	1.127x10 ⁻⁶	4.163x10 ⁻⁵	2.939x10 ⁻⁶
2004	3.524x10 ⁻⁶	1.473x10 ⁻⁶	5.446x10 ⁻⁵	3.844x10 ⁻⁶
2005	4.524x10 ⁻⁶	1.892x10 ⁻⁶	6.991x10 ⁻⁵	4.935x10 ⁻⁶
2006	4.495x10⁻⁶	1.880x10⁻⁶	6.947x10⁻⁵	4.904x10⁻⁶
2007	4.276x10⁻⁶	1.788x10⁻⁶	6.608x10⁻⁵	4.665x10⁻⁶
2008	4.067x10 ⁻⁶	1.701x10 ⁻⁶	6.286x10 ⁻⁵	4.437x10 ⁻⁶
2009	3.869x10 ⁻⁶	1.618x10 ⁻⁶	5.979x10 ⁻⁵	4.221x10 ⁻⁶
2010	3.680x10 ⁻⁶	1.539x10 ⁻⁶	5.688x10 ⁻⁵	4.015x10 ⁻⁶
2011	3.501x10 ⁻⁶	1.464x10 ⁻⁶	5.410x10 ⁻⁵	3.819x10 ⁻⁶
2012	3.330x10 ⁻⁶	1.393x10 ⁻⁶	5.146x10 ⁻⁵	3.633x10 ⁻⁶
2013	3.168x10 ⁻⁶	1.325x10 ⁻⁶	4.895x10 ⁻⁵	3.456x10 ⁻⁶
2014	3.013x10 ⁻⁶	1.260x10 ⁻⁶	4.657x10 ⁻⁵	3.287x10 ⁻⁶
2015	2.866x10 ⁻⁶	1.199x10 ⁻⁶	4.430x10 ⁻⁵	3.127x10 ⁻⁶
2016	2.726x10 ⁻⁶	1.140x10 ⁻⁶	4.213x10 ⁻⁵	2.974x10 ⁻⁶
2017	2.593x10 ⁻⁶	1.085x10 ⁻⁶	4.008x10 ⁻⁵	2.829x10 ⁻⁶
2018	2.467x10 ⁻⁶	1.032x10 ⁻⁶	3.813x10 ⁻⁵	2.691x10 ⁻⁶
Lot 7 Alanı				
1998	2.718x10 ⁻⁷	1.137x10 ⁻⁷	4.201x10 ⁻⁶	2.965x10 ⁻⁷
1999	1.072x10 ⁻⁶	4.481x10 ⁻⁷	1.656x10 ⁻⁵	1.169x10 ⁻⁶
2000	1.892x10 ⁻⁶	7.912x10 ⁻⁷	2.924x10 ⁻⁵	2.064x10 ⁻⁶
2001	1.939x10 ⁻⁶	8.107x10 ⁻⁷	2.996x10 ⁻⁵	2.115x10 ⁻⁶
2002	1.844x10 ⁻⁶	7.711x10 ⁻⁷	2.850x10 ⁻⁵	2.012x10 ⁻⁶
2003	1.754x10 ⁻⁶	7.335x10 ⁻⁷	2.711x10 ⁻⁵	1.914x10 ⁻⁶
2004	1.669x10 ⁻⁶	6.978x10 ⁻⁷	2.579x10 ⁻⁵	1.820x10 ⁻⁶
2005	1.587x10 ⁻⁶	6.637x10 ⁻⁷	2.453x10 ⁻⁵	1.731x10 ⁻⁶
2006	1.510x10⁻⁶	6.314x10⁻⁷	2.333x10⁻⁵	1.647x10⁻⁶
2007	1.436x10⁻⁶	6.006x10⁻⁷	2.219x10⁻⁵	1.567x10⁻⁶
2008	1.366x10 ⁻⁶	5.713x10 ⁻⁷	2.111x10 ⁻⁵	1.490x10 ⁻⁶
2009	1.299x10 ⁻⁶	5.434x10 ⁻⁷	2.008x10 ⁻⁵	1.418x10 ⁻⁶
2010	1.236x10 ⁻⁶	5.169x10 ⁻⁷	1.910x10 ⁻⁵	1.348x10 ⁻⁶
2011	1.176x10 ⁻⁶	4.917x10 ⁻⁷	1.817x10 ⁻⁵	1.283x10 ⁻⁶
2012	1.118x10 ⁻⁶	4.677x10 ⁻⁷	1.729x10 ⁻⁵	1.220x10 ⁻⁶
2013	1.064x10 ⁻⁶	4.449x10 ⁻⁷	1.644x10 ⁻⁵	1.161x10 ⁻⁶
2014	1.012x10 ⁻⁶	4.232x10 ⁻⁷	1.564x10 ⁻⁵	1.104x10 ⁻⁶
2015	9.627x10 ⁻⁷	4.026x10 ⁻⁷	1.488x10 ⁻⁵	1.050x10 ⁻⁶

Tablo 6.2: LandGEM sonuçları BTEX bileşenlerinin g/sn olarak tahmini konsantrasyonları.

Yıllar	Benzen (g/sn)	Etilbenzen (g/sn)	Toluen (g/sn)	Ksilenler (g/sn)
Lot 5 Alamı				
2001	2.806x10 ⁻³	1.384x10 ⁻³	5.894x10 ⁻²	4.160x10 ⁻³
2002	5.845x10 ⁻³	2.883x10 ⁻³	1.227x10 ⁻¹	8.665x10 ⁻³
2003	8.740x10 ⁻³	4.311x10 ⁻³	1.836x10 ⁻¹	1.296x10 ⁻²
2004	1.143x10 ⁻²	5.639x10 ⁻³	2.401x10 ⁻¹	1.695x10 ⁻²
2005	1.468x10 ⁻²	7.239x10 ⁻³	3.083x10 ⁻¹	2.176x10 ⁻²
2006	1.458x10⁻²	7.193x10⁻³	3.063x10⁻¹	2.162x10⁻²
2007	1.387x10⁻²	6.843x10⁻³	2.914x10⁻¹	2.057x10⁻²
2008	1.320x10 ⁻²	6.509x10 ⁻³	2.771x10 ⁻¹	1.956x10 ⁻²
2009	1.255x10 ⁻²	6.191x10 ⁻³	2.636x10 ⁻¹	1.861x10 ⁻²
2010	1.194x10 ⁻²	5.889x10 ⁻³	2.508x10 ⁻¹	1.770x10 ⁻²
2011	1.136x10 ⁻²	5.602x10 ⁻³	2.385x10 ⁻¹	1.684x10 ⁻²
2012	1.080x10 ⁻²	5.329x10 ⁻³	2.269x10 ⁻¹	1.602x10 ⁻²
2013	1.028x10 ⁻²	5.069x10 ⁻³	2.158x10 ⁻¹	1.524x10 ⁻²
2014	9.776x10 ⁻³	4.822x10 ⁻³	2.053x10 ⁻¹	1.449x10 ⁻²
2015	9.299x10 ⁻³	4.587x10 ⁻³	1.953x10 ⁻¹	1.379x10 ⁻²
2016	8.846x10 ⁻³	4.363x10 ⁻³	1.858x10 ⁻¹	1.311x10 ⁻²
2017	8.414x10 ⁻³	4.150x10 ⁻³	1.767x10 ⁻¹	1.247x10 ⁻²
2018	8.004x10 ⁻³	3.948x10 ⁻³	1.681x10 ⁻¹	1.187x10 ⁻²
Lot 7 Alamı				
1998	8.820x10 ⁻⁴	4.350x10 ⁻⁴	1.852x10 ⁻²	1.308x10 ⁻³
1999	3.477x10 ⁻³	1.715x10 ⁻³	7.301x10 ⁻²	5.154x10 ⁻³
2000	6.139x10 ⁻³	3.028x10 ⁻³	1.289x10 ⁻¹	9.101x10 ⁻³
2001	6.290x10 ⁻³	3.102x10 ⁻³	1.321x10 ⁻¹	9.325x10 ⁻³
2002	5.983x10 ⁻³	2.951x10 ⁻³	1.257x10 ⁻¹	8.870x10 ⁻³
2003	5.691x10 ⁻³	2.807x10 ⁻³	1.195x10 ⁻¹	8.437x10 ⁻³
2004	5.414x10 ⁻³	2.670x10 ⁻³	1.137x10 ⁻¹	8.026x10 ⁻³
2005	5.150x10 ⁻³	2.540x10 ⁻³	1.082x10 ⁻¹	7.634x10 ⁻³
2006	4.898x10⁻³	2.416x10⁻³	1.029x10⁻¹	7.262x10⁻³
2007	4.659x10⁻³	2.298x10⁻³	9.786x10⁻²	6.908x10⁻³
2008	4.432x10 ⁻³	2.186x10 ⁻³	9.309x10 ⁻²	6.571x10 ⁻³
2009	4.216x10 ⁻³	2.080x10 ⁻³	8.855x10 ⁻²	6.250x10 ⁻³
2010	4.010x10 ⁻³	1.978x10 ⁻³	8.423x10 ⁻²	5.946x10 ⁻³
2011	3.815x10 ⁻³	1.882x10 ⁻³	8.012x10 ⁻²	5.656x10 ⁻³
2012	3.629x10 ⁻³	1.790x10 ⁻³	7.621x10 ⁻²	5.380x10 ⁻³
2013	3.452x10 ⁻³	1.703x10 ⁻³	7.250x10 ⁻²	5.117x10 ⁻³
2014	3.283x10 ⁻³	1.620x10 ⁻³	6.896x10 ⁻²	4.868x10 ⁻³
2015	3.123x10 ⁻³	1.541x10 ⁻³	6.560x10 ⁻²	4.630x10 ⁻³

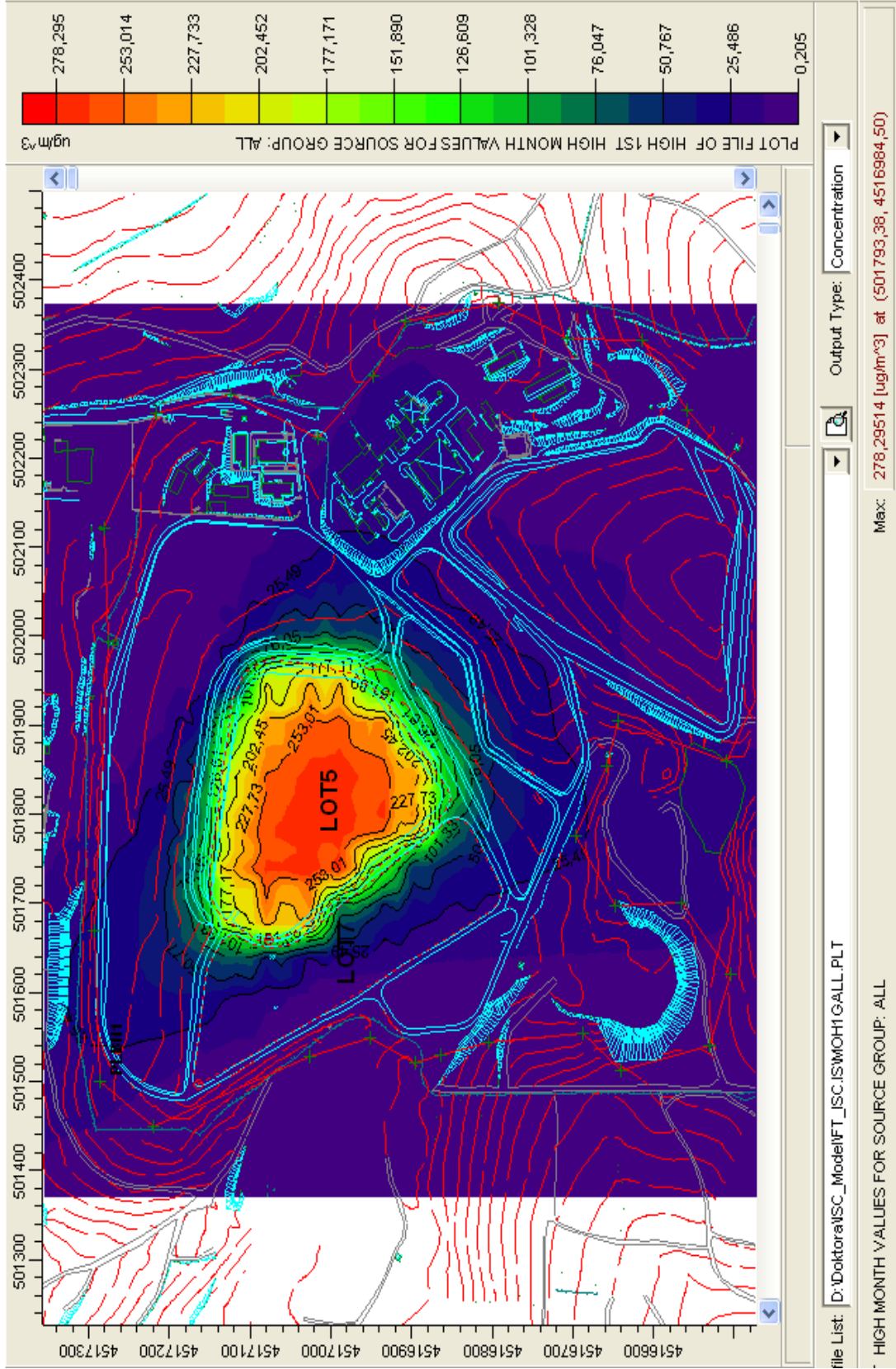
Hava dağılım (air dispersion) modellenmesi çalışmasında, BTEX emisyonlarının modellenmesinde 2006 ve 2007 yılında oluşan emisyonların ortalaması alınarak güncel BTEX emisyon değeri modele g/sn olarak girilmiştir.

Lot 7 için benzen, etilbenzen, toluen ve ksilenler bileşiklerinin 2006-2007 yılları ortalama değerleri sırasıyla 4.78×10^{-3} , 2.36×10^{-3} , 1.00×10^{-1} ve 7.09×10^{-3} olarak bulunmuştur. Lot 5 için ise bu değerler sırasıyla 1.42×10^{-2} , 7.02×10^{-3} , 2.99×10^{-1} ve 2.11×10^{-2} g/sn olarak hesaplanmıştır. Aynı yıllar için Lot 5 ve Lot 7 alanlarının yüzeylerinden atmosfere karışan BTEX emisyonları ise sırasıyla 3.41×10^{-1} g/sn ve 1.15×10^{-1} g/sn olarak elde edilmiştir. Hava kirliliği dağılım modelinin oluşturulmasında (ISCST3 kullanılarak), çalışma bölgesi alan kaynak olarak kabul edilecektir. Alan kaynak girilerek modelleme yapılması halinde emisyonların $\text{g/m}^2 \cdot \text{sn}$ biriminde girilmesi gerekmektedir. Lot 5 ve Lot 7'nin yüzey alanları bilinmektedir. Bu durumda Lot 5 ve Lot 7'den yüzey alanı başına düşen teorik ortalama BTEX emisyonları toplam olarak sırasıyla 5.33×10^{-6} $\text{g/m}^2 \cdot \text{sn}$ ve 2.25×10^{-6} $\text{g/m}^2 \cdot \text{sn}$ olarak hesaplanmıştır.

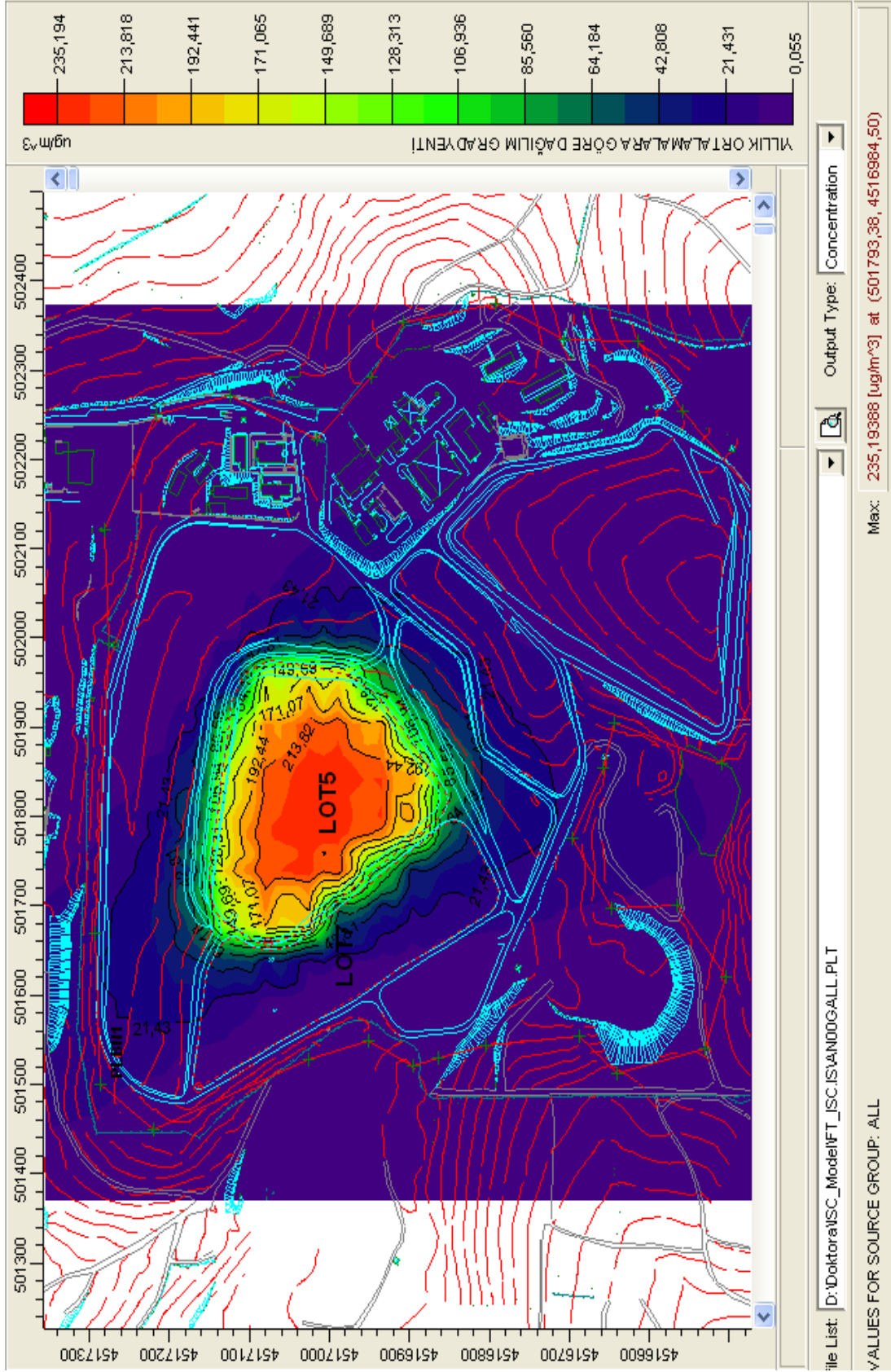
6.1.2. ISC-AERMOD View modelleme programı sonuçları

Proje durum raporunda eksik bir nokta bulunmadığı tespit edilmiş olduğundan model çalıştırılabilmiştir (Bkz. Bölüm 5.1.3.11). Çalışma süresin başarılı olarak bitirilmiş ve bu sayede “Contours“ ile adlandırılan ve emisyonların dağılımını gösteren dağılım gradyenti elde edilmiştir. İki farklı zamanı gösteren yani yıllık ve aylık ortalama değerler bazında, verilerin işlenerek modellendiği dağılımı gösteren “plt” uzantılı, aylık “1st – Month, MOH1GALL.plt” ve yıllık “Others – Annual, AN00GALL.plt” dosyaları proje dizininde oluşturulmuştur.

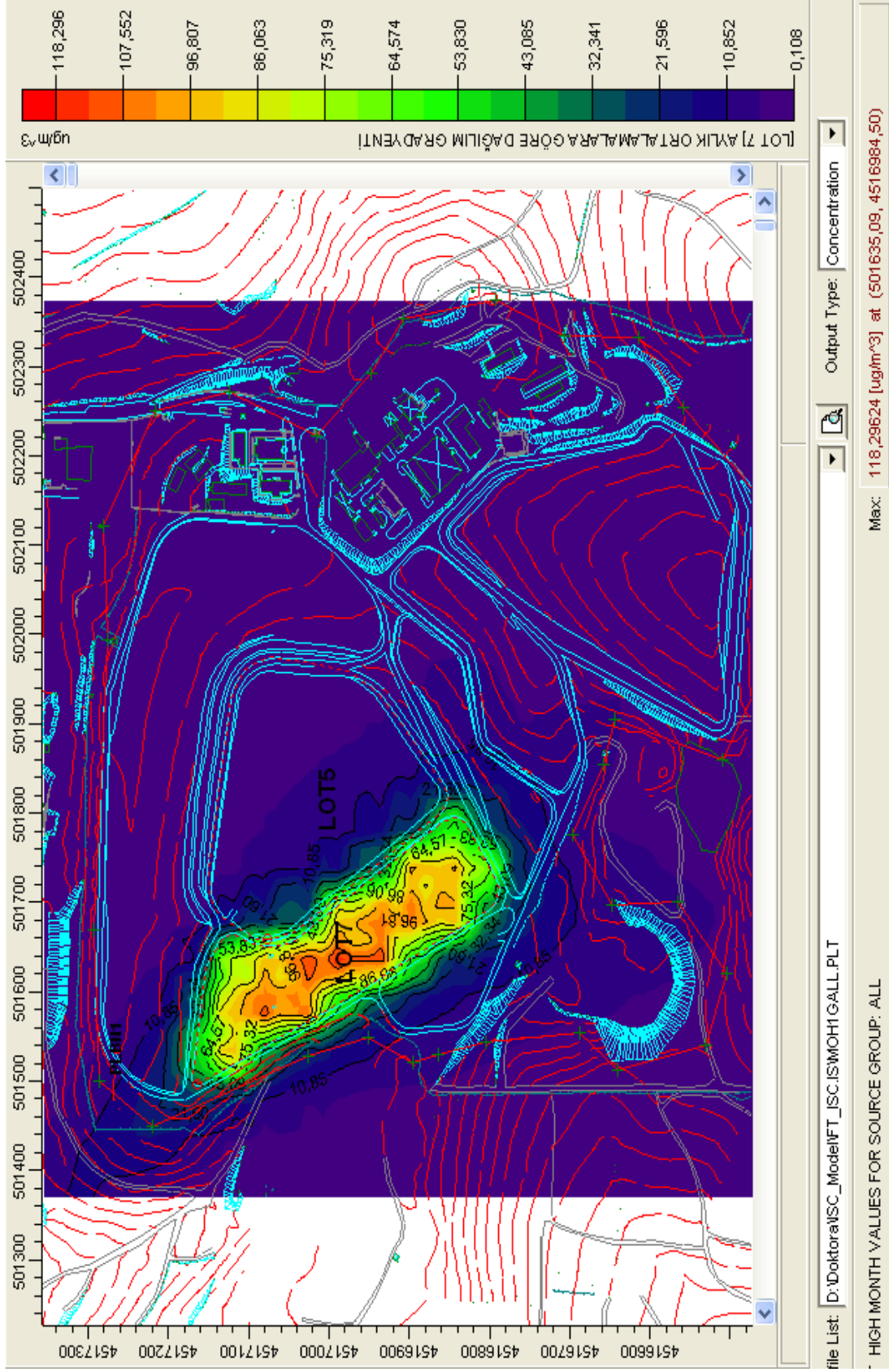
Her iki atık depolama lotu (Lot 5 ve Lot 7) için ayrı ayrı dağılım gradyentleri oluşturulmuş ve her sonuç Şekil 6.3–6.6'da sunulmuştur. Bu çıktılarda emisyon birimleri $\mu\text{g/m}^3$ birimindedir. Ayrıca emisyon dağılımını daha iyi görebilmek amacıyla çok düşük konsantrasyonlar elimine edilebilmektedir.



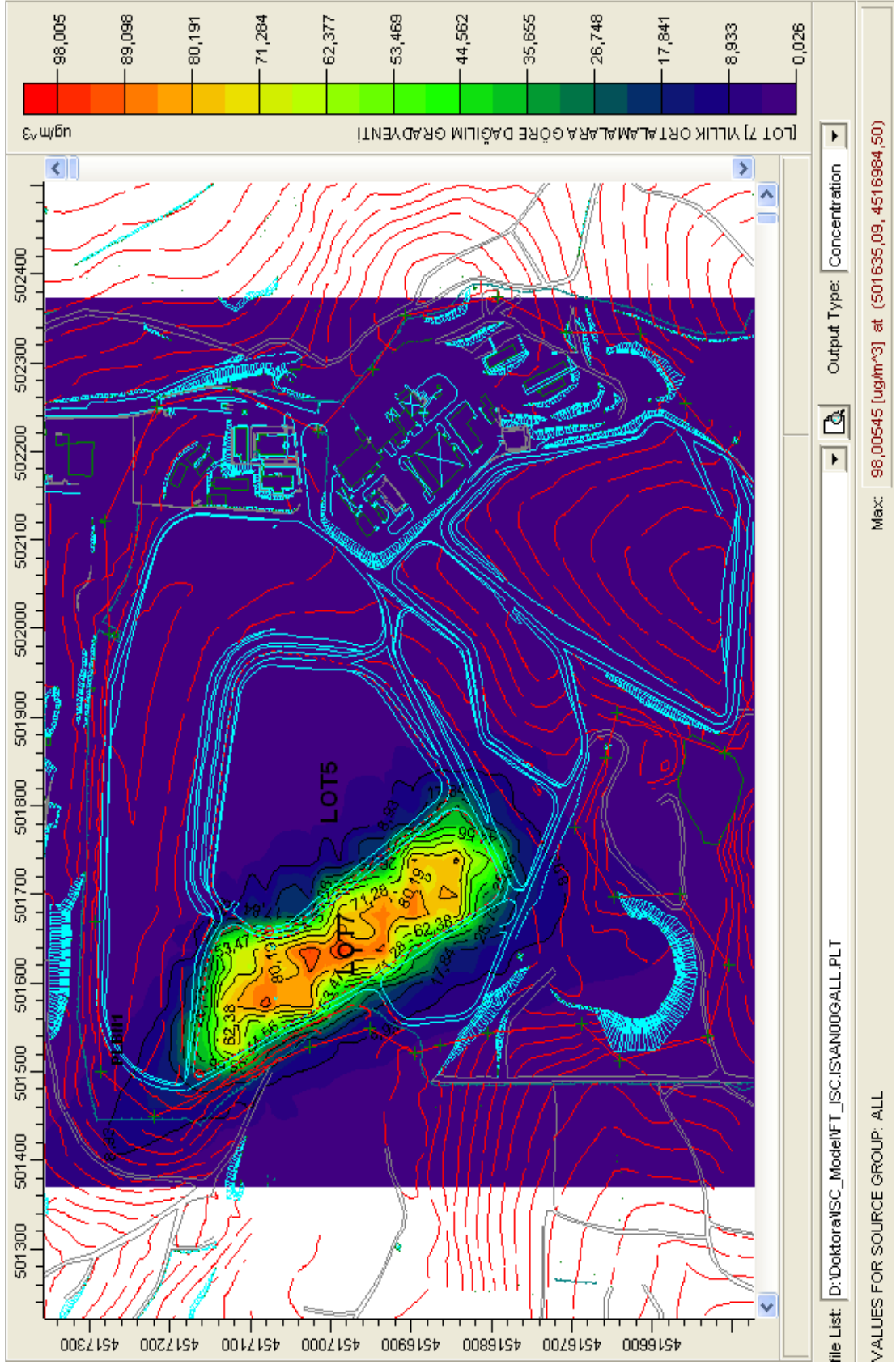
Şekil 6.3: Lot 5 için aylık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.



Şekil 6.4: Lot 5 için yıllık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.



Şekil 6.5: Lot 7 için aylık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.



Şekil 6.6: Lot 7 için yıllık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.

Aylık ve yıllık ölçümler karşılaştırıldığında, aylık sonuçların yıllık sonuçlardan büyük olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni ISCST3 modelinin, hesaplamaları yaparken aylık bazda elde ettiği değerlerin en yüksek olanını model sonucu olarak kabul etmesi ve aylık ortalama bazında meteorolojik verileri işlemesidir.

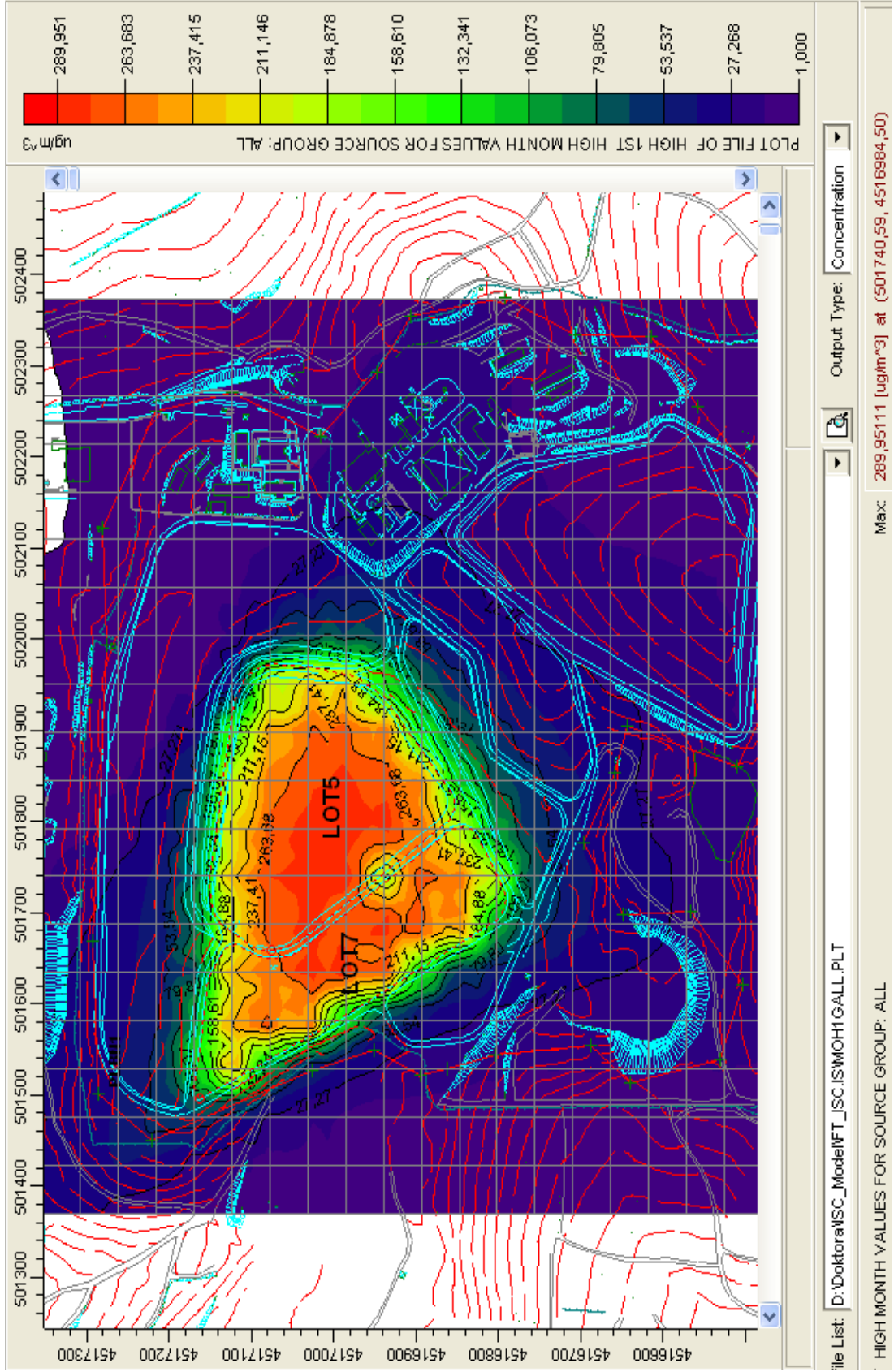
Her bir lot için gradyentler ayrı ayrı elde edildikten sonra, her iki lot birden dikkate alınarak program yeniden çalıştırılmış ve sonuçlar Şekil 6.7 – 6.8’de sunulmuştur. Aylık ortalamalar bazında elde edilen verilere göre Şekil 6.7’den görülebileceği gibi maksimum konsantrasyon X: 501740.219, Y: 4516984 koordinatlarında (Lot 5 alanı içinde kalmakta) ve $290 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Üretilen sonuçlarda aylık bazda ortalama konsantrasyon $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve minimum konsantrasyon ise $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Aylık ortalama veriler kullanılarak elde edilen, çok koyu renkte olan ve çok küçük emisyonları temsil eden bölgeleri çıkarmak ve daha anlaşılır bir şekil elde etmek amacıyla $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ‘ten küçük değerler çıkarılarak daha sade görünüm elde edilebilir.

Yıllık ortalamalar bazında elde edilen verilere göre Şekil 6.8’den görülebileceği gibi maksimum konsantrasyon X: 501740.219, Y: 4516984 koordinatlarında (Lot 5 alanı içinde) ve $245 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ‘tür. Yıllık bazda ortalama konsantrasyon $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve minimum konsantrasyon ise $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak elde edilmiştir. Yıllık bazda elde edilen, çok koyu renkte olan ve çok küçük emisyonları temsil eden bölgeleri çıkarmak ve daha anlaşılır bir şekil elde etmek amacıyla $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ‘ten küçük değerler çıkarılabilir ve daha sade görünüm elde edilebilir.

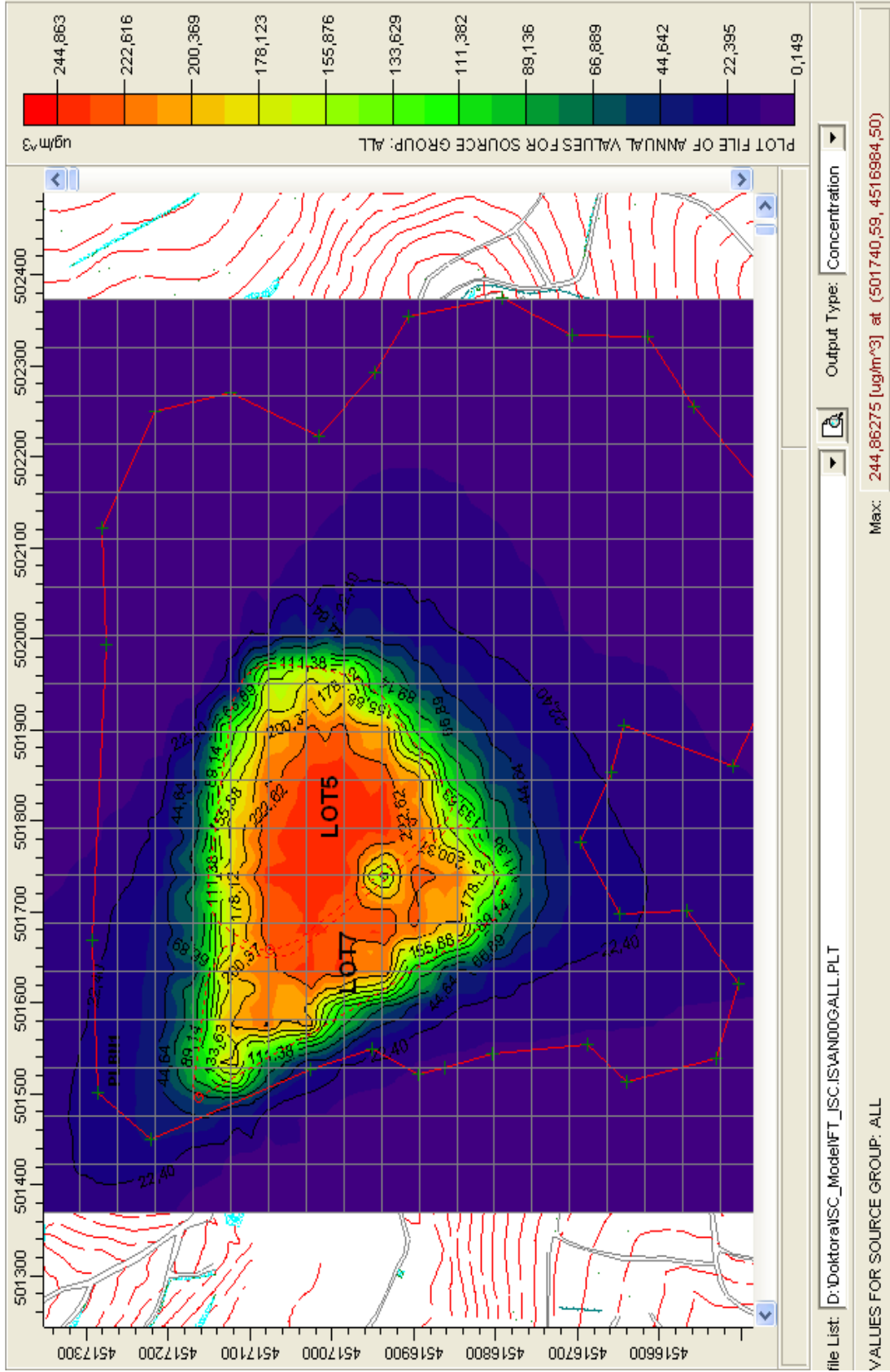
2000-2004 yılı meteorolojik verilerini içeren, toplam 5 yıllık SAMSON formatındaki veri dosyası kullanılarak, ISC-AERMOD View programı yardımcı programlarından WRPLOT View yardımcı programı sayesinde, meteorolojik veriler ışığında elde edilen ve dağılımı belirleyen rüzgâr gülü haritası, model çalıştırılarak elde edilmiştir. Bu programda özellikle eksik saatlerin az olması veya hiç olmaması doğru sonuçlar vermektedir. MeteoOku tarafından üretilen veri dosyalarında eksik olmadığı görülmüştür.

MeteoOku programı ile hazırlanmış olan SAMSON dosyası içinde eksik gün veya saat kontrolü de yapıldığından dolayı, elde edilen Met0004.met dosyasında hiçbir eksik saat yoktur.

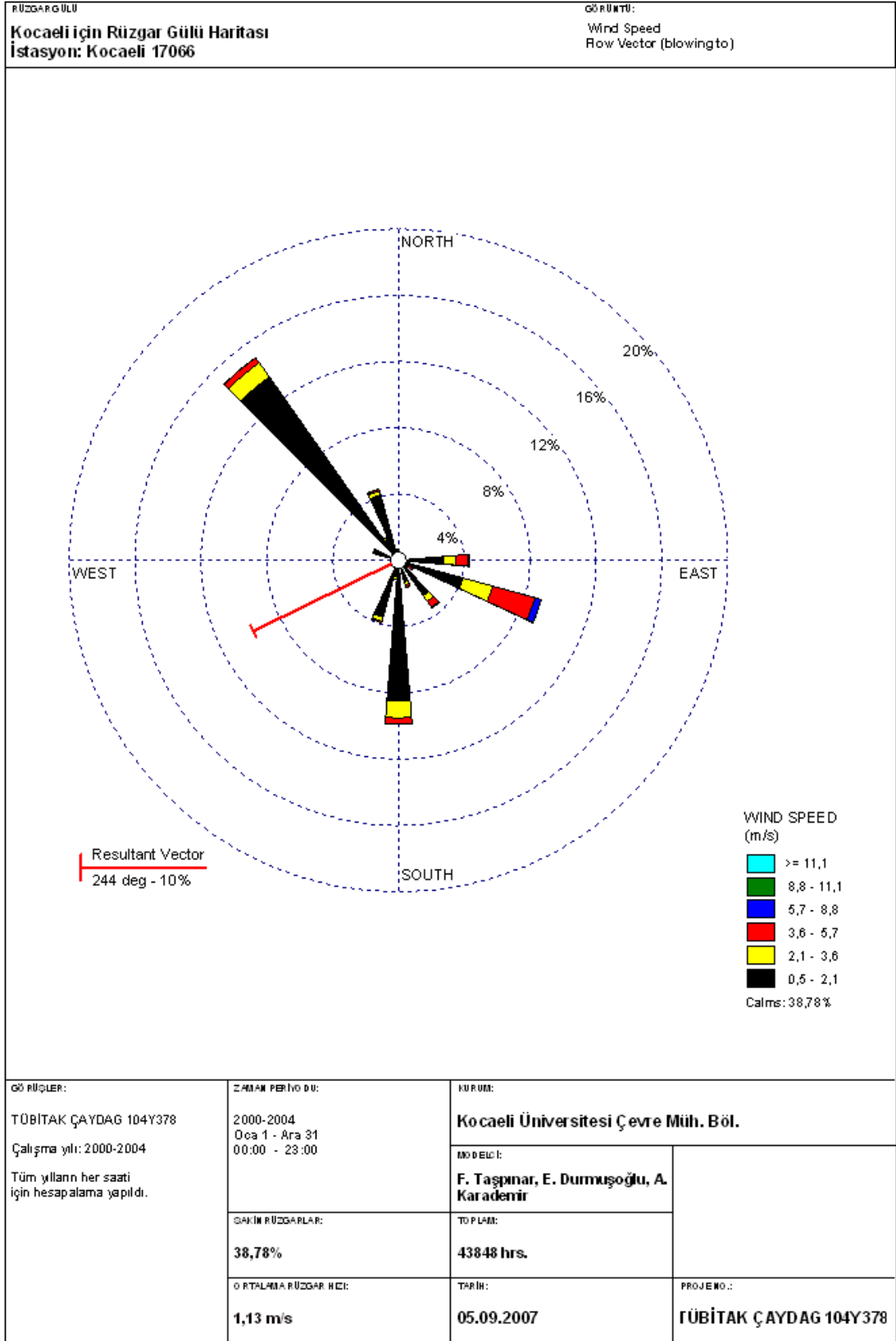
Rüzgâr gülü özellikle dağılımda etkili olan net rüzgâr yönünü verdiği için, yorumlamada gerekli olmaktadır. Otomatik olarak meteorolojik verilerden hesaplanan rüzgâr gülü değerlerinden, baskın olan rüzgâr esme yönü ve bileşke rüzgâr esme yönü buradan görülmektedir. Rüzgâr gülüne göre özellikle kuzey-batı yönünde en etkili rüzgâr kuvveti ve tüm rüzgâr esme yönlerinin bileşke kuvvet yönü de güney-batı olarak elde edilmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.7: Aylık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.



Şekil 6.8: Yıllık değerlere göre toplam BTEX emisyonu dağılım gradyenti.



Şekil 6.9: Çalışmada kullanılan ve ISC-Aermod View programı WrpLotView modülü ile oluşturulan rüzgar güllü haritası.

6.2. Analiz Sonuçları

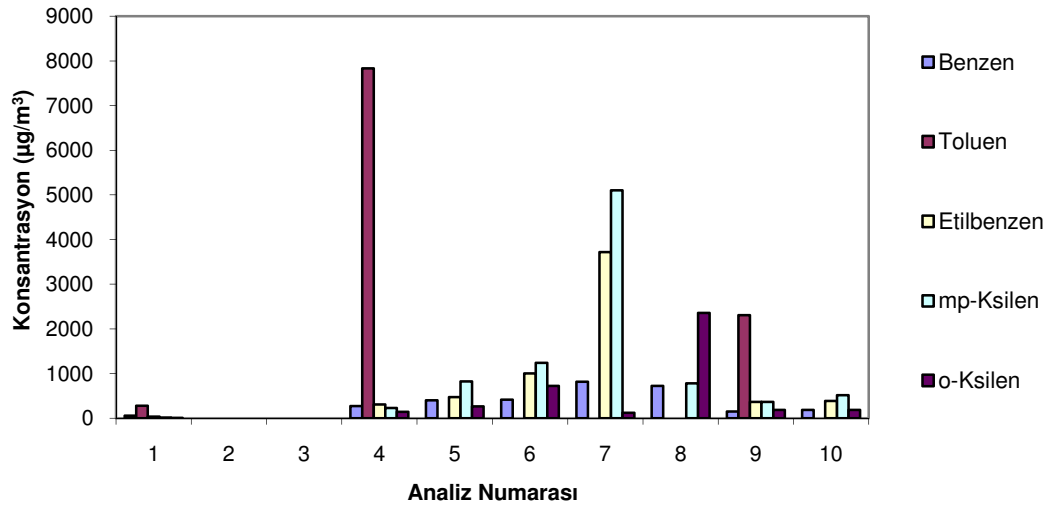
19.04.2007 (1. örnekleme) ve 21.06.2007 (2. örnekleme) tarihlerinde Lot 5 ve Lot 7 alanlarından alınan numuneler, hazırlanan kalibrasyona ve daha önce açıklanan GC BTEX metoduna göre analiz edilmiştir. Birinci örnelemeye ait analiz sonuçları Tablo 6.3 ve Şekil 6.10'da sunulmuştur. Bu örneklemede elde edilen maksimum, minimum ve geometrik ortalama değerleri Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.3: 1. örnelemeye ait analiz sonuçları.

Lot No	Numune Alınan Nokta	Benzen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Etil benzen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	mp-Ksilen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	o-Ksilen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
7	Flare	60.4	276.7	36.8	14.8	9.7
5	Baca 1	**	**	**	**	**
	Baca 25	**	**	**	**	**
	Baca 19	273.8	7834.3	307.9	228.0	146.4
	Baca 11	403.7	*	473.0	821.1	263.2
	Baca 8	413.7	*	1001.7	1243.2	721.6
	Baca 6	818.6	*	3717.1	5104.5	125.0
	Baca 3	724.4	*	*	780.1	2359.8
	Baca 9	151.5	2307.1	364.3	363.7	188.9
	Baca 4	187.2	*	385.0	513.3	186.4

* Ölçüm limitlerinin altında

** Bu tüpler kalibrasyonda kullanılmıştır.



Şekil 6.10: 1. örneklemeye ait analiz sonuçlarını gösteren grafik.

Tablo 6.4: 1. örneklemeye ait ortalama BTEX değerleri.

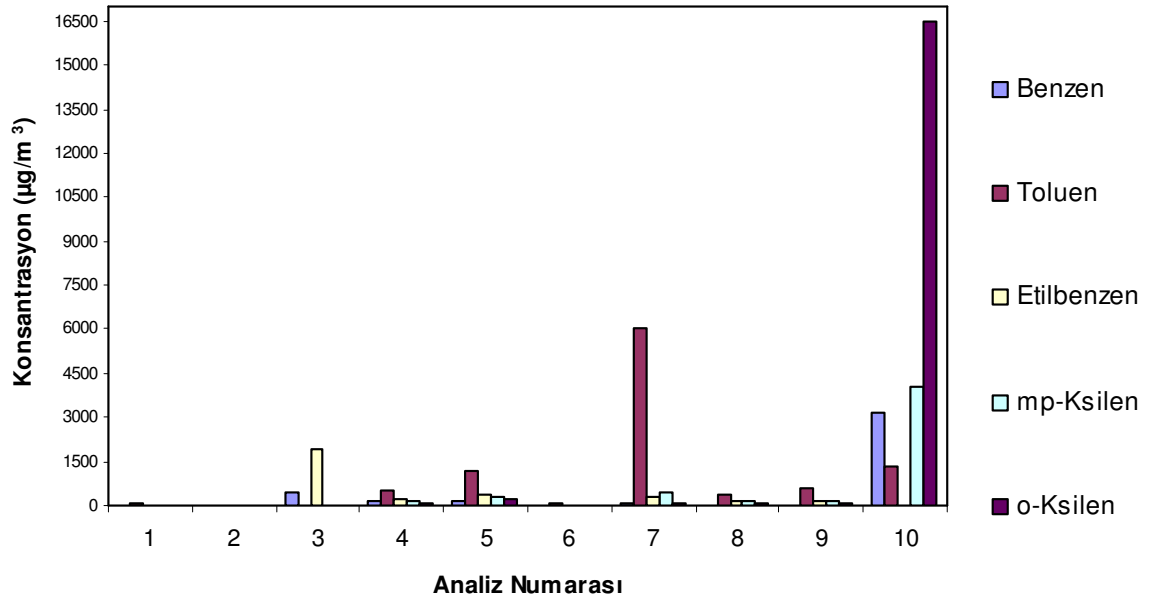
BTEX	Minimum (µg/m ³)	Maksimum (µg/m ³)	Geometrik Ortalama (µg/m ³)
Benzen	60.4	771.5	336.7
Toluen	276.6	7834.3	3472.7
Etilbenzen	36.8	3717.1	1034.7
mp-Ksilen	14.8	2942.3	931.1
o-Ksilen	9.6	1242.4	415.7

21.06.2007 tarihinde gerçekleştirilen 2. örneklemeye ait analiz sonuçları Tablo 6.5 ve Şekil 6.11’de sunulmuştur. Bu analiz sonuçlarının maksimum, minimum ve geometrik ortalama değerleri Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.5: 2. örneklemeye ait analiz sonuçları.

Lot No	Numune Alınan Nokta	Benzen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Etilbenzen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	mp-Ksilen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	o-Ksilen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
7	Flare	3137.8	1307.3	*	4013.5	16521.0
5	Baca 1	17.1	40.0	4.9	5.3	2.6
	Baca 25	34.9	23.4	10.5	11.4	24.5
	Baca 19	406.3	*	1924.5	*	*
	Baca 11	113.6	506.7	211.5	159.2	97.7
	Baca 8	141.1	1213.3	402.0	300.7	192.1
	Baca 6	5.6	75.2	7.9	8.6	4.5
	Baca 3	89.7	6064.7	325.5	426.1	93.9
	Baca 9	27.9	343.1	118.6	123.0	70.8
	Baca 4	35.8	620.5	110.7	125.0	65.9

* Ölçüm limitlerinin altında.



Şekil 6.11: 2. örneklemeye ait analiz sonuçlarını gösteren grafik.

Sonuçlara bakıldığında özellikle Lot 7'den alınan örneklerdeki aşırı sonuçlar dikkati çekmektedir. Bunun sebebi olarak, flare noktasında numune alma işlemi için çalıştırılan vakum pompasının, aniden çok fazla miktarda emiş yapması sonucunda, ortamdaki BTEX konsantrasyonlarını çok fazla arttırmış olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 6.6: 2. örnelemeye ait ortalama BTEX değerleri.

BTEX	Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maksimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Geometrik Ortalama ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzen	5.6	3137.8	401.0
Toluen	23.4	6064.7	1132.7
Etilbenzen	4.9	1924.5	346.2
mp-Ksilen	5.3	4013.5	574.8
o-Ksilen	2.6	16521.0	1897.0

“2. örnelemeye” ait BTEX analiz sonuçlarını gösteren örnek GC çıktıları EK - C’de verilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarına göre her iki tarihte yapılan örnelemeye ait bir takım istatistiksel sonuçlar Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7: Örnelemelere ait en büyük, en küçük ve ortalama sonuçlar.

BTEX Bileşenleri	En Büyük Ölçüm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		En Küçük Ölçüm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Ortalama Sonuçlar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	1. Örnekleme	2. Örnekleme	1. Örnekleme	2. Örnekleme	1. Örnekleme	2. Örnekleme
Benzen	771.5	3137.8	60.4	5.6	336.7	400.9
Toluen	7834.3	6064.7	276.6	23.4	3472.6	1132.7
Etilbenzen	3717.1	1924.5	36.8	4.9	1034.7	346.2
mp-Ksilen	2942.3	4013.5	14.8	5.4	931.1	574.7
o-Ksilen	1242.4	16521.0	9.6	2.6	415.7	1896.9

Özellikle, Toluen konsantrasyonları diğerlerinden oldukça yüksek bulunmuştur. Kanserojen özellik taşıyan benzen konsantrasyonu ortalama $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Diğer BTEX bileşenlerinin ortalama konsantrasyonları ise toluen $2300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, etilbenzen $690 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mp-ksilen $739 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve o-ksilen $1156 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur.

İyi bilinen bir kanserojen olan benzene $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük maruziyet lösemi için 4×10^{-6} 'lık bir yaşam riski doğurmaktadır. Genellikle $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pratikte limit olarak kabul edilmektedir [56].

Zou et al. (2003) tarafından, güney Çin'de bulunan Guangzhou bölgesindeki Datianshan depolama sahasında mevsimsel bir çalışma yapılmıştır [56]. Çalışmalarında analizde Aerotrap ve Purge & Trap sistemleri ile kurulu olan GC (MS) kullanılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 6.8'de verilmiştir. Elde ettikleri maksimum benzen, toluen, etilbenzen, mp-ksilen ve o-ksilen konsantrasyonları sırasıyla $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak şöyledir: 167, 202, 52, 97 ve 72.

Tablo 6.8: Datianshan (Çin) depolama sahasında elde edilen VOC analiz sonuçları [56].

VOC Bileşenleri	Konsantrasyon Aralığı, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Min. (ort.)	Max. (ort.)
Benzen	1.2–15 (7.3)	41–167 (73)
Toluen	1.7–23 (12)	82–202 (113)
Etilbenzen	0.1–3.5 (1.8)	12–52 (24)
mp-Ksilen	0.2–7.9 (3.7)	15–97 (42)
o-Ksilen	0.1–4.0 (2.5)	17–72 (33)

Yine benzer bir çalışma Allen ve diğ. (1997) tarafından İngiltere'de 7 farklı düzenli depolama alanında yapılmıştır [57]. Bu çalışmada elde edilen bazı maksimum emisyon değerleri ise şöyledir; benzen $7 \text{ mg}/\text{m}^3$, toluen $287 \text{ mg}/\text{m}^3$, ksilenler $440 \text{ mg}/\text{m}^3$ 'tür. Allen ve diğ. (1997) gerçekleştirdikleri çalışmalarında elde ettikleri bulguları, diğer araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Çalışmaya ait karşılaştırmayı gösteren bulgular Tablo 6.9'da verilmiştir.

Tablo 6.9: Allen ve diğ. (1997) tarafından elde edilen sonuçların, diğ. araştırmalarla karşılaştırması (mg/m³) [57-60].

Bileşenler	Allen ve diğ. [57]	Young and Heasman [58]	Dent et al. [59]	Brooks and Young [60]
Toplam alkanlar	302-1543	-	0.3-1738	619
C ₂ -C ₅ alkan	62-553	-	-	119
C ₆ -C ₁₂ alkan	122-1415	-	-	500
Siklo alkanlar	80-487	-	<0.4-56	49
Siklohekzan	6-30	1.1-40	-	33
Metilsiklohekzan	11-45	2.7-13	-	15
Dimetilsiklohekzan	<0.1-16	0.5-12.5	-	<1
C ₄ -alkylcyclohexanes	<0.1-33	-	-	<2
Terpenler	35-652	-	-	414
Limonen	<0.1-287	3.3-269	-	240
Toplam aromatikler	36-1906	-	0.6-553	116.8
Benzen	<0.1-7	0.6-12	-	5
Toluen	10-287	18-197	-	15
Ksilens	36-440	7.9-139	-	34
Etilbenzen	5-156	3.6-49	-	14

Analizler sonucunda elde edilen verilere göre İZAYDAŞ tesisi için özellikle toluen ve etilbenzen konsantrasyonları diğ. BTEX bileşenlerine oranla oldukça yüksek çıkmıştır. Literatür verileri karşılaştırıldığında ise genel olarak BTEX konsantrasyonları düŐüktür. Buradaki farkların özellikle depolamanın nasıl gerçekleştirildiği (depolama örtüsü), depolanan katı atıkların karakteri (C/N oranı, organik materyal ve nem içeriği vs.), iklim koşulları, ortam sıcaklığı, deponi alanının yaşı ve depolama alanının kapatılma biçimine bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır.

6.3. Model ve lm Sonuçlarının Karşılaştırılması

ISCST3 Aermod View 5.3 hava dağılım modelleme programı kullanılarak elde edilen sonuçlar ile İZAYDAŞ tesisi Lot 5 ve Lot 7 alanlarından alınan örneklerin analizleri sonucu elde edilen sonuçlar karřılaŐtırılmıŐtır. Model sonuçları aylık ve yıllık bazda değerler üretmiŐ olup, aylık ortalama değerlerin yıllık ortalama değerlerden yüksek olduğu görülmüştür. Analiz sonuçları ve model sonuçlarına ait genel bir karřılaŐtırma Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10: Model sonuçları olan aylık ve yıllık ortalama değerler ile analiz sonuçlarının karşılaştırması ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Lot 5 ve Lot 7 için Yıllık ve Aylık bazda elde edilen Model Sonuçları (BTEX, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1. örnekleme genel ortalaması (BTEX, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2. örnekleme genel ortalaması (BTEX, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
244 - 289	2375	956

Tüm analiz sonuçlarını bir ortalama değer ile ifade edersek, ortalama toplam BTEX emisyonu $1509 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. ISCST3 modeli sonucu elde edilen değerlere göre ise ortalama toplam BTEX emisyonu ise $267 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Model ile analiz sonuçlarının birbirine yaklaşım oranı ise yaklaşık olarak 1/5 bulunmuştur. Bu farkın yüksek oluşu;

1. 2. örneklemede Lot 7 alanı Flare noktasında ölçülen aşırı yüksek değerlerden,
2. Depolama esnasında ortamda gerçekleşen çürüme, anaerobik faaliyetler ve hızlı bozunmaların neden olduğu VOC emisyonlarından,
3. Dış kaynaklı VOC emisyonlarından kaynaklanabilmektedir.

1. ve 2. örneklemede elde verilere göre, 2. örneklemede Lot 7'ye ait flare noktasında çıkan çok yüksek değerlerin, ortalamayı çok değiştirmesi nedeniyle bunları çıkarıp yeniden bir yaklaşım oranı hesaplanmış ve yeni bir oran elde edilmiştir (Tablo 6.11).

Tablo 6.11: Model sonuçları olan aylık ve yıllık ortalama değerler ile analiz sonuçlarının karşılaştırması ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Lot 5 ve Lot 7 için Yıllık ve Aylık bazda elde edilen Model Sonuçları (BTEX, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1. örnekleme genel ortalaması (BTEX, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2. örnekleme genel ortalaması (BTEX, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
244 - 289	1277*	354**

*1. örnekleme sonuçlarının genel ortalaması,

** 2. örnekleme sonuçlarında, ortalamadan Lot 7 Flare noktası değerleri çıkarılmış hali.

Elde edilen analiz sonuçlara göre yeni ortalama değerler göz önüne alındığında ortalama toplam BTEX emisyonu $815 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Bu duruma göre,

model sonuçları ve analiz sonuçlarının yaklaşım oranı yaklaşık olarak 1/3 olarak hesaplanmıştır. Yine de oluşan bu farkın ortamda bulunan yani dış kaynaklı emisyonların neden olduğu BTEX emisyonlarından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir.

6.4. Sağlık Riski Değerlendirmesi Sonuçları

Risk değerlendirme üç farklı alıcı grubu için hesaplanmıştır. Bunlardan ilk ikisi, ölçüm yapıldığı lotlarda çalışan işçiler ve idari binada çalışanların oluşturduğu aktif grup, diğeri ise tesisin yakın çevresinde yaşayan insanların oluşturduğu pasif gruptur. Özellikle depolama sahasında çalışan insanların çok yüksek BTEX emisyonlarına maruz kalabilme olasılığının bulunuyor olması, bu grubun sağlık riski açısından, basit bir şekilde en riskli grup olarak belirlenmesinde etkili olmuştur.

6.4.1. Ölçüm alanı içinde çalışanlar (1. grup) için risk değerlendirme

Ölçümün gerçekleştirildiği depolama alanı içinde çalışan kişilerin maruz kaldıkları konsantrasyonlar 1. ve 2. örneklemede elde edilen BTEX değerlerinin geometrik ortalamaları alınarak elde edilmiş ve Tablo 6.12’de sunulmuştur. Daha sonra, bu iki ölçümün de geometrik ortalaması alınarak tesis içinde çalışanlar için risk değerlendirmesinde kullanılacak konsantrasyon değerleri elde edilmiştir (Tablo 6.13). Konsantrasyon değerleri öncelikle Bölüm 5’te verilen Tablo 5.24 (idari binalarda çalışanlar) ve Denklem 5.34 kullanılarak alım miktarları hesaplanmış ve Tablo 6.14’te gösterilmiştir. Bu değerler daha sonra Denklem 5.35 ve Denklem 5.36’da kullanılmış ve Tablo 6.15’te verilen risk değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6.12: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için risk değerlendirmesinde kullanılan ortalama BTEX değerleri.

BTEX Bileşenleri	En Büyük Ölçüm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		En Küçük Ölçüm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Geometrik Ortalama ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	1. Örneklem	2. Örneklem	1. Örneklem	2. Örneklem	1. Örneklem	2. Örneklem
Benzen	771.5	3137.8	60.4	5.6	215.9	132.3
Toluen	7834.3	6064.7	276.6	23.4	1472.2	377.0
Etilbenzen	3717.1	1924.5	36.8	4.9	369.6	97.5
mp-Ksilen	2942.3	4013.5	14.8	5.3	208.6	146.1
o-Ksilen	1242.4	16521.0	9.6	2.6	109.4	206.0

Tablo 6.13: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için risk değerlendirmesinde kullanılan BTEX konsantrasyonları.

BTEX Bileşenleri	Ortalama Konsantrasyonlar, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzen	169.0
Toluen	745.0
Etilbenzen	189.9
Ksilenler (Toplam)	324.7
Σ BTEX	1428.5

Tablo 6.14: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için solunum yoluyla alım değerleri.

BTEX Bileşenleri	Alım Değerleri [I, mg/kg.gün]
Benzen	1.77×10^{-3}
Toluen	7.81×10^{-3}
Etilbenzen	1.99×10^{-3}
Ksilenler (Toplam)	3.40×10^{-3}

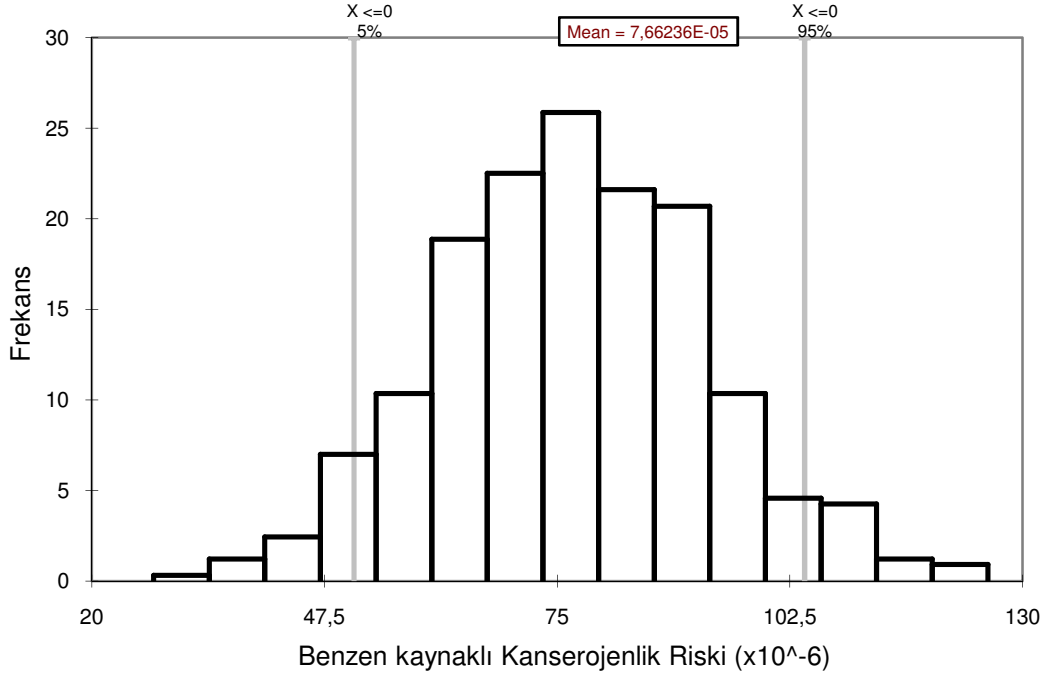
Tablo 6.15: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için risk ve tehlike indeksi değerleri.

BTEX Bileşenleri	Risk	Tehlike İndeksi
Benzen	5.15×10^{-5}	-
Toluen	-	5.58×10^{-3}
Etilbenzen	-	6.86×10^{-3}
Ksilenler (Toplam)	-	1.70×10^{-3}
Σ Kanserojen Risk	5.15×10^{-5}	-
Σ Kanserojen olmayan Risk	-	1.41×10^{-2}

Elde edilen sonuçlara göre, ölçüm alanında (Lot 5 ve Lot 7) çalışan kişiler için Benzen kaynaklı kanserojenlik riski mevcuttur. Çünkü elde edilen 5.15×10^{-5} değeri sınır değer olarak kabul edilen 1.00×10^{-6} 'den büyüktür. Diğer taraftan, tehlike indeksine dayalı kanserojen olmayan risk ise mevcut değildir, çünkü 0.0141 değeri 1'den oldukça küçüktür.

Burada belirlenen risk değerleri, parametrelerin belli birer değerleri için (maksimum veya ortalama) hesaplanmıştır. Oysa kullanılan mevcut parametrelerin belli bir dağılım sonucu oluşturacağı riskin dağılımı ise daha anlamlı bir sonuç verecektir. Örneğin, ortalama yetişkin vücut ağırlığı olarak 70 kg alınmıştır. Ancak, bu vücut ağırlığı tüm çalışanları yeterince temsil etmediğinden dolayı 50 kg ile 100 kg arası ağırlıklar için bir dağılım elde edilmiş ve bu dağılım üzerinden risk değeri hesaplanmıştır.

Bu amaçla, tüm parametreler belli bir dağılım aralığında standartlaştırılmış (Bkz. Bölüm 5.2.3) ve @RISK v4.5 (Palisade Software) programı kullanılarak 1000 iterasyon ile elde edilen simülasyon sonucu risk dağılımı oluşturularak Şekil 6. 12'de sunulmuştur. Ölçüm alanı içinde kanserojenlik risk dağılımına bakıldığında beklenen değerlerin % 95'inin 1.02×10^{-4} 'ten küçük olacağı, ortalama risk değerinin ise 7.66×10^{-5} civarında gerçekleşeceği görülmektedir. Öte yandan beklenen değerlerin sadece % 5'i 4.75×10^{-5} değerinden düşük olacaktır, ancak bu değer de kabul edilebilir risk değerinden büyüktür.



Şekil 6.12: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için kanserojenlik riski dağılımı.

6.4.2. İdari binalarda çalışanla (2. grup) için risk değerlendirmesi

İdari binalarda veya ofis ortamında çalışanların maruz kalacakları konsantrasyon değerlerinin belirlenmesinde ise, dağılım modellemesinden elde edilen en büyük yani maksimum değerler kullanılmıştır. Buradan hareketle kapalı ortamlarda çalışanların maruz kalacakları toplam BTEX konsantrasyonu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 6.1.2).

Bu değer bileşenlerin toplamını (ortamdaki toplam konsantrasyonu) ifade ettiği için, her bir BTEX bileşeninin ayrı ayrı konsantrasyonunun belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, ölçüm sonuçlarına göre belirlenen yüzde değerleri kullanılmıştır. Bu yüzde değerlerine dayanarak elde edilen BTEX bileşenlerinin $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ içindeki konsantrasyonları Tablo 6.16’da verilmiştir.

Bu konsantrasyon değerleri ve Bölüm 5 Tablo 5.24’te sunulan parametreler ve Denklem 5.31, 5.32 ve 5.33 kullanılarak, 2. grubu oluşturan idari binalarda veya ofis ortamında çalışan insanların solunum yoluyla BTEX alımı ve buna bağlı riskler hesaplanmış ve Tablo 6.17 ve Tablo 6.18’de verilmiştir.

Tablo 6.16: İdari binalarda çalışanlar için risk hesaplamasında kullanılan BTEX konsantrasyonları.

BTEX Bileşenleri	Toplamdaki Yüzde (%)	Ortalama Konsantrasyon, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzen	12	1.20
Toluen	52	5.20
Etilbenzen	13	1.30
Ksilenler (Toplam)	23	2.30
Σ BTEX	100 (%)	10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tablo 6.17: İdari binalarda çalışanlar için solunum yoluyla alım değerleri.

BTEX Bileşenleri	Alım Değerleri, [I, (mg/kg.gün)]
Benzen	1.26×10^{-5}
Toluen	5.45×10^{-5}
Etil benzen	1.36×10^{-5}
Ksilenler (Toplam)	2.41×10^{-5}

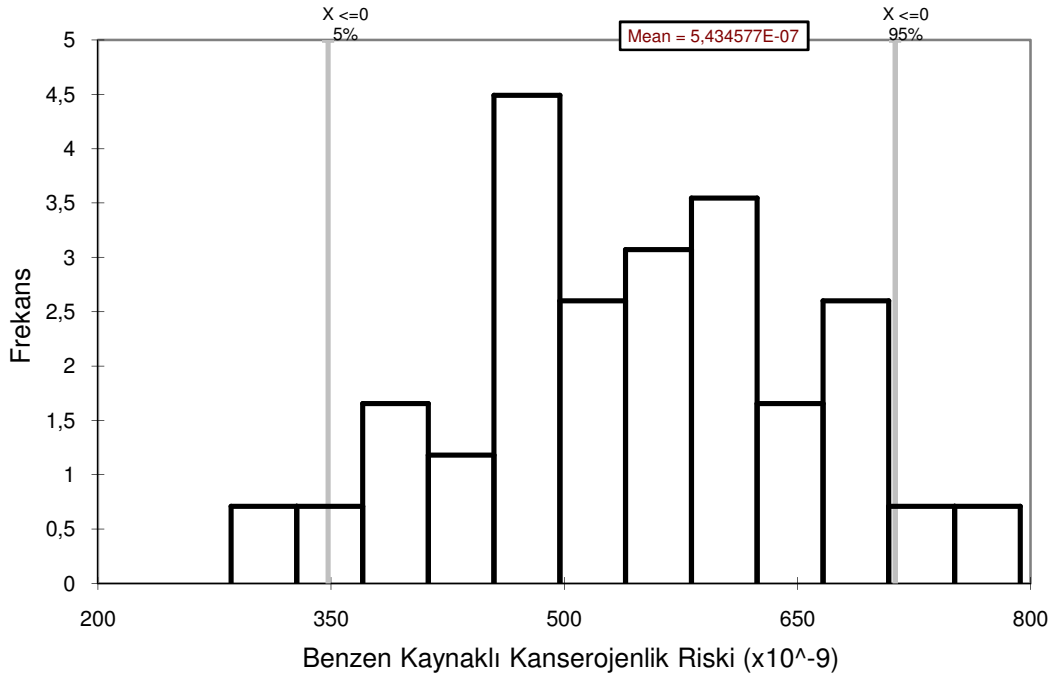
Tablo 6.18: İdari binalarda çalışanlar için bulunan risk ve tehlike indeksi değerleri.

BTEX Bileşenleri	Risk	Tehlike İndeksi
Benzen	3.64×10^{-7}	-
Toluen	-	3.89×10^{-5}
Etilbenzen	-	4.70×10^{-5}
Ksilenler (Toplam)	-	1.11×10^{-5}
Σ Kanserojen Risk	3.64×10^{-7}	-
Σ Kanserojen Olmayan Risk	-	9.80×10^{-5}

Yukarıda elde edilen sonuçlara göre, idari binalarda (diğer bir değişle Lot 5 ve Lot 7 dışındaki noktalarda) günde 8 saat çalışanlar için benzen kaynaklı kanserojenlik riski mevcut değildir ($3.64 \times 10^{-7} < 1.0 \times 10^{-6}$). Depolama alanında olduğu gibi, idari binalarda da tehlike indeksine dayalı kanserojen olmayan risk ise mevcut değildir.

Depolama alanında olduğu gibi, idari binalarda çalışanlar için de kullanılacak olan parametreler belli bir dağılım aralığında standartlaştırılmış ve @Risk v4.5 programı ile risk dağılımını oluşturulmuş ve Şekil 6.13'te sunulmuştur.

İdari binalarda çalışanlar için mevcut kanserojenlik risk dağılımına bakıldığında beklenen değerlerin % 95'inin 7.00×10^{-7} 'dan küçük olacağı, ortalama risk değerinin ise 5.44×10^{-7} civarında gerçekleşeceği görülmektedir. Öte yandan beklenen değerlerin sadece % 5'i 3.50×10^{-7} değerinden düşük olacaktır. Dolayısıyla, idari binada çalışanlar için her durumda benzen kaynaklı kanserojenlik riski mevcut değildir.



Şekil 6.13: İdari binalarda çalışanlar için kanserojenlik riski dağılımı.

Model ve ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, düzeltmelerle birlikte 1/3'lük bir yaklaşım farkı hesaplanmıştı. Bu, modelin bazı dışsal ve hesaplanamayan etmenleri, kendi hesaplamalarına katmamasıyla ilgili olup, bu nihai sonuçların risk değerlendirmesine de etkisi olacağı açıktır. Bu nedenle, burada bulunan kanserojenlik riski sonucunu en azından, yaklaşım oranı olan 1/3'ü de gözönüne alarak 3 katı kadar değerlendirirsek, risk değeri de bulunan değerinin 3 katı kadar artacaktır. Buna göre, ortalama risk değeri olan 5.44×10^{-7} değerinin 3 katı olan 1.63×10^{-6} değeri, sınır değer olan 1.0×10^{-6} değerinden büyük olmakla birlikte, bu grup içinde bir riskin olabileceği ortaya çıkmaktadır. Bu nihai risk değeri, dışsal ve hesaplanamayan etmenlerin de riski artırabileceği gerçeğini ortaya koymaktadır.

6.4.3. Tesis çevresinde yaşayanlar (3. grup) için risk değerlendirmesi

Tesisin yakın çevresinde yaşayan insanların maruz kalacakları konsantrasyon değerlerinin belirlenmesinde yine dağılım modellemesinden elde edilen en büyük değer kullanılmıştır (Bkz. Bölüm 6.1.2 dağılım modellemesi sonuçları). Buradan hareketle 3. gurubu oluşturan ve tesisi çevresinde yaşayanların maruz kalabilecekleri toplam BTEX konsantrasyonu $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına dayanarak elde edilen yüzde değerleri kullanılarak belirlenen BTEX bileşenlerinin, $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ içindeki konsantrasyonları ayrı ayrı Tablo 6.19'de verilmiştir. Sonuç olarak, tesis çevresinde yaşayan insanların solunum yoluyla BTEX alımı ve buna bağlı riskler hesaplanmış ve Tablo 6.20 ve Tablo 6.21'de verilmiştir.

Tablo 6.19: Tesis çevresinde yaşayanlar için risk hesaplamasında kullanılan BTEX konsantrasyonları.

BTEX Bileşenleri	Toplamdaki Yüzde (%)	Ortalama Konsantrasyonlar, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzen	12	0.018
Toluen	52	0.078
Etilbenzen	13	0.020
Ksilenler (Toplam)	23	0.035
Σ BTEX	100 (%)	$0.15 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$

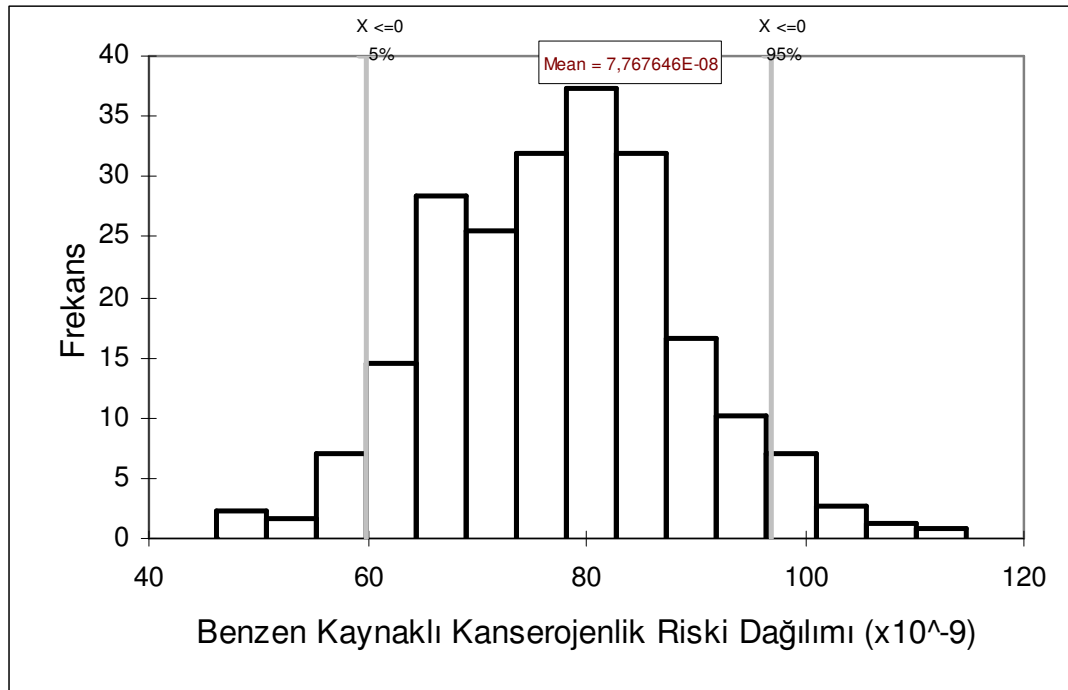
Tablo 6.20: Tesis çevresinde yaşayanlar için solunum yoluyla alım değerleri.

BTEX Bileşenleri	Alım Değerleri, [I, (mg/kg.gün)]
Benzen	3.86×10^{-6}
Toluen	1.67×10^{-5}
Etilbenzen	4.29×10^{-6}
Ksilenler (Toplam)	7.39×10^{-6}

Tablo 6.21: Tesis çevresinde yaşayanlar için bulunan risk ve tehlike indeksi değerleri.

BTEX Bileşenleri	Risk	Tehlike İndeksi
Benzen	1.12×10^{-7}	-
Toluen	-	1.19×10^{-5}
Etilbenzen	-	1.48×10^{-5}
Ksilenler (Toplam)	-	3.70×10^{-6}
Σ Kanserojen Risk	1.12×10^{-7}	-
Σ Kanserojen Olmayan Risk	-	3.04×10^{-5}

Elde edilen sonuçlara göre, tesis çevresinde yaşayan insanlar için benzen kaynaklı kanserojenlik riski 1.12×10^{-7} olarak belirlenmiştir. Bu değer, uluslararası kabul edilen 1.00×10^{-6} olan risk değerinden küçük olduğu için, benzen kaynaklı bir risk mevcut değildir. Diğer alıcı gruplarında olduğu gibi, tesis dışında tehlike indeksine dayalı kanserojen olmayan risk mevcut değildir. Çünkü 3.04×10^{-5} değeri 1'den oldukça küçüktür. Bu alıcı grubu içinde @Risk Desicion Tools v4.5 (Palisade Software) programı ile risk dağılımı oluşturulmuş ve Şekil 6.14'te sunulmuştur.



Şekil 6.14: Tesis çevresinde yaşayanlar için kanserojenlik riski dağılımı.

Elde edilen risk dağılımına göre, tesis dışında kanserojenlik risk dağılımı göz önüne alındığında beklenen değerlerin % 95'inin 9.50×10^{-8} 'den küçük olacağı, ortalama risk değerinin ise 7.77×10^{-8} civarında gerçekleşeceği görülmektedir. Öte yandan beklenen değerlerin sadece % 5'i 6.00×10^{-8} değerinden düşük olacaktır. Bu değer kabul edilebilir risk değeri olan 1×10^{-6} 'dan oldukça düşük değerlerdir.

Bu grup için bulunan risk değeri üzerinde, model ve ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında ortaya çıkan 1/3'lük fark nedeniyle düzeltme yapılmıştır. Bu nedenle, bu grup yani tesis çevresinde yaşayanların oluşturduğu grup için bulunan kanserojenlik riski sonucunu en azından, yaklaşım oranı olan 1/3'ü de gözönüne

olarak, 3 katı kadar olacağını düşünürsek, risk değeri de 3 kat kadar artacaktır. Buna göre, ortalama risk değeri olan 1.12×10^{-7} değerinin 3 katı olan 3.36×10^{-7} değeri, sınır değeri olan 1.0×10^{-6} değerden küçük olmakla birlikte, bu grup için risk olmadığını ortaya çıkarmaktadır. Bu nihai risk değeri, dışsal ve hesaplanamayan etmenlerinde riski artırabileceği gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu durumda, BTEX emisyonlarının dış kaynaklı etmenlerle birlikte daha fazla olabileceği ve burada bulunan değerlerin yaklaşık 10 katı kadar olması halinde risk oluşturabileceği gayet açıktır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnsanların değişen tüketim anlayışları, hızla artan nüfus, sosyoekonomik etkenler, gelişen teknoloji ve refah düzeyinin artması oluşan katı atık miktarını da arttırmaktadır. Katı atıkların uygun olmayan şekillerde bertaraf edilmesi günümüzün en önemli çevre sorunlarından biri olmasının yanında, bu atıkların en iyi şekilde yönetilmesi ise modern belediyelerin en önemli görevlerindedir. Dünyada olduğu gibi, ülkemizde de katı atıkların düzenli depolama ile bertarafı, gerek bu yöntemin maliyetinin diğer bertaraf yöntemlerine oranla nispeten daha ucuz olması ve gerekse yetmişmiş eleman temini konusunda daha avantajlı olması ve nispeten daha basit işletme ve yönetim yapısına sahip olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Katı atık düzenli depolama alanları yaşayan mühendislik sistemleridir. Diğer bir deyişle, bu alanlara depolanan atıklar uzun yıllar sürecektir çok karmaşık işlemler sonucu değişime uğrarlar. Atıkların organik kısımları ayrışmalar sonucu süzüntü suyuna ve deponi gazına dönüşürken, atığın hacminde ve kütlelerinde azalma meydana gelir. Oluşan bu deponi gazı, depolanan atığın bileşimine, çevre faktörlerine ve alanın işletilmesine bağlı olarak, bileşiminde çok çeşitli bileşikler bulundurulur. Bunlardan bazılarının konsantrasyonları çok düşük olmasına rağmen, insan sağlığı açısından risk oluşturabilecek çok tehlikeli kimyasal maddeler içermektedirler. Bu bileşiklerin en yaygın ve tehlikeli olanlardan biri de BTEX adıyla bilinen benzen, toluen, etilbenzen, m-p-ksilen, ve o-ksilen bileşiklerinin toplamıdır. Dolayısıyla, bu ve benzeri bileşiklerin deponi gazı içerisindeki konsantrasyonlarının belirlenmesi, deponi gazının olası tehlikelerine karşı korunma tedbirlerinin alınması ve gazın yararlı kullanımına ilişkin şartların değerlendirmesi açısından önemlidir.

Bu çalışmada, ülkemizin modern katı atık düzenli depolama alanlarından biri olan İZAYDAŞ katı atık depolama alanında BTEX emisyonları farklı iki tarihte gerçekleştirilen örneklemeler ile ölçülmüştür. Örneklemeler, 19.04.2007 (1. örneklem) ve 21.06.2007 (2. örneklem) tarihlerinde, sırasıyla 2000 ve 2005 yıllarında kapatılmış olan Lot 7 ve Lot 5 lotlarında gerçekleştirilmiştir.

Tüm örneklemeler ve analizler, USEPA tarafından tavsiye edilen TO-17 metoduna göre gerçekleştirilmiş ve numuneler hazırlanan kalibrasyona ve geliştirilen GC/FID BTEX metoduna göre analiz edilmiştir.

Özellikle, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak Toluen konsantrasyonları diğerlerinden oldukça yüksek çıkmıştır. Kanserojen özellik taşıyan benzen konsantrasyonu ortalama $169 \mu\text{g}/\text{m}^3$, olarak bulunmuştur. Diğer BTEX bileşenlerinin ortalama konsantrasyonları ise toluen $745 \mu\text{g}/\text{m}^3$, etilbenzen $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$, toplam ksilenler $325 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Bu durumda ortalama toplam BTEX konsantrasyonu ise $1428 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir.

İyi bilinen bir kanserojen olan benzen'e $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 'lük maruziyet lösemi için 4×10^{-6} 'lık bir yaşam boyu riski doğurmaktadır. Genellikle $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (NIOSH için bu sınır değer 15 dak.'lık TWA olarak 1 ppm veya $3.24 \text{ mg}/\text{m}^3$) pratikte limit olarak kabul edilmektedir. Özellikle 21.06.2007 tarihinde gerçekleştirilen 2. örneklemede elde edilen maksimum benzen konsantrasyonu $3.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ değeri, sınır değeri aşmasa da çok yakın bulunmuştur. Benzene 5-10 dak.'lık 10000-20000 ppm gibi anlık çok yüksek konsantrasyonlar ölümcül olabilir. Uzun süreli benzen maruziyetinin lösemiye yol açtığı da iyi bilinen bir gerçektir. Sınır değeri 50 ppm ($375 \text{ mg}/\text{m}^3$, TWA) Toluen ise alanda maksimum $7.8 \text{ mg}/\text{m}^3$ ile en yüksek konsantrasyon değerine sahiptir. Sınır değerinin oldukça altında çıkmıştır. BTEX bileşenlerinden B:T oranı ayırt edici bilgi verebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında maksimum konsantrasyonlara göre B:T oranı 1:10, ortalama konsantrasyon verilerine göre ise 1:7 olduğu görülmektedir. Etilbenzen'in 100 ppm ($434 \text{ mg}/\text{m}^3$, TWA) olan sınır değeri ölçülen maksimum konsantrasyon değeri olan $3.7 \text{ mg}/\text{m}^3$ değerinin oldukça üzerindedir. Ksilen bileşenlerinin toplam maksimum konsantrasyonu olan $4.15 \text{ mg}/\text{m}^3$ değeri, sınır değeri olan 100 ppm ($435 \text{ mg}/\text{m}^3$, TWA) oldukça altında çıkmıştır. Literatür verileri ile karşılaştırıldığında, 2005 yılında kapatılan Lot 5 ve 2000'in sonunda kapatılan Lot 7 alanlarından atmosfere karışan BTEX oranları genelde daha düşük bulunmuştur. Ortaya çıkan farklı sonuçların özellikle depolamanın nasıl gerçekleştirildiği, deponi alanının yaşı, depolanan katı atıkların karakteri (C/N oranı ve nem içeriği vs.), iklim koşulları, ortam sıcaklığı ve depolama alanının kapatılma biçimine bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır.

Örnekleme ve daha sonra gerçekleştirilen laboratuvar analizlerinin gerek uzun zaman alması ve gerekse de yüksek maliyet gerektirmesinden dolayı, yapılan analizler genellikle gerektiğinden kısıtlı olmaktadır. Bu ise çoğu zaman, çalışma alanı hakkında gerekli bilgiyi sağlayamamaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmenin bir yolu modelleme yöntemlerinden yararlanmaktır. Bu çalışmada, Lakes-Environmental Software tarafından hazırlanmış olan ve USEPA tarafından geliştirilen ISCST3 hava dağılım modeli altyapısını kullanan, ISC-AERMOD View v5.3 programı kullanılmıştır. Bu modelleme program ile BTEX bileşiklerinin hava dağılım modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, depolama alanında ve çevresinde ölçüm yapılmayan noktalarda olası konsantrasyonlar tahmin edilmiştir. Dağılım modeli, depolama alanında oluşan zararlı gaz bileşiklerinin, iklimsel ve meteorolojik faktörler altında atmosferdeki yayılmasını veya dağılımını simüle etmektedir. Modelin amacı çok kesin sonuçlardan daha ziyade, özellikle rüzgârın da etkisiyle tehlikeli ve kirletici gaz emisyonlarının nasıl bir yol izleyerek alıcılara ulaşacağını göstermesi açısından anlamlı olmaktadır. Bu çalışma kapsamında temin edilen meteorolojik verilerin modelleme çalışmalarında kullanılabilmesini sağlamak amacıyla Delphi programlama dilinde MeteoOku v1.2 programı yazılmıştır. Modelleme sonuçlarına göre, idari binalarda toplam BTEX konsantrasyonu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ve tesis sınırının hemen dışında ise $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir.

Yukarıda bahsedildiği gibi ölçüm sonuçlarının sınır değerler ile karşılaştırılması her ne kadar ortamın hava kalitesi açısından bir bilgi sağlasa da, yeterli olmamaktadır. Çünkü, kimyasal maddelerin oluşturduğu kirliliğin ortaya konulmasından daha önemlisi bu kirliliğin insanlar açısından herhangi bir sağlık riski oluşturup oluşturmadığının belirlenmesidir. Bu ise ancak risk değerlendirmesiyle mümkün olmaktadır. Bu çalışmada yapılan risk değerlendirmesinde kantitatif bir yol izlenmiştir. Bu amaçla öncelikle idari binalarda ve yakın yerleşim alanlarında BTEX konsantrasyonu dağılım modeli ile belirlenmiştir. Daha sonra benzen, toluen, etilbenzen ve ksilenlere ait toksikolojik değerler elde edilmiş ve alıcı grupları için maruziyet senaryoları oluşturulmuştur. Burada üç alıcı grubu düşünülmüştür. Bunlar ölçüm alanında çalışan işçiler, idari binalarda çalışanlar ve tesisin yakın çevresinde yaşayanlar. Burada tesiste çalışanların 25 yıl aynı işyerinde çalıştıkları kabul edilmiştir. Bu çalışma süresince yıllık izin dolayısıyla yılda iki hafta ve hafta sonları

iki gün çalışmadıkları kabul edilmiştir. İlave olarak, çalışma günlerinde 8 saat bu ortam havasını soludukları kabul edilmiştir. Tesis çevresinde yaşayanların ise günde 24 saat boyunca bu havayı soludukları ve 70 yıl boyunca aynı yerde yaşadıkları kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, her üç alıcı grubu içinde kanserojen olmayan risk mevcut değildir. @RISK Desicion Tools v4.5 Programı (Palisade Software) ile elde edilen benzen kaynaklı kanserojen riski dağılımlarında, her üç alıcı grubu için sırasıyla ortalama kanserojen riski değerleri 7.66×10^{-5} , 1.63×10^{-6} ve 7.77×10^{-8} olarak elde edilmiştir. Sınır değer olarak kabul edilen 1.00×10^{-6} değeri ile karşılaştırıldığında, benzen kaynaklı kanserojenlik riski ölçüm alanında ve idari binalarda çalışanlar için mevcut, diğer alanlarda yaşayanlar için ise mevcut değildir. Ölçüm alanında elde edilen bu değer en kötü durum için söz konusudur.

BTEX bileşenlerinden olan benzen'in kanserojen etkisi iyi bilinmektedir. Bu nedenle kanserojenlik riskinin bir çok durumda var olabileceği açıktır. Benzen ve diğer bileşenlerin ortak etkisi sonucu oluşabilecek farklı risklerin de varolduğu unutulmamalıdır. Ancak, tüm bileşenlerin tek tek ve ortak etkisi nedeniyle oluşabilecek riskler, daha kapsamlı ve toksikolojik açıdan daha zengin çalışmaların bir sonucu olarak ortaya konulabilir. Ayrıca, bu konudaki literatür çalışmaları da oldukça yeni ve kısıtlı olmakla birlikte, deneysel çalışmalar da oldukça azdır.

Tesiste çalışanların, oluşacak zararlı deponi gazı emisyonlarından solunum yoluyla en az riskle etkilenmelerini sağlamak, tesisin işletim açısından önemli bir görev haline gelmektedir. Bu amaçla, alanda çalışan herkese gerekli olan, hem VOC hem de tozlara karşı etkili kaliteli ve HEPA filtreli maskelerden temin edilmelidir. Maskelerin, özellikle filtrelerinin ya yenisi ile değişebilen türden olması yada yeniden kullanılabilir türde seçilmesi, bakımlarının ve temizliğinin de yapılması son derece önemlidir. Sosyal hizmet ve idari binalarda çalışan personelin yaşam ortamını da bu kirletici gazlardan korumak ve ortam havasını temizlemek gereklidir. Bu amaçla, piyasada her türlü ebat ve kapasitede bulunabilen, iç ortam havası temizleyen hava temizleyici istasyonlardan (air purifier stations) gerekli sayıda temin edilerek önemli bölgeler yerleştirilmelidir (hava giriş-çıkışı olan noktalar). Ayrıca, bu cihazlarında 6 aylık ve 2 yıllık bakımlarının yapılması da son derece önemlidir.

Tüm dünyada, depolama alanları ve VOC' ler gibi kanserojen gaz emisyonlarının izlenmesi ve kontrolü amacıyla izleme, örnekleme ve analizler yapılmaktadır. Bu çalışmalar, gerek alanda örnekleme ve izlemenin yapılmasını ve gerekse laboratuvar ortamında çok hassas analizleri kapması bakımından ciddi maddi kaynak gereksinimlerini doğurmaktadır. Bu tesislerin kontrolü, yönetimi ve insan sağlık açısından değerlendirmesi ancak bu yolla olabilmektedir. Ülkemizde de depolama sahaları İZAYDAŞ örneğinde olduğu gibi doldukça kapatılmakta ve dolan alanlar gaz toplama ve yakma sistemleri ile donatılarak gerekli düzenlemeler yapılmakta ve kontrol altına alınmaktadır. Bu tesislerde oluşan deponi gazını kurulan Flare istasyonları ile yakmak bir önlem olsa bile gazların sızması ve kaçaklar sonucu oluşabilecek tehlikelerde ayrı birer çalışma konusu olabilir. Hatta deponi gazını hem bertaraf etmek hem de enerji elde etmek amacıyla mobil kojenerasyon tesisleri de kurulabilmektedir. İZAYDAŞ tesisinde, böyle bir tesisin kurulması efektif deponi gazı miktarının yeterli olmaması sebebiyle uygun olmadığı için kurulmamıştır.

Gerekli önlem ve kontrol stratejileri geliştirilmiş depolama sahaları çok önemli bir sorunu çözmesi nedeniyle şu an vazgeçilmez bir teknolojidir. Depolama yerine yakma yöntemi kullanılabileceği gibi bu teknolojinin de, çok pahalı olması, nispeten işletme şartlarının zorluğu, yakılacak kalitede katı atık ihtiyacı ve en önemlisi de Dioxin/Furan gibi karsinojenik etkili akümülatif gaz emisyonlarına neden olması gibi birçok tehlikelerinin bulunduğu unutulmamalıdır. Tüm bunlar göz önüne alındığında düzenli depolama teknolojisinin daha da gelişerek insanlığı hizmet edeceği bir varsayım olmaktan çıkmaktadır. Ayrıca, düzenli depolama tekniğinin daha da geliştirilerek, depolama sahalarının birer enerji üretim merkezleri olarak faaliyet göstermeleri de bir katma değer olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Durmuşoğlu, E., “Sürdürülebilir Atık Yönetimi”, Ders notları, **Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü.**, Kocaeli, 3-4, 11-29, (2005).
- [2] Liu, David H. F., and Lipták, Béla G. “Environmental Engineers' Handbook”, Second Edition, **CRC Press Inc.**, chapter 10.1-10.13, (1999).
- [3] Weiner, R. F., and Matthews R. A., “Environmental Engineering”, Fourth Edition, **Butterworth-Heinemann**, 251²53, 284²85, (2003).
- [4] Kutay, A. ve Sağlamer, A., “Katı Atık Depolanmasında Karşılaşılan Geoteknik Problemler”, **İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası**, İstanbul, 31-35, (1993).
- [5] Wasti, Y. ve Erol, O., “İnşaat Mühendisliğinde Geotekstil ve Geomembran Uygulamaları Eğitim Semineri Notları”, **ODTÜ Sürekli Eğitim Merkezi (SEM)**, Ankara, 5-12, (1992).
- [6] Hamideh, S.A., “A Review of the Literature Regarding Non-Methane and Volatile Organic Compounds in Municipal Solid Waste Landfill Gas”, **Department of Civil and Environmental Engineering University of Delaware**, Newark, Delaware, 1-3, 5-9-21, (2000).
- [7] Tabasaran, O., “Katı Atıkların Toplanması”, **İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası**, İstanbul, (1978).
- [8] Farquhar, G. J., Rovers, F.A., “Gas Production During Refuse Decomposition”, **Water, Air, and Soil Pollution**, 2, 483-495, (1973).
- [9] DeWalle, F. B., Chain, E. S. K., Hammerberg, E., “Gas Production from Solid Waste in Landfills”, **Journal of Environmental Engineering**, 104 (3), 415-432, (1978).
- [10] Senior, E. and Balba, M.T.M., “Microbiology of Landfill Sites”, **CRC Press, Inc.**, Boca Raton, FL, 17-20,56-57, (1990).
- [11] Ayberk, S., “Katı Atıklar ve Kontrolü”, **Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü**, Kocaeli, Yayın no: 28, 36-45, 56-66, (2002).
- [12] Cheremisinoff, N. P.,”Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies”, **Butterworth-Heinemann**, 34-35, (2003).
- [13] Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A., “Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues”, **McGraw-Hill Inc.**, New York, NY, 15, 20-22, 84-92, (1993).

- [14] Rettenberger, G., Stegmann, R., "Landfill Gas Components", *E&FN Spon*, London, UK, 51-58, (1996).
- [15] Urase, T., Okumura H., Inamura A., Panyosaranya S., Chiemchaisri C., "Volatile Organic Compounds in Landfill Gas and its Effect On Air Quality", **Symposium on Infrastructure Development and the Environment at 7-8 December 2006**, University of Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines, (2006).
- [16] Arigala, S. G., Tsotsis, T. T., Webster, I.A., Yortsos, Y.C., Kattapuram, J.J., "Gas Generation, Transport and Extraction in Landfills", *Journal of Environmental Engineering*, 121 (1): 33-44, (1995).
- [17] Hutric, R., Sullivan, P., Tinker, A., "Waste Industry Air Coalition Comparison of Recent Landfill Gas" *Analyses with Historic Ap-42 Values*, (2001).
- [18] Christensen, T. H., Cossu, R., Stegmann, R., "Landfilling of Waste: Biogas", *E&FN SPON*, London, UK, (1996).
- [19] DSWA, "Volatile Organic Concentration in Four Landfills in Delaware", *Delaware Solid Waste Authority*, Delaware, USA, (2000).
- [20] Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F., "Chemistry for Environmental Engineering and Science", Fifth Edition, *McGraw-Hill Inc.*, 248-251, (2002).
- [21] Hester, R. E. and Harrison, R. M., "Volatile Organic Compounds in the Atmosphere", *Issues in Environmental Science and Technology*, vol 4, Royal Society of Chemistry, (1995)
- [22] Pluschke, P., "Indoor Air Pollution", *The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 4-f, Springer, 1-3, 16-19, , (2004)
- [23] Kocaeli Valiliği, "Kocaeli İli Çevre Durum Raporu", *Kocaeli Valiliği*, Türkiye, 182-188, (2005).
- [24] USEPA, "Toxicological Review of Benzene", *EPA/635/R-02/001F - IRIS*, United States Environmental Protection Agency (US EPA), 117-126, (2002).
- [25] USEPA, "Toxicological Review of Xylenes", *EPA 635/R-03/001 - IRIS*, United States Environmental Protection Agency, 64-69, (2003).
- [26] USEPA, "Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide", *EPA-600/R-05/047*, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, (2005).
- [27] USEPA, "Toxicological Review of Toluene", *EPA/635/R-05/004 - IRIS*, United States Environmental Protection Agency , 70-78, (2006).

- [28] USEPA, "US EPA IRIS Ethylbenzene", United States Environmental Protection Agency, <http://cfpub.epa.gov/iris/compare.cfm>, (**Ziyaret tarihi: 10 Temmuz 2007**).
- [29] Öztürk, T., "İzmit Evsel ve Tehlikeli Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi Sızıntı Sularının Elektro ve Kimyasal Koagülasyon Yöntemleri Arıtılabilirliğinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 73-80, (2006).
- [30] İzaydaş, "İzaydaş Tesisi", İzmit Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme A.Ş., <http://www.izaydas.com.tr/tr/3fl.asp?islem=incele&id=80>, (**Ziyaret tarihi: 15 Mart 2008**).
- [31] Zemba S. G, Green L. C., Crouch E. A. C., Lester R. R., "Quantative Risk Assessment of Stack Emissions from Municipal Waste Combustors", *Journal of Hazardous Materials*, 147, 229 275, (1996).
- [32] Basham, J. P., Whitwell, I., "Dispersion Modelling of Dioxin Releases from the Waste Incinerator at Avenmouth", *Atmospheric Environment*, Bristol, UK, 33: 3405-3416, (1999).
- [33] Lorber, M., Eschenroeder, A., Robinson, R., "Testing the US EPA's ISCST-Version 3 Model on Dioxins: A Comparison of Predicted and Observed Air and Soil Concentrations", *Atmospheric Environment*, 34: 3995-4010, (2000).
- [34] Var, F. ve Kara, S., "Atmosferik Dağılım Modellerinin Yasal Değerlendirilmesi", *Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fakt. Kimya Müh. Böl.*, Eskişehir, (1999).
- [35] ISC AermodView, "ISCST3, ISC-AERMOD View User's Guide", *Lakes Environmental Software*, (2006).
- [36] USEPA, "User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Description of Model Algorithms", Volume II, *EPA Publication No. EPA-454/B-95-0036*, NC, 27711, (1995).
- [37] Briggs, G. A., "Diffusion Estimation for Small Emissions", In ERL, ARL USAEC Report ATDL-106, *U.S. Atomic Energy Commission*, Oak Ridge, Tennessee, (1974).
- [38] Bowers, J.F., Bjorklund, J. R. and Cheney, C.S., "Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model User's Guide", Volume II, *EPA-450/4-79-031*, U.S. EPA Research Triangle Park, North Carolina 27711, (1979).
- [39] Chico, T. and Catalano J.A., "Addendum to the User's Guide for MPTER" *Contract No. EPA 68-02-4106*, U.S. EPA Research Triangle Park, North Carolina 27711, (1986).
- [40] Briggs, G. A., "Plume Rise USAEC Critical Review Series", TID²5075, *National Technical Information Service*, Springfield, Virginia 22161, (1969).

- [41] Briggs, G. A., “Discussion on Chimney Plumes in Neutral and Stable Surroundings”, *Atmospheric Environment*, 6, 507-510, (1971).
- [42] Briggs, G. A., “Plume Rise Predications, In Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analysis”, *American Meteorological Society*, Boston, Massachusetts, (1975).
- [43] Pasquill, F., “Atmospheric Dispersion Parameters in Gaussian Plume Modeling. Part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values”, *EPA-600/4-76-030b*, U.S. EPA, Research Triangle Park, North Carolina 27711, (1976).
- [44] McElroy, J.L. and Pooler, F., “The St. Louis Dispersion Study”, U.S. Public Health Service, *National Air Pollution Control Administration*, Report AP-53, (1968).
- [45] Holzworth, G.C., “Mixing Heights, Wind Speeds and Potential for Urban Air Pollution Throughout the Contiguous United States”, *Publication No. AP-101*, U.S.EPA, Research Triangle Park, North Carolina 27711, (1972).
- [46] Karademir, A., “Tehlikeli Atık Yakma Tesisi Kaynaklı Dioxin Emisyonlarının Atmosferdeki Dağılımı ve Risk Değerlendirmesi”, (Doktora Tezi), *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2002).
- [47] Oke, T. R., “Boundary Layer Climates, *Methuena Co. Ltd.*, London, (1978).
- [48] Oke, T. R., “The Energetic Basis of the Urban Heat Island”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108: 1–24, (1982).
- [49] Markes Inc., “Consumable Brochure of Thermal Desorption and Air Monitoring Products Focusing on Volatiles”, *Markes International Limited*, Unit D3, Llantrisant Business Park Pontyclun, RCT, CF72 8YW UK, 3-4, 6, 10, (2006).
- [50] Markes Inc., “Unity Thermal Desorber User Manual”, *Markes International Limited*, 4.6, 2-5, 18-22, (2004).
- [51] USEPA, “Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes”, Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, *Second Edition Compendium Method TO-17*, US. EPA, (1999).
- [52] Asante-Duah, D. K., “Hazardous Waste Risk Assessment”, *Lewis Publishers*, ISBN: 0-87371-570-5, 3-5, 21⁻²³ (1993).
- [53] LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., Evans J.C., “Hazardous Waste Management”, *McGraw&Hill Inc.*, (1994).
- [54] OSHA, “Occupational Health and Safety Standards of the United States”, 29 CFR Chapter XVII, Subpart-Z-Toxic and Hazardous Substances, *Occupational Health and Safety Administration*, (2001).

- [55] NRC, "Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process", *National Academy Press*, National Research Council, Washington, D.C., (1983).
- [56] Zou S.C. et. all., "Characterization of Ambient Volatile Organic Compounds at a Land Fill Site in Guangzhou, South China", *Chemosphere*, 51, 1015-1022, (2003).
- [57] Allen M., Braithwaite A. and Hills C., "Trace Organic Compounds in Landfill Gas at Seven U.K. Waste Disposal Sites", *Environ. Science. & Technology*, 31, 1054-1061, (1997).
- [58] Young, P., and Heasman, L., "An assessment of the odour and toxicity of the trace components of landfill gas", *Proceedings of the G.R.C.D.A. 8th International Landfill Gas Symposium*, San Antonio, TX, 93-114, (1985).
- [59] Dent C. G., Scott P., Baldwin G., "A study of landfill gas composition at three UK domestic waste disposal sites", *Proceedings of Energy from Landfill Gas*, Solihull, UK, 130-149, October 28-31 (1986).
- [60] Brooks, B.I., and P.J. Young, "The development of sampling and gas chromatography-mass spectrometry analytical procedures to identify and determine the minor organic components of landfill gas", *Talanta*, 30 (9): 665-676, (1983).
- [61] Krauth, W., "Introduction to Monte Carlo Algorithms", *CNRS-Laboratoire de Physique Statistique Ecole Normale Supérieure*, F75321 Paris CEDEX 05, France, (1996).
- [62] Hançerlioğulları, A., "Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi", *Kastamonu Eğitim Dergisi*, cilt:14, no:2, Kastamonu Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kastamonu, 545-556, (2006).
- [63] Eresmaa, N., Karppinen, A., Joffre, S. M., Rasanen, J. and Talvitie, H., "Mixing height determination by ceilometer", *European Geosciences Union Atmospheric Chemistry and Physics Discussions (ACPD)*, 5, 12697–12722, (2005).
- [64] Justin, T. J. L., and Rashid, M.Y.M., "The Sensitivity of Harp Model on Atmospheric Boundary Mixing Heights", *Proceedings of the 1st International Conference on Natural Resources Engineering & Technology*, Putrajaya, Malaysia, 330-337, (2006).
- [65] Colls, J., "Air Pollution Second Edition", *Spon Press, Taylor & Francis Group*, London, chap. 1.4, chap. 6.1-6.4, (2002).

EKLER

EK-A: ÇALIŞMADA KULLANILAN EKİPMANLAR VE YAZILIMLAR

Thermal Desorber (Unity Markes).

GC (HP 6890N model, FID back-inlette monteli, 30 m uzunluğunda, 0.25 µm film kalınlığına DB-VRX kolon),

Mikro enjektör (Hamilton marka 2, 5 ve 10 µL hacimlerde),

Kalibrasyon Kiti (O-Ring kalibrasyon kiti Thermal Desorber'a monteli),

Adsorban Tüpler (Markes marka Paslanmaz çelik, Carbograph 1TD sorbent malzemeli),

Tüp kapakları (PTFE Ferrule contalı, uzun süre saklama kapasiteli piringç kapaklar),

Akım Ölçer (Flow Tracker Flowmeter),

Pompa (Pump Airlife marka, Düşük akımda örnekleme pompası, akım düzenleyici ve basınç düşürücü aksesuarlı),

BTEX Standart Mixture (Chemservice sertifikalı, 200 ve 2000 µg/mL (5x1 ml apmül içinde) hacimde, metanol içinde benzen, toluen, etilbenzen mpo-ksilen içeren).

Bilgisayar Programları:

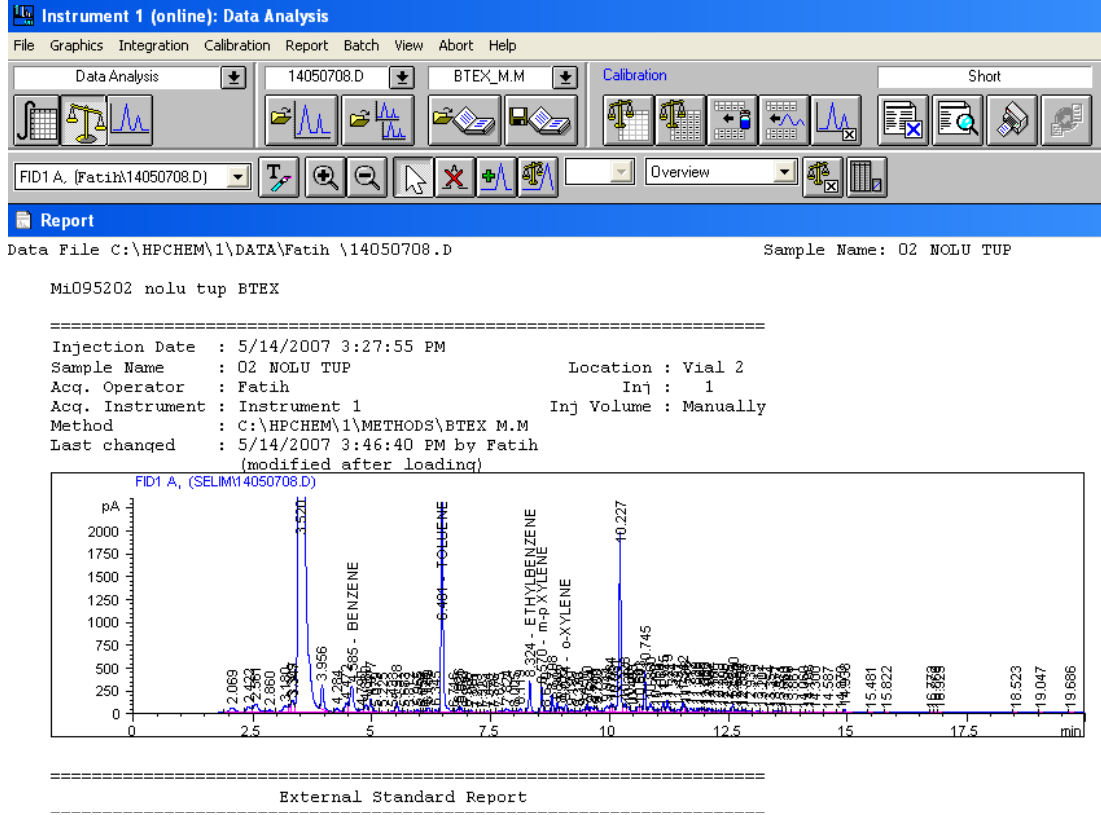
USEPA LandGEM v3.02,

Lakes Environmental Software ISC-AERMOD View 5.3 (ISCST3 modeli),

MeteoOKU (çalışma kapsamında geliştirildi),

Palisade Software @RISK 4.5.2 & Decision Tools.

EK-B: GC(FID) KALİBRASYON GRAFİKLERİ VE SONUÇ RAPORLARI



Şekil 1. 2 nolu tüpe ait GC kalibrasyon pikleri.

Report

Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 5/14/2007 3:42:39 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FID1 A,

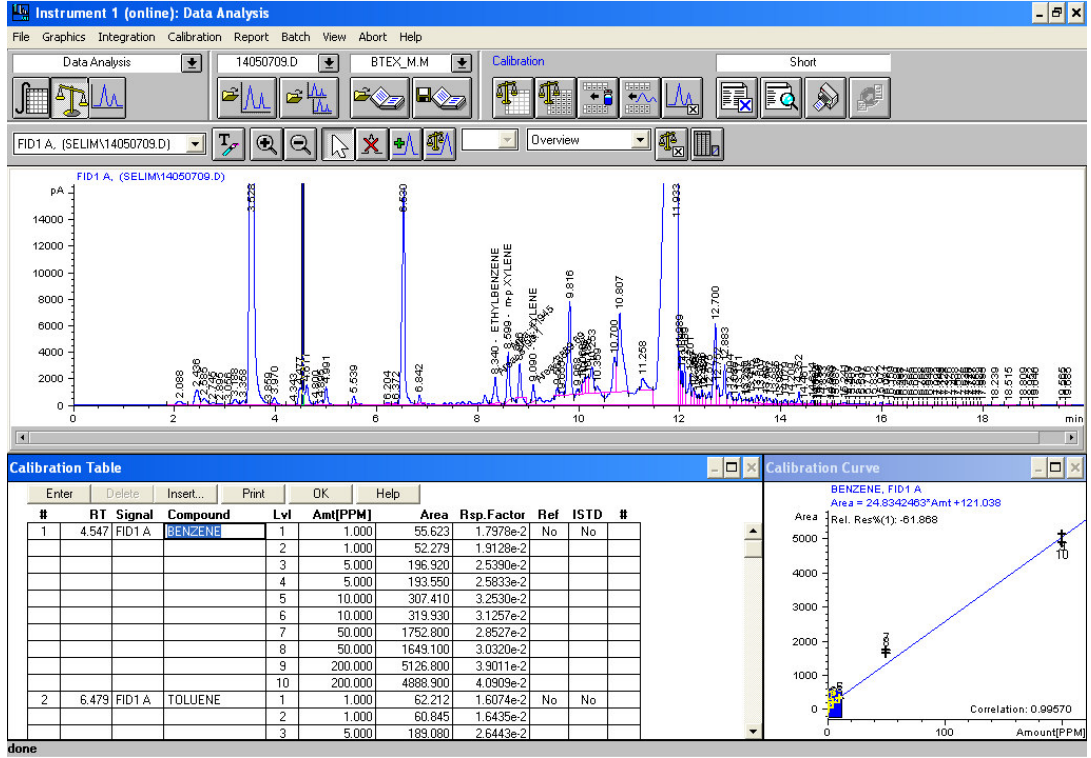
RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [PPM]	Grp	Name
4.585	VV	1545.58374	3.71136e-2	57.36215		BENZENE
6.481	VV	7422.71533	3.76701e-2	279.61462		TOLUENE
8.324	VP	977.93396	3.49357e-2	34.16477		ETHYLBENZENE
8.570	PV	775.06732	1.50234e-2	11.64413		m-p XYLENE
9.074	VV	255.82431	2.63573e-2	6.74284		o-XYLENE

Totals : 389.52851

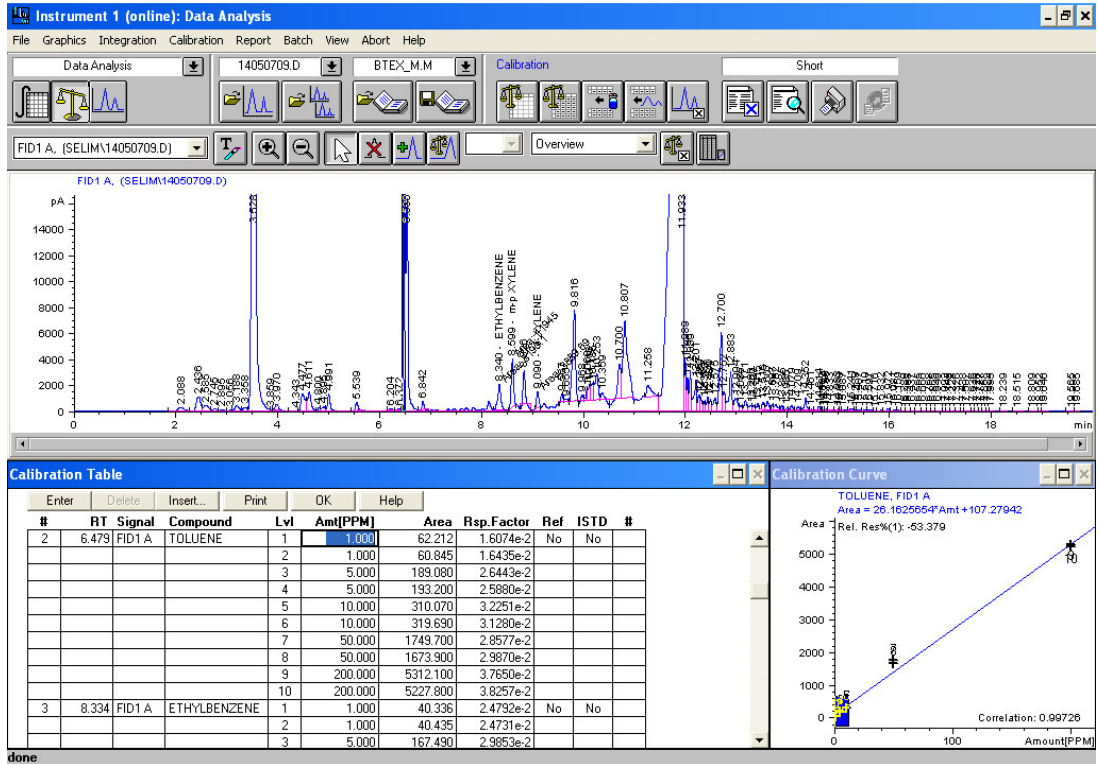
Results obtained with enhanced integrator!

=====
*** End of Report ***

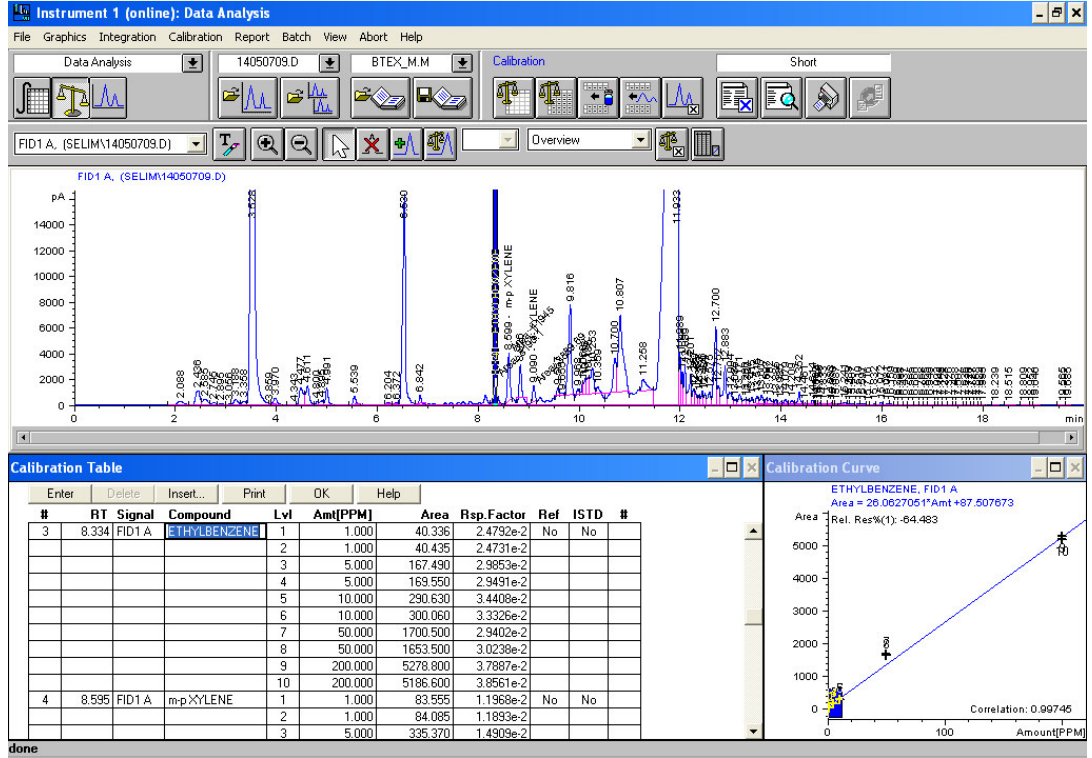
Şekil 2. 2 nolu tüpe ait GC kalibrasyon rapor sonuçları.



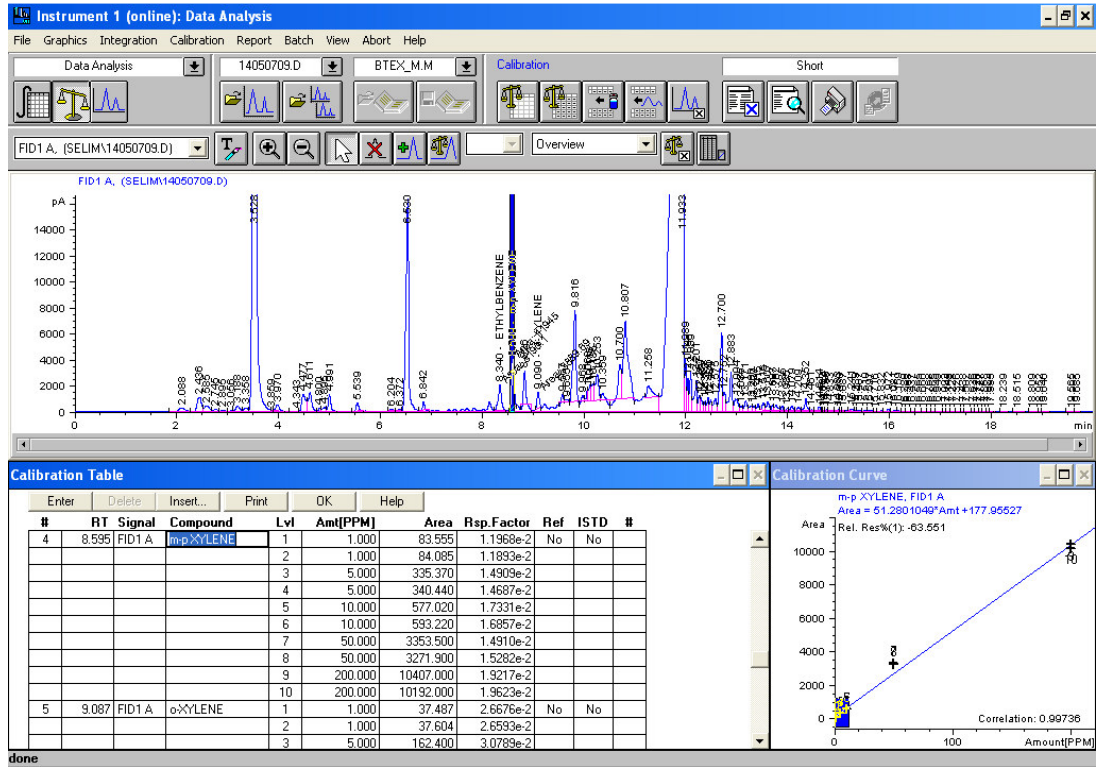
Şekil 3. Benzen için GC kalibrasyon eğrisi.



Şekil 4. Toluen için GC kalibrasyon eğrisi.



Şekil 5. Etilbenzen için GC kalibrasyon eğrisi.



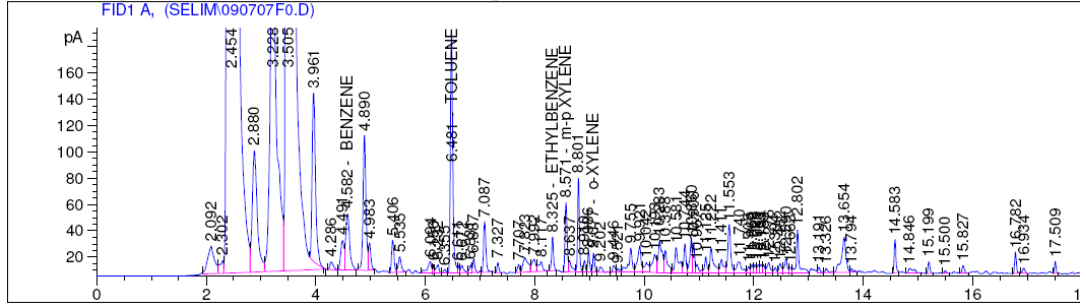
Şekil 6. m-p-Ksilen için GC kalibrasyon eğrisi.

EK-C: GC(FID) PİKLERİ VE II. ÖRNEKLEMESİNE AİT ANALİZ SONUÇLARI ÇIKTILARI

Mi095201 nolu tüp BTEX_M metoduyla analiz edildi.

```

=====
Injection Date : 7/9/2007 10:39:24 AM
Sample Name : Mi095201 nolutup Location : Vial 2
Acq. Operator : Fatih Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BTEX_M.M
Last changed : 7/9/2007 10:25:30 AM by Fatih
(modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BTEX_M.M
Last changed : 5/14/2007 9:06:07 PM by Fatih
    
```



Şekil 8. 1 no'lu tüpe ait analiz sonuçlarını gösteren GC pikleri.

```

Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 5/14/2007 9:06:01 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [PPM]	Grp	Name
4.582	VB	219.33038	1.80455e-2	3.95794		BENZENE
6.481	VV	536.48633	3.05793e-2	16.40538		TOLUENE
8.325	BB	65.73513	0.00000	0.00000		ETHYLBENZENE
8.571	PV	139.30969	0.00000	0.00000		m-p XYLENE
9.077	VV	34.14116	0.00000	0.00000		o-XYLENE

Totals : 20.36332

Şekil 9. 1 no'lu tüpe ait analiz sonuçları çıktısı.

EK-D: KULLANILAN MATEMATİKSEL MODEL İÇİN ÖRNEK ÇÖZÜMLER

1. Gauss dispersiyonu:

Bu örnek çalışmada, kırsal bir alanda yeryüzeyinde bulunan bir nokta kaynaktan 100 m uzaklıkta ve 160 m yükseklikte, rüzgar hızınının 1.20 m/sn olduğu A Pasquill stabilite kategorisinde bulunan kararlı atmosferik koşullardaki ortamda bulunan, 1 g/sn debide ortama karışan gaz kirleticinin, konsantrasyonun alacağı değer hesaplanmıştır. Gaz kirletici, dispersiyon sürecinde kimyasal ve fiziksel çürümeye uğramamaktadır. Anemometre yüksekliği 10 m'dir. Rüzgar esme yönü kuzeydoğu (NE) doğrultusundadır [kaynak açısı θ : 45^0]. Hesaplamalarda ISCST3 modeline ait kısa dönem (short term) eşitlikleri esas alınmıştır. Buna göre gasuss dispersiyonu;

$$X = \frac{Q \cdot K \cdot V \cdot D}{2 \cdot \pi \cdot u_s \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot e^{\left(-0.5 \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right)} \quad (1)$$

Denklem (1) ile verilen Gauss dispersiyon denkleminde Q kirletici emisyonu (g/sn), X kaynaktan belli bir mesafe kadar disperse olan kirletici konsantrasyonu (g/m^3), $h_s = 100$ m, u_s ise h_s seviyesindeki rüzgar hızı, dağılım parametreleri σ_y ve σ_z ile çürüme terimi D ve dikey terim V belirlenmelidir (K: birim çevirme katsayısı, 1×10^6). Bu örnekte D teriminin sadece konsantrasyon değişimi yani kimyasal ve fiziksel giderim olmayan durum kabulü için 1 olduğu varsayılmıştır.

Kısa dönem için dikey terim (V) eşitliği Denklem (2)'de verilmiştir.

$$V = \frac{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_z}}{z_i} \quad (2)$$

Denklem (2)'de geçen karışım yüksekliği z_i aşağıda verilen eşitlikle yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir:

$$z_i = C_{st} \cdot L_N^{3/4} \cdot L^{1/2} \quad (3)$$

Denklem (3)'te geçen terimlere ait değerler aşağıda verilmiştir:

$$C_{st} = 7.71 \text{ (sabit)},$$

$$L = 5.5 \text{ m (Monin-Obukhow uzunluğu, kırsal alan için bulunan değerdir)},$$

$$L_N = u_s / N \text{ (} u_s \text{ : rüzgar hızı, m/sn ve N: ortalama troposferik şart için, } 0.012 \text{ s}^{-1}\text{)}.$$

$$u_s = u_{ref} \cdot \left(\frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p \quad (4)$$

Denklem (4)'te verilen p, rüzgar profili A stabilite sınıfı ve kırsal bölge için 0.07 alınmıştır. Burada, $u_{ref}=1.20$ m/sn, $z_{ref} = 10$ ve $h_s = 100$ m'dir. Buna göre, $u_s = 1.46$ m/sn bulunmuştur.

u_s değeri bilindiğine göre karışım yüksekliği $z_i = 662.4$ m olarak bulunmuştur.

Kaynaktan 100 m uzaklık için polar koordinat sistemine alıcıların mesafesi Denklem (5) ve (6)'ya göre belirlenmektedir ($x_0 = y_0 = 0$, $r = 100$ m ve $\theta = 45^\circ$).

$$X(R) = r \cdot \sin \theta - X_0 \quad (5)$$

$$Y(R) = r \cdot \cos \theta - Y_0 \quad (6)$$

Buna göre

$$X_{100} = 70,711 \text{ m ve } Y_{100} = 70,711 \text{ m olarak bulunmuştur.}$$

Dağılım parametreleri σ_y ve σ_z Pasquill-Gifford'e göre hesaplanmıştır. Buna göre σ_y değeri Denklem (7)'de verilmiştir.

$$\sigma_y = 465.11628 \cdot x \cdot \tan(\text{TH}) \quad (7)$$

$$\text{TH} = 0.017453293 \cdot [c - d \cdot \ln(x)] \quad (8)$$

Burada A Pasquill stabilite sınıfı için $x = 0.1$ km (100m), $c = 24.17$ ve $d = 2.533$ alınmıştır. Buna göre $\sigma_y = 34.3$ m bulunmuştur.

Pasquill-Gifford σ_z değerini hesaplamak için Denklem (9)'da verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$\sigma_z = a \cdot x^b \quad (9)$$

Burada, A Pasquill stabilite sınıfı için ($x = 0.1$ km) $a = 158.080$ ve $b = 1.054$ alınmıştır. Buna göre $\sigma_z = 13.95$ m olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen dağılım parametrelerine göre, kısa dönem (short term) dikey terim $V = 0.0142$ olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler ışığında, emisyon kaynağından 100 m uzakta, 1.20 m/sn rüzgar hızının olduğu (NE doğrultusunda) A stabilite sınıfı atmosfer koşullarında ve 160 m yükseklikte gaz kirletici konsantrasyonu $X = 0.387$ g/m³ olarak hesaplanmıştır.

2. Sağlık riski değerlendirmesi:

BTEX için solunum kaynaklı, benzen ve diğer bileşenlerin neden olabileceği, kanserojen ve kanserojen olmayan risk değerleri örnek bir hesap ile saptanmıştır. Aşağıdaki tabloda BTEX bileşenleri için ortalama konsantrasyonlar verilmiştir.

Tablo 1: Ölçüm alanı içinde çalışanlar için risk değerlendirmesinde kullanılan BTEX konsantrasyonları.

BTEX Bileşenleri	Ortalama Konsantrasyonlar, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzen	100
Toluen	700
Etilbenzen	190
Ksilenler (Toplam)	320
Σ BTEX	1428.5

Bu örnek çalışmada kullanılacak olan solunum yoluyla BTEX emisyonlarına maruz kalmayı ifade etmek üzere Tablo 2'de gerekli parametreler ve kabuller verilmiştir.

Tablo 2: Sağlık riski değerlendirmesine ilişkin maruz kalma parametreleri ve kabuller.

Risk Parametreleri	Parametre Değeri
Solunum oranı (70 kg yetişkin) (CR), m ³ /gün	3
Maruziyet frekansı (EF), gün/yıl	250
Maruziyet süresi (ED), yıl	25
Kişi ağırlığı (BW), kg	70
Ortalama maruziyet zamanı (70 yıl), gün	25550

Öncelikle her bir bileşen için alım (I) değerleri Denklem (10)'a göre tek tek hesaplanır.

$$I = \frac{C \times CF \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (10)$$

Bu formülde;

- I : Alım miktarı (mg/kg.gün),
C : Konsantrasyon (µg/m³),
CF : Birim dönüşümü (0.001 mg/µg),
CR : Kontak oranı (m³/gün),
EF : Maruziyet frekansı (gün/yıl),
ED : Maruziyet süresi (yıl),
BW : Vücut ağırlığı (kg),
AT : Ortalama maruziyet zamanı (gün).

Alım değerleri bulunduktan sonra, kanserojen maddeler için Denklem (11) kullanılarak kanserojenlik riski veya kanserojen olmayan maddeler içinse Denklem (12) kullanılarak tehlike indeksi (kanserojen olmayan risk) hesaplanır.

$$Risk = PF \times I \quad (11)$$

Burada PF = Kanserojen maddelere ilişkin potansiyel faktörü (1/(mg/kg.gün)).

$$Tehlike\ Indeksi = \sum_i^3 \frac{I_i}{RfC_i} \quad (12)$$

Bu formülde,

RfC_i = Kanserojen olmayan maddelere ilişkin referans konsantrasyonlar (mg/kg.gün)

PF ve R_fC değerleri Tablo 3'te her bir bileşen için verilmiştir.

Tablo 3: BTEX bileşenlerine ait çalışmada kullanılan toksikolojik parametreler [24-28].

BTEX Bileşenleri	PF (1/(mg/kg.gün))	R_fC (mg/kg.gün)	Kanserojen Sınıfı
Benzen	2.90×10^{-2}	-	A*
Toluen	-	1.40	D**
Etilbenzen	-	0.29	D**
Ksilenler	-	2.00	D**

* Bilinen bir kanserojen.

** Kanserojen olduğuna ilişkin veri eksikliği bulunmaktadır (günümüz koşullarında sadece hayvanlar üzerinde çalışmalar bulunmakta).

Kanserojen bir madde için (örneğin benzen) 1.00×10^{-6} (1 milyonda 1 kişinin kanser olma ihtimali) risk değeri sınır değer olarak kabul edilmiş ve bundan daha fazla hesaplanan değerlerin risk oluşturacağı kabul edilmektedir. Kanserojen olmayan maddeler için (örneğin toluen, etilbenzen veya ksilenler) eğer belirlenen tehlike indeksi 1'den büyük veya eşit ise risk mevcuttur, aksi halde risk mevcut değildir.

Denklem (10) kullanılarak hesaplanan her bir BTEX bileşinine ait alım (I) değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Bu tabloda aynı zamanda Denklem (11) ile belirtilen kanserojenlik riski (sadece benzen için) ve Denklem (12) ile hesaplanan kanserojen olmayan risk (tehlike indeksi değerleri toluen, etilbenzen ve toplam ksilen için) değerleri de verilmiştir.

Tablo 4: Örnek çalışma için BTEX bileşenlerine ait risk ve tehlike indeksi.

BTEX	Alım (I) (mg/kg. Gün)	Kanserojen Risk	Tehlike indeksi
Benzen	1.05×10^{-3}	3.04×10^{-5}	-
Toluen	7.34×10^{-3}	-	5.24×10^{-3}
Etilbenzen	1.99×10^{-3}	-	6.87×10^{-3}
Ksilenler	3.35×10^{-3}	-	1.68×10^{-3}
	Toplam:	3.04×10^{-5}	1.38×10^{-2}

Kanserojenlik riskine bakıldığında, 3.04×10^{-5} değeri 1×10^{-6} 'dan büyük olduğu için bu örnek için kanser riski vardır denilebilir. Buna göre yaklaşık olarak 1 milyonda 30 kişinin kanser olma riski vardır.

Yine bu örnek çalışma için kanserojen olmayan risk yani toplam tehlike indeksi değerine bakıldığında ise 1.38×10^{-2} değerinin 1'den küçük olması nedeniyle tehlike durumu söz konusu değildir.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Aksaray'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Gölcük/KOCAELİ' de tamamladı. 1994 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitiminden, 1998 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu.

2000 yılında Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans öğrenimini 2002 yılında tamamladı.

2002 yılında Ali Rıza Veziroğlu MYO'da Öğretim Görevlisi oldu. Halen aynı görevine devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.