

**ESKİŞEHİR 'DE UÇUCU ORGANİK  
BİLEŞİKLERİN (VOC) EMİSYON  
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

**ELİF ATASOY**  
**Yüksek Lisans Tezi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Çevre Mühendisliği**  
**Anabilim Dalı**  
**Ocak-2001**

Bu tez çalışması AÜAF'ca desteklenmiştir. Proje No: 000213

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

A. Elif ATASOY'un Eskişehir 'de Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) Emisyon Potansiyelinin Belirlenmesi başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 03.01.2001 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Dr. Tuncay NİĞERÖĞLU	
Üye	: Yard. Doç. Dr. Müfide BANAR	
Üye	: Yard. Doç. Dr. Nezihe AZCAN	
Üye	: .....	
Üye	: .....	

Anadolu Üniversitesi Fen/~~Sağlık~~ Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
11.01.2001 tarih ve 2/2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ESKİŞEHİR 'DE UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (VOC) EMİSYON POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

**ELİF ATASOY**

**Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU**

**İkinci Danışman: Prof. Dr. Serap KARA**

**2001**

Çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri giderek daha fazla anlaşılmaya ve bu nedenle de daha fazla dikkat çekmeye başlayan uçucu organik bileşiklerin (VOC) en azından yöresel çapta daha etkin yönetilmesi ve kontrol edilebilmesi için bir altyapı hazırlamak amacıyla, bu tezde, anılan bileşik grubunun emisyon potansiyeli, hesap yoluyla belirlenmiştir.

Doğal, sabit ve hareketli noktasal, çizgisel ve alansal kaynakları kapsayan hesaplamalar, yedi ayrı kaynak kategorisi için gerçekleştirilmiş; toplam emisyonlar, literatürden sağlanan emisyon faktörleri kullanılarak bulunmuştur.

Doğal ve antropojenik kaynakların toplam VOC emisyonlarındaki payları, bu çalışmada taranan bazı literatür bulgularından oldukça farklı bulunmuş; bu fark, çalışma alanına özgü istatistiklerin yeterince güvenilir olmamasına, emisyon kaynaklarının alansal dağılımı hakkındaki bilgi yetersizliğine, deneysel ölçüm verisi eksikliğine ve model çalıştırılması ihtiyacına atfedilmiştir. Muhtemelen, yine benzer nedenlerle, özellikle hareketli kaynakların antropojenik VOC kaynakları içindeki payları da yüksek değerlerde belirlenmiştir.

Tüm bu nedenlerle, çalışmanın, ileriki aşamalarda, etkin modelleme yanında emisyon ve açık ortam monitorlaması süreçleriyle desteklenerek geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Uçucu Organik Bileşikler; VOC Emisyon Kaynakları (doğal (biyojenik)/antropojenik; sabit/hareketli; nokta/çizgi/alan); Emisyon Faktörleri; Dış Ortam VOC Derişimleri; Emisyon Envanteri.

**ABSTRACT****Master of Science Thesis****DETERMINATION OF EMISSION POTENTIAL OF  
VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs) IN ESKISEHIR****ELIF ATASOY****Anadolu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Environmental Engineering Program****Supervisor: Assist.Prof.Dr.Tuncay DÖĞEROĞLU****Co-Supervisor: Prof. Dr. Serap KARA****2001**

This study involves the computational determination of the volatile organic compounds' (VOC) emission potential to be able to provide a background for managing and controlling these emissions more effectively, at least on a local scale, due to their negative impacts on environment and human health which are being further understood and therefore attracting increasingly more attention recently.

The computations, covering natural, stationary and mobile point-, line-, and area-sources, have been performed for seven different emission source categories in the study area; and total emissions were calculated using the available emission factors found from the literature.

The contributions of natural and anthropogenic sources to the total VOC emissions were found quite different from some of those given by the literature surveyed in the study. This difference was attributed, not only to the unreliability of the existing local statistics, and insufficiency of the information about the areal distribution of the emission sources, but to the lack of experimental measurement data and the need to the model studies as well. Perhaps, still due to the similar reasonings, specifically the contribution of the mobile sources to overall anthropogenic VOC emissions was also estimated to be higher than expected.

Therefore, it was concluded that this work needs to be improved by the proceeding studies, via the support of effective modelling as well as the emissions and ambient-air monitoring processes.

**Key Words:** Volatile Organic Compounds; VOC Emission Sources (natural (biogenic)/anthropogenic; stationary/mobile; point/line/areal); Emission Factors; Ambient VOC Concentrations; Emission Inventories.

## TEŞEKKÜR

Eskişehir, bilimsel katkıları ile çevresini aydınlatan bir üniversite şehri olma özelliğine sahip bulunmaktadır. Eskişehir'in şimdi olduğu gibi gelecekte de modern bir şehir; bir kültür ve sanayi şehri olarak gelişmesini sağlayabilmesi, her konuda olduğu gibi çevre konularında da bilimsel bir bakış ve değerlendirme yapılmasını, gelecekte ortaya çıkabilecek sorunlara şimdiden çözümler getirilmesini ve önlemler alınmasını gerektirmektedir.

Bu tez çalışması kendi alanında bu düşünce ve anlayışla gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasının üniversite, şehir ve çevre ilişkisi bütünlüğü içerisinde, anlamlı ve yararlı bir bilimsel katkıya dönüşmesi için, tez konusunun seçimi, çalışmanın planlanması ve gerçekleştirilmesi aşamalarında beni destekleyerek tezin tamamlanmasını sağlayan değerli hocalarım ve onların katkıları olmasaydı, bu çalışmanın sonuçlanması mümkün olmazdı.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasından başlayarak sonuçlanmasına kadar geçen süre içerisinde bana destek olan, yurt dışında görevli olduğu sırada dahi çalışmanın tüm evrelerinde yanımda ve yardımcı olan değerli Hocam Yrd.Doç.Dr.Tuncay DÖĞEROĞLU'na;

Büyük bir fedakarlıkla ve anlayışla beni destekleyen, tezimin sonuçlanmasında tüm hocalık meziyetlerini kullanarak, en zor ve aşilamaz diye düşündüğüm güçlüklerin dahi kolayca aşılmasında çok değerli görüş ve tavsiyeleri ile bana yardımcı olan, engin bilgi ve deneyimi; titiz eleştiri ve görüşleri ile tezin en güzel şekilde gelmesi için tüm desteğini veren değerli Hocam Prof. Dr. Serap KARA'ya;

Tez kapsamında yapılması düşünülen deneysel çalışmaların hazırlık ve planlama safhasında her türlü destek, yardım ve çabayı esirgemeyen Yrd.Doç.Dr.Nezihe AZCAN'a;

Tezin ortaya çıkması için gerekli verilerin sağlanmasında yardımlarını gördüğüm, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, İl Çevre Müdürlüğü, İl Sağlık Müdürlüğü, BOTAS Eskişehir Bölge Müdürlüğü, Orman Bölge Müdürlüğü, Tarım İl Müdürlüğü ve Organize Sanayi Müdürlüğü yönetici ve çalışanlarına;

Bugüne değin tüm yaşantımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, tez çalışmamı gönülden destekleyerek bana en uygun çalışma ortamını sağlayan, elde ettiğim başarılarda en büyük paya sahip, SEVGİLİ AİLEME;

Teşekkür etmeyi bir borç biliyorum.

Elif ATASOY  
Aralık 2000

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa no
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
SİMGELER DİZİNİ	xvii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN ÖZELLİKLERİ VE ÖNEMİ</b>	<b>3</b>
2.1. Organik Bileşiklerin Uçuculuk Özellikleri	4
2.2. Uçucu Organik Bileşiklerin Reaktiviteleri ve Diğer Önemli Özellikleri	8
2.3. Uçucu Organik Bileşiklerin Önemi	8
<b>3. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN KAYNAKLARI</b>	<b>11</b>
3.1. Doğal kaynaklar (Biyojenik hidrokarbonlar)	12
3.2. Antropojenik Kaynaklar	15
3.2.1. Motorlu taşıt araçları	18
3.2.2. Endüstriyel kaynaklar	21
3.2.3. Sabit kaynaklarda fosil yakıt kullanımı	22
3.2.4. Düzensiz atık depolama alanları	22
3.2.5. Belediye kanalizasyon sistemleri	23
3.2.6. Atıksu arıtma tesisleri	24
3.2.7. Kapalı ortam VOC kaynakları	24

<b>4. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN ETKİLERİ</b>	<b>30</b>
4.1. Fotokimyasal Duman-sis ve Ozon Oluşumu	30
4.2. Sera Etkisi	31
4.3. Ozon Tabakasının İncelmesi	32
4.4. İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkiler	32
4.4.1. Kanser riskinin hesaplandığı çalışmalar	34
4.4.2. Mesleki maruziyet belirleme çalışmaları	34
4.5. Ekosistem Üzerindeki Etkiler	36
<b>5. ÇEŞİTLİ ÜLKELERDE VOC KONTROL STRATEJİLERİ: MEVZUAT, VERİ ENVANTERİ VE UYGULAMADAKİ DURUM</b>	<b>37</b>
5.1. Amerika	37
5.1.1. Amerika'da uygulanan mevzuat	37
5.1.2. Veri envanteri	38
5.1.3. Uygulamalar	38
5.2. Kanada	41
5.3. Avrupa Ülkeleri	43
5.3.1. İsveç	44
5.3.2. Finlandiya	45
5.3.3. İtalya	45
5.4. Diğer Ülkeler	46
5.4.1. Hindistan	46
5.4.2. Tayvan	46
5.4.3. Çin	46
5.5. Türkiye	47

<b>6. MATERYAL VE METOD</b>	<b>48</b>
6.1. Çalışma Alanının Tanıtımı	48
6.2. Çalışma Alanında VOC Kaynakları ve Kaynak Verileri	52
6.2.1. Doğal kaynaklar	52
6.2.1.1. Ormanlık alanlar	53
6.2.1.2. Tarım alanları	54
6.2.2. Sabit yakma kaynakları	54
6.2.2.1. Evsel ısıtmada kömür tüketimi	56
6.2.2.2. Evsel ısıtmada doğal gaz tüketimi	56
6.2.2.3. Endüstriyel doğal gaz tüketimi	56
6.2.3. Hareketli kaynaklar	62
6.2.4. Çöp depolama alanı	64
6.2.5. Kentsel atıksu arıtma tesisi	64
6.2.6. Benzin satış istasyonları	64
6.2.7. Endüstriyel prosesler	65
6.3. Alana Özgü Kaynak Verilerinin Değerlendirilmesinde ve Envanter Oluşturulmasında Uygulanan Metodoloji	68
6.3.1. Çalışmada erişilen temel bilgi ve veri kaynakları	71
6.3.2. Çalışma alanında toplam VOC emisyonunun hesaplanması	72
<b>7. BULGULAR</b>	<b>75</b>
7.1. Doğal Kaynak Emisyonları	75
7.2. Sabit Kaynaklarda Yakıt Kullanımından Oluşan Emisyonlar	76
7.2.1. Evsel ısıtmada kömür tüketimi	76
7.2.2. Evsel ısıtmada doğal gaz tüketimi	79
7.2.3. Endüstride doğal gaz tüketimi	79
7.3. Hareketli Kaynaklarda Yakıt Kullanımından Oluşan Emisyonlar	79
7.4. Çöp Depolama Alanı Emisyonları	87
7.5. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Emisyonları	90
7.6. Benzin İstasyonlarında Oluşan Emisyonlar	93

7.7. Endüstriyel Proses Emisyonları	95
7.7.1. Orman endüstrisi	95
7.7.2. Seramik endüstrisi	95
7.7.3. Tuğla kiremit endüstrisi	96
7.7.4. Şeker fabrikası	98
<b>8. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER</b>	<b>99</b>
<b>9. KAYNAKLAR</b>	<b>107</b>
<b>10. EKLER</b>	<b>113</b>
EK-1. ESKİŞEHİR KENT HARİTASI ÜZERİNDE ANTROPOJENİK VOC KAYNAKLARININ GÖSTERİMİ	114
EK-2. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN AÇIK ORTAM DERİŞİM SEVİYELERİNİ BELİRLEMeye YÖNELİK ÖRNEKLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ	115
EK-2.1. Örnekleme Yöntemleri	115
EK-2.2. Analiz Yöntemleri	118
EK-2.2.1. VOC'lar için EPA yöntemleri	119
EK-2.2.2. VOC'lar için ASTM yöntemleri	122
EK-2.2.3. VOC'lar için SCAQMD yöntemleri	122
EK-2.3. VOC'larla İlgili Örnekleme ve Analiz Çalışmaları	122
EK-3. VOC KAYNAKLARINA İLİŞKİN EMİSYON FAKTÖRÜ DEĞERLERİ	128
EK-3.1. Doğal Kaynaklara İlişkin Emisyon Faktörleri	128
EK-3.2. Sabit Kaynaklarda Yakıt Kullanımına İlişkin Emisyon Faktörleri	128
EK-3.2.1. Kömür	128
EK-3.2.2. Doğal gaz	131

EK-3.3. Hareketli Kaynaklarda Yakıt Kullanımına İlişkin Emisyon Faktörleri	132
EK-3.4. Çöp Depolama Alanına İlişkin Emisyon Faktörleri	132
EK-3.5. Endüstriyel Kaynaklara İlişkin Emisyon Faktörleri	134
EK-3.5.1. Orman endüstrisi	134
EK-3.5.2. Seramik endüstrisi	134
EK 2-5.3. Tuğla-kiremit endüstrisi	135
EK-3.5.4. Şeker fabrikası	136
EK-4. EPA AP-42 MODELİNE GÖRE ATIKSU ARITMA TESİSİ İÇİN ÖRNEK VOC EMİSYON HESAPLAMA YÖNTEMİ	137
EK-4.1. Emisyon Modeli	137
EK-4.2. Tesise Özel Bilgiler	138
EK-4.3. Diğer Model Parametreleri	138
EK-4.4. Kirleticilerin Fiziksel Özellikleri ve Hava/Su Özellikleri	138
EK-4.5. Sıvı ve Gaz Kütle Transfer Katsayıları	138
EK-4.5.1. Havuzun turbulent alanı için hesaplama	138
EK-4.5.1.1. Sıvı faz kütle transfer katsayısı	138
EK-4.5.1.2. Gaz fazı kütle transfer katsayısı	140
EK-4.5.2. Havuzun hareketsiz alanı için hesaplama	141
EK-4.5.2.1. Sıvı faz kütle transfer katsayısı	141
EK-4.5.2.2. Gaz fazı kütle transfer katsayısı	142
EK-4.6. Toplam Kütle Transfer Katsayısı	142
EK-4.6.1. Havuzun turbulent yüzey alanının toplam kütle transfer katsayısı	142
EK-4.6.2. Havuzun hareketsiz yüzey alanının toplam kütle transfer katsayısı	142
EK-4.6.3. Toplam kütle transfer katsayısı	143
EK-4.7. Havalandırılmalı Biyolojik Havuz İçin VOC Emisyonu Hesaplaması	143

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa no
2.1. Kütle emisyonları olarak en fazla ortaya çıkan VOC'lar	3
2.2. Uçucu organik bileşiklerin sınıflandırma şeması	6
2.3. Bazı kirletici bileşen emisyon hızlarının 1970 ve 1995 yılları için karşılaştırılması	10
2.4. VOC emisyonlarının yıllara bağlı değişimi	10
3.1. VOC emisyonlarının kaynakları	16
3.2. Motorlu araçlardan kaynaklanan emisyonlar	18
3.3. Otomobilden kaynaklanan emisyonlar için kontrol yöntemleri	19
3.4. Kanalizasyon sisteminde VOC emisyon noktalarının dağılımı	23
5.1. Amerika'da benzinle ilgili düzenlemelerin kronolojik sıralaması	40
5.2. Avrupa ülkelerinde 1994 yılı kaynaklarına göre VOC bileşiklerinin miktarları	43
5.3. İsveç'te seçilmiş bazı bölgelerdeki ortalama kış mevsimi VOC seviyeleri	44
5.4. İsveç'te altı sezon boyunca yapılan VOC ölçümleri	45
6.1. Eskişehir İli coğrafi haritası	48
6.2. Yakıt kullanım kategorileri	56
6.3. Emisyon hesaplama yaklaşımları	69
8.1. 1999 yılı VOC emisyonlarının antropojenik kaynaklara göre dağılımı	102
8.2. Antropojenik VOC emisyonlarının yıllara bağlı değişimi (Bu çizelgede atıksu tesisi için kloroform harici emisyonlar yansıtılmıştır)	103
8.3. Antropojenik VOC emisyonlarının yıllara bağlı değişimi (Bu çizelgede atıksu tesisi için kloroform ve 1,1,1-trikloreten harici emisyonlar yansıtılmıştır)	104
EK-2.1. Bir gaz kromatografinin şeması	118

**ÇİZELGELER DİZİNİ****Sayfa no**

1.1. Hava kirletici kaynaklara özgü emisyon verilerinin belirlenmesi çabalarının temel amaçları ve hedeflenen aktiviteler	1
2.1. Hava kalitesi çalışmaları kapsamında ölçülmüş bulunan uçucu organik bileşik seviyeleri	4
2.2. Bazı önemli uçucu organik bileşiklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	5
3.1. Bitki örtüsü tarafından yayılan organik bileşikler	13
3.2. Biyojenik VOC emisyon hızlarının ( $Tg\ yıl^{-1}$ ) bileşik sınıfı ve kaynağına bağlılığı	14
3.3. Uçucu organik bileşik emisyonlarının kaynakları	15
3.4. Amerika'nın uçucu organik bileşik emisyonları	17
3.5. Baden-Wuerttemberg'de (Almanya) ölçülmüş olan VOC emisyonlarının kaynak türüne bağlılığı	17
3.6. Antropojenik NMVOC'ların emisyonları	21
3.7. Çeşitli endüstrilerden açığa çıkan VOC emisyonları	21
3.8. Sabit kaynaklarda fosil yakıt kullanılması sonucu açığa çıkan VOC emisyonları	22
3.9. Kapalı ortamlarda en sık rastlanan VOC'lar	25
3.10. Kapalı ortam havasında uçucu organik bileşik derişim seviyeleri	27
3.11. Kapalı ortamlarda bulunan malzemeler için VOC derişim seviyeleri	28
3.12. Kapalı ortamda kullanılan tipik ev ürünleri için VOC derişim seviyeleri	28
4.1. Uçucu organik bileşiklerin insan sağlığı üzerine etkileri	33
4.2. Benzin buharlarından kaynaklanan temel bileşikler için Amerika ve Avrupa ülkelerinde uygulanan hijyen standartları	35
5.1. Amerika ve Türkiye için hava kalitesi standartları	37

6.1. Yıllar itibariyle il nüfusu ve nüfus artış oranları	49
6.2. 1997 yılı nüfus sayımına göre il nüfusunun dağılımı	49
6.3. Eskişehir İli 1998 ve 1999 yılı meteorolojik verileri	50
6.4. OSB'de faaliyet gösteren firmaların sektörel dağılımı	51
6.5. Eskişehir ili arazi dağılımı	52
6.6. Eskişehir iline ait ormanlık alanlar	53
6.7. Eskişehir İli ormanlık alan servet değerleri	54
6.8. Eskişehir İli ekili tarım alanları miktarları	55
6.9. Eskişehir İli'nde evsel ısınma amaçlı kömür kullanım miktarları	57
6.10. Eskişehir İli'nde konutsal doğal gaz kullanımları ve abone sayıları	58
6.11. Eskişehir İli'nde 1997 yılı endüstriyel doğal gaz kullanımı	59
6.12. Eskişehir İli'nde 1998 yılı endüstriyel doğal gaz kullanımı	60
6.13. Eskişehir İli'nde 1999 yılı endüstriyel doğal gaz kullanımı	61
6.14. Eskişehir İli'nde kullanılan yıllık toplam endüstriyel doğal gaz miktarları ve aylık dağılımları	62
6.15. Eskişehir İli'nde motorlu araç sayıları	63
6.16. Eskişehir İli benzin satış istasyonları	66
6.17. Eskişehir İli endüstriyel kaynaklar ve üretim miktarları	67
6.18. Çalışmada toplam VOC emisyonlarının hesaplanması için kullanılan model denklemler	73
7.1. Ormanlık alanlardan meydana gelen emisyonlar	76
7.2. Tarım alanlarından kaynaklanan emisyonlar	76
7.3. Evsel kömür kullanımından kaynaklanan emisyonlar	77
7.4. Evsel ithal kömür kullanımından kaynaklanan organik bileşik emisyonları	78
7.5. Evsel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonlar	80
7.6. Evsel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonların organik bileşik bazında dağılımı	81
7.7. Endüstriyel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonlar	83
7.8. Endüstriyel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonların organik bileşik bazında dağılımı	84
7.9. Motorlu araçlardan kaynaklanan yıllık emisyonlar	86

7.10. Katı atık depolama alanından kaynaklanan emisyonlar	88
7.11. Atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan emisyonlar	90
7.12. Atıksu arıtma tesisi model hesaplama sonuçları	91
7.13. Benzin istasyonlarından kaynaklanan buharlaşma emisyonları	94
7.14. Benzin istasyonlarından kaynaklanan buharlaşma emisyonlarının yıllara bağlı değişimi	94
7.15. Orman endüstrisinden kaynaklanan emisyonlar	95
7.16. Seramik üretiminden kaynaklanan emisyonlar	95
7.17. Tuğla kiremit üretiminden kaynaklanan emisyonlar	96
7.18. Tuğla-kiremit üretiminden meydana gelen organik bileşik emisyonları	97
7.19. Şeker üretiminden meydana gelen emisyonlar	98
8.1. Toplam VOC emisyonlarının doğal ve antropojenik kaynaklar arasında dağılımı	99
8.2. Antropojenik kaynakların VOC emisyonları içindeki payları	101
8.3. Eskişehir’de evsel ısınma amaçlı yakıt kullanımını açısından beş değişik senaryoya göre oluşacak VOC emisyonları	105
EK-2.1. Örnekleme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları	117
EK-2.2. Farklı çalışmalarda kullanılan VOC örnekleme-analiz yöntem ve özellikleri	123
EK-3.1. Çeşitli bitki örtüsü için standart emisyon faktörleri ( $\mu\text{g/g/h}$ )	128
EK-3.2. Linyit yakılmasından kaynaklanan $\text{CH}_4$ ve TNMOC emisyon faktörleri	128
EK-3.3. Linyit yakılmasından kaynaklanan organik bileşikler için emisyon faktörleri	129
EK-3.4. Antrasit yakılmasından kaynaklanan TOC ve metan ( $\text{CH}_4$ ) için emisyon faktörleri	130
EK-3.5. Antrasit yakılmasından kaynaklanan organik madde emisyon faktörleri	130

EK-3.6. Doğal gazdan kaynaklanan TOC, metan ve VOC için emisyon faktörleri	131
EK-3.7. Doğal gazdan kaynaklanan organik bileşikler için emisyon faktörleri	131
EK-3.8. Motorlu araçlardan kaynaklanan VOC emisyon faktörleri	132
EK-3.9. Atık giderim şekline göre çöp depolama alanından kaynaklanan benzen, NMOC ve toluenin default derişimleri	132
EK-3.10. Çöp depolama alanından kaynaklanan organik bileşiklerin default derişimleri	133
EK-3.11. Kontrplak kaplama tahtası kurutucusundan kaynaklanan organik maddeler için emisyon faktörleri	134
EK-3.12. Seramik ürünleri üretiminden kaynaklanan VOC'lar için emisyon faktörleri	134
EK-3.13. Tuğla üretimi işleminden kaynaklanan TOC, metan ve VOC emisyon faktörleri	135
EK-3.14. Tuğla üretimi işleminden kaynaklanan organik bileşiklerin emisyon faktörleri	135
EK-3.15. Şeker pancarı işleme tesisinden kaynaklanan VOC ve metan için emisyon faktörleri	136
EK-3.16. Şeker pancarı işleme tesisinde karbonat tanklarından ve buharlaştırıcılardan kaynaklanan organik bileşikler için emisyon faktörleri	136
EK-4.1. Atıksu arıtma tesisi emisyon hesaplamasında kullanılan denklemler	137
EK-4.2. Kütle transfer katsayıları ve emisyon hesaplama denklemlerinde kullanılan parametrelerin tanımlamaları	139

## KISALTMALAR DİZİNİ

- ACGIH : Amerikan Hükümeti Endüstriyel Hijyenistler Konferansı  
(American Conference of Governmental Industrial Hygienist)
- ARB : Kaliforniya Hava Kaynakları Kurulu  
(California Air Resources Board)
- ASTM : Malzemelerin Test Edilmesiyle İlgili Amerikan Standartları  
(American Standards for Testing Materials)
- CAA : Temiz Hava Kanunu (Clean Air Act)
- CAAA : Temiz Hava Kanununun Değiştirilmiş Versiyonu  
(Clean Air Act Amendment)
- CASRN : Kimyasal Özetler (CA) Serisi Kayıt Numarası  
(Chemical Abstracts Service Registry Number)
- CCME : Kanada Çevre Bakanlığı Meclisi  
(Canadian Council of Ministers of the Environment)
- CEPA : Kanada Çevre Koruma Örgütü  
(Canadian Environmental Protection Act)
- CFC : Klorlu ve Florlu Karbon Bileşikleri (Chlorofluorocarbon)
- CMS : Karbon Moleküler Elek (Carbon Molecular Sieve)
- CWSs : Kanada Ulusal Standartları (Canada-Wide Standarts)
- DCE : Di klor etilen
- EC : Kanada Çevre Örgütü (Environment Canada)
- ECD : Elektron Yakalayıcı Dedektör (Electron Capture Dedector)
- EFIG : Emisyon Faktörü ve Envanter Grubu  
(The Emission Factor And Inventory Group)
- EPA : Çevre Koruma Örgütü (Environmental Protection Agency)
- EPCRA : Acil Durum Planlaması ve Halkın Bilgilendirilme Hakkı Yasası  
(Emergency Planning And Community Right-to Know Act)
- ESP : Elektrostatik Çökeltici (Electrostatic Precipitation)
- FF : Torba Filtre (Fabric Filter)
- FID : Alev İyonizasyon Dedektörü (Flame Ionization Dedector)

FTIR	: Fourier Transformasyonu prensibine göre çalışan kızılötesi Spektrofotometre (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)
GC	: Gaz Kromatografisi
GC/MS	: Gaz Kromatografisi/ Kütle Spektrometresi
GM	: Geometrik Ortalama
HAP	: Tehlikeli Hava Kirleticileri (Hazardous Air Pollutants)
H.K.K.D	: Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
H.K.K.Y	: Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
HLC	: Henry Kanunu Sabiti (Henry's Law Constant)
I/O	: Kapalı ortam/Açık ortam (Indoor/Outdoor)
IVL	: İsveç Çevre Araştırma Enstitüsü (Institutet för Vatten-och Luftvards for Skning) (Swedish Environmental Research Institute)
IWS	: İyonlaştırıcı Islak Yıkayıcı (Ionizing Wet Scrubber)
KVS	: Kısa Vadeli Sınır Değer
LFG	: Katı Atık Depolama Alanı Gazı (Landfill Gas)
MTBE	: Metil-Tert Bütül Eter
NAAQS	: Ulusal Dış Ortam Hava Kalitesi Standartları (National Ambient Air Quality Standards)
ND	: Veri mevcut değildir (No data)
NESHAP	: Tehlikeli Hava Kirleticileri İçin Ulusal Emniyet Standartları (National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants)
NMOC	: Metan Dışı Organik Bileşikler (Non-Methane Organic Compounds)
NSPS	: Yeni Kaynak Performans Standartları (New Source Performance Standards)
OAQPS	: Hava Kalitesi Planlama ve Standartlar Dairesi (Office of Air Quality Planning and Standards)
OME	: Ontario Çevre Bakanlığı (Ontario Ministry of Environment)
ORVOC	: Diğer Reaktif Uçucu Organik Bileşikler (Other Reactive Volatile Organic Compounds)

OSHA	: Federal Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (Occupational Safety and Health Administration)
PAH	: Çok Halkalı Aromatik Hidrokarbonlar (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)
PAN	: Peroksi Asetil Nitrat
PBzN	: Peroksi Benzoil Nitrat
PCB	: Çok Klorlanmış İki Fenil Gruplu Bileşikler (Polychlorinated Biphenyl)
PCE	: Per Klor Etilen
PID	: Fotoiyonizasyon Dedektörü (Photoionization Dedector)
PM	: Partikül Madde
POM	: Polisiklik Organik Madde (Polycyclic Organic Matter)
ppbv	: Hacımca milyonda bir parçalık kısım (Parts per billion by volume)
PVC	: Polyvinilklorür
RFG	: Yeniden Formüle Edilmiş Benzin (Reformulated Gasolines)
SCAQMD	: Güney Sahilleri Hava Kalitesi Yönetimi Bölgesi (South Coast Air Quality Management District)
SCC	: Kaynak Sınıflama Kodu (Source Classification Code)
TAME	: Tert-Amil Metil Eter
TCE	: Tri Klor Etilen
THC	: Toplam Hidrokarbon (Total Hydrocarbon)
TLV	: Eşik Sınır Değer (Threshold Limit Value)
TNMOC	: Toplam Metan-Dışı Organik Bileşikler (Total Non-Methane Organic Compounds)
TOC	: Toplam Organik Bileşikler (Total Organic Compounds)
TVOC	: Toplam Uçucu Organik Bileşikler (Total Volatile Organic Compounds)
TWA	: Zaman Ağırlıklı Geometrik Ortalama (Time-Weighted Average)
UVS	: Uzun Vadeli Sınır Değer
VOC	: Uçucu Organik Bileşik (Volatile Organic Compound)
WESP	: Islak Elektrostatik Çöktürücü (Wet Electrostatic Precipitator)

## SİMGELER DİZİNİ

A	: Atıksu yüzey alanı ( $m^2$ )
$A_Q$	: Havalandırma havuzunun hareketsiz alanı ( $m^2$ )
$A_T$	: Havalandırma havuzunun turbulent alanı ( $m^2$ )
$b_i$	: Havalandırma sisteminin biyokütle derişimi ( $g/m^3$ )
c	: Atık depolama sahası kapandığından itibaren geçen zaman (yıl)
$c_i$	: Kaçak gaz karışımındaki i maddesinin derişimi ( $lb/ft^3$ , $kg/m^3$ v.b)
$C_L$	: Kirletici maddenin sıvı faz derişimi ( $g/m^3$ )
$C_o$	: Kirletici maddenin sıvı fazdaki başlangıç derişimi ( $g/m^3$ )
$C_p$	: Çöp depolama alanından kaynaklanan gazda P bileşeninin derişimi (ppmv)
d	: İmpeller yarıçapı (cm)
$d^*$	: İmpeller yarıçapı (ft)
$d_e$	: Etkin yarıçap (m)
D	: Atıksu derinliği (m)
$D_{w, benzen}$	: Benzenin suda difüzyon katsayısı ( $cm^2/s$ )
$D_{a, benzen}$	: Benzenin havada difüzyon katsayısı ( $cm^2/s$ )
$D_{O_2, w}$	: Suda oksijenin difüzyon katsayısı ( $cm^2/s$ )
$g_c$	: Yerçekimi sabiti ( $lb_m-ft/lb_f-s^2$ )
$H_{benzen}$	: Benzenin Henry kanunu sabiti ( $atm-m^3/gmol$ )
J	: Yüzey havalandırıcısı için oksijen transfer oranı ( $lb O_2/hp-hr$ )
K	: Bölüm 7.4'de metan üretim hız sabiti (1/yıl) : Bölüm 7.5'de toplam kütle transfer katsayısı (m/s)
$k_g$	: Gaz faz kütle transfer katsayısı (m/s)
$k_l$	: Sıvı faz kütle transfer katsayısı (m/s)
$K_{max, benzen}$	: Benzen için maksimum biyohız sabiti (g/g-s)
$K_{s, benzen}$	: Benzen için yarı doyunluk biyohız sabiti ( $g/m^3$ )
$K_Q$	: Hareketsiz yüzey alanının kütle transfer katsayısı (m/s)
$K_T$	: Toplam kütle transfer katsayısı (m/s)
$L_o$	: Metan üretim potansiyeli ( $m^3 CH_4/ Mg$ atık)
$m_i$	: i bileşeninin kütle emisyonu (kg/yıl)
Mi	: i bileşeninin molekül ağırlığı (lb/lb mol)
$MW_L$	: Suyun molekül ağırlığı (g/gmol)

$MW_p$	: P'nin molekül ağırlığı (g/g mol)
$Mw_a$	: Havanın molekül ağırlığı (g/gmol)
$N$	: Atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan kirletici VOC bileşiği emisyonu (g/s)
$N_1$	: Havalandırıcı sayısı
$O_t$	: Oksijen transferi düzeltme faktörü (0,83)
$P$	: Güç sayısı
$p_i$	: i bileşeninin kısmi basıncı (psi)
$POWR$	: Havalandırıcılar için toplam güç
$Q$	: Hacimsel akış hızı ( $m^3/s$ )
$Q_{CH_4}$	: Metan üretim hızı ( $m^3/yıl$ )
$Q_p$	: Katı atık depolama alanından P'nin(NMOC) emisyon hızı ( $m^3/yıl$ )
$R$	: Bölüm 7.4'de aktif hal süresince ortalama yıllık atık kabul hızı (Mg/yıl) : Bölüm 7.4'de gaz sabiti (psi-ft <sup>3</sup> /lbmol °R) : Bölüm 7.5'de gaz sabiti (atm-m <sup>3</sup> /gmol)
$Re$	: Reynold sayısı
$Sc_G$	: Gaz tarafındaki Schmidt sayısı
$t$	: İlk atık kabulünden itibaren geçen zaman (yıl)
$T$	: Bölüm 7.4'de çöp gazının sıcaklığı (°C) : Bölüm 7.5'de su sıcaklığı (°C)
$Tg$	: Tera gram (10 <sup>12</sup> gram)
$UM_p$	: Kontrolsüz durumda P kirleticisinin kütle emisyonu (kg/yıl)
$U_{10}$	: Sıvı yüzeyinden 10 m yukarıda rüzgar hızı (m/s)
$V_{a_v}$	: Turbulent yüzey alanı (ft <sup>2</sup> )
$V$	: Bölüm 7.4'de sahada bulunan atık hacmi (m <sup>3</sup> ) : Bölüm 7.5'de atıksu hacmi (m <sup>3</sup> )
$w$	: İmpellerin döngüsel hızı (rad/s)
$\rho$	: Bölüm 7.4'de katı atık yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> ) : Bölüm 7.5'de benzinin yoğunluğu (lb/ft <sup>3</sup> )
$\rho_a$	: Havanın yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )
$\rho_L$	: Suyun yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> , lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup> )
$\mu_a$	: Havanın vizkozitesi (g/cm-s)
$\mu_g$	: Mikro gram (10 <sup>-6</sup> gram)

## 1. GİRİŞ

Çeşitli sabit ve hareketli emisyon kaynaklarından SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, partikül madde ve ağır metaller gibi geleneksel yanma kökenli veya prosese özel hava kirleticilerinin yayıldığı öteden beri bilinmektedir.

Bu tür hava kirleticilerinin birçoğu için Çizelge 1.1'de anılan amaç ve hedeflenen aktiviteler doğrultusunda, dünyada olduğu kadar ülkemizde de (Türkiye genelinde ve şehir bazında) çok sayıda emisyon çalışması yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir.

Çizelge 1.1. Hava kirletici kaynaklara özgü emisyon verilerinin belirlenmesi çabalarının temel amaçları ve hedeflenen aktiviteler [1]

- 
- ◆ Emisyon azaltılmasına yönelik faaliyetlerin yönlendirilmesi.
  - ◆ İzleme istasyonlarının ve erken uyarı şebekesinin konumlandırılmasına katkıda bulunması.
  - ◆ Hava kirletici yüklerinin coğrafi ve mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi.
  - ◆ Uygulanacak stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olunması.
  - ◆ Hava kalitesi problemlerinin önceliklerinin belirlenmesi.
  - ◆ Bölgesel planlama ve bölgelere ayırma yapılabilmesi.
  - ◆ Hava kalitesi dağılım modellerinin oluşturulması.
  - ◆ Gelecekteki hava kalitesi eğilimlerinin tahmin edilmesi.
  - ◆ Hava kirliliğinde fayda-maliyet ilişkisinin belirlenmesi.
  - ◆ Toplumun eğitimi ve bilgilendirilmesine yönelik programların oluşturulması.
- 

Ancak son yıllarda bu bileşiklerin yanında, kaynaklardan açığa çıkan organik bileşikler de (VOC, PAH gibi) dikkat çekmeye başlamıştır. Özellikle, troposferik ozon seviyesinde artışa neden olmaları ve insan sağlığı üzerindeki kanserojen etkilerinden dolayı önemleri giderek artan ve monitorlanmaları ve kontrol edilmeleri gereken önemli kirleticiler arasına alınmış bulunan uçucu organik bileşikler (VOC) için Türkiye'de gerçekleştirilen çalışma sayısı yok denebilecek kadar azdır.

Bu nedenle, bu tez çalışmasında Eskişehir İli Merkez İlçesi ölçeğinde VOC emisyonu potansiyelinin belirlenmesi ve bu yönde; kısmen de olsa güvenilir bir kaynak envanteri veri tabanı oluşturulması hedeflenmiştir.

Bu amacı gerçekleştirmek üzere, önce, tezin 2. Bölüm'ünde, uçucu organik bileşikler hakkında verilen genel bilgiyi takiben, 3. Bölüm'de bu bileşiklerin kaynaklarından bahsedilmiş, 4. Bölüm'de etkileri üzerinde durulmuştur. 5. Bölüm, ülkemizde ve dünyanın çeşitli ülkelerinde uygulanan ilgili yasal önlemlerin ve bu konuda yapılan monitorlama ve uygulama çalışmalarının tanıtılmasına ayrılmıştır. Uluslararası çalışmalarda tespit edilmiş bulunan emisyon faktörleri kullanılarak, bu çalışma kapsamında Bölüm 6'da atıf verilen yerel otoritelerden kişisel temaslar sonucunda sağlanan yöresel verilerin eşliğinde, çalışma alanındaki değişik kaynaklarda oluşabilecek VOC emisyon miktarları hesap yoluyla bulunmuş, çalışma bulguları Bölüm 7'de derlenmiştir.

Çalışmada, hesaplanan bu verilerle karşılaştırmanın sağlanabileceği yöresel ölçüm verilerinin, kısıtlı bir grup uçucu organik bileşik için oluşturulması da hedeflenmiş ve gerekli ön hazırlıklar yapılmışsa da, ilgili teknik donanımın tez süresi içinde devreye alınmasında karşılaşılan güçlükler nedeniyle, bu hedefe henüz ulaşamamıştır.

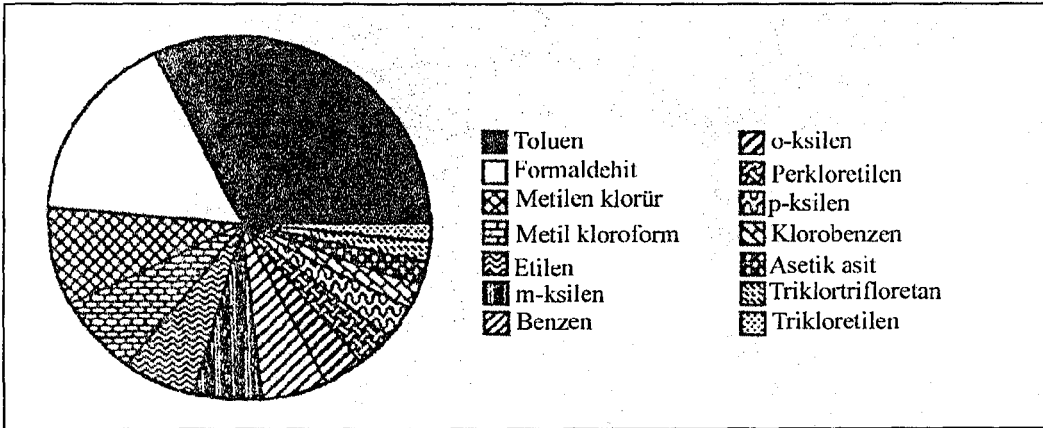
Yine de, özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan sanayi kentlerimizden başlayarak bu tür çalışmaların yaygınlaştırılması mümkün olabilirse, bu eserin, ileride karşılaşılabilecek sorunlar karşısında acil önlemler alınması gerekmeden ilgili planların önceden yapılabilmesi konusunda yol gösterici olacağı beklenmektedir.

## 2. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN ÖZELLİKLERİ VE ÖNEMİ

Karbon ve hidrojen içeren bileşikler (hidrokarbonlar) ve bunların türevleri olarak tanımlanabilen organik bileşikler, uçuculuklarına göre, uçucu organik bileşikler (VOC), yarı uçucu organik bileşikler (sVOC) ve uçucu olmayan organik bileşikler (NVOC) şeklinde sınıflandırılabilirler. Uçucu organik bileşikler (VOC), önemli oranlarda buharlaşabilen sıvı ve katılar veya standart koşullarda gaz/buhar fazında bulunan maddelerdir.

Uçucu organik bileşiklerin sayısı oldukça fazladır. 1990 yılında ABD’de uygulamaya konan CAAA (Clean Air Act Amendment) Başlık III’de toplam 189 tehlikeli hava kirletici maddeden (HAP) söz edilmektedir. Bunların 97’si uçucu organik, 73’ü yarı uçucu organik ve 19’u inorganiktir.

Bir bölgede herhangi bir uçucu organik bileşiğin fazla miktarda bulunması, her zaman bu maddenin çok daha fazla zarara sebep olacağını göstermez. Şekil 2.1’e göre toluen, en fazla salınan bileşik olarak görülmesine rağmen, toluenin benzenden daha az toksik olduğu bilinmektedir [2]. Dolayısıyla uçucu organik bileşiklerin (ve diğer maddelerin) zehirliliği de belirli bir süre boyunca maruz kalınan miktarları kadar önemlidir ve araştırmalarda göz önüne alınmalıdır



Şekil 2.1. Kütle emisyonları olarak en fazla ortaya çıkan VOC'lar [2]

Güney Kaliforniya’da 1987 yılında ölçülmüş bulunan atmosferik uçucu organik bileşik seviyeleri, en sık rastlanan bazı bileşenler için Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [3].

Çizelge 2.1. Hava kalitesi çalışmaları kapsamında ölçülmüş bulunan uçucu organik bileşik seviyeleri [3]

Bileşen	Hacimca ppb karbon cinsinden
Etan	27,1
Eten	22,3
Asetilen	17,3
Propan	56,0
Propen	7,8
i-bütan	19,4
Bütan	42,0
i-pentan	52,4
2-metil pentan	16,0
3-metil pentan	11,8
Hekzan	10,8
Metil siklopentan	10,1
Benzen	17,0
3-metil hekzan	7,4
Heptan	6,0
Metilsiklohekzan	7,0
Toluen	49,1
Etilbenzen	7,6
m-ve p-ksilen	25,2
o-ksilen	10,0
1,2,4-trimetil benzen	8,2
Formaldehit	9,1
Asetaldehit	14,8
Aseton	22,4

### 2.1. Organik Bileşiklerin Uçuculuk Özellikleri

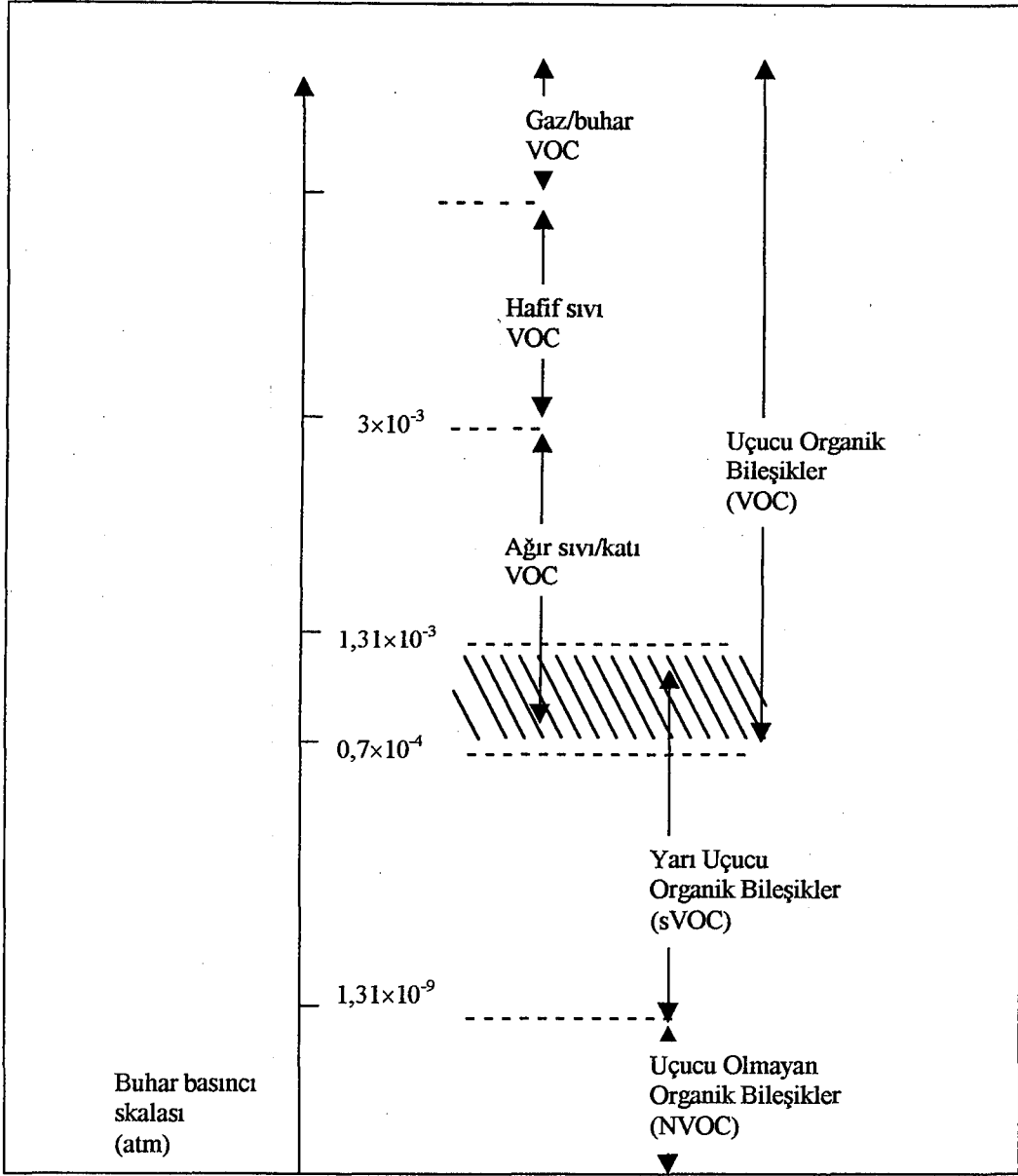
Maddelerin uçuculukları, genellikle kaynama noktaları azaldıkça ve buhar basınçları arttıkça artar. Bu anlamda, uçucu organik bileşikler (VOC), diğer organik bileşiklere kıyasla, öncelikle daha düşük kaynama (veya süblimleşme) noktaları ve daha yüksek buhar basınçlarıyla karakterize edilebilen sıvı, katı veya standart koşullarda gaz/buhar fazında bulunan maddeleri temsil eder. Bazı yaygın uçucu organik bileşiklerin kaynama noktaları ve buhar basınçları, sudaki çözünürlük durumları, alevlenebilirlik nitelikleri ve reaktiviteleri ile birlikte Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı önemli uçucu organik bileşiklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

VOC	Kaynama noktası (°C) [4]	Buhar Basıncı (kPa)* [5]	Suda Çözünürlük [4]	Alevlenebilme [4]	Reaktivite [6]	
					gO <sub>3</sub> /g bileşik	Bağıl Reaktivite**
Aseton	56,11	24,7 (20°C)	E	E		
Asetaldehit	20,16	100,6 (20°C)			5,52	368
Asetilen		4406 (20°C)			0,50	33
Benzen	80,1	13,33 (26,075°C)	H	E	0,42	28
Büta-1,3-dien					10,89	726
Bütül asetat	126		H	E		
Bütül alkol	116	0,628	E	E		
But-1-ene	-6,25	435 (37,8°C)			8,91	594
Dialkil benzenler					6,45-7,20	430-480
Karbontetraklorür	77	11,94 (20°C)	H	H		
Etan	-88,6	2379 (0°C)			0,25	17
Etil asetat	72		E	E		
Etil alkol (Etanol)	78,32	5,85 (20°C)	E	E	1,34	89
Etil benzen	136,19				2,7	180
Etilen	-103,71	4110 (0°C)			7,29	486
Formaldehit	-19				7,15	477
Hekzan	69		H	E		
i-bütan	-11,8	498 (37,8°C)			1,21	81
Izobüten					5,31	354
Izopropil alkol	96		E	E		
Ksilenler	144		H	E	6,46-8,16	431-544
Metan	-162				0,015	1
Metil alkol (Metanol)	64,7	16,96 (25°C)	E	E	0,56	37
Metil klorür	40	489,3 (20°C)	E	H		
Metil izo bütül keton	114		E	E		
n-bütan					1,02	68
Perkloretilen	121		H	H		
Propan	-42,1	1310 (37,8°C)			0,48	32
Propilen	-47,7	1561 (37,8°C)			9,4	627
Toluen	111	3,7 (25°C)	H	E	2,73	182
Trikloretan	87	13,33 (20°C)	H	H		
Triklortrifloreten	46	44 (25°C)	H	H		

(\*) 1 kPa=9,86×10<sup>-3</sup> atm=0,145 psia=7,5 mmHg (\*\*): Metana göre bağıl reaktivite E:Evvet H:Hayır

Standart koşullarda uçucu organik bileşiklerden bazıları (metan gibi) gaz/buhar, bazıları (alkoller, aseton, benzen gibi) sıvı (veya hafif sıvı), bazıları da (aerosol, partikül, duman gibi) daha yoğun bir faz (ağır sıvı/katı) biçiminde bulunurlar. Bu faz bölgeleri, Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Uçucu organik bileşiklerin sınıflandırma şeması

Literatürde, Şekil 2.2'de işaretlenen veriler hakkında farklılıklar mevcuttur. Örneğin Hays et al'a [7] göre  $1,31 \times 10^{-3}$  atm'den yüksek buhar basıncına sahip bileşikler uçucu organik bileşik tanımına girerken, Nevers'a [8] göre  $7 \times 10^{-4}$  atm'den yüksek buhar basıncına sahip, atmosferik kaynama noktası  $260^{\circ}\text{C}$ 'den düşük, karbon sayısı 12'den az olan organik bileşikler VOC kapsamına alınmaktadır. VOC bileşiklerinin kendi içlerinde sınıflara ayrılması ise yine farklılık [4, 9, 10] göstermektedir.

Hafif ve yüksek derecede uçucu organik bileşikler arasında [10] alkol, hafif petrol distilatları, saç sprelerinde kullanılan çözücüler ve sigara dumanının gaz bileşenleri sayılabilir. Bu gazlar ve madde buharları, buldukları mekanda çok hızlı dağılırlar ve yerçekimi ile çökme hızları çok düşüktür.

Çok uçucu olmayan ağır uçucu organik bileşikler [10] grubunda, perkloretilen, metilen klorür, trikloretilen, karbon tetraklorür ve kloroform gibi genellikle ticari çözücü olarak kullanılan klorlu hidrokarbonlar bulunmaktadır. Hava sirkülasyonun olmadığı durumlarda, bu tür VOC'lar ortamda dağılım göstermeyip belirli bir bölgede kalmakta ve masa yüzeyleri veya zeminde birikmektedirler.

Ayrıca, bazı VOC'lar, yanma ürünü katı kalıntılardaki partiküllerde tutunmuş durumda da olabilirler. Sigara dumanı veya egzoz gazının rengi, bu özellikteki partikül kalıntılarında kaynaklanır [10].

Literatürde [4], VOC'lar halojenli olup olmamalarına göre; uçucu halojenli bileşikler (trikloretan (TCE), perkloretan (PCE), dikloretan (DCE)), uçucu halojenizsiz bileşikler (ksilenler (BTEX), ketonlar ve stiren), yarı-uçucu halojenli bileşikler (dioksin/furanlar, PCB'ler, organik korozyonlar, organik siyanürler ve organik pestisit/herbisitler), yarı uçucu halojenizsiz bileşikler (polinükleer aromatik hidrokarbonlar ve organik pestisit/herbisitler) olarak da sınıflandırılmıştır.

Bileşiklerin uçuculuklarını veya organik maddelerin sıvıdan havaya difüzyonunu değerlendirmede genellikle Henry Kanunu Sabiti (HLC), kullanılır. HLC  $10^{-3}$  atm-m<sup>3</sup>/gmol'den büyük olan bileşikler yüksek uçucu,  $10^{-3}$ -  $10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/gmol arasında olanlar orta uçucu ve  $10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/gmol'den küçük bileşikler düşük uçucu bileşikler olarak sınıflandırılmaktadır [11].

## 2.2. Uçucu Organik Bileşiklerin Reaktiviteleri ve Diğer Önemli Özellikleri

Uçucu organik bileşikler Çizelge 2.1'de verilen uçuculuk özellikleri, reaktiviteleri, çözünürlük ve alevlenebilirlik özellikleri yanında, toksisiteleri ve kızıl ötesi ışığı absorplama özellikleri açısından da farklı etkilere neden olabilirler [4].

Bazı uçucu organik bileşikler güneş ışığı varlığında troposfer seviyesinde çok reaktiftir. Stratosferik ozonla reaksiyona giren ve atmosferde gruplara ayrılma eğiliminde olan klorlu ve florlu hidrokarbonlar (CFC'ler) gibi bazı bileşikler ise troposferde oldukça dengelidirler ve atmosferde uzun süre değişmeden kalırlar. Örneğin metan, troposferde 9-15 yıl kalabilen bir moleküldür. Pestisitler de doğada (insan müdahalesi olmadan) uzun süre kararlı kalabilen organik kirleticiler grubunda yer alır.

Toksik (zehirli) olarak nitelendirilen bazı uçucu organik bileşikler kanserojenik olan veya olmayan etkilere sahiptirler. Çok yüksek kimyasal, ısıl ve biyolojik kararlılığı, düşük buhar basıncı ve yüksek di-elektrik katsayısına sahip olan çok klorlanmış iki fenil gruplu bileşikler (PCB'ler) benzeri bazı uçucu organik bileşikler, insanların ve hayvanların yağ dokularında birikme özelliğine sahiptirler.

CFC'ler ve CH<sub>4</sub> gibi uçucu hidrokarbonlar, kızılötesi ışığı absorplama özelliğine sahip olduklarından sera gazı etkisi gösterirler.

## 2.3. Uçucu Organik Bileşiklerin Önemi

Doğal ve antropojenik kökenli uçucu organik bileşikler (VOC), suda, atmosferde ve toprakta bulunabilirler. Çevrede açığa çıkan birincil VOC kirleticileri daha sonra genellikle atmosferde ikincil kirleticileri oluştururlar.

Ekosferde VOC'ların bulunmasının en önemli etkisi, troposferik ozon oluşumunda rol alması ve bu bileşiklerin birçoğunun fotokimyasal reaksiyonlara sebep olmasıdır. Özellikle, atmosferde bulunan bazı hidrokarbonlar fotokimyasal duman-sis oluşumunda etken olmaları dolayısıyla özel önem taşır.

Atmosferdeki birincil VOC kirleticileri, güneş ışığı etkisi altında azot oksitlerle reaksiyona girerek 100'den fazla ikincil hava kirleticisi içeren bir karışım (fotokimyasal duman-sis) oluştururlar. Bu reaksiyonlarda oluşan ozon;

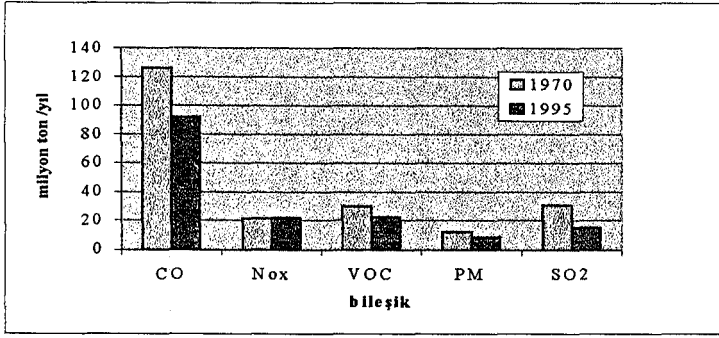
acrolein formaldehit, peroksi asetil nitrat (PAN) gibi yüksek derecede reaktif organik oksitleyicilerin veya nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) gibi inorganik bileşiklerin oluşumuna neden olan bir başlangıç kirleticisidir. Fotokimyasal duman-sis olayında güçlü yükseltgenme koşulları, atmosferde kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) bulunması durumunda sülfirik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ve sülfat partikülleri oluşumuna da sebep olur.

Isı tutucu gazlar olarak görev yapan bazı VOC'ların (CFC'ler ve  $\text{CH}_4$  gibi), sera etkisine katkıda bulunma potansiyeli  $\text{CO}_2$ 'den çok daha kuvvetlidir. Genel olarak organik maddelerin fermantasyonu yoluyla üretilen ve doğal gaz karışımında ana madde olarak yeraltı kaynaklarından açığa çıkan metanın fotokimyasal duman-sis oluşumuna katkısı, düşük reaktivitesinden dolayı ihmal edilebilir. Atmosferde metanın varlığı, sera etkisine sebep olması yüzünden önemlidir. Endüstriyel devrimden önce atmosferde metan derişimi 700 ppbv olarak hesaplanmışken, 1992'de derişim 1714 ppbv'ye yükselmiştir [4]. Günümüzde metan, atmosferde en fazla bulunan hidrokarbonlardan birisidir.

Birçok VOC derişimi kapalı ortamda, açık ortamdan daha fazladır. Binalarda ve işyeri gibi kapalı alanlarda organik hava kirleticilerinin direkt etkisi çok daha önemli olabilir. Bazı çalışmalara göre [4] VOC'ların kapalı ortamda ortalama kalma süresi, açık ortamlarda kalma süresinden yaklaşık on kat fazladır.

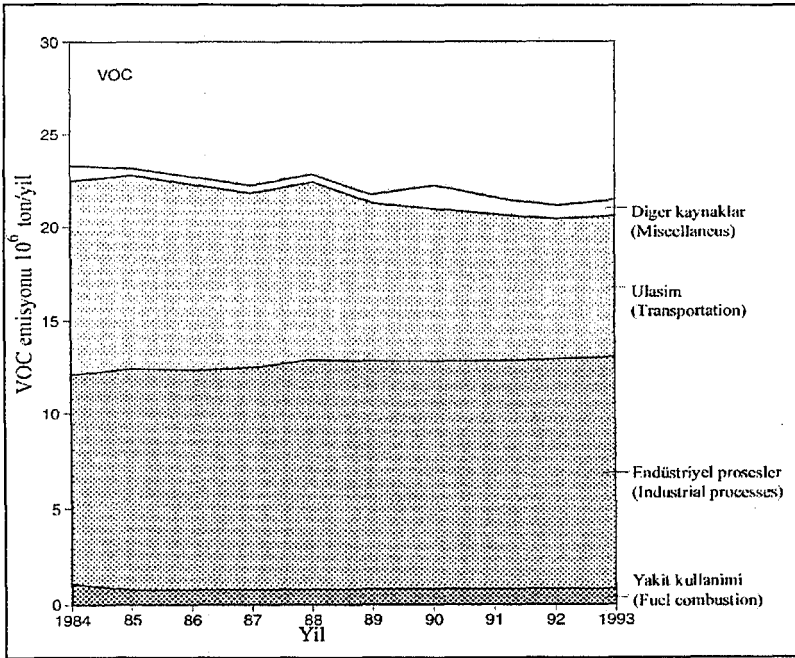
Çeşitli endüstriyel proseslerde (kimya, metal, gıda v.b) üretim sırasında uçucu organik bileşiklerin kullanılması, herhangi bir kaçak, sızma veya yangın anında bu bileşikler için önceden önlem alınmasını gerektirir. Bu sebeple, bu tür bileşiklerin kullanıldığı veya üretildiği proseslerde, hangi bileşiklerin nerede kullanıldığını veya oluştuğunu, bu bileşiklerin özelliklerini ve alınacak önlemleri gösteren belgelerin (Acil Durum Planları) hazırlanması, hem endüstriyel kuruluşlar, hem de çevrelerindeki ortam açısından son derece önemli hale gelmiştir.

Amerika'ya ait verileri yansıtan Şekil 2.3, atmosfere yayılan yıllık VOC miktarlarını diğer gazlarla karşılaştırmalı olarak göstermektedir.



Şekil 2.3. Bazı kirletici bileşen emisyon hızlarının 1970 ve 1995 yılları için karşılaştırılması [4]

ABD’de uçucu organik bileşik emisyonlarının yıllara bağlı değişimi (1984-1993) Şekil 2.4.’de gösterilmiştir. Şekil 2.3, Şekil 2.4 ile birlikte değerlendirildiğinde, son yıllarda uçucu organik bileşiklere verilen önemin artması sonucu, emisyon azaltmaya yönelik çalışmalarla trafikten kaynaklanan uçucu organik bileşik emisyonlarında belirgin bir düşüş olduğu; ancak, endüstriyel proseslerde uçucu organik bileşik emisyonlarının artma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır [12].



Şekil 2.4. VOC emisyonlarının yıllara bağlı değişimi [12]

### 3. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN KAYNAKLARI

Uçucu organik bileşik emisyonları aşağıda gösterildiği şekilde, temel olarak doğal kaynaklardan [2, 13-16] ve antropojenik kaynaklardan [3, 5, 14] açığa çıkmaktadır.

#### I. Doğal Kaynaklar

- A. Ormanlar
- B. Tarım arazileri
- C. Kırsal alan ve tundralar

#### II. Antropojenik Kaynaklar

- A. Motorlu taşıt araçları
- B. Sabit kaynaklarda fosil yakıt kullanımı
- C. Endüstriyel işlemler
- D. Düzensiz katı atık depolama alanları
- E. Belediye kanalizasyon sistemleri
- F. Atık su arıtma tesisleri
- G. Tüketici ürünlerinin kullanımı
  - ◆ Yapı ve mobilya materyalleri
  - ◆ Temizlik ürünleri
  - ◆ Boyalar
  - ◆ Yapıştırıcılar
  - ◆ Kozmetik ürünleri
- H. Kapalı ortamda insan aktiviteleri
  - ◆ Yemek pişirme
  - ◆ Temizlik
  - ◆ Sigara içilmesi
  - ◆ Yapıların restore edilmesi

### 3.1. Doğal Kaynaklar (Biyojenik hidrokarbonlar)

Ağaçlar ve diğer bitki örtüsünden atmosfere organik bileşiklerin yayıldığı yıllardır bilinmekle beraber, yapraklar yoluyla doğal olarak ortaya çıkan uçucu organik bileşik (VOC) emisyonlarının dünya atmosfer kimyası üzerinde önemli derecede etkiye sahip olabileceği 1960 yılında ortaya konmuştur [3]. Bu çalışmadan itibaren, tarımsal ürünler ve seçilmiş ağaç türleriyle ilişkili emisyon çalışmalarında, doğal VOC'lar, bunların emisyon hızları, dağılımları ve atmosferdeki yükseltgenme ürünleri araştırılmaktadır.

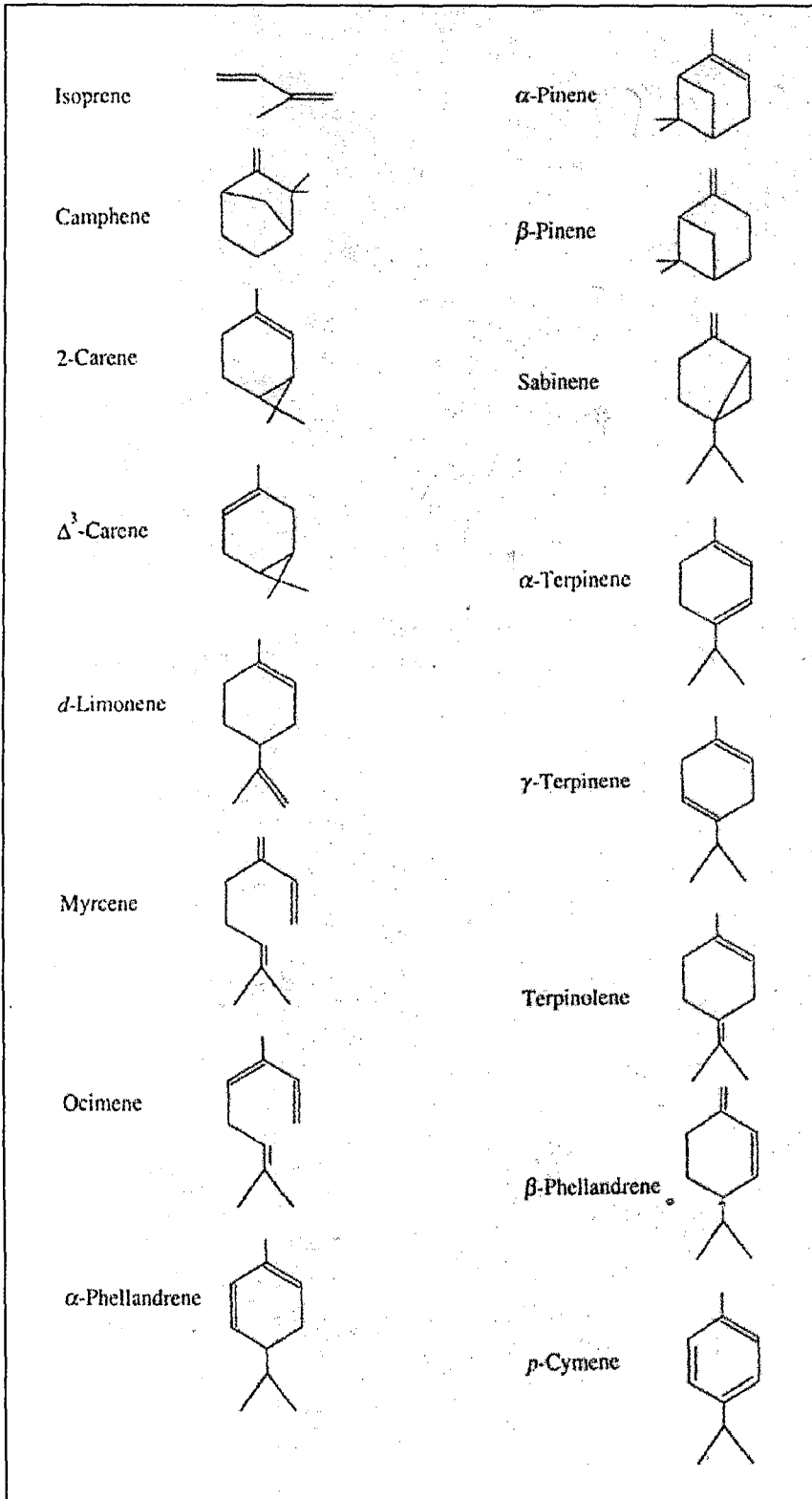
Çizelge 3.1, yaygın biyojenik hidrokarbonların bazılarının kimyasal yapılarını göstermektedir. Bu bileşiklerin her biri, molekülün atmosferde yüksek derecede reaktif olmasını sağlayan çift (olefinik) bağa sahiptir.

Bitki örtüsü tarafından salınan VOC kütlesinin yarısından fazlasını oluşturan  $\alpha$  ve  $\beta$  pinen, kozalaklı ağaçlar tarafından, izopren bileşikleri ise yaprağını döken ağaçlar tarafından salınmaktadır [3, 15].

Bitkide fotosentetik aktivite ile ilişkili olarak ortaya çıkan tek biyojenik hidrokarbon olan izopren (2-metil-1,3-bütadien,  $C_5H_8$ ) emisyonları, fotosentez, fotorespirasyon veya her ikisinin yan ürününe bağımlı bir tür olarak meydana gelmektedir. Sıcaklık arttıkça emisyon hızında bir artış gözlenir. Bu durumun tersine, terpenoid emisyonları, reçine ve yaprak yağlarında mevcut terpenoid bileşiklerinin miktarı ve buhar basıncı ile ilişkili biyofiziksel süreçlere bağlı olarak oluşmaktadır. Emisyonlar tam olarak ışığa bağlı olmamakla birlikte (gecede devam eder), ortam sıcaklığına göre değişir. Doğal izopren ve terpenoid emisyonlarının sıcaklığa bağımlılıkları, bitkilerin büyüme sezonları içinde biyojenik VOC'ların üretim hızlarında çok büyük değişimlere neden olabilir. Bazı emisyon verilerinin analizi, dış çevre koşullarında sıcaklık  $25^{\circ}C$ 'den  $35^{\circ}C$ 'ye yükseldiğinde yapraklı ağaçlardan salınan izopren emisyon hızının 4 faktör, kozalaklı ağaçlardan yayılan terpen emisyonunun 1,5 faktör yükseldiğini göstermiştir [3]. Buradan, diğer tüm faktörler eşit olduğunda, doğal VOC emisyonun, sıcak yaz günlerinde en yüksek seviyeye ulaştığı sonucunu çıkarmak mümkündür.

Çizelge 3.2'de bazı biyojenik VOC bileşiklerinin kaynağa bağlı emisyon seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bitki örtüsü tarafından yayılan organik bileşikler [3]



Çizelge 3.2. Biyojenik VOC emisyon hızlarının ( $Tg\text{ yıl}^{-1}$ )<sup>a</sup> bileşik sınıfı ve kaynağına bağlılığı [3]

Kaynak	İzopren	Monoterpenler	ORVOC <sup>b</sup>	Toplam VOC
Ormanlar	372	95	177	821
Ekinler	24	6	45	120
Çalılar	103	25	33	194
Okyanus	0	0	2,5	5
Diğer	4	1	2	9
<b>Toplam</b>	<b>503</b>	<b>127</b>	<b>260</b>	<b>1150</b>

(a)  $1\ Tg = 10^{12}\ g$

(b) Diğer reaktif biyojenik VOC'lar (ORVOC)

Her bir bitki türünden kaynaklanan biyojenik hidrokarbon emisyon hızları, küçük bitki ve dalları kapalı bir alan içine koyarak salınan bileşiklerin birikiminin ölçülmesi yöntemiyle hesaplanır. Emisyon miktarının bir alan için belirlenmesi istendiğinde, biyokütle yoğunluk faktörleri, çalışılan alana ait veriler, coğrafik bölge ölçeğinde ışık etkileri ve sıcaklık için hesaplanan ampirik algoritma kullanılarak hesaplama yapılır. Her bir bitki türünün emisyon hızlarını ( $mgg^{-1}dk^{-1}$ ) emisyon akısına ( $mg\ m^{-2}dk^{-1}$ ) çevirmek için biyokütle yoğunluğuna ( $gm^{-2}$ ) ihtiyaç duyulur. Toplam emisyonu elde etmek için, bitki örtüsü alanı ( $m^2$ ) emisyon akıları ile çarpılır [3].

Biyojenik VOC hesaplamaları, ölçüm ve analiz yöntemiyle yapılabileceği gibi çeşitli emisyon modelleri kullanılarak da yapılabilmektedir. En çok kullanılan iki biyojenik emisyon modeli, EPA tarafından geliştirilen UAM-BEIS2 ve PC-BEIS2 modelleridir [13]. Bu modeller, çalışma alanı verileri ve bölgedeki VOC kaynaklarına ait veriler girilerek çalıştırılır.

Lewis et al. [13]'a göre, biyojenik VOC emisyonları, toplam VOC emisyonlarının %10'undan daha az bir kısmını oluşturmakta; çalışmanın yapıldığı bölge ve zaman dilimi ile, çeşitli çevre koşulları (sıcaklık, nem, büyüme döngüsü) çalışma sonuçları üzerinde etkili olmaktadır. Global ölçekte en fazla biyojenik hidrokarbon emisyonunun tropikal alanlardan oluştuğunu (yüksek sıcaklık ve geniş biyokütle yoğunluğu nedeniyle) belirten bir kaynağa [3] göre ise, bu ölçekte biyojenik hidrokarbon emisyonları antropojenik hidrokarbon emisyonlarını fazlaca aşmaktadır. Oysa, Guenther et al. [15], yine global ölçekte doğal NO ve CO emisyonları gibi NMVOC emisyonlarının da antropojenik emisyonlar seviyesinde veya daha fazla olabildiğini hesaplamış, ayrıca antropojenik emisyonların daha çok şehirleşmiş bölgelerde yoğunlaştığını belirtmiştir.

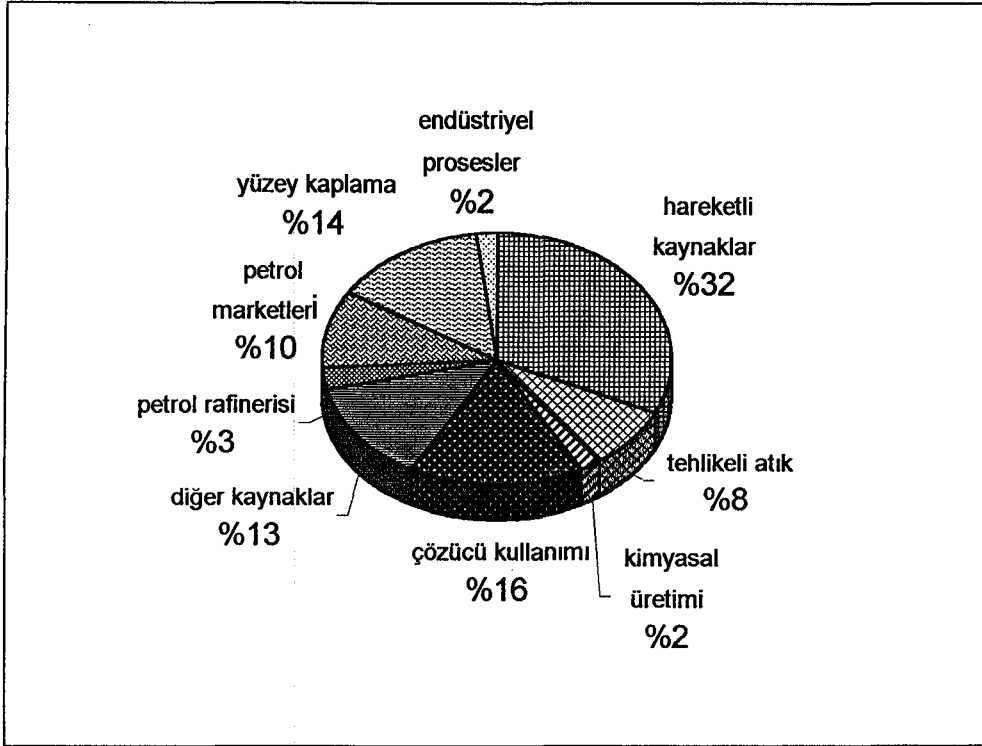
### 3.2. Antropojenik Kaynaklar

Uçucu organik bileşiklerin miktar ve çeşitlilik açısından en önemli bölümü antropojenik kaynaklardan oluşmaktadır. Çizelge 3.3, bazı önemli antropojenik kaynaklardan ortaya çıkan uçucu organik bileşiklerin çeşitliliğini yansıtmaktadır.

Çizelge 3.3. Uçucu organik bileşik emisyonlarının kaynakları

Kaynaklar	Bileşen	
<b>HAREKETLİ KAYNAKLAR (Motorlu taşıtlar) [3, 6, 17-19]</b>		
Egzoz gazları Benzinin buharlaşması	Alifatik ve aromatik hidrokarbonlar	
<b>SABİT KAYNAKLAR</b>		
Endüstriyel kaynaklar [9, 12, 20-22]		
Plastik ve tekstil endüstrileri	İplik, selüloz lif üretimi, çözücü kullanımı	Formaldehit, sitrol
Gıda endüstrisi	Baharat fabrikaları Et ekstresi üretimi Konserve et fabrikaları Nişasta fabrikaları Kahve ve kakao kavurma tesisleri Malt fabrikaları Bira fabrikaları Tütsüleme Balık unu Kemik işleme İçyağı eritme tesisleri	Hidrokarbonlar, Klorlu VOC'lar, Amonyak bileşikleri, Aromatikler, Aminler, Aldehitler, Merkaptanlar, Organik asitler, Tetrakloretilen
Fosil yakıt kullanımı	Evsel ve endüstriyel ısınma [22] Termik santraller [23] Rafineriler Benzin depolama ve doldurma [6, 17] Gaz dağıtma sistemleri	Hidrokarbonlar, Klorlu VOC'lar, Aromatikler
Atık yönetimi	Katı atık depolama alanları [24] Belediye kanalizasyon sistemleri [25] Atıksu arıtma tesisleri [26, 27] İnsineratörler [28, 29] Kompostlama [30]	Hidrokarbonlar, Klorlu VOC'lar, Aromatikler, Amonyak bileşikleri, Aldehitler, Dioksin/furan
Hayvan besi çiftlikleri [12]	Çiftlik hayvanları yetiştirilmesi	
Kapalı ortamlarda gerçekleşen faaliyetler [7, 31, 32]	Tüketici ürünleri (boya, yapıştırıcı, kozmetikler, bina/duvar kaplamaları, mobilyalar) kullanımı  İnsan aktiviteleri (yemek pişirmek, temizlik v.b)	Aromatikler, Alifatik hidrokarbonlar, Klorlu hidrokarbonlar, Alkoller, Aldehitler, Glikol ve glikol eter, Esterler

Şekil 3.1’de, Amerika’daki bazı antropojenik VOC kaynaklarının emisyon payları görülmektedir. Buna göre VOC emisyonlarının en önemli kaynağını %32’lik payla hareketli kaynaklar oluşturmaktadır. Diğer önemli bir kaynak ise, %16’lık oranla, çözücü kullanımıdır.



Şekil 3.1. VOC emisyonlarının kaynakları [9]

Çizelge 3.4’de, Amerika’da çeşitli kaynaklardan açığa çıkan VOC emisyonlarının yıllar itibariyle değişimi, Çizelge 3.5’de ise 1985 yılında Almanya’nın Baden-Wuettenberg yöresinde ölçümlerle belirlenmiş olan yıllık emisyonlar verilmiştir. Bu sonuçlara göre de VOC emisyonlarının en önemli kaynağının taşıt araçlarından çıkan egzoz gazları olduğu ve çözücü kullanımının da önemli miktarlarda VOC emisyonları açığa çıkardığı görülmektedir.

Çizelge 3.4. Amerika'nın uçucu organik bileşik emisyonları ( $\times 10^6$  ton/yıl) [22]

Kaynak	1970	1977	1980	1983	1985
<b>Ulaşım</b>					
Otomobiller	11,1	8,7	6,9	6,1	6,0
Uçak	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Tren	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Gemi	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Diğer	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
<b>Toplam ulaşım</b>	<b>11,5</b>	<b>10,0</b>	<b>8,2</b>	<b>7,3</b>	<b>7,2</b>
<b>Sabit kaynaklarda yakıt kullanımı</b>					
Endüstriyel	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Ticari	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evsel	0,9	1,2	2,0	2,4	2,4
<b>Yakıt kullanımı toplam</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>2,2</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>
<b>Endüstriyel işlemler</b>	<b>8,6</b>	<b>9,1</b>	<b>9,0</b>	<b>7,7</b>	<b>8,6</b>
<b>Katı atık giderimi</b>					
İnsinerasyon	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
Açıkta yakma	1,3	0,4	0,3	0,3	0,3
<b>Katı atık giderimi toplam</b>	<b>1,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
<b>Diğer</b>					
Orman yangını	0,7	0,9	0,9	1,0	0,6
Diğer yakma işlemleri	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Çeşitli organik yanma olayları	2,3	1,9	1,9	1,6	1,6
<b>Diğer toplam</b>	<b>3,3</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>2,3</b>
<b>Tüm kaynakların toplamı</b>	<b>27,2</b>	<b>24,0</b>	<b>22,8</b>	<b>20,8</b>	<b>21,3</b>

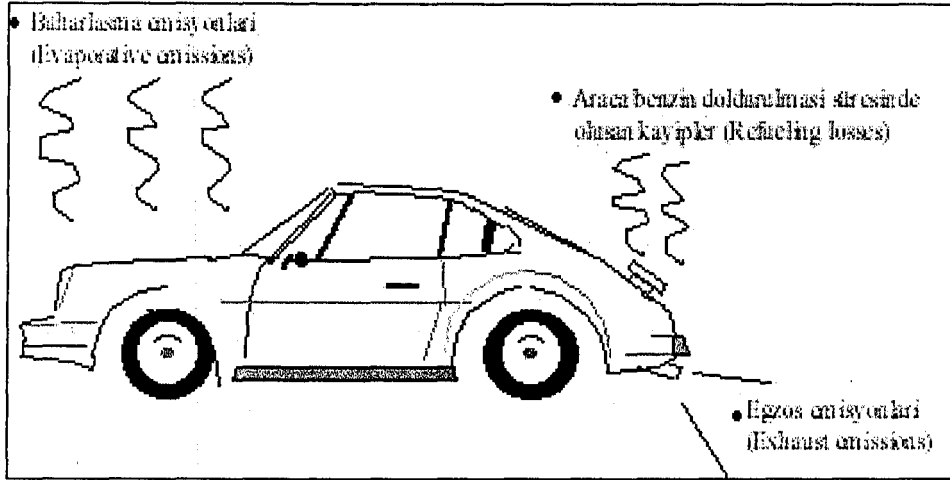
Çizelge 3.5. Baden-Wuerttemberg'de (Almanya) ölçülmüş olan VOC emisyonlarının kaynak türüne bağımlılığı [12]

Kaynak	VOC emisyonları kt/yıl *
Fırınlr	15
Egzoz gazları	153
Benzinin buharlaşması	38
Rafineriler	5
Benzin depolama ve doldurma	13
Çözücü kullanımı	114
Gaz dağıtım ağı	26
Çöplükler	10
Hayvan besi çiftlikleri	70
Ormanlar	48
<b>Toplam</b>	<b>474</b>

(\*) 1 kt= $10^3$  ton

### 3.2.1. Motorlu taşıt araçları

Motorlu araçlardan salınan uçucu organik bileşikler, temel olarak, benzinin eksik yanması sonucu oluşan egzoz emisyonları (hidrokarbonlar ve aldehitler gibi oksijen içeren kısmen yanmış bileşikler) ve benzinin buharlaşması sonucu açığa çıkan emisyonlardan (Şekil 3.2) meydana gelmektedir.



Şekil 3.2. Motorlu araçlardan kaynaklanan emisyonlar [6]

Motorun dizaynı, işletme sıcaklığı, hava-yakıt oranı (A/F), yakıt sisteminde tortuların bulunması, motor koşulları ve ateşleme/yanma ekipmanları, egzoz gazından kaynaklanan VOC emisyonlarının miktarını etkileyen faktörlerdir [17]. Bunların herhangi birindeki aksaklık VOC emisyonlarının normalden çok daha yüksek olmasına yol açar.

1990 yılında EPA tarafından yapılan hesaplamalara göre [17], benzinli araçlardan salınan VOC emisyonlarının yarısından fazlasını, yakıtın buharlaşması yoluyla yayılan emisyonlar oluşturmaktadır. Bu emisyonlar, egzoz emisyonlarından oldukça farklı olarak, yanma ürünleri içermeyen ve bileşimlerinde benzinin içindeki en düşük kaynama noktasına sahip bileşikleri bulunduran emisyonlardır.

Benzin buharları, aracın belirli noktalarından (yakıt deposu, karbüratör ve iç manifoldlar gibi) çeşitli mekanizmalarla kaçar [3]. Bu mekanizmalar aşağıda kısaca açıklanmıştır [6]:

*Araç motorunun kapatılmasından hemen sonra oluşan sıcak kayıplar (hot-soak emissions);* Sıcak motor kapandıktan sonra, motor ve egzoz sisteminden kaynaklanan ısı, çalışmayan sistemde yakıtın sıcaklığını yükseltir ve buharlaşmaya sebep olur.

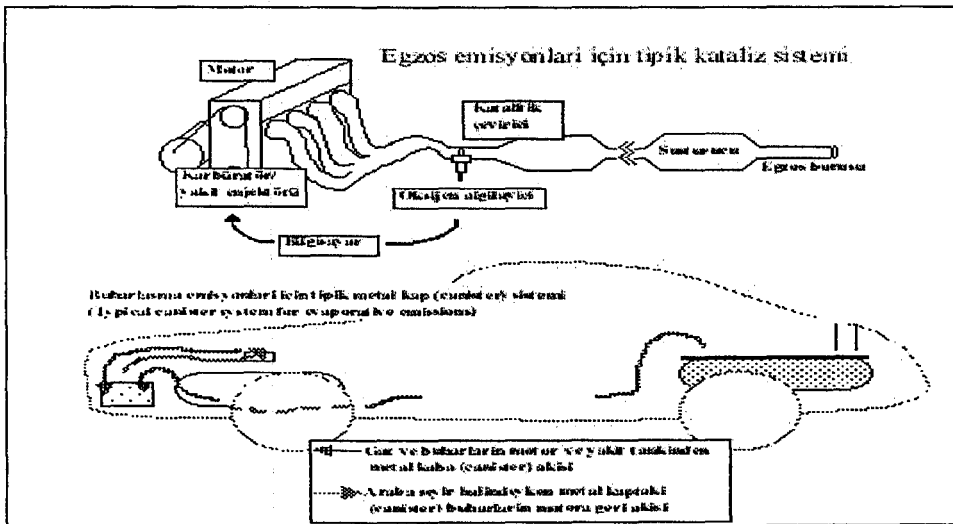
*Aracın çalışması sırasında meydana gelen kayıplar (running losses);* Aracın çalıştırılması süresince yakıt sisteminde oluşan buharların dışarı sızması ile meydana gelen emisyonlardır. Bu emisyonlar, ortam sıcaklıklarının yüksek olduğu durumlarda önem taşır.

*Aracın çalıştırılmadığı koşullarda dahi gerçekleşen kayıplar (restring losses);* Aracın çalıştırılmadığı durumda da çeşitli noktalardan difüzyon ve sızma yoluyla kayıplar meydana gelir.

*Araca benzin doldurulması süresinde oluşan kayıplar (refueling losses);* Benzin deposunun dolumu sırasında yakıtın uçuculuğuna ve sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen emisyonlardır. Bu yolla yakıtın litresi başına 1-2 g hidrokarbon açığa çıkar.

Buharlaştırma yoluyla yayılan VOC emisyonlarının miktarını etkileyen faktörler, yakıt sistemi tasarımı, araç ve motor parçalarının sızdırmazlık özellikleri açısından bütünlüğü (component integrity), dış çevre sıcaklığı ve benzin buhar basıncıdır [17].

Şekil 3.3, motorlu araçlardan meydana gelen emisyonları önleyici kontrol mekanizmalarını göstermektedir.



Şekil 3.3. Otomobilden kaynaklanan emisyonlar için kontrol yöntemleri [6]

Motorlu araçların çalıştırılmaya başlatılması (cold start) ve kullanımı (road way) sırasında ve ayrıca, taşıt durdurulduktan hemen sonra (hot-soak) oluşan VOC emisyonlarını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada [18]:

- a. C<sub>5</sub> ve C<sub>6</sub> hidrokarbonlarının yüksek derişimlerde olduğu;
- b. garaj ve tünellerdeki emisyonlara kıyasla cadde emisyonlarında eten ve benzen derişimlerinin daha yüksek seviyelerde bulunduğu;
- c. aracın çalıştırılmaya başlatılması (cold start) sırasında ve araç durdurulduktan hemen sonra (hot soak) oluşan emisyonlardaki C<sub>9</sub>-C<sub>12</sub> doymuş hidrokarbon miktarlarının, egzoz gazı emisyonlarından daha fazla olduğu;
- d. çalışmada incelenen araç türleri içinde motorsikletlerin egzoz gazı emisyonlarındaki C<sub>5</sub>-C<sub>8</sub> hidrokarbon içeriğinin en yüksek seviyede seyrettiği;
- e. a-d şıklarında belirtilen veri ve bulguların Mısır ve Amerika açısından farklılıklar gösterdiği

tespit edilmiştir.

Literatürde rastlanan diğeri bir çalışmaya göre [19], motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar günün saatlerine ve mevsimlere göre değışimler göstermektedir. Gün içinde en yüksek emisyon değerleri, taşıt yoğunluğunun en fazla olduğu sabah ve akşam saatlerinde (09:00 ve 17:00) görölmektedir. VOC derişimleri ortam sıcaklığı ile artmakla birlikte, emisyonlar, kış aylarında, yaz ve ilkbahar aylarına göre daha yüksektir. Zira, kış aylarında atmosferde dispersiyon olayı daha azdır ve VOC'ların fotokimyasal yolla atmosferden kayıpları, günlerin kısalması ve güneş yoğunluğunun daha az olması sebebiyle yavaşlamaktadır. Kış mevsiminde motorlu araçlar, motor sıcaklığının düşük olması sebebiyle, daha fazla VOC yayarlar.

EPA tarafından çeşitli şehirlerde yapılan araştırmalara göre, motorlu araçlar VOC emisyonlarının %35'inden sorumludur. Michigan'da [33] ise bu oran %48'dir. Bu sonuçlara göre, motorlu araçlardan kaynaklanan VOC emisyonlarının, toplam VOC emisyonlarının üçte birinden fazlasına sebep olduğu görölmekte; Çizelge 3.6'da da göröldüğü gibi ulaşım, dünya ölçeğinde VOC emisyonlarının en büyük kaynağını oluşturmaktadır [3].

Çizelge 3.6. Antropojenik NMVOC'ların emisyonları [3]

Aktivite	Emisyon(Tg/yıl)
<b>YAKIT ÜRETİMİ/DAĞITIMI</b>	
Petrol	8
Doğal gaz	2
Petrol rafinerisi	5
Benzin dağıtımı	2,5
<b>YAKIT TÜKETİMİ</b>	
Kömür	3,5
Odun	25
Tarımsal ürün kalıntıları	14,5
Odun kömürü	2,5
Gübre	3
Ulaşım	36
Atıkların kontrol edilmeden yakılması	8
<b>KİMYA ENDÜSTRİSİ</b>	2
<b>ÇÖZÜCÜ KULLANIMI</b>	20
<b>DİĞER</b>	10
<b>Toplam</b>	<b>142</b>

### 3.2.2. Endüstriyel kaynaklar

Çeşitli endüstrilerde kullanılan proseslere bağlı olarak işlem sırasında doğrudan veya kaçak olarak VOC emisyonları ortaya çıkmaktadır. Amerika'daki bazı endüstrilerden oluşan VOC emisyonu miktarları Çizelge 3.7'de verilmektedir.

Çizelge 3.7.Çeşitli endüstrilerden açığa çıkan VOC emisyonları ( $\times 10^3$  ton/yıl) [22]

Kaynak	1970	1977	1980	1983	1985
Ham yağ üretimi (depolama ve transfer)	550	560	560	530	540
Yiyecek ve içecek üretimi	190	170	170	180	160
Tekstil	10	20	20	10	10
Matbaa	290	290	340	270	330
Plastik üretimi	350	380	430	380	440
Organik kimyasal üretimi	550	810	760	730	780
Diğer kimyasalların üretimi	620	600	570	540	520
Petrol rafinerisi	720	940	970	810	750
Lastik üretimi	50	60	40	50	50
Demir ve çelik üretimi	110	90	80	40	50
Petrol ürünleri depolama ve taşıma	1580	1820	1540	1400	1420
Kuru temizleme	240	260	290	220	220
Yapıştırıcı üretimi	50	50	50	40	50
Yağ çözücü üretimi	640	490	510	410	490
Çözücü sıyırma işlemleri	40	40	40	40	40
Yüzey kaplama	2390	2190	2320	1770	2440
Diğer çözücü kullanımları	270	290	290	260	280
<b>Toplam</b>	<b>8650</b>	<b>9060</b>	<b>8980</b>	<b>7680</b>	<b>8570</b>

### 3.2.3. Sabit kaynaklarda fosil yakıt kullanımı

Sabit kaynaklarda fosil yakıt kullanılması sonucu VOC emisyonları açığa çıkmaktadır. Amerika'da EPA tarafından gerçekleştirilen araştırma sonuçları ve VOC emisyonlarının yıllar itibariyle değişimi Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Sabit kaynaklarda fosil yakıt kullanılması sonucu açığa çıkan VOC emisyonları ( $\times 10^3$  ton/yıl) [22]

Kaynak	1970	1977	1980	1983	1985
<b>Kömür</b>					
Termik santral	20	20	30	30	30
Endüstriyel	4	2	2	3	3
Ticari	1	1	1	1	1
Evsel	55	14	10	10	10
<b>Toplam kömür</b>	<b>80</b>	<b>37</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>44</b>
<b>Fuel-oil</b>					
Termik santral	7	20	8	4	3
Endüstriyel	4	6	3	2	2
Ticari	4	3	3	2	2
Evsel	4	4	3	2	2
<b>Toplam fuel-oil</b>	<b>19</b>	<b>33</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>9</b>
<b>Doğal gaz</b>					
Termik santral	5	4	4	3	4
Endüstriyel	70	70	50	50	50
Ticari	6	6	6	6	6
Evsel	12	12	11	10	10
<b>Toplam doğal gaz</b>	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>71</b>	<b>69</b>	<b>70</b>
<b>Odun</b>					
Endüstriyel	50	70	70	70	70
Evsel	860	1160	1970	2350	2410
<b>Toplam odun</b>	<b>910</b>	<b>1230</b>	<b>2040</b>	<b>2420</b>	<b>2480</b>
<b>Diğer yakıtlar</b>					
Endüstriyel	7	9	10	7	9
Evsel	2	2	1	1	2
<b>Toplam diğer yakıtlar</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>11</b>
<b>Toplam yakıt kullanımı</b>	<b>1111</b>	<b>1403</b>	<b>2182</b>	<b>2551</b>	<b>2614</b>

### 3.2.4. Düzensiz atık depolama alanları

Metan ve metan dışı organik maddelerin (NMOC) bir kısmı, katı atıkların bertaraf edildiği çöp depolama alanlarından kaynaklanmaktadır. Çöp depolama alanından kaynaklanan gaz (LFG) içinde toksik veya yüksek derişimlerde kanserojen olan 100'den fazla VOC bileşeni (vinil klorür, benzen, toluen, tetrakloreten, ksilen, ve etil merkaptan) belirlenmiştir [11]. Bu bileşiklerin bazıları, solunmasına izin verilen seviyelerin üzerinde bulunmuştur [24].

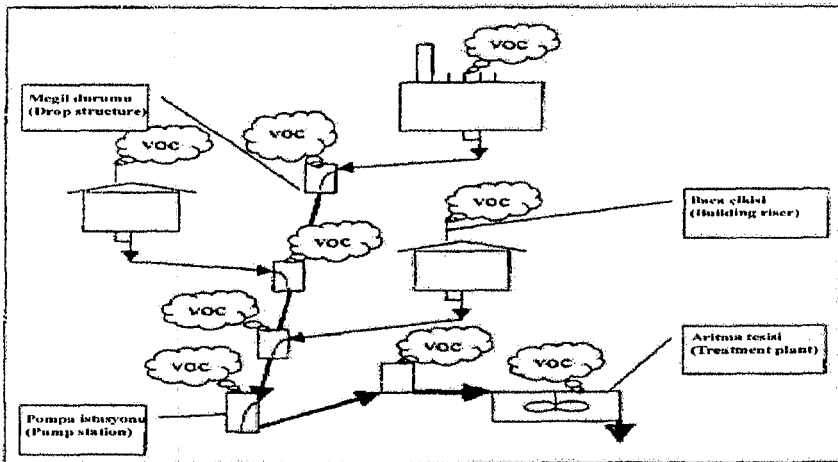
Çöp depolama alanlarından kaynaklanan VOC'ları belirleyebilmek amacıyla ölçüm ve analiz yapılabileceği gibi, alana özel verilerin eşliğinde emisyon modelleri de kullanılabilir [11].

### 3.2.5. Belediye kanalizasyon sistemleri

Endüstriyel, ticari ve evsel faaliyetlerden kaynaklanan atık suların toplanıp, boru hatları ile bir alıcı ortamda veya bir atıksu arıtma tesisinde sonlandırıldığı kanalizasyon sistemlerindeki atıksular, organik bileşikler açısından oldukça zengindir. Ancak, günümüzde kanalizasyon sistemlerinden kaynaklanan VOC emisyonlarıyla ilgili bilgi çok sınırlıdır. Bunun sebebi şu şekillerde açıklanabilir [25]:

- Atıksu toplama sistemlerinin karmaşıklığı ve boyutunun çok büyük olması.
- Kanalizasyon sistemleri için uygun emisyon modellerinin bulunmaması.
- VOC bileşiklerinin kanalizasyona deşarj oranlarının bilinmemesi.

VOC emisyonları, sıvı-gaz kütle transfer oranı ve dış ortamla kanalizasyon arasındaki hava değişim hızı oranı tarafından kontrol edilir [25]. Belediye kanalizasyonu şehir alanı boyunca dağılmıştır ve hemen hemen her toplama sistemi, atıksu ile dış ortam arasında kütle transferini sağlayacak binlerce boru, çok sayıda birleşme noktası ve menhol kapakları, hava delikleri gibi birçok sayıda havalandırma noktası içermektedir. Şekil 3.4'de gösterildiği gibi, HAP ve VOC emisyonları bu ağın çok çeşitli noktalarından kaynaklanabilmektedir.



Şekil 3.4. Kanalizasyon sisteminde VOC emisyon noktalarının dağılımı [25]

### 3.2.6. Atıksu arıtma tesisleri

Atıksu toplama, arıtma ve depolama sistemleri de önemli VOC kaynaklarıdır. Sıvı fazdaki organik bileşiklerin difüzyon veya konveksiyon yoluyla (veya her iki mekanizmanın birlikte etkisiyle) buharlaşması sonucunda, uçucu organik bileşikler atmosfere salınır [11, 26]. Difüzyon, su yüzeyindeki organik madde derişiminin, atmosferde bulunan derişimden daha yüksek olması durumunda oluşur. Organik maddeler, sıvı ve gaz fazı derişimleri dengeye ulaşana kadar buharlaşır. Konveksiyon, su yüzeyi üzerindeki hava akımının su yüzeyinden organik buharları süpürmesi yoluyla oluşur. Buharlaşma hızı, su yüzeyi üzerindeki hava akış hızıyla doğrudan ilişkilidir.

Bir atıksu arıtma tesisinde VOC emisyonlarının açığa çıktığı en önemli birimler; havalandırma tankları, durultucu yüzeyleri ve kum tutucularıdır.

Buharlaşmayı etkileyen faktörler, atıksu yüzey alanı, sıcaklık, türbülans, atıksuyun sistemde kalış süresi, atıksuda bulunan organik madde derişimi, bu maddelerin uçuculuk, suda difüzyon gibi fiziksel özellikleri, buharlaşmayı engelleyebilecek mekanizmaların varlığı (örneğin su yüzeyinde yağ-film tabakasının bulunması) ve biyolojik ayrışma gibi mekanizmalardır [11, 26].

Atıksu toplama, arıtma ve depolama birimlerinin dizaynı tesislere özeldir. Atıksu VOC emisyonları, tesise ait gerçek analizlerin yapılmasıyla veya emisyon modelleri kullanılarak bulunabilir [26]. Emisyon modellerinde, mümkün olduğu kadar tesise özel bilgi ve verilerin kullanılması tercih edilir. Elde veri mevcut olmadığı durumlarda genelleme ve varsayımlar yapılabilir.

### 3.2.7. Kapalı ortam VOC kaynakları

Kapalı ortam havasında 900'den fazla (250'si 1 ppb'den daha yüksek seviyelerde) çeşitlilikte uçucu organik bileşik saptanmıştır. Bu bileşiklere, yapı ve mobilya malzemeleri, tüketim ürünleri (boyalar, yapıştırıcılar, kozmetik ürünleri vb.), döşemeler, pestisitlerde kullanılan hemen hemen tüm metaryal ve ürünlerde rastlanır. Uçucu organik bileşiklerle kirletilmiş su (özellikle kuyu suyu), duş, banyo, yemek ve diğer ihtiyaçlar için kullanılan bir kapalı ortam kaynağı haline gelebilir. Çizelge 3.9.'da, kapalı ortamlarda bulunabilecek bazı uçucu organik bileşik örnekleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Kapalı ortamlarda en sık rastlanan VOC'lar [7]

BİLEŞİK	KAYNAK VE KULLANIMLARI
Formaldehit	İzolasyon Yanma kaynakları (doğal gaz, kerosen, tütün, otomobil egzozları) Kağıt ürünleri (alış-veriş torbaları, yağlı kağıt, kağıt havlular, kullanıldıktan sonra atılan sıhhi ürünler) Zemin kaplama (kilin, linolyum, cila, plastik), halı destekleri, kalıcı pres tekstiller Plastikler, kozmetikler, deodorantlar, dezenfektanlar, zamlar, yapıştırıcılar, boyalar, mürekkep, fungusitler, gübreler.
Benzen	Plastik ve kauçuk çözücüler, sigara, boyalar, vernikler, cilalar, dolgu materyali, benzin buharları
Toluen	Çözücüler, çözücü bazlı yapıştırıcılar, su bazlı yapıştırıcılar, duvar kağıdı, kalsiyum silikat levha, vinil yer döşemesi, vinil kaplamalı duvar kağıdı, kerosen ısıtıcılar, tütün
Ksilen	Yapıştırıcılar, duvar kağıdı, zemin döşeme, lake, yağ temizleyici, ayakkabı boyası, tütün, kerosen, ısıtıcılar, vernik, emaye ve reçineler için çözücü, kurşunsuz otomobil yakıtları, pestisitler, boyalar, farmasotik
Stiren	Plastikler, boyalar, sentetik kauçuk ve reçineler
Toluendiizosiyanat (TDI)	Poliüretan köpük ve aerosoller
Trikloretan	Boya çözücüler, vernikler, yağ ve vaks, temizleme bileşikleri, ayırma ürünleri, kuru temizleme
Etil benzen	Çözücüler
Metil klorür ( diklormetan )	Boya çıkarıcılar, aerosoller, akustik ofis kısımları
Paradiklorbenzen	Güve kristalleri, oda spreyleri
Benzil klorür Benzal klorür	Bütül benzil fitalatla plastikleştirilmiş vinil briketler
2-bütanon ( MEK )	Yer/duvar karosu, kalsiyum silikat levha, tütün
Petrol distilatları	Temizleme ürünleri, çözücüler, tiner
4-Fenilsikloheksen	Stiren bütadien lateks yan ürünleri

Metilen klorür, 1,1,1-trikloretan, trikloretilen, tetrakloretilen, karbontetraklorür ve 1,1,2-triklortrifloretan bileşiklerinden en az birini içeren tüketim ürünleri, EPA tarafından değerlendirmeye tabi tutularak, 67 ürün sınıfı içinde gruplandırılmış; toplam 1026 çeşit evsel ürün, VOC içermeleri dolayısıyla özel listeye alınmıştır [7]. Bu ürünler arasında bulunan başlıca kimyasallar metilen klorür ve 1,1,1-trikloretandır. Metilen klorür için test edilmiş malzemelerin %34'ünün ve 1,1,1-trikloretan için ise %14'ünün bu maddeleri içermedikleri tespit edilmiştir. Boya çıkarıcıların %78'inde ve aerosol spray boyaların %60'ında metilen klorüre; daktilo yazısı düzeltme sıvıları ve süet koruyucuların çoğunda 1,1,1-trikloretana rastlanmıştır.

Bina yapı malzemelerinden kaynaklanan uçucu organik bileşiklere maruz kalma durumunun da çok yaygın ve değişken olduğu söylenebilir [7]. Bazı kapalı ortamlarda ölçülen VOC derişim seviyelerinin verildiği Çizelge 3.10'a göre, yeni binalardaki (inşaatından veya yenilemeden hemen sonra) uçucu organik bileşik derişimi, eski binalara kıyasla daha yüksek olabilmektedir.

Kapalı ortamlarda kullanılan malzemeler için VOC derişim seviyeleri Çizelge 3.11'de, bazı ev ürünleri için VOC derişimleri ise Çizelge 3.12'de verilmektedir.

Kapalı ortamda bulunabilecek bileşikler ve ayrıca, kapalı ortamdan açık ortama geçiş oranını (I/O) belirleyebilmek üzere yapılan bir çalışmada [31], kapalı ortamlardan ve bu kapalı ortamların yakınında bulunan açık ortamlardan alınan numunelerde (her bir yerden 5 örnek), 8 bileşik (n-hekzan, benzen, heptan, toluen, p- ve o- ksilen, etil benzen, n-dekan) analiz edilmiştir. Analiz sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- ◆ Laboratuvar ortamında n -hekzan derişimi (47,5 ppbv) ve hekzan ve benzenin I/O oranları (sırasıyla 25,2 ve 6,8) yüksektir. Burada yüksek çıkan bileşik miktarı, laboratuvarında çok kullanılan bileşiğe bağlı olabilir.
- ◆ Sigara içilen odalarda (ofislerde), hekzan ve benzen miktarları (sırasıyla 17,4 ve 15,1 ppbv) oldukça fazladır. Bununla birlikte miktarlar, odanın boyutuna, havalandırma hızına, sigara içen insan sayısına ve içilen sigara sayısına bağlı olarak değişmektedir.
- ◆ Yeni restore edilmiş bir kütüphanenin holünde gerçekleştirilen analizlere göre, açık ortama kıyasla daha yüksek toluen (21,6 ppbv) ve p- ksilen (11,2 ppbv) miktarları tespit edilmiştir. Benzen miktarı çok yüksek değildir.
- ◆ Kerosen ocağı kullanılan bir mutfakta yapılan ölçüm sonuçlarına göre, benzen (32,3 ppbv) ve toluen (16,8 ppbv) miktarları oldukça fazladır. Heptan (9,2) ve n-dekan (14,1) için I/O oranı önemli derecede yüksektir.
- ◆ Herhangi bir VOC kaynağı bulunmadığı tahmin edilen bir odada yapılan ölçüm sonuçlarına göre, kapalı ortam ve açık ortam derişimleri birbirine oldukça yakındır.

Çizelge 3.10. Kapalı ortam havasında uçucu organik bileşik derişim seviyeleri [7]

Kirlenici	Derişim ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Minimum	Ortalama	Maksimum
<b>Benzen</b>			
Mutfaklar	6	6	15
Diğer odalar	6	14	18
Dış ortam	4	33	29
<b>Toluen</b>			
Mutfaklar	34	3800 <sup>a</sup>	60
Diğer odalar	17	173 <sup>a</sup>	62
Dış ortam	16	60	35
<b>m-ve p-Ksilen</b>			
Mutfaklar	18	77 <sup>a</sup>	29
Diğer odalar	10	47	21
Dış ortam	4	32	28
<b>Etilbenzen</b>			
Mutfaklar	6	33	15
Diğer odalar	1	22	11
Dış ortam	4	20	13
<b>Değişik tipte binalarda<sup>b</sup></b>			
Benzen	0,4	120	20
Karbonditriklorür	0,5	14	2,5
Trikloretilen	0,3	47	3,6
Kloroform	0,2	200	8
Diklorbenzen	0,2	1200	41
Etilbenzen	0,3	320	13
o-ksilen	0,4	49	7,8
m- ve p- ksilen	0,4	120	21
Stiren	0,1	54	3,1
1,1,1-Trikloretan	0,7	880	50
Tetrakloretilen	0,2	250	10
<b>Okul, konut ve iş yerleri olarak kullanılan binalarda</b>			
n- ve i-Pentanal	10	12	
n-Hekzanal	2	7	
n-Oktanal	1	21	
n-Nonanal	7	50	
m-Dekanal	2,5	17	
Benzaldehit	4	5	
Toluen	13	69	
Yüksek aromatik hidrokarbonlar	14	600	
n-Alkanlar	8	1700	
Klorürlü hidrokarbonlar	4	42	
<b>Yeni binalar (ofis, hastane)</b>			
Toplam VOC'lar		21-1100	
Aromatik hidrokarbonlar		11-270	
Alifatik hidrokarbonlar		4,7-810	
Klorlu hidrokarbonlar		3,9-56	
Oksijenli hidrokarbonlar		ND-9,6	
<b>Eski binalar (ofis, okul)</b>			
Toplam VOC'lar		18-130	
Aromatik hidrokarbonlar		12-74	
Alifatik hidrokarbonlar		1,9-18	
Klorlu hidrokarbonlar		4,7-46	
Oksijenli hidrokarbonlar		ND-4,3	

a: ortalama hesabına katılmamıştır, b: gece örnekleme

Çizelge 3.11. Kapalı ortamlarda bulunan malzemeler için VOC derişim seviyeleri [7]

Bileşik Adı	Derişim( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )							
	Yapıştırıcılar	Kaplama	Kumaşlar	Köpük	Gres yağı	Boya	Kauçuk	Bent
1,2-dikloreten	0,80	-	-	0,75	-	-	-	-
Benzen	0,90	0,60	-	0,7	0,20	0,90	0,10	0,04
Karbondioksit	1,00	-	-	0,18	-	-	4,20	-
Kloroform	0,15	-	0,10	0,04	0,20	-	0,90	0,10
Etilbenzen	-	-	-	-	-	527,8	-	0,13
Limonen	-	-	-	-	-	-	-	-
Metilkloroform	0,40	0,20	0,07	1,00	0,50	-	0,10	1,90
Stiren	0,17	5,20	-	0,02	12,54	33,50	0,15	0,10
Tetrakloretilen	0,60	-	-	65,0	0,60	-	0,20	-
Trikloretilen	0,30	0,09	0,03	0,10	0,10	-	0,07	0,13
Örnek miktarı(n)	98	22	30	68	23	4	90	26

Çizelge 3.12. Bazı tipik ev ürünlerinin kullanıldığı kapalı ortamlarda VOC seviyeleri [7]

Bileşik Adı	Derişim( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
	Kozmetikler	Deodorantlar	Sağlık ve güzellik ürünleri	Elektrik ekipmanları	Ev eşyaları	Kağıt
1,2-dikloreten	-	-	-	0,06	-	-
Benzen	-	-	1,85	0,02	1,10	0,03
Karbondioksit	-	-	-	0,00	0,04	-
Kloroform	-	-	-	0,23	4,85	1,10
Etilbenzen	-	-	-	0,80	-	-
Limonen	-	0,40	1,00	-	1,80	-
Metilkloroform	0,20	-	0,01	0,03	0,19	0,26
Stiren	1,10	0,15	0,17	0,05	0,02	-
Tetrakloretilen	0,71	-	-	0,05	-	0,42
Trikloretilen	1,90	-	0,11	0,01	0,06	0,10
Örnek miktarı(n)	5	9	23	71	23	12

Açık ortam ve kapalı ortam derişimleri arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak üzere yapılan bir başka çalışmada [34], seçilen 43 konutun her biri için, mutfak havasından (kapalı ortam), konutların hemen dışında (açık ortam) ve bu değerleri bir merkez noktasıyla karşılaştırmak üzere konutların arasında kalan bir merkezi noktada örnekleme ve analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Grafikselleştirilmiş ve istatistiksel

(SAS 6.0) değerlendirmeler sonucunda, ölçölen 3 farklı yerde (kapalı ortam, açık ortam ve merkezi nokta) bileşik miktarlarının seviyeleri arasında benzerlik olmadığı tespit edilmiştir. Bölgeler için hazırlanan ikili korelasyonlar, çiftlerin her biri arasında çok az bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bütün örnekleme noktaları için derişim seviyelerinde kapalı ortamdaki açık ortama doğru bir azalma mevcuttur. Gözlemler, derişimlerin, bölgeden bağımsız ve muhtemelen farklı kimyasallardan kaynaklanmakta olduğunu göstermektedir. Çalışma, merkezi bir bölgedeki derişimlerin, dış ortam ve kapalı ortam derişimlerini tahmin etmekte çok sağlıklı bir şekilde kullanılamayacağını ortaya koymaktadır.

Tıbbi çalışmalarda [35], insanların, soluma yoluyla ortama uçucu organik bileşikler (hidrokarbonlar, alkoller, ketonlar ve aldehytleri) verdikleri belirlenmiştir. Sağlıklı bir insanın solukla ortama saldığı temel bileşikler, isopren (12-580 ppb), aseton (1,2-1880 ppb), etanol (13-1000 ppb), metanol (160-2000 ppb) ve diğer bazı alkollerdir. Kişisel sağlık, mesleki maruziyet ve alışkanlıklar (sigara içmek gibi), soluk emisyonlarını önemli şekilde etkilemektedir [35]. Örneğin, mesleki maruziyeti fazla olan bir insanın soluğunda, normal solukta bulunması beklenmeyen klorlu ve aromatik hidrokarbonları da içeren çeşitli bileşikler önemli seviyelerde gözlenmiştir.

Solumadan kaynaklanan bileşiklerin emisyonları, kapalı ortam havasındaki toplam uçucu organik bileşik derişimlerini önemli miktarda etkileyebilmektedir [35]. İnsan kaynaklı VOC emisyonları, global ve bölgesel ölçekte ihmal edilebilir seviyelerde (isopren için %0,03'den, etanol için %0,3'den az) olmasına rağmen, basit kutu modeli hesaplamaları, kalabalık ortamlarda bunların önemli kapalı ortam kaynakları haline gelebileceğini göstermiştir. Örneğin, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip olan (nüfus:  $1,4 \times 10^7$  kişi) Los Angeles'da insanlar toplam metanol emisyonunun %4'ünü, toplam aseton emisyonunun %1'ini, etanol emisyonunun %0,7'sini, isopropanol emisyonunun da %0,6'sını oluşturmaktadır.

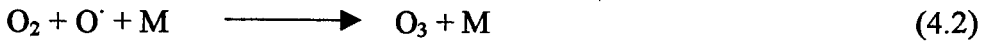
#### 4. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN ETKİLERİ

Uçucu organik bileşiklerin sebep olduğu çevresel etkiler genel olarak aşağıdaki tarzda gruplandırılabilir [4].

- ◆ Fotokimyasal duman-sis ve ozon oluşumu
- ◆ Sera etkisi
- ◆ Ozon tabakasının incilmesi
- ◆ Canlılara (insan, hayvan ve bitki sağlığına) etkiler
- ◆ Ekolojik etkiler
- ◆ Yer altı suyu kirliliği

##### 4.1. Fotokimyasal Duman-sis (photochemical smog) ve Ozon Oluşumu

Ozon, oksijen molekülünün ( $O_2$ ) güneşten gelen mor ötesi (UV) ışınlar tarafından atmosferde parçalanması sonucu oluşan kararsız oksijen radikallerinin, katalitik etkiyle (M) tekrar oksijen molekülleriyle tepkimesi sonucunda oluşur [36].



Üst atmosferde (stratosfer) ve alt atmosferde (troposfer) doğal olarak bulunan ozon, çevresel etkiler ve insan sağlığı ile ilişkileri açısından hem olumlu hem de olumsuz özelliklere sahiptir. Stratosfer ozonu insanları, güneşten gelen radyasyondan korur; alt atmosferde ise istenmeyen çevresel etkilere ve insanlar üzerinde negatif sağlık etkilerine sebep olur [2].

Ozon oluşumuna katkıda bulunan en önemli bileşik gruplarından biri de VOC'lardır. Ozon oluşumuna katkıları açısından önem taşıyan VOC türleri arasında asetilen, etan, pentan, 4-metil-1-pentan, cis-2-hekzen, metil siklohekzan, toluen, 1,3,5-trimetil benzen, beta pinen sayılabilir [37].

VOC'ların azot oksitler ( $NO_x$ ) ile güneş ışığı etkisi altında gerçekleştirdiği zincirleme reaksiyonlar sonucunda, birisi ozon ( $O_3$ ) diğeri aerosoller olmak üzere iki temel yan ürün oluşur. Fotokimyasal duman-sis (smog) olarak bilinen bu süreç, şehir merkezlerinde ve kırsal bölgelerde yasal sınır değerlerin aşılmasına sebep olur [38].

Amerika'da, Ulusal Dış Ortam Hava Kalitesi Standartlarına (NAAQS) göre ozon için beklenen maksimum saatlik ortalama değer 0,12 ppm'dir. Yapılan monitorlama çalışmalarına göre bu değer, 100 milyonun üzerinde insanın yaşamakta olduğu 60'dan fazla sayıda bölgede aşılmaktadır. Bu bölgelerde ozona maruziyet, insanların solunum sistemini etkilemektedir. Ciğerlerde iltihaplanma, solunumda zayıflama, solunum kapasitesinde azalma, öksürme, göğüs ağrıları, bulantı ve solunum organlarında tahrişe sebep olmaktadır. Çocuklar ve yaşlılar, ozona maruziyete karşı, normal sağlıklı yetişkin nüfustan daha hassastırlar [39]. Bunun yanında ozonun materyaller, bitkiler, hayvanlar ve ekosistem üzerinde de etkileri olduğu bilinmektedir [40].

#### 4.2. Sera Etkisi

Yeryüzüne gelen güneş ışınlarının büyük bir kısmı yüzeyden yansır. Yüksek enerjili (kısa dalga boylu) güneş enerjisi yeryüzüne çarpınca, daha düşük enerjili (uzun dalga boylu) ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı enerjisinin bir kısmı atmosferdeki CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>O tarafından emilir ve geri kalanı atmosfere geri yansır. Anılan gazlar, uzun dalga boylu ışınımı tutarak atmosfer sıcaklığının artmasına yol açar. Bu gazların atmosferde bulunmamaları durumunda Dünya'nın, Mars gibi, soğuk ve hiçbir canlının yaşamadığı bir gezegen olacağı ve dünyada bugünkü anlamıyla bir yaşamdan bahsedilemeyeceği düşünülmektedir. Sera gazı miktarlarının artması durumunda ise, ortam sıcaklığında artış ve buna bağlı olumsuz çevresel etkiler beklenmektedir [41].

Sera etkisi gösteren gazların en önemlilerinden sayılan CH<sub>4</sub> ve kloroflorokarbonlar (CFC'ler), VOC sınıfına girmektedir. Sera etkisine katkısı %15 civarında olan metan, biyokütle yakılması, doğal gaz borularındaki sızıntılar, kömür madenleri, bataklıklar ve hayvan ve bitki artıklarından kaynaklanmaktadır. CFC'ler arasında özellikle CFC-11 ve CFC-12 gazları, sera etkisi yaratması açısından önemlidir. Bunların küresel ısınmaya olan katkıları, diğer CFC'ler ile birlikte %24 civarındadır [41].

### 4.3. Ozon Tabakasının İncelmesi

Özellikle buzdolaplarında, klima ve benzeri soğutma sistemlerinde, spreylerde ve endüstride kullanılan kloroflorokarbonlar (CFC), karbontetraklorür ve metil kloroform gibi maddeler, stratosfer (üst atmosfer) tabakasında UV radyasyonu sonucunda parçalanarak klor atomu vermekte ve oluşan klor atomlarının ozon ile reaksiyonu sonucu stratosferik ozon miktarında azalmaya neden olmaktadır [42].

Ozon tabakasındaki incelme, özellikle dünya yüzeyine ulaşan UV-B radyasyonunda artışa neden olmaktadır. UV-B artışı, deri kanseri, katarakt ve yaşa bağlı körlük vakalarında artışa, doğal ekosistemler (tarım bitkileri, ormanlar) üzerinde büyüme bozukluklarına ve deniz yaşamında olumsuz etkilere sebep olması yönünden oldukça önemlidir.

### 4.4. İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

VOC'lara maruz kalmak, hem kronik hem de akut sağlık etkilerine yol açabilir [7]. Çizelge 4.1 'de bazı VOC bileşiklerinin sağlık etkileri özetlenmiştir

VOC'ların çoğu güçlü uyuşturuculardır ve merkezi sinir sistemi depresyonuna yol açarlar. VOC'lara maruziyet sonucu meydana gelen semptomlar (maruz kalınan doza bağlı olarak); yorulma, baş ağrısı, baş dönmesi, uyuşukluk, zafiyet, mafsalsızlıklar, periferik duygusuzluk ve sızlama, öferi, göğüs daralması, kararsızlık, görmede bulanıklık, cilt tahrişi, gözlerin ve solunum yollarının tahrişi ve kalp atışlarında düzensizliktir [7, 31, 43]. Daha yüksek derişimlerde bu kimyasal maddelerin çoğunun karaciğer ve böbreklere zarar verdiği görülmüştür [43].

VOC maruziyeti ile ortaya çıkan semptomların (*Solvent encephalopathy*) başlıcaları baş ağrısı, sinirlilik ve konsantrasyon bozukluğudur. Bir doz-etki ilişkisi tanımlanmamış olmakla birlikte, bu etkilerin, her bir bileşik için tanımlanan eşik sınır değerlerin altındaki düzeylerde meydana geldiği bilinmektedir. Maruziyet süresi ile maruziyetten sonra septomların ortaya çıkma süresi arasında bir ilişki mevcuttur [7].

Çizelge 4.1. Uçucu organik bileşiklerin insan sağlığı üzerine etkileri [7]

Bileşik	Sağlık Üzerine Etkiler
Formaldehit	Kanserojen Göz ve solunum yolları tahrişi
Benzen	Kanserojen; solunum yolları tahrişi
Ksilen	Uyuşturucu; tahriş edici, kalp, karaciğer, böbrek ve sinir sistemine etkiler.
Toluen	Uyuşturucu; anemi
Stiren	Uyuşturucu; merkezi sinir sistemine etkiler, insanlar için kanserojen
Toluendiizosiyanat	Duyarlaştırıcı; kanserojen
Etil benzen	Göz ve sinir sisteminde tahriş; merkezi sinir sistemine etkiler.
Metil klorür (Diklormetan)	Uyuşturucu, merkezi sinir sistemine etkiler; kanserojen.
Para-diklorbenzen	Uyuşturucu, göz ve solunum sisteminde tahriş, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sistemine etkiler.
Benzil klorür Benzal klorür	Merkezi sinir sistemi tahrişi; karaciğer ve böbreklere etkiler; göz ve solunum yolları tahrişi.
2-Butanon (MEK)	Tahriş edici; merkezi sinir sistemi tahrişi.
Petrol destilatı	Merkezi sinir sistemi depresanı; karaciğer ve böbreklere etkiler.
4-Fenil sikloheksan	Göz ve solunum yolları tahrişi; merkezi sinir sistemine etkiler.

Kapalı ortamda bulunduğu belirlenmiş olan VOC' ların çoğunun (benzen, karbontetraklorür, kloroform, trikloretilen, tetrakloretilen ve p-diklorbenzen) insanlarda kansere neden olduğu bilinmektedir. 1,1,1-trikloretilen, stiren, oktan, dekan ve undekan gibi diğer bazı uçucu organik bileşikler ise, mutajen ve muhtemel karsinojen maddelerdir [7].

Uçucu organik bileşiklerin fotokimyasal oksitleyicilerle ozon oluşumuna katkıda bulunduğu daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Fotokimyasal oksitleyiciler (peroksiasetil nitrat (PAN) ve peroksibenzoil nitrat (PB<sub>z</sub>N)) gözleri tahriş eder ve ozon ile birlikte burun ve boğazda tahriş, göğüs daralması ve yüksek konsantrasyonlarda (>3900µg/m<sup>3</sup>) şiddetli öksürüğe neden olurlar [42].

#### 4.4.1. Kanser riskinin hesaplandığı çalışmalar

Bazı uçucu organik bileşiklere maruz kalma durumu için kanser riski tahminleri geliştirilmiştir [7]. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, 6 adet VOC'un (benzen, karbontetraklorür, kloroform, trikloretilen, tetra kloretilen ve p-diklorbenzen), Amerika'nın tümünde, yılda 1000-1500'den fazla kanser vakasına neden olduğu görülmüştür. Evlerde yapılan ölçümlerde, New Jersey'de 9 tür, Kaliforniya'da (Los Angeles) 19 tür ve Hollanda'da 44 tür VOC'un kanser riski oluşturduğu saptanmıştır. Her bir VOC türü için bulunan özel risk değerlerinin toplu ortalamaları, New Jersey'de yaşayan insanlar için 0,019-0,03, Kaliforniya'da yaşayan insanlar için 0,002, Hollanda'da yaşayan insanlar için 0,001-0,002 olarak tahmin edilmiştir. Birim risk tahminleri (diğer kimyasallar ve diğer metotlarla benzetmeler yapılarak), insan ve hayvanlar üzerinde yapılan testlerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmıştır.

Bir diğer çalışmada [33], Kaliforniya'da her yıl 100 kanser vakasının, açık ortamda benzene maruz kalma sonucu ortaya çıktığı belirlenmiştir . Ayrıca, 60 vakanın 1,3-bütadien ve 14 vakanın ise formaldehite maruziyet sonucu görüldüğü ifade edilmektedir.

Birçok projede [33], kapalı ortamda karşılaşılan VOC riskleri açık ortamdaki benzer risklerle karşılaştırılmaktadır. Örneğin Kaliforniya'da, formaldehite açık ortamda maruz kalma sonucu 14 kanser vakası tespit edilmişken, kapalı ortam maruziyetinden tespit edilen kanser vakası sayısı 124'den fazladır. Dolayısıyla, kapalı ortamlarda uçucu organik bileşiklere maruz kalma riskinin, açık ortam seviyelerine kıyasla, çok daha yüksek olduğu söylenebilir.

#### 4.4.2. Mesleki maruziyet belirleme çalışmaları

Uçucu organik bileşik buharlarına maruziyetin en yoğun olarak görüldüğü yerlerden birisi benzin satış istasyonları, diğeri araç tamir-bakımı yapılan servis istasyonlarıdır. Özellikle benzin satış istasyonlarında, tankların dolumu-boşaltımı sırasında, şoförlerin ve burada çalışan personelin bu bileşiklere maruziyetlerini belirlemek amacıyla bazı çalışmalar yapılmıştır [44, 45].

Vainiotalo et al. [44] tarafından yapılan çalışmada, 3 sevk istasyonu ve 7 servis istasyonu esas alınmış; yeniden formüle edilmiş (reformulated) veya %2 (w/w) oksijen ve % 0,5-1,5 benzen içeren 95, 98, 99 RON benzin kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, geometrik ortalama değerler (GM) metil-tert bütül eter (MTBE) derişimi için  $0,95-7,3 \text{ mg/m}^3$  ve tert-amil metil eter (TAME) için  $0,3-1,1 \text{ mg/m}^3$  arasında bulunmuştur. Hekzan, benzen ve toluen için GM derişimleri sırasıyla  $0,25-2,3 \text{ mg/m}^3$ ,  $0,15-0,28 \text{ mg/m}^3$  ve  $0,73-1,7 \text{ mg/m}^3$ 'dür. Bu derişim seviyelerinin, Çizelge 4.2'de derlenmiş olan standart hijyen seviyelerinin altında kaldığı anlaşılmaktadır. MTBE, bir çok örnekte yüksek derişimde ölçülmüştür. MTBE yerine TAME kullanılması sonucunda oksijenli bileşiklere maruziyet fark edilir şekilde azalmaktadır.

Çizelge 4.2. Benzin buharlarından kaynaklanan temel bileşikler için Amerika ve Avrupa ülkelerinde uygulanan hijyen standartları

Bileşik	Amerika		Avrupa Birliği	
	Kısa süreli (15 dk) ( $\text{mg/m}^3$ )	8 saat zaman ağırlıklı ( $\text{mg/m}^3$ )	Kısa süreli ( $\text{mg/m}^3$ )	8 saat zaman ağırlıklı ( $\text{mg/m}^3$ )
MTBE	-	-	İsveç:250 Hollanda:360	90-180
Benzen	8	1,6	-	3,25
THC	1480	890	-	-

Halder et al. [45] tarafından yapılan bir başka çalışmada, araştırmalar 5 merkezi yükleme tesisinde, 2 tanker yükleme tesisinde ve bir servis merkezinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre,  $C_6$  hidrokarbonlarının 8 saatlik zaman ağırlıklı geometrik ortalama (TWA) derişimi merkezi yükleme tesisi için  $5,7 \text{ mg/m}^3$  (1,4 ppm), servis merkezi için  $4,0 \text{ mg/m}^3$  (1,0 ppm)'dür. Maruz kalınan derişimler, yükleme tesisi için  $0,8-120,8 \text{ mg/m}^3$  (0,2-30,1 ppm), servis merkezi için  $1,1-130,3 \text{ mg/m}^3$  (0,3-32,5 ppm) arasında değişmektedir. Yükleme tesisi ve servis merkezinden kaynaklanan  $C_4/C_5$  bileşiklerinden 4'ü (n-bütan, izobütan,

n-pentan, izopentan), bütün C<sub>4</sub>/C<sub>5</sub> bileşenlerinin %90-92'sini oluşturmuştur. Benzin buharlarından kaynaklanan benzenin geometrik ortalama derişimi, yükleme merkezi için 0,8 mg/m<sup>3</sup>(0,3 ppm), servis istasyonu için 0,7 mg/m<sup>3</sup> (0,2 ppm)'dür. Çalışma sonuçlarına göre maruz kalınan derişimler, benzen için ACGIH-TLV tarafından belirlenen sınır değerlerin altındadır.

#### **4.5. Ekosistem Üzerindeki Etkiler**

VOC'ların, basit organizmalar üzerindeki etkilerini görmek amacıyla yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Bazı çalışma raporları [33], insanlar için zararlı olan tehlikeli VOC derişimlerinin ekosistemi de etkilediğinden bahsetmektedir.

## 5. ÇEŞİTLİ ÜLKELERDE UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN KONTROL STRATEJİLERİ: MEVZUAT, VERİ ENVANTERİ VE UYGULAMADAKİ DURUM

### 5.1. Amerika

#### 5.1.1. Amerika'da uygulanan mevzuat

İnsanlar, hayvanlar, bitki örtüsü veya yapı materyalleri üzerinde etkilere neden olacak derişimlerde, doğal veya yapay yollarla çevreye yayılarak, havada taşınabilen hava kirletici maddeler, EPA tarafından CAA (Clean Air Act) ile düzenlenmiştir. Bu düzenlemenin bir parçası olarak EPA, halk sağlığını ve konforunu koruyacak Ulusal Dış Ortam Hava Kalitesi Standartlarını (NAAQS) oluşturmak üzere, istenmeyen etkilere sahip her bir kirleticinin "kriter dosyalarını" hazırlamıştır. Bu kirleticiler, "kritik kirleticiler" olarak isimlendirilmişlerdir. Çizelge 5.1'de federal ve bazı durumlarda daha katı olan Kaliforniya'da kritik kirleticiler için uygulanan standart değerler Türkiye'deki benzer standartlarla karşılaştırmalı şekilde verilmiştir [17].

Çizelge 5.1. Amerika ve Türkiye için hava kalitesi standartları

Kritik Kirleticiler	Ortalama zaman	Amerika için maksimum ortalama derişim [17]		Türkiye için sınır değerler [46]	
		Federal standart	Kaliforniya standardı	UVS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	KVS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ozon (ppm)	1 saat	0,12	0,09	-	240
CO (ppm)	1 saat	35	20	10.000	30.000
	8 saat	9	9		
NO <sub>2</sub> (ppm)	1 saat	-	0,25	100	300
	yıllık	0,053	-		
SO <sub>2</sub> (ppm)	1 saat	-	0,25	150	400(900)
	24 saat	0,14	0,05		
	yıllık	0,03	-		
PM ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 saat	150	50	150	300
	yıllık	50	30		
Sülfatlar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 saat	-	25		
Kurşun ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	30 gün	-	1,5	2	-
	3 aylık	1,5	-		

### 5.1.2. Veri envanteri

Amerika'da CAAA (1990 Clean Air Act Amendment) ve EPCRA (1986 Emergency Planning and Community Right-to Know Act), tehlikeli hava kirleticilerine (HAP) ait emisyon faktörlerine ve envanterlerine duyulan ihtiyacı arttırmıştır. EPA'nın Hava Kalitesi Planlama ve Standartlar Bölümü'nde (OAQPS) yer alan Emisyon Faktörü ve Envanter Grubu (EFIG) emisyon hesaplama araçlarını geliştirmeye ve gerekli düzenlemeleri yapmaya başlamış; elde edilen verileri, "Hava Kirleticileri için Emisyon Faktörleri Derlemesi-AP-42" adı altında yayınlamıştır [11].

AP-42'de emisyon faktörü değerleri, iki bölüm halinde sunulmuştur. Birinci bölüm, sayısı 200'ü aşan sabit kaynak sınıfı için verilen bilgileri (kaynakta, kullanılan prosesin kısa bir açıklamasını, procesten kaynaklanan emisyonların potansiyel kaynaklarını ve bu emisyonlar için kullanılacak kontrol yöntemlerini) içermektedir. Emisyon miktarlarını hesaplamak için kullanılacak metodoloji, EPA'nın Emisyon Faktörü Formları'nda gösterilmektedir. 14 Alt Bölüm ve 5 Ekten oluşan birinci bölümün her bir alt bölümü, farklı bir temel endüstri veya kaynak sınıfını kapsamaktadır. AP-42'nin ikinci bölümünde ise, hareketli kaynaklar için emisyon faktörü değerleri sunulmuştur.

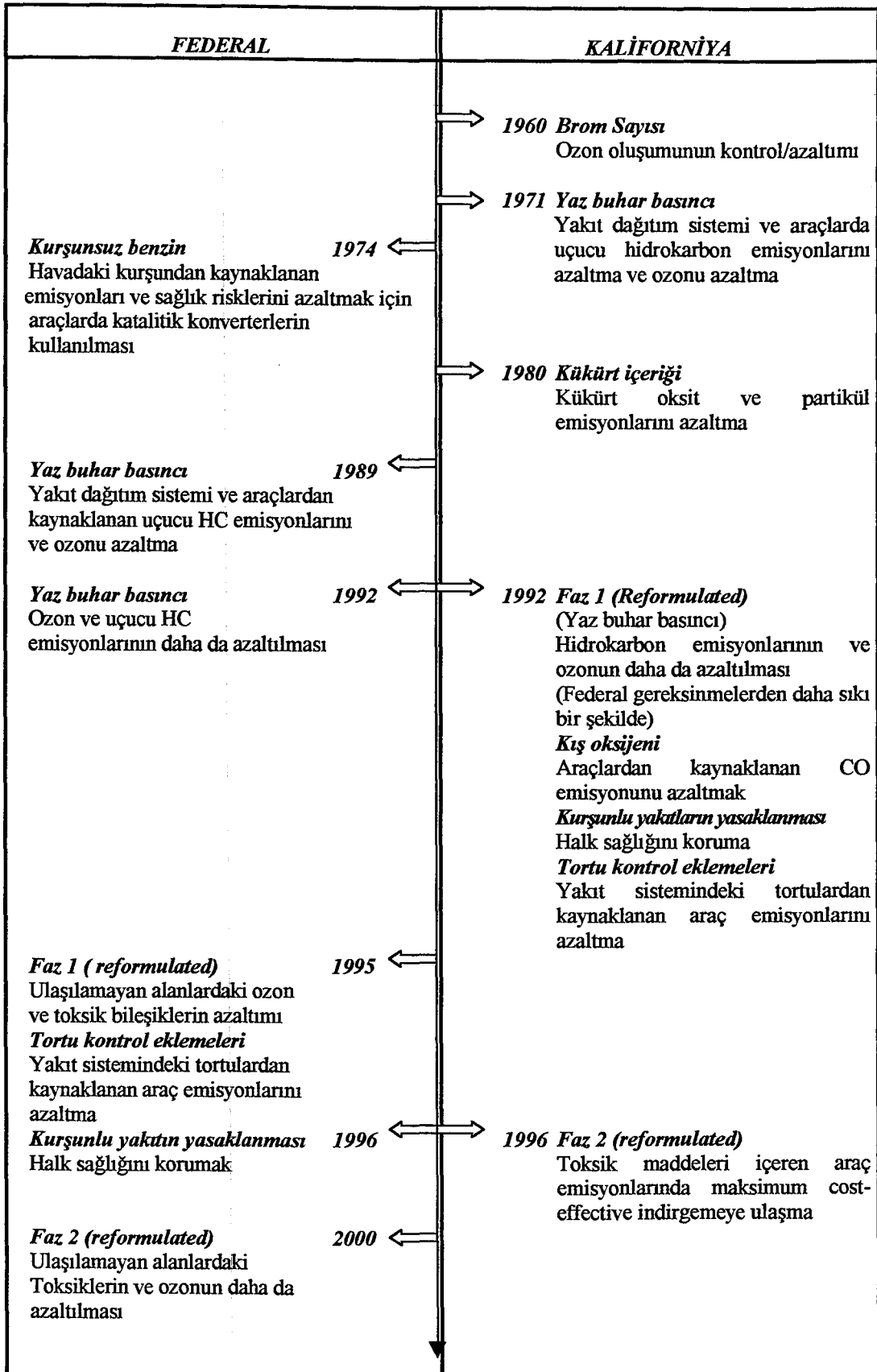
### 5.1.3. Uygulamalar

Ozon kritik kirleticiler arasında yer aldığından, ozon oluşumuna sebep olan VOC'ların her birinin kaynak temelinde eyaletler tarafından kontrol altına alınması gerekmektedir. CAA Bölüm 111'de yer alan Yeni Kaynak Performans Standartları (NSPS), yeni modifiye edilmiş veya yeni yapılmış sabit kaynaklardan açığa çıkan kritik kirletici emisyonlarını düzenlemektedir. CAA Bölüm 112'de yer alan Tehlikeli Hava Kirleticileri için Ulusal Emniyet Standartları (NESHAP), varolan ve yeni yapılan sabit kaynaklardan ortaya çıkan ve tehlikeli olarak nitelenen kirletici emisyonlarını sınırlamaktadır. Bölüm 112, 1990 yılı son CAA düzenlemeleri ile, esas itibariyle değiştirilmiştir. Eski Bölüm 112'de EPA öncelikle tehlikeli kirleticilerin bir listesini veriyor daha sonra güvenliği esas olarak halk sağlığını koruyacak standartları tanımlıyordu. Yeni bölüm 112'de ise,

bölüm 112'de ise, EPA yeni kanunda belirtilen 190 adet tehlikeli kirletici bileşenin ortaya çıktığı her bir kaynak için teknolojiye dayanan standartlar getirmektedir [2].

Kritik kirleticilerden O<sub>3</sub> oluşumuna sebep olan bileşiklerin (VOC, NO<sub>x</sub>) en büyük kaynaklarından biri motorlu taşıtlardır. EPA ve Kaliforniya Hava Kaynakları Kurulu (ARB), son 35 yılda benzin yakıtlı araçlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için, benzin özelliklerinin kontrol altına alınmasını sağlayan pek çok düzenlemeler yayınlamışlardır. Şekil 5.1'de verilen kronolojik sıralamadan görüldüğü üzere, 1990'lı yıllarda önemli değişiklikler olmuştur. 1992'de EPA, uçucu VOC emisyonlarını azaltmak için yaz aylarında benzinin maksimum buhar basıncını azaltacak düzenlemeler (Faz 1 ve Faz 2) yapmıştır. Kaliforniya ARB'ye göre, Faz 2 yeniden formüle edilmiş benzin (RFG) düzenlemeleri Faz 1'e (1992) bağlı olarak VOC emisyonlarını %17 azaltmayı hedeflemiştir[17].

Federal CAA düzenlemeleri, öncelikle güç santralleri, otomobiller ve fabrikalardan yayılan VOC emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır. Eyaletler, bu kaynaklardan ortaya çıkan emisyonları önemli derecede azaltmalarına rağmen, bu bölgelerde uygulanacak olan daha ileri kontroller çok masraflı olmaktadır, dolayısıyla VOC emisyonları çok az miktarlarda azaltılabilmektedir. 1990 yılında CAA'da yapılan düzenlemelerle ticari ürünler ve tüketiciler üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Bu ürünlerin her yıl yaklaşık 6 milyon ton VOC emisyonu (toplam emisyonun yaklaşık %30'u) verdiği tespit edilmiştir. Ulusal ozon seviyesini sağlamayan bölgelerde bulunan tüketici ürünleri ve ticari ürünlerden kaynaklanan toplam VOC emisyonunun en az %80'inden sorumlu ürünlerin bir listesi yapılmıştır. Bu ürünler 4 gruba ayrılmış olup ozon seviyesinin düzenlenmesine yardımcı olmak için her birine iki yılda bir yeni düzenlemeler getirilmektedir [47]. Bu standartları sağlayabilmek için üreticilerin ürünleri yeniden formüle etmesi gerekmektedir.



Şekil 5.1. Amerika'da benzinle ilgili düzenlemelerin kronolojik sıralaması [17]

## 5.2. Kanada

Kanada'da ortaya çıkan duman-sis oluşumunu önlemek ve azaltmak için üç aşamadan oluşan bir plan izlenmiştir [48]:

**1990, Faz 1, NO<sub>x</sub>/VOC Yönetim Planı:** Kanada Çevre Bakanlığı Meclisi (CCME) tarafından, NO<sub>x</sub> ve VOC emisyonlarını azaltmak ve amaçlanan ozon seviyelerine ulaşmak için hazırlanmıştır.

**1997, Faz 2 Federal Duman-sis Yönetim Planı:** NO<sub>x</sub> ve VOC emisyonlarını azaltmak amacıyla federal düzenlemelerden daha fazla performans sağlayabilmek için tasarlanmıştır. Partikülleri de kapsayacak şekilde genişletilmiştir.

**1999, Faz 3, Federal Duman-sis Yönetim Planı:** Federal yönetim tarafından duman-sis azaltılması girişimlerini genişletmek ve havanın niteliği için hazırlanan Kanada Standartlarının (CWSs) uygulanması ve gelişmesine katkıda bulunmak amacıyla yayınlanmıştır.

Bu girişimler, daha temiz yakma motorları, daha temiz benzin, endüstriyel bacalarda daha fazla ve iyi yıkayıcı kullanımını, daha temiz endüstriyel prosesler ve enerji verimliliğinin geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır [48].

Kanada standartları (CWSs), benzen, solunabilir partiküller ve ozon seviyeleri konusunda yeniden düzenlenmektedir [48]. Kanada Çevre Koruma Örgütü (CEPA) tarafından yapılan yeni düzenlemelerle, Haziran 1999'da benzinin benzen içeriğinin hacimce %1'den daha fazla olmaması için sınırlamalar getirilmiştir. Bunun, benzinle çalışan araçlardan kaynaklanan benzen emisyonunu %15 azaltması ve 2000 yılında toplam ulusal emisyonda, 1995 yılından itibaren %30 azalma olması beklenmektedir.

Alınan bu önlemlerle birlikte sonuçların görülebilmesi maksadıyla, Kanada Çevre Örgütü (EC), 1989 yılından beri taşra ve belediye çevre örgütlerinin birlikte çalışmasıyla toplam 50 şehirde ve kırsal bölgede dış ortam havasında benzen ve diğer organik bileşiklerin ölçümünü gerçekleştirmektedir. Ayrıca Ontario Ministry of Environment (OME) tarafından yerel (kentsel, kırsal) etkileri ve kaynak etkilerini belirleyecek şekilde seçilen 17 ek bölgede haftalık ve sezonluk değişimleri gözlemek üzere benzen monitorlaması yapılmaktadır [49].

Örnekler her gün 24 saatlik örnek alma sürelerinde toplanmakla beraber bazı bölgelerde, daha hassas VOC örnekleme cihazlarıyla, 3, 4 veya 12 saatlik örnek alma sürelerinde işlem yapılmaktadır. Hava örnekleri paslanmaz çelikten yapılan metal kaplarda (canister) toplanmakta ve yüksek rezolüsyona sahip gaz kromatografisi ve kütle spektrometresi ile kriyojenik zenginleştirme teknikleri kullanılarak analiz edilmektedir.

1989-1998 yılları arasında yapılan ölçüm sonuçlarına göre benzen ortalama derişimi (bütün yılların verileri kullanılarak), kok, fırın/demir ve çelik fabrikasından gelen emisyonlardan etkilenen bir kent yerleşiminde  $10,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , hiçbir etki altında kalmayan kırsal bir bölgede  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dür. Endüstriyel kaynaklardan etkilenmeyen bir kentsel bölgede ise ortalama benzen derişiminin  $1,8-3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında olduğu anlaşılmıştır.

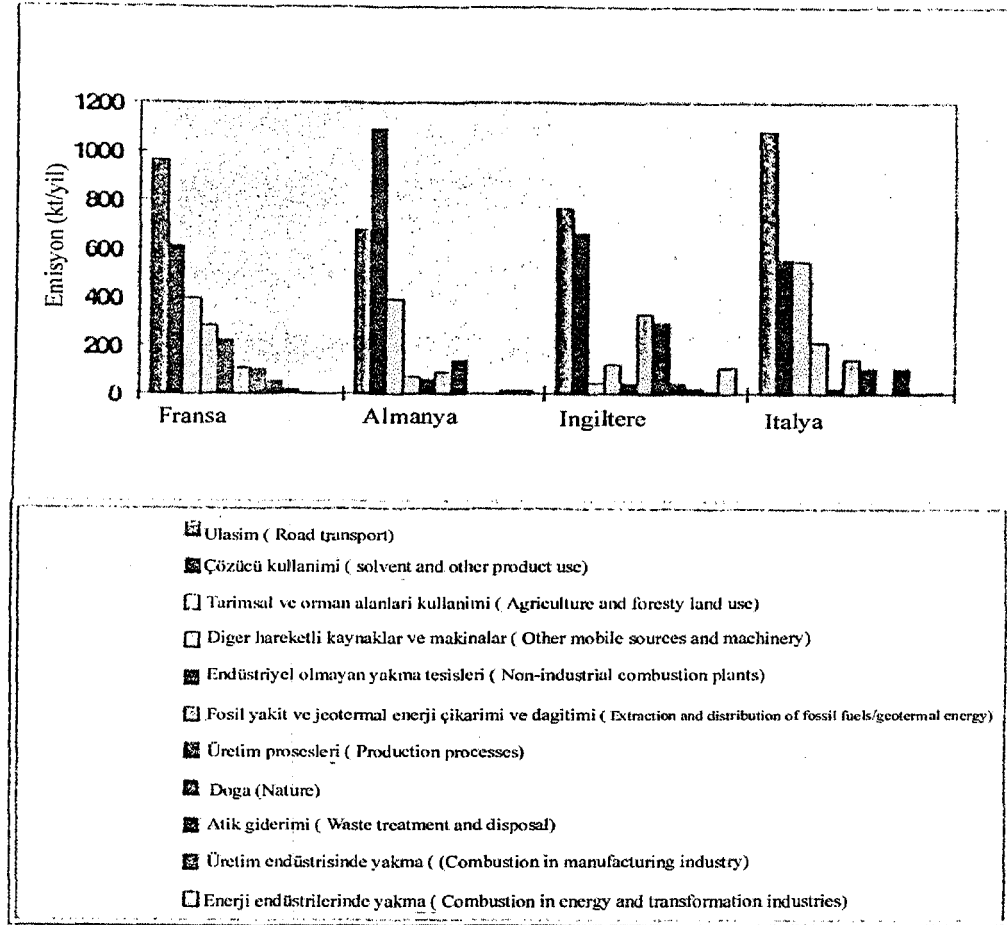
1995-1997 arasında yapılan çalışmalarda, kentin iç ve dış kesimlerinde ortalama derişim  $1-3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında ve pek çok bölgede (40 bölgenin 31'inde) ortalama derişim  $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den azdır.

Birçok bölgede, 1990 ve 1997 arasında benzen derişimlerinde azalma görülmüştür. Kentsel bölgelerde, 1990-1995 yılları arasında yıllık ortalama benzen derişiminde %25 azalma, 1996-1997 arasında ise çok küçük bir artış gözlenmiştir. Her bir bölgeye ait sonuçlara göre ise, 1990-1996 arasındaki azalma yüzdesi %0-%50 arasında değişiklik göstermektedir.

Henüz tamamlanmamış sonuçlara göre VOC emisyonlarında görülen azalmanın sebebi, benzen seviyesi azaltılmış yakıtların kullanımı ve yeni motorlu araçlarda kontrol teknolojilerinin kullanılmasıdır [49].

### 5.3. Avrupa Ülkeleri

Çeşitli Avrupa ülkelerinde, VOC bileşiklerinin kaynaklar itibariyle dağılımı ve ülkelere göre değişimi Şekil 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5.2. Avrupa ülkelerinde 1994 yılı kaynaklarına göre VOC bileşiklerinin miktarları [6]

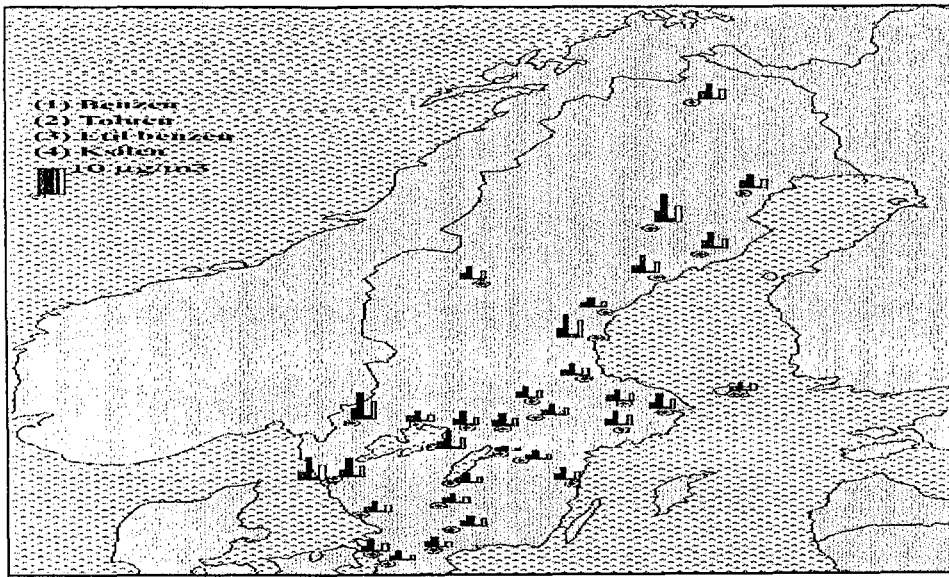
Şekil 5.2’den açıkça görüleceği gibi VOC bileşiklerinin en büyük kaynağını taşıt araçları oluşturmaktadır. Bu sebeple Avrupa’nın çeşitli ülkelerinde uçucu organik bileşik emisyonlarına yönelik kontrol çalışmaları, öncelikli olarak motorlu taşıtlar ve kullanılan benzin içeriği üzerinde yapılmıştır. Yapılan uygulamalarda Avrupa ülkeleri arasında farklar olmasına rağmen, Avrupa Birliği içerisinde benzinin benzen içeriğini düşürmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır ve bir çok Avrupa ülkesinde başarıya ulaşılmıştır.

1980'li yıllarda Avrupa'da benzinin benzen içeriği %3, aromatik hidrokarbon içeriği de %40'dan fazla idi. Bununla birlikte metil-tert butil eter (MTBE) oktan yükseltici olarak kullanılmakta ve o tarihlerde içeriği %2-5 iken günümüzde %15'e yükselmiştir [44].

### 5.3.1. İsveç

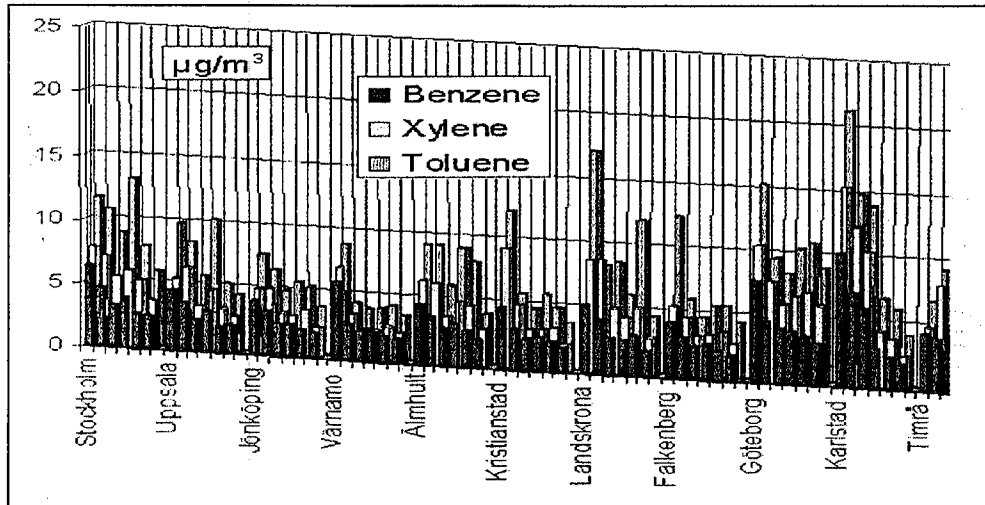
İsveç'te VOC kontrolüne yönelik olarak, IVL (Swedish Enviromental Research Institute) ve İsveç kasabalarındaki yerel sağlık teşkilatlarının katılımıyla, 1986 yılından itibaren kentsel çalışmalar yapılmaktadır. Sayısı 32-57 arasında değişen şehirde Ekim-Mart ayları arasında haftalık ortalama kış sezonu ölçümleri yapılmaktadır (Şekil 5.3). Ölçümler, her bir şehir merkezinde derişimin en yüksek olduğu fakat yerel bir kaynağın direkt etkisinin olmayacağı bir noktada gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada ana amaç, hava kalitesi değişimlerinin ve hava kalitesinin uzun mesafeli taşınımı gibi yerel ve bölgesel kaynakların katkılarının belirlenmesidir. Ek olarak, bölgenin, şehir büyüklüğünün, oturan insan sayısının, yerel trafiğin, yerel ısınmanın ve endüstrinin derişimlere etkileri de araştırılmaktadır [50].

1997-1998'de 33 şehirde yapılan kış-ortalaması VOC emisyon belirleme çalışmalarında rastlanan en önemli 4 VOC bileşiği, benzen, toluen, etil benzen ve ksilenlerdir.



Şekil 5.3. İsveç'te seçilmiş bazı bölgelerdeki ortalama kış mevsimi VOC seviyeleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [50]

Şekil 5.4’de görüldüğü gibi hemen hemen bütün bölgelerde toluen, en fazla bulunan uçucu organik bileşiktir. 6 sezon boyunca 11 şehirde yapılan ölçümlere göre VOC emisyonlarında yıllara göre azalma gözlenmektedir. Bunun sebebi benzen içeriği daha düşük benzinin kullanımı ve arabalarda katalitik konverter kullanımının artmasıdır.



Şekil 5.4. İsveç’te altı sezon boyunca yapılan VOC ölçümleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )[50]

### 5.3.2. Finlandiya

Avrupa’da VOC’lara karşı uygulanan yasal sınırlamalar gereği Finlandiya’da kullanılan bütün benzinler kurşunsuz ve yeniden formüle edilmiş (reformulated) şekildedir [44]. Yeni kurşunsuz, yeniden formüle edilmiş (reformulated) benzin, %2,7 oksijen, <%25-%30 aromatik hidrokarbon, <%1 benzen içermektedir.

### 5.3.3. İtalya

İtalya’da 1989 yılında benzinin benzen ve aromatik hidrokarbon içerikleri sırasıyla %3,8 ve %50 iken, bu değerler 1995 yılında %1,5 ve %33’e düşürülmüştür [44].

## 5.4. Diğer Ülkeler

### 5.4.1. Hindistan

Delhi’de kentsel açık ortamda bulunan TVOC’ları monitorlamak amacıyla Kasım 1994-Haziran 1995 tarihleri arasında 13 bölgede bir çalışma yapılmıştır [51, 52]. Örnekleme işlemi için oldukça basit ve pahalı olmayan elle çalışan bir düzenek kullanılmıştır. Açık ortamda toplam uçucu organik bileşik (TVOC) değerlerinin 1,3-32,5 ppmv arasında değiştiği belirtilmiştir. VOC seviyelerinin trafik yoğunluğunun en fazla olduğu sabah 9:00 saatlerinde ve kış mevsiminde en yüksek seviyelerde bulunduğu tespit edilmiştir.

### 5.4.2. Tayvan

Tayvan’ın 3. büyük şehri olan Taichung’da 6 ana caddede U.S EPA TO 17 metodu kullanılarak 22 uçucu organik bileşik için analizler yapılmıştır [53]. Yapılan çalışmalar sonucunda araba ve motorsiklet kullanıcılarının yüksek VOC derişimlerine (sırasıyla 2140 ve 1343  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maruz kaldıkları belirlenmiştir. En yüksek VOC derişimleri motorsiklet kullanıcıları için 7:30-8.30 ’da, araba kullanıcıları için 5.00-6.00 saatleri arasında görülürken, bütün taşıt kullanıcıları için en düşük derişimler 2.00-3.00 saatleri arasında tespit edilmiştir.

### 5.4.3. Çin

Eylül 1997- Temmuz 1998 tarihleri arasında kuzey Çin’de 5 farklı bölgede (taşıt yolu, şehir içi, endüstriyel bölge, mesken olmayan bölge ve hiçbir kirlilikten etkilenmeyen kırsal bölge) gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre [54], taşıt yolunda ve şehir içindeki bölgede diğer 3 bölgeye oranla daha yüksek VOC derişimleri, kırsal alanda ise en düşük VOC seviyeleri tespit edilmiştir. Bütün örnekleme bölgelerinde kış mevsiminde maksimum ve baharda minimum VOC seviyeleri, günlük derişimlerde ise trafik yoğunluğuna bağlı olarak taşıt yollarında şehir içinde ve mesken olmayan bölgede iki pik noktası, endüstriyel bölge için ise tek pik noktası belirlenmiştir.

### 5.5. Türkiye

Türkiye’de 2872 sayılı Çevre kanunu uyarınca hazırlanan 2 Kasım 1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (H.K.K.Y)" ile, hem çevre havasına, hem de kirletici kaynaklara yönelik kısıtlamalar getirilmekte, gerekli kriterler ve alınabilecek önlemler belirtilmektedir.

Hava kalitesinde insan sağlığını esas alan, bu kalitenin saptanmasında uluslararası normları dikkate alan ve kaynaklar için teknoloji bazında kontrolü getiren bir yapıya sahip olan H.K.K.Y’ne göre, bazı bileşikler için hava kalitesi sınır değerleri, Amerika değerleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde uçucu organik bileşiklerle ilgili ayrı bir bölüm bulunmayıp, Ek 4’de 120 adet organik buhar ve gazdan, Ek 5’de ise 9’u organik, 6’sı inorganik olan 15 kanserojen maddeden söz edilmektedir. Bu maddeler III sınıfa ayrılarak, her bir sınıfa dahil olan maddeler için emisyon sınır değerleri ayrı ayrı verilmekte; yönetmelik, emisyon verilerinin hava kalitesine katkı değerlerine (H.K.K.D) nasıl dönüştürüleceğini gösteren bir model de önermektedir.



İlin sınırları içerisinde Merkez İlçe haricinde 12 ilçe (Alpu, Beylikova, Çifteler, Günyüzü, Han, İnönü, Mahmudiye, Mihalgazi, Mihaliççık, Sarıcakaya, Seyitgazi, Sivrihisar), 2 bucak, ve 389 köy bulunmaktadır. İl topraklarının kuzey batısında, deniz seviyesinden 792 m yükseklikte, yüzölçümü 3823 km<sup>2</sup> olan merkez ilçede 3 belediye, 70 mahalle ve 101 köy bulunmaktadır.

Eskişehir İli'nin 1997 yılı nüfus sayımına göre nüfusu 660.843 kişidir. Nüfus yoğunluğu km<sup>2</sup>'ye 47 kişidir. Yıllara göre nüfus sayım sonuçları ve nüfus artış oranları Çizelge 6.1'de, 1997 yılı nüfus sayımına göre İl nüfusunun ilçelere göre dağılımı ise Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Yıllar itibariyle il nüfusu ve nüfus artış oranları[55]

Yıllar	Nüfus (kişi)	Artış oranı (%)
1927	154.195	-
1935	183.205	18,8
1940	206.794	12,9
1945	244.251	18,2
1950	276.164	13,0
1955	323.511	17,1
1960	368.827	14,0
1965	415.101	12,5
1970	459.367	10,7
1975	495.097	7,8
1980	543.802	9,8
1985	597.104	9,8
1990	641.057	7,4
1995	660.843	3,0

Çizelge 6.2. 1997 yılı nüfus sayımına göre il nüfusunun dağılımı [55]

İlçeler	Toplam nüfus	Köyler nüfusu	Şehir nüfusu
Merkez İlçe	487.620	33.084	454.536
Alpu	15.979	10.968	5.011
Beylikova	10.068	4.779	5.289
Çifteler	17.320	6.358	10.962
Günyüzü	10.777	9.113	1.664
İnönü	8.747	4.226	4.521
Han	3.695	1.839	1.856
Mahmudiye	10.436	5.138	5.298
Mihalgazi	11.314	7.116	4.198
Mihaliççık	19.062	13.786	5.276
Sarıcakaya	11.687	6.374	5.313
Seyitgazi	21.007	17.659	3.348
Sivrihisar	33.131	21.760	11.371
TOPLAM	660.843	142.200	518.643

Ülkemizde her 5 senede bir nüfus sayımı yapılmakla birlikte Çizelge 6.1 'de gösterildiğinin tersine 1995 yılında nüfus sayımı gerçekleştirilmemiş, bir takım sebeplerden dolayı 1997 yılında bir nüfus sayımı gerçekleşmiştir. Bu sebeple Çizelge 6.1. 'de ardışık olarak görülmekte olan 1995 yılı nüfusu 1997 yılı nüfus sayımı sonucunu göstermektedir. Eskişehir Merkez İlçe'nin 1997 yılı şehir nüfusu 454.536 kişidir. İller Bankası metoduna göre, 1998 yılı şehir nüfusu 462.263 kişi, 1999 yılı şehir nüfusu ise 470.121 olarak hesap yoluyla tespit edilmiştir.

İl merkezi yerleşim alanının (7830 hektar) büyük kısmı topoğrafik yapı itibariyle çukurda kalır. Merkezde deniz seviyesinden 740 m olan yükseklik, kenarlara doğru gidildikçe artar ve ortalama 847 m'yi bulur. Yerleşim alanı sınırları içerisinde büyük-küçük endüstriyel kuruluşlar da yer alır. Porsuk Çayı, il merkezini doğu-batı yönünde bir çizgiyle ikiye böler.

Eskişehir iklimi ilk bakışta Batı Anadolu ve İç Anadolu iklimleri arasında bir geçiş iklimi gösteriyorsa da, ilde genellikle sert ve karasal iklim hakim olup, kışlar çok soğuk ve kar yağışlı, yazlar sıcak ve yağışsız geçer. Yağışın en az olduğu aylar Temmuz, Ağustos, Eylül; en yağışlı aylar ise Aralık, Ocak, Mart ve Mayıs aylarıdır. İlin dört mevsimi kapsayan yıllık sıcaklık ortalaması düşük ( $10^{\circ}\text{C}$ ) olup, il merkezinde yıllık sıcaklık ortalaması  $10,9^{\circ}\text{C}$ 'dir.

İlde genel olarak her yönden esen rüzgarlar, kış aylarında doğu, diğer mevsimlerde batı yönünde daha etkilidir ve ilkbaharda esen rüzgarlar genellikle yağış getirir. Merkez ilçede egemen rüzgarlar güneybatı, güneydoğu ve karayeldir. 1998 ve 1999 yılına ait bazı meteorolojik veriler Çizelge 6.3.'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Eskişehir İli 1998 ve 1999 yılı meteorolojik verileri

Aylar	1998 [55]		1999 [56]	
	Toplam yağış (mm)	Ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Toplam yağış (mm)	Ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
Ocak	28,8	0,4	40,5	2,5
Şubat	18,8	1,9	78,8	2,3
Mart	19,7	2,1	55,5	5,1
Nisan	53,3	12,0	40,8	10,5
Mayıs	129,7	13,9	0,7	15,5
Haziran	68,6	18,2	22,4	18,9
Temmuz	6,9	22,1	11,4	22,7
Ağustos	-	22,7	11,5	22,1
Eylül	22,2	16,8	19,6	17,3
Ekim	33,5	12,0	9,6	12,5
Kasım	48,7	7,3	25,7	5,4
Aralık	30,1	3,3	30,1	4,0
Yıllık	460,3	11,1	337,6	11,6

Eskişehir ili merkez ilçe nüfusu itibariyle 10., toplam nüfus itibariyle 31., ekonomik ve sosyal gelişmişlik ölçeğinde ise 17. sırada yer almaktadır. İl merkezinde yer alan imalat sanayii firmalarının %52,1'i iç pazara yönelik olarak üretim yapmaktadır. Diğer illere satış yapan başlıca sektörler arasında taş ve toprağa dayalı sanayi içinde yer alan refrakter, tuğla, seramik, fayans, alçı, çimentodan üretilmiş prefabrik yapı elemanları üreticileri bulunmaktadır.

Organize Sanayi Bölgesi (OSB), düzenli sanayileşme ve sanayinin gelişmesini hızlandırmak amacıyla 1975 yılında kurulmuştur. 1998 yılı itibariyle sanayi bölgesinde 243 kuruluş faaliyet halinde, 26 kuruluş yatırım halinde 42 kuruluş proje aşamasındadır. Çizelge 6.4.'de OSB'deki firmaların yıllar itibariyle sektörel dağılımları verilmiştir.

Çizelge 6.4. OSB'de faaliyet gösteren firmaların sektörel dağılımı [55]

Sektörler	1995	1996	1997	1998
Makine İmalat Sanayii	20	21	26	29
Zirai Aletler Sanayii	6	6	6	6
Soba Ve Aksesuar Sanayii	17	17	17	17
Orman Ürünleri Ve Mobilya San.	20	22	23	25
Gıda Sanayii	12	13	15	16
Beyaz Eşya Yan Sanayii	13	15	18	18
Taş Ve Toprağa Dayalı Sanayii	11	13	14	16
Metal Eşya Sanayii	13	12	16	20
Kimya Kauçuk Ve Plastik San.	9	11	12	13
Hazır Giyim Sanayii	9	10	15	16
Madencilik	6	6	6	6
Toplam	136	148	168	181

## 6.2. Çalışma Alanında VOC Kaynakları ve Kaynak Verileri

Emisyon envanteri ile ilgili çalışmalarda en önemli safha, kaynaklar ve özellikleri ile bu kaynaklarda kullanılan madde ve yakıtların tür ve miktarları hakkında bilgi toplanması safhasıdır. Envanter yapmak amacıyla düşünüldüğünde, nokta kaynaklar (şehir içinde kalan ve dağınık halde bulunan sanayi kuruluşları, çöp depolama alanı, atıksu arıtma tesisi, ve yine şehrin içine yayılmış halde bulunan benzin istasyonu noktaları), çizgi kaynaklar (kara, deniz ve hava taşıtlarının egzozları) ve alan kaynaklardan (konutlar, sanayi bölgeleri) yayılan hava kirletici bileşenlerle ilgili bilgilerin belirli bir sistematik içinde ve kategorik biçimde toplanması-değerlendirilmesi gerekir.

Bu tez kapsamında, çalışma alanına özgü uçucu organik bileşik (VOC) emisyon kaynakları, aşağıda, 7 ana alt başlık altında sınıflandırılarak tanıtılmıştır. Kaynakların Eskişehir kent haritası üzerinde gösterimi EK-1’de sunulmaktadır.

### 6.2.1. Doğal kaynaklar

Ormanlık ve ekili alanlardan, çeşitli biyolojik faaliyetler sonucu yayılan uçucu organik bileşiklerin miktarları, bölgedeki toplam biyokütle miktarının, coğrafi ölçekte ışık ve sıcaklık etkilerinin ve bitki türlerinin emisyon hızları gibi parametrelerin belirlenmesi yoluyla hesaplanabilir. Ancak, bu tür detaylı parametrelere ulaşılamayan bazı koşullarda, sadece toplam biyokütle miktarı ve emisyon faktörleri kullanılarak hesaplama yapmak da mümkündür.

Çizelge 6.5’de arazilerin kullanım amaçlarına göre dağılımları görülmektedir. Burada sadece Eskişehir Merkez İlçe sınırları içerisinde bulunan ormanlık alanlar ve tarım alanları çalışma kapsamına alınmıştır.

Çizelge 6.5. Eskişehir ili arazi dağılımı [55]

Arazi Çeşidi	Alan (ha)	% Oran
Tarım arazisi	573.544	42,0
Çayır-mera	343.918	25,2
Ormanlık-fundalık	358.094	26,2

### 6.2.1.1. Ormanlık alanlar

Eskişehir İli'ndeki arazilerin % 26'sını oluşturan ormanlık alanlarda en çok yetişen çam, meşe, gürgen, ardıç, katran, köknar gibi ağaçlar hakkında Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü'nden sağlanan veriler Çizelge 6.6.(a), (b), (c) ve Çizelge 6.7'de sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Eskişehir iline ait ormanlık alanlar (ha)

(a) Eskişehir İşletme Müdürlüğü

İşletme Şefliği	Kızıl çam	Çam	Meşe	Toplam
Merkez	1053	11975	5844	18872
Büyükayla	-	18974	1187	20161
Çifteler	-	23181	3768	26949
Kalabak	-	20931	8053	28984
İnönü	-	13238	22967	36205
Seyitgazi	-	19449	16765	36214
Kırka	-	17994	1758	19752
<b>Toplam</b>	<b>1053</b>	<b>125742</b>	<b>60342</b>	<b>187137</b>

(b) Mihaliççık İşletme Müdürlüğü

İşletme Şefliği	Karaçam	Meşe	Kızılçam	Ardıç	Kavak	Diğer yapraklılar	Sarıçam	Sedir	Toplam
Mihaliççık	16389	8153,5	989,5	7700	9,5	201	-	-	33442,5
Beşpınar	8885	8742,5	1569	9707,5	-	-	-	-	28904
Kızıltepe	2291	3451,5	8883,5	-	-	-	195	-	14821
Çatacık	3295,5	405	-	7600	-	-	533,5	7,5	11841,5
<b>Toplam</b>	<b>30860,5</b>	<b>20752,5</b>	<b>11442</b>	<b>25007,5</b>	<b>9,5</b>	<b>201</b>	<b>728,5</b>	<b>7,5</b>	<b>89009</b>

(c) Çatacık İşletme Müdürlüğü

İşletme Şefliği	Kızılçam	Karaçam	Ardıç	Meşe	Sarıçam	Toplam
Alpu	1717,5	10839,5	3406	5917,5	-	21880,5
Değirmendere	-	1549,5	-	185,5	1235	2970
Sarıcakaya	13339,5	7304,5	2535	7870	-	31049
Arıkaya	583,5	3048,5	-	184,5	364	4180,5
Gümeledere	183,5	1068,5	1435,5	489,5	685,5	3862,5
<b>Toplam</b>	<b>15824</b>	<b>23810</b>	<b>7376,5</b>	<b>14647</b>	<b>2284,5</b>	<b>63942</b>

Kaynak (Çizelge 6.6. (a) (b) (c) ): Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü (Afyon, Çatacık, Mihaliççık, Eskişehir İşletme Müdürlükleri olmak üzere 4 işletme müdürlüğünden ve bu işletme müdürlüklerine bağlı işletme şefliklerinden oluşmaktadır)

Çizelge 6.7. Eskişehir İli ormanlık alan servet değerleri (m<sup>3</sup>)

İşletme Müdürlüğü	İBRELİ AĞAÇLAR (Çam)			YAPRAKLI AĞAÇLAR (Meşe)				
	Koru		Toplam	Koru		Bataklık		Toplam
	Normal	Bozuk		Normal	Bozuk	Normal	Bozuk	
Eskişehir	5.803.275	546.381	6.349.656	4675	1.910	516.276	301.230	824.091
Mihalıççık	3.901.001	201.610	4.102.611	2.274	10.540	-	142.497	155.311
Çatacık	2.441.610	228.777	2.670.387	133.022	1.324	41.011	81.939	257.296

Kaynak: Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü

### 6.2.1.2. Tarım alanları

Eskişehir İli tarım arazisinin 564.602 ha'ı tarla arazisi, 8942 ha'ı bağ-bahçe arazisidir. Ekilen ürünler genel olarak buğday ve arpa ağırlıklı olup, sulanabilen arazilerde de şeker pancarı ekimi yapılmaktadır.

Eskişehir İli Merkez İlçe ekili arazileri ile ilgili bilgiler Çizelge 6.8 (a), (b), (c) 'de verilmektedir.

### 6.2.2. Sabit yakma kaynakları

Envanterde, ısı elde etmek amacıyla sabit kaynakların tükettikleri belli başlı yakıt türleriyle (kömür, fuel-oil, gaz yakıtlar, tezek, odun vb. ticari veya ticari olmayan yakıtlar) ilgili bilgilerin yer alması gerekir. Kaynaklarda kullanılan yakıtların türlerine göre analizleri ve toplam tüketimleri, mevsimlik yakıt tüketim değişimleri, yakma tesislerinin cinsi, varsa kontrol cihazları ve bunların verimleri, kaynağın etüt bölgesine ait haritadaki tam konumu, bilinmesi gereken bilgilerdir. Her önemli yakıt türü için kullanım istatistiklerinin Şekil 6.2'de verilen kullanıcı kategorilerine göre belirlenmesi gerekir

Çizelge 6.8. Eskişehir İli ekili tarım alanları miktarları

## (a) Tahıllar

ÜRÜN CİNSİ	Yıllar	Ekilen (ha)	Hasat edilen (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)
Buğday	1997	35.250	35.250	3.000	105.750
	1998	35.750	35.650	3.100	110.515
	1999	36.000	36.000	3.200	115.200
Arpa	1997	17.000	17.000	3.100	52.700
	1998	17.100	17.050	2.900	49.445
	1999	16.800	16.800	2.964	49.800
Şeker pancarı	1997	6.587	6.587	46.300	304.978
	1998	5.725	5.725	48.060	275.143
	1999	5.010	5.010	48.000	240.480
Nohut	1997	1080	1080	1000	1080
	1998	1050	1050	900	945
	1999	1080	1080	950	1026
Mısır	1997	197	197	28.714	3930
	1998	260	260	32.784	5735
	1999	285	285	30.235	5790

## (b) Sebzeler

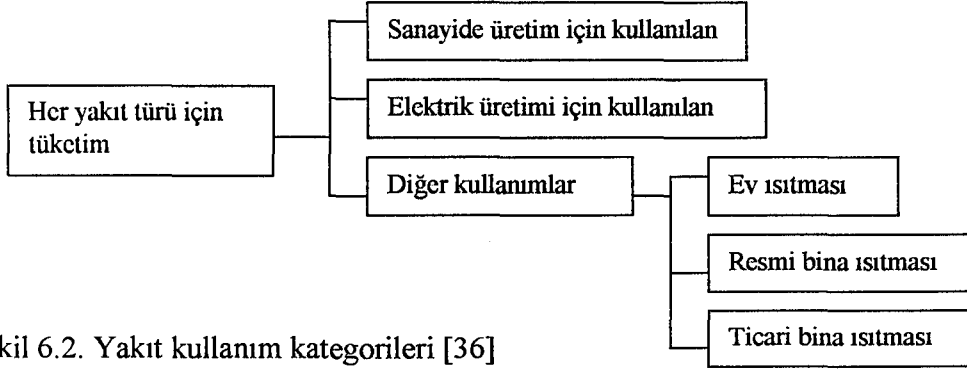
ÜRÜN CİNSİ	Yıllar	Ekilen (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)
Marul (Göbekli)	1997	280	16.000	4.480
	1998	285	16.000	4.560
	1999	294	15.986	4.700
Marul (Kıvrıkcık)	1997	340	11.000	3.740
	1998	350	11.000	3.850
	1999	340	11.029	3.750
Sakızkabağı	1997	25	20.000	500
	1998	100	1.000	100
	1999	100	1.000	100
Domates	1997	355	30.000	10.650
	1998	380	25.000	9.500
	1999	400	27.500	11.000

## (c) Meyveler

ÜRÜN CİNSİ	Yıllar	Kapladığı alan (ha)	Toplam meyve veren ağaç	Ağaç başına ortalama verim (kg)	Üretim (ton)
Elma	1997	190	39.800	35	1393
	1998	190	39.750	31	1232
	1999	188	39.720	38	1509
Üzüm	1997	83	-	4.000*	332
	1998	80	-	3.750*	300
	1999	80	-	3.800*	304

\* : Üzümde verim, ha başına kg/ha olarak hesaplanmıştır.

Kaynak: Eskişehir Tarım İl Müdürlüğü



Şekil 6.2. Yakıt kullanım kategorileri [36]

Eskişehir İli'nde, Çevre İl Müdürlüğü ve BOTAŞ'dan alınan bilgilere göre, konutlarda ısınma amaçlı olarak kömür ve doğal gaz (1997 yılından beri) kullanılmaktadır. Yine BOTAŞ'tan ve ayrıca OSB'den alınan bilgilere göre, endüstriyel kuruluşların %100'e yakın bir kısmında (elektrik ve buhar üretiminde) doğal gaz kullanılmaktadır.

Konutlarda ve endüstriyel tesisler de fuel-oil, LPG vb. tür yakıtların kullanımları ihmal edilebilecek kadar az olduğundan, bu yakıt türleri hesaplamalara dahil edilmemiştir.

#### 6.2.2.1. Evsel ısıtmada kömür tüketimi

Çizelge 6.9, Eskişehir İli için yıllara göre evsel ısınma amaçlı kömür kullanım miktarlarını göstermektedir. Aylara bağlı olarak değişimleri görebilmek ve hesaplamalarda kullanılmak üzere, her bir yıl için aylık tüketim miktarları, (veri olmamasından dolayı) ilgili yıllardaki doğal gaz tüketiminin aylık dağılımlarına benzetilerek, orantı yoluyla hesaplanmıştır.

#### 6.2.2.2. Evsel ısıtmada doğal gaz tüketimi

Çizelge 6.10.'da yıllara göre aylık konutsal doğal gaz miktarları verilmektedir.

#### 6.2.2.3. Endüstriyel doğal gaz tüketimi

Şehir merkezinde mücavir alan sınırları içinde bulunan bazı büyük endüstriyel tesislerde ve OSB'ye bağlı endüstrilerde tüketilen doğal gaz miktarları 1997, 1998, 1999 yılları için Çizelge 6.11, 6.12, 6.13'de aylar bazında verilmiştir. Çizelge 6.14'de ise, yıllar itibariyle kullanılan toplam doğal gaz miktarlarının bu çalışmada hesaplanan toplamı görülmektedir.

Çizelge 6.9. Eskişehir İli'nde evsel ısınma amaçlı kömür kullanım miktarları

	1997		1998		1999	
	SOMA (ton)	İTHAL (ton)	SOMA (ton)	İTHAL (ton)	SOMA (ton)	İTHAL (ton)
OCAK	29333,7	17374,6	22564,4	27077,29	20308,0	33846,6
ŞUBAT	18596,6	11014,9	14305,1	17166,09	12874,6	21457,6
MART	18458,2	10932,9	14198,6	17038,3	12778,7	21297,9
NİSAN	8933,3	5291,3	6871,8	8246,139	6184,6	10307,7
MAYIS	1411,1	835,8	1085,5	1302,548	976,9	1628,2
HAZİRAN	414,9	245,7	319,2	382,9804	287,2	478,7
TEMMUZ	178,5	105,8	137,3	164,8095	123,6	206,0
AĞUSTOS	217,4	128,8	167,2	200,6507	150,5	250,8
EYLÜL	209,5	124,1	161,2	193,3869	145,0	241,7
EKİM	8412,5	4982,8	6471,2	7765,421	5824,1	9706,8
KASIM	18178,5	10767,3	13983,5	16780,19	12585,1	20975,2
ARALIK	25655,7	15196,1	19735,2	23682,2	17761,6	29602,7
TOPLAM	130000	77000	100000	120000	90000	150000

Kaynak: Eskişehir Çevre İl Müdürlüğü

Çizelge 6.10. Eskişehir İli'nde konutsal doğal gaz kullanımları ve abone sayıları

Yıl	Ay	Şehir İçi Satış (m <sup>3</sup> )	Abone Sayısı
1997	OCAK	13.897.214	21.294
1997	ŞUBAT	6.844.381	21.621
1997	MART	6.251.496	21.902
1997	NİSAN	5.022.280	22.138
1997	MAYIS	-	22.394
1997	HAZİRAN	221.141	22.476
1997	TEMMUZ		22.753
1997	AĞUSTOS	86.683	23.201
1997	EYLÜL	-	23.998
1997	EKİM	3.870.581	26.052
1997	KASIM	6.995.639	30.125
1997	ARALIK	10.386.012	32.581
	TOPLAM	53.575.427	
1998	OCAK	10.552.892	33.638
1998	ŞUBAT	8.708.213	33.781
1998	MART	9.199.660	34.049
1998	NİSAN	2.402.862	34.255
1998	MAYIS	1.193.865	34.325
1998	HAZİRAN	124.030	34.425
1998	TEMMUZ	151.058	34.616
1998	AĞUSTOS	94.931	34.812
1998	EYLÜL	177.251	34.967
1998	EKİM	3.144.441	35.419
1998	KASIM	8.199.243	38.824
1998	ARALIK	11.045.236	41.402
	TOPLAM	54.993.682	
1999	OCAK	14.693.111	42.021
1999	ŞUBAT	10.211.995	42.425
1999	MART	10.117.662	42.943
1999	NİSAN	4.109.878	43.234
1999	MAYIS	772.787	43.407
1999	HAZİRAN	279.050	43.931
1999	TEMMUZ	274.494	44.284
1999	AĞUSTOS	184.952	44.792
1999	EYLÜL	495.684	45.248
1999	EKİM	5.502.644	47.617
1999	KASIM	12.889.084	52.975
1999	ARALIK	15.126.727	56.559
	TOPLAM	74.535.689	

Kaynak: Eskişehir BOTAS Müdürlüğü

Çizelge 6.11. Eskişehir İli'nde 1997 yılı endüstriyel doğal gaz kullanımı (m<sup>3</sup>)

	ESKİŞEHİR OTOGAR	ESKİŞEHİR ŞEKER FABRİKASI	KONEL	KREDİ YURLAR	MAGNEZİT A.Ş.	OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ	TULOMSAŞ	TUSAŞ	ANADOLU ÜNİVERSİTESİ	2 EYLÜL KAMPÜSÜ	ESKİŞEHİR OSB (BUHAR)	ESKİŞEHİR OSB (ELEKTRİK)	ESKİŞEHİR ÇİMENTO FABRİKASI
OCAK	86.352	4.777.008	-	-	815.953	457.300	1.091.134	183.634	635.667	54.217	4.114.986	-	9.270
ŞUBAT	81.554	1.059.566	-	-	738.119	480.458	1.015.382	171.087	610.120	58.451	3.746.496	-	12.307
MART	67.699	1.639.912	-	-	804.280	477.926	962.369	168.194	602.478	55.503	4.791.065	-	28.785
NİSAN	53.204	866.474	-	-	966.051	357.228	733.373	139.000	473.605	31.879	4.836.948	-	17.368
MAYIS	3.166	0	-	-	1.173.631	108.153	197.024	33.682	89.334	1.731	5.713.937	-	3.922
HAZİRAN	0	1.091.426	-	-	1.111.320	75.210	147.444	24.549	61.030	0	5.884.430	-	19.390
TEMMUZ	0	415.594	-	-	1.096.424	72.102	115.895	16.260	43.707	0	5.936.499	-	13.800
AĞUSTOS	0	0	-	-	1.104.098	74.549	121.238	15.158	42.439	1.754	6.265.641	-	16.886
EYLÜL	0	2.690.008	-	-	722.254	93.278	169.956	26.846	40.775	243	5.653.843	-	16.067
EKİM	21.789	8.868.681	-	-	762.164	266.181	451.007	74.345	217.796	7.082	6.631.392	-	20.231
KASIM	59.869	8.380.139	-	-	742.267	406.709	787.020	67.937	460.705	37.685	6.240.798	-	19.797
ARALIK	85.329	7.214.555	-	-	644.680	562.333	1.052.022	68.868	727.430	52.890	4.238.377	-	6.240
TOPLAM	458.962	37.003.362	-	-	10.681.241	3.431.427	6.843.864	989.560	4.005.086	301.435	64.054.412	-	184.063

Kaynak: Eskişehir BOTAŞ Müdürlüğü

Çizelge 6.12. Eskişehir İli'nde 1998 yılı endüstriyel doğal gaz kullanımı (m<sup>3</sup>)

	ESKİŞEHİR OTOGAR	ESKİŞEHİR ŞEKER FABRİKASI	KONEL	KREDİ YURTLAR	MAGNEZİT A.Ş.	OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ	TÜLOMSAŞ	TUSAŞ	ANADOLU ÜNİVERSİTESİ	2 EYLÜL KAMPÜSÜ	ESKİŞEHİR OSB (BUHAR)	ESKİŞEHİR OSB (ELKTRİK)	ESKİŞEHİR ÇİMENTO FABRİKASI
OCAK	103.439	6.289.845			727.885	565.426	868.150	101.440	737.648	50.725	5.047.635	0	0
ŞUBAT	83.795	1.495.578			693.681	481.870	835.840	82.391	655.292	46.390	6.139.094	0	0
MART	87.796	1.027.308		54.160	743.994	554.897	926.504	98.786	620.118	49.376	6.997.754	0	16.944
NİSAN	16.470	364.241		64.698	1.036.059	206.338	277.323	41.128	119.014	3.338	4.878.328	0	3.945
MAYIS	0	313.950	243.335	46.785	1.118.121	127.953	225.566	23.358	64.478	470	5.393.336	0	55.325
HAZİRAN	7.987	74.184	324.600	27.163	1.055.794	97.046	152.897	15.884	59.519	495	5.396.230	0	16.277
TEMMUZ	2.858	0	320.441	16.623	1.070.407	95.471	126.119	15.369	43.814	630	5.760.088	0	15.430
AĞUSTOS	2.915	28.433	309.480	15.458	1.118.059	83.073	105.445	17.578	39.558	2.373	4.797.462	9.052	16.033
EYLÜL	0	7.462.585	306.186	18.949	724.421	84.441	123.962	15.041	35.387	941	6.320.605	2.109.446	16.104
EKİM	15.546	8.687.889	316.971	42.538	765.431	129.903	218.547	32.526	86.499	399	6.451.358	4.214.498	31.923
KASIM	52.750	8.551.955	216.209	86.917	744.923	409.886	659.921	90.902	459.428	57.996	6.304.963	6.145.333	17.364
ARALIK	80.544	7.689.271	172.007	117.454	551.926	580.135	969.555	124.116	638.529	82.946	5.977.491	7.068.437	18.178
TOPLAM	654.100	41.985.238	2.209.228	490.745	10.350.705	3.416.439	5.489.326	658.519	3.549.284	296.079	69.464.346	19.546.768	207.523

Kaynak: Eskişehir BOTAŞ Müdürlüğü

Çizelge 6.13. Eskişehir İli'nde 1999 yılı endüstriyel doğal gaz kullanımı (m<sup>3</sup>)

	ESKİŞEHİR OTOGAR	ESKİŞEHİR ŞEKER FABRİKASI	KONEL	KREDİ YURLAR	MAGNEZİT A.Ş.	OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ	TÜLOMSAŞ	TUSAŞ	ANADOLU ÜNİVERSİTESİ	2 EYLÜL KAMPÜSÜ	ESKİŞEHİR OSB (BUHAR)	ESKİŞEHİR OSB (ELKTRİK)	ESKİŞEHİR ÇİMENTO FABRİKASI
OCAK	84.898	8.091.431	206.441	107844	407.616	534.395	793.992	117.797	614.478	83.904	5.921.044	6.191.691	20.479
ŞUBAT	75.728	7.837.806	220.712	85010	377.764	567.985	886.652	115.571	645.270	77.560	6.510.623	6.974.968	39.806
MART	61.764	2.461.612	254.746	77.307	662.927	511.898	701.100	114.936	442.978	69.200	7.066.347	6.523.127	22.990
NİSAN	22.156	482.432	277.574	55.388	743.922	337.975	366.460	111.182	210.694	20.901	7.752.548	7.002.027	115.785
MAYIS	3.652	1.042.815	303.944	24.031	766.159	154.128	138.363	42.756	27.607	213	8.022.544	7.081.683	15.803
HAZİRAN	3.530	885.404	326.671	17.443	732.647	122.119	128.295	15.024	44.195	147	7.929.479	6.637.809	15.539
TEMMUZ	0	711.154	335.511	6.664	756.301	110.616	90.498	15.473	56.859	183	7.440.901	6.968.719	26.091
AĞUSTOS	5.286	271.713	334.876	3.786	403.981	109.074	86.304	14.684	51.675	3.346	6.224.454	6.881.248	15.242
EYLÜL	2.568	2.038.466	198.464	7.987	383.739	126.666	114.499	15.721	66.128	4.558	6.888.341	7.385.792	15.568
EKİM	27.035	7.746.123	272.643	50.345	397.670	279.357	253.842	46.054	254.003	13.744	7.080.037	7.933.985	20.039
KASIM	46.714	6.549.392	255.340	77.737	385.859	502.209	660.630	62.584	653.456	89.932	7.152.056	7.679.672	44.110
ARALIK	70.830	8.287.554	250.080	90.597	392.430	633.476	820.855	85.760	790.385	122.395	6.864.303	7.945.350	0
TOPLAM	404.161	46.405.902	3.237.002	604.139	6.411.015	3.989.898	5.041.490	757.542	3.857.728	486.083	84.852.677	85.206.071	351.452

Kaynak: Eskişehir BOTAŞ Müdürlüğü

Çizelge 6.14. Eskişehir İli'nde kullanılan yıllık toplam endüstriyel doğal gaz miktarları (m<sup>3</sup>) ve aylık dağılımları

	1997	1998	1999
OCAK	12.225.521	14.492.193	23.176.010
ŞUBAT	7.973.540	10.513.931	24.415.455
MART	9.598.211	11.177.637	18.970.932
NİSAN	8.475.130	7.010.882	17.499.044
MAYIS	7.324.580	7.612.677	17.623.698
HAZİRAN	8.414.799	7.228.076	16.858.302
TEMMUZ	7.710.281	7.467.250	16.518.970
AĞUSTOS	7.641.763	6.544.919	14.405.669
EYLÜL	9.413.270	17.218.068	17.248.497
EKİM	17.320.668	20.994.028	24.374.877
KASIM	17.202.926	23.798.547	24.159.691
ARALIK	14.652.724	24.070.589	26.354.015
TOPLAM	127.953.412	158.318.300	241.605.160

### 6.2.3. Hareketli kaynaklar

Hareketli kaynaklarda (otomobil, otobüs, kamyon, lokomotif, uçak ve gemilerde) enerji elde etmek amacıyla yakılan ve buharlaşan yakıtlardan çeşitli uçucu organik bileşikler açığa çıkar. Özellikle kara taşıt araçları, hemen hemen çalışma alanının bütününe dağılabildiklerinden büyük önem taşırlar.

Benzinli taşıt araçları, benzin ve dizel kullanan toplam taşıt trafiğinin en büyük bölümünü oluşturur.

Bir araştırma alanında satılan benzin veya dizel miktarı bilindiğinde, emisyon faktörleri yardımıyla, trafikten kaynaklanan hava kirletici miktarını hesaplamak mümkündür. Ancak bu tür bir hesaplamada araç kategorilerinin güzergahlarının ve belirli bir zaman diliminde bu güzergahlarda katedilen toplam yol uzunluğunun güvenilir bir biçimde sağlanabilmesi gerekir. Dizelli otobüslerin güzergahları ve yakıt tüketimleri kolayca bulunabildiği halde benzinli araçların büyük bir bölümü ve dizelli kamyonlar için bu konuda daha etraflı çalışma yapmak ve zorunlu durumlarda tahminlere başvurmak gerekebilir.

Eskişehir İli'nde 1997, 1998, 1999 yıllarına ait motorlu araç sayıları Çizelge 6.15'de verilmektedir. Yıllık araç sayısındaki artış, ortalama % 5,55'dir.

Çizelge 6.15. Eskişehir İli'nde motorlu araç sayıları

		1997	1998	1999
Araç Cinsi		Araç sayısı	Araç sayısı	Araç sayısı
Motosiklet	Resmi	208	206	208
	Hususi	14204	14633	14545
	Ticari	7	8	8
	Toplam	14419	14847	14761
Otomobil	Resmi	627	617	628
	Hususi	50766	54051	58366
	Ticari Taksi Dolmuş	602	255	597
		172	176	168
	Toplam	52167	55099	59759
Minibüs	Resmi	229	236	243
	Hususi	1028	1089	1142
	Ticari	411	439	475
	Toplam	1668	1764	1860
Otobüs	Resmi	360	350	353
	Hususi	119	63	49
	Ticari	877	909	973
	Toplam	1356	1322	1375
Kamyonet	Resmi	476	473	480
	Hususi	6905	8008	8797
	Ticari	1031	1014	1039
	Toplam	8412	9495	10316
Kamyon	Resmi	819	832	842
	Hususi	2014	1972	2019
	Ticari	5301	4930	5063
	Toplam	8134	7734	7924
Genel Toplam		86156	90261	95995

Kaynak: Eskişehir Emniyet Müdürlüğü Trafik Şube Müdürlüğü

#### 6.2.4. Çöp depolama alanı

Çöp depolama alanlarında, çöplerin anaerobik şartlarda yavaş olarak bozunması sonucu metan, karbondioksit ve birtakım organik maddeler meydana gelmekte ve kısmen sıvı ortamda çözünmüş olan bu bileşikler havaya karışmaktadır.

İlgili envanterlerde kullanılacak bilgiler bir yörede üretilen toplam çöp istatistiklerine ve çöplerin bozunması ile ilgili emisyon faktörü ve termodinamik denge verilerine dayanır.

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'nden alınan bilgiye göre katı atık depolama alanı şehrin güneydoğusunda, Eskişehir-Seyitgazi yolu üzerinde, yolun solunda, şehir merkezine 15 km., Yenikent toplu konut alanına 5 km. mesafede, Kırtık-Şahindere mevkiinde yer almaktadır. Sahadaki atık kütlesi yaklaşık 2 milyon m<sup>3</sup>'lük bir hacmi kaplamaktadır. 12 yıldır çöp dökümü yapılmakta olan saha, yaklaşık 50 m derinlikteki bir vadinin yamacında, iki vadi arasında yer almaktadır [57].

#### 6.2.5. Kentsel atıksu arıtma tesisi

Atıksu arıtma tesislerinde, bileşimlerinde fazla miktarda organik madde içermelerinden dolayı özellikle havalandırma prosesi süresince sıvı ortamda çözünmüş organik bileşiklerin havaya geçişi söz konusu olmaktadır.

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi, Alpu yolu üzerinde şehre 10 km mesafede yer almaktadır. 1999 yılında işletmeye alınmış olup günlük arıtılan ortalama atıksu debisi 75.000 m<sup>3</sup>'dür. Tesiste evsel nitelikli ve endüstriyel nitelikli atıksular birlikte arıtılmaktadır. Atıksular, birincil arıtım işleminden sonra ikincil arıtım işlemine tabi tutulmakta ve gerekli kriterler sağlandıktan sonra Porsuk Nehri'ne deşarj edilmektedir.

#### 6.2.6. Benzin satış istasyonları

Benzin satış noktaları gibi noktasal kaynaklardan da buharlaşma yoluyla kayıplar meydana gelmektedir. Bu emisyonları belirlemek üzere kaynaklarla ilgili veriler toplanarak gerekli hesaplamaların yapılması gerekir.

Eskişehir İl Çevre Müdürlüğünden temin edilen benzin satış noktaları bilgilerine göre, ilin şehir merkezi ve civarında bulunan 25 benzin satış istasyonundan 18'i ile sözlü görüşme yoluyla veri alınmıştır. Alınan veriler hacımca satış miktarını göstermektedir. Elde edilen bu veriden, küresel satış miktarına geçmek için gerekli hesaplamalar sonradan yapılarak ton/ay cinsinden satış miktarları elde edilmiştir (Çizelge 6.16). Çizelgede görülen depo hacimleri standart depo hacimleri olup su tonajı cinsinden ifade edilmektedir.

Veri alınamayan istasyonlar, nispeten küçük ve şehir merkezine uzak olduğu düşünülen istasyonlardır.

### 6.2.7. Endüstriyel prosesler

Sanayi kuruluşlarının hava kirlenmesine başlıca iki türlü katkısı vardır. Bunlardan ilki proseslerin gerektirdiği enerjiyi elde etmek için yakılan yakıtlar olup, bunlarla ilgili kirlilik yayınları daha önce bahsedilen sabit kaynaklarda yakıt tüketimi kapsamında ele alınır. İkinci tür hava kirlenmesi ise prosese özeldir. Çok çeşitli teknolojik uygulamalar, hammadde türleri, üretim şekilleri, kapasite farkları vb. nedenlerle tesislerden kaynaklanan kirleticiler tür ve miktar açısından birbirine benzemez. Bu nedenlerle her biri birer nokta kaynak olan bu proseslerin, kirletici yayınları açısından detaylı şekilde incelenmesi esastır.

Eskişehir İlinde bulunan endüstriyel tesislerin üretim çeşitliliği ve teknolojik özellikleri incelenmiş, VOC emisyonu potansiyeli olan belli başlı tesisler ve üretim miktarları Çizelge 6.17.'de verilmiştir. Belirtilen kuruluşların bir kısmı OSB'de yer alırken, bazıları şehir merkezinde bulunmaktadır.

Çizelge 6.16. Eskişehir İli benzin satış istasyonları

İstasyon Adı	Adresi	Bayiliği	Depo Türü, Sayısı Ve Hacmi								Depo Dolum Sıklığı (Gün)		Satış Yapılan Araç Sayısı (Adet/Gün)	Toplam Aylık Satış Miktarı (Ton/Ay)
			Normal		Süper		Kurşunsuz		Motorin		Benzin	Mazot		
			Depo Sayısı	Depo Hacmi	Depo Sayısı	Depo Hacmi	Depo Sayısı	Depo Hacmi	Depo Sayısı	Depo Hacmi				
Sönmez Petrol	Yunus Emre Cad.	Petrol Ofisi	1	12	1	17	1	8	1	12				112,5
Melis Petrol	Yunus Emre Cad.	Total	1	4	1	4	1	8	1	4	3	3	200	120
Güven Petrol	Yunus Emre Cad.	BP	1	13	1	20	1	20	1	20	3	3	300	247,5
Çolpanlar Petrol	Sivrihisar Cad.	Petrol Ofisi	1	20	2	20	1	20	2	20	3	3		90
Zeytinoğlu Petrol	Sivrihisar Cad.	Petrol Ofisi	2	8	2	8	1	8	2	8	1	1		150
Akyürek Petrol	Yeni Terminal	Petrol Ofisi	2	2	2	20	1	20	2	20	3	3	150	75
Erçelebi Petrol	Çevre Yolu	BP	1	12	1	20	1	12	3	30	7	7	150-200	52,5
Köksal Petrol	Eston Karşısı	Petrol Ofisi	1	11	1	10	-	-	2	25	7	7	50	67,5
Yunus Emre Petrol	Sanayi Yolu	Petrol Ofisi	1	20	1	20	1	20	2	20			100	75
Sarar Petrol	Çifteler Cad.	Petrol Ofisi	1	20	1	20	1	20	2	40	1	1	600	900
Zeytinoğlu Petrol	Sanayi Çarşısı	Petrol Ofisi	1	16	1	12	1	8	1	16	1	1	400	375
Porsuk Petrol	Sivrihisar Cad.	BP	1	20	1	20	1	15	2	20	2	2	400	225
Bahar Petrol	Gültepe	ELF	2	20	1	20	1	15	1	20	2	2	200	75
Zeytinoğlu Petrol	Yenikent	Petrol Ofisi	2	14	2	14	1	12	2	14	2	2	300	300
Gencer Petrol	Kütahya Cad.	Total	2		2		1		2		3	3	500	375
Karacan Petrol	Çevre Yolu	Petrol Ofisi	1	16	1	16	1	16	2	20	3	3		375
Zeytinoğlu Petrol	Çevre Yolu	Petrol Ofisi	2	16	2	14	1	8	2	16	1	1	400	375
Porsuk petrol	İsmet İnönü Cad.	BP	1	24	1	16	1	18	2	24	1	1	300	225

Kaynak: Adı geçen benzin istasyonları ile sözlü görüşme

Çizelge 6.17. Eskişehir İli endüstriyel kaynaklar ve üretim miktarları

TESİS ADI	ADRESİ	ÜRETİM MİKTARI
<b>ORMAN ÜRÜNLERİ</b>		
Suntasan Orman San. Tic. A.Ş.	O.S.B	45.585 m <sup>3</sup> /yıl
<b>SERAMİK ÜRÜNLERİ</b>		
Toprak Saniteri ve Turizm İşletme San. Ve Tic.A.Ş.	O.S.B	16.200.000 m <sup>2</sup> /yıl
<b>TUĞLA KİREMIT FABRİKALARI</b>		
Kılıçoğlu yapı Elemanları San. Ve Tic. A.Ş.	O.S.B	17.280.000 adet/yıl
Endel A.Ş.	O.S.B	34.000.000 adet/yıl
Sertaş Ateş Tuğla san ve Tic.	O.S.B	
Çatel Kiremit Tuğla San. Tic. Ltd.	Atatürk Caddesi	24.245.625 adet/yıl Marsilya tipi
		4.849.125 adet/yıl Alaturka tipi
Çift Kurt Ltd. Şti.	İsmet İnönü Cad.	3.700.000 adet/yıl
Güneş Kiremit ve Tuğla Fab. Ltd. Şti.	İsmet İnönü Cad.	5.132.021 adet/yıl
Kılıçoğlu Toprak San. ve Tic. A.Ş	İsmet İnönü Cad.	37.535.958 adet/yıl
Konel Konut Elemanlar San ve Tic. A.Ş	Asarcıklı Cad.	38.495.888 adet/yıl
<b>ŞEKER FABRİKASI</b>		
T. Şeker Fabrikaları A.Ş	Yeni otogar yolu	1.000.000 ton pancar/sezon

Kaynak: Eskişehir Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü

### **6.3. Alana Özgü Kaynak Verilerinin Değerlendirilmesinde ve Envanter Oluşturulmasında Uygulanan Metodoloji**

Emisyon hesaplamaları için çok çeşitli yöntemlerin kullanılması mümkündür [11, 36, 42, 58]. Yerinde ve gerçek proses şartlarında yapılan ölçümler, gerçek emisyonların en iyi şekilde tespit edilmesini sağlar. Ancak bu yöntem pahalı ve zor bir işlemdir ve her zaman mümkün olmayabilir (Bkz EK-2).

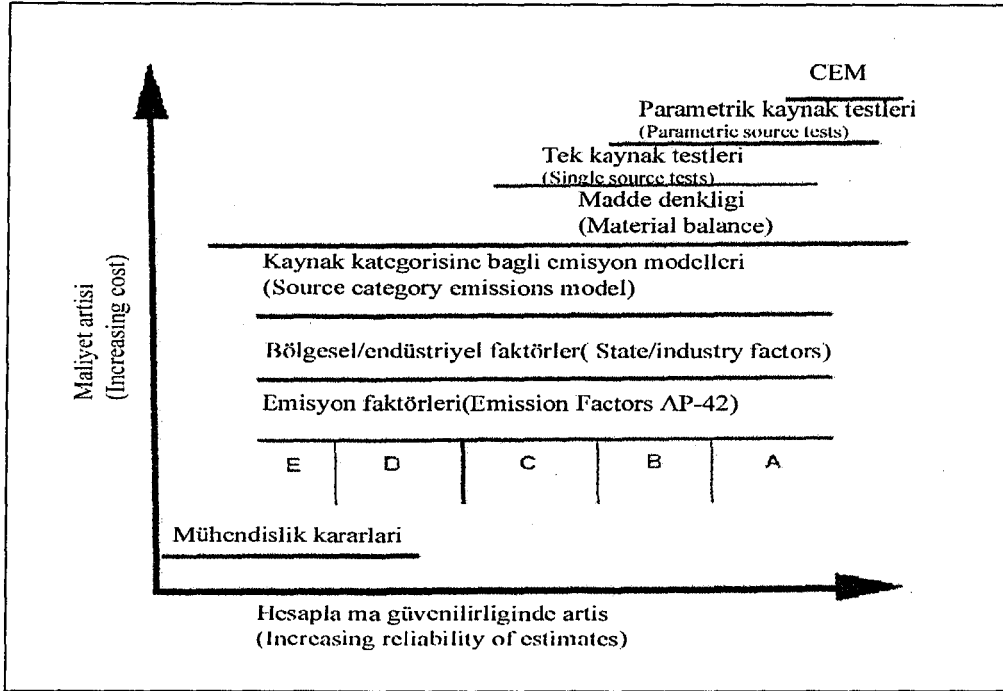
Bazı kaynaklar için, madde denkleğinin kullanılması, emisyon testlerinin sağladığından daha güvenilir sonuçlar verebilirse de bu yöntemde de hassas hammadde ve ürün analizlerine ve baca gazı testlerine çoğu kez ihtiyaç duyulur.

Proses ekipmanı satan firmalardan alınan emisyon bilgileri (özellikle garanti edilen emisyon performansı veya gerçek test verileri) de karar verme sürecinde etkili olabilir.

Emisyon envanterleri ve emisyon faktörleri hava kalitesi yönetimi için uzun zamandan beri temel araçlar olarak kullanılmaktadırlar. Bir bölgede, kirletici kaynakların hava kirlenmesine katkılarının belirlenmesi amacıyla, bu kaynaklarla ilgili bilgilerin sistematik bir tarzda toplanması "emisyon envanteri"ni; herhangi bir kaynaktan atmosfere verilen kirleticinin, üretilen/tüketilen maddenin birim miktarı, birim enerji üretimi/tüketimi veya bir taşıt aracının kat ettiği birim mesafe başına oluşan ortalama miktarı "emisyon faktörü"nü ifade eder.

Mevcut emisyon faktörü değerlerinin kullanılmasıyla teorik olarak emisyon hesaplamalarının yapılması, bugün bilinen en pratik ve en ucuz yöntemdir [42].Ancak, emisyon faktörlerinin farklı hassasiyetteki verilerden türetilmesi nedeniyle, bu faktörler kullanılarak hesaplanan emisyonlar, prosesten oluşan gerçek emisyonlardan az veya çok farklıdır.

Gereksinme sırasına ve karmaşıklık seviyesine göre, çeşitli emisyon hesaplama yaklaşımları Şekil 6.3'de görülmektedir [11].



Şekil 6.3. Emisyon hesaplama yaklaşımları[11]

Analizlerde hesaplamaların maliyeti ve hesaplama sonuçlarının kalitesi arasındaki ilişki göz önüne alınmalıdır. Olumsuz çevresel etkilerin veya sonuçların, yürürlükteki düzenlemelerin üstünde çıkması riskinin olduğu durumlarda daha karmaşık ve pahalı emisyon belirleme yöntemlerinin kullanılması gerekir. Emisyonların düşük olduğu ve yüksek maliyetli test işlemlerinin yapılmasına gerek olmadığı durumlarda, maliyeti daha düşük olan, emisyon faktörleri ve emisyon modelleri gibi yöntemler tatmin edici ve uygun olabilir. Emisyon faktörlerinin mevcut olmadığı, fakat risklerin düşük olduğu durumlarda mühendislik hükümleri kullanılarak benzer kaynak kategorilerine ait faktörlerden yararlanılabilir.

Emisyon faktörlerinin önem sıralaması yapılırken birinci basamakta, faktörü geliştirmek için kullanılan/veya kullanılacak olan temel emisyon verilerinin güvenilirliği ve kalitesi değerlendirilir.

Test verilerinin kalite sıralamasında, A'dan D'ye kadar değişen AP-42 gruplandırma esasları kullanılabilir [11]:

A: Sağlam bir metodoloji ile gerçekleştirilen ve doğrulama için yeterli detayları gösteren testlerdir.

B: Genellikle sağlam bir metodoloji ile gerçekleştirilen fakat doğrulama için yeterli detaydan yoksun olan testlerdir.

C: Yeni veya kanıtlanmamış bir metodolojiye dayanan veya önemli temel bilgilerden yoksun olan testlerdir.

D: Genellikle kabul edilmeyen bir yöntemle dayanan testlerdir; fakat yöntem kaynak için kabul edilebilir değerler sağlar.

İkinci basamakta ise, kaynak aktiviteleri için yıllık ulusal ortalama emisyonu tespit edecek faktörün kalite açısından geçerliliği değerlendirilir. Yine AP-42'ye göre emisyon faktörleri kalite itibariyle şöyle sıralanabilir [11]:

A: Mükemmel: Faktör, endüstriyel kirliliğin olduğu bölgelerden rastgele (random) seçilen bir çok tesisten A ve B kalitesindeki testlerin sonucunda geliştirilir.

B: Ortalama üstü: Faktör, makul sayıda tesiste gerçekleştirilen A ve B kalitesindeki testlerden alınan verilere dayanır. Kanıt gösterilmemiş olmasına rağmen, test edilen tesislerin rastgele örnekler olduğu da açık değildir.

C: Ortalama: Faktör, makul sayıdaki tesise ait A, B, C kalitesinde verilerden oluşturulmuştur. Kanıt olmamasına rağmen, bu durumda da test edilen tesislerin rastgele örnekler olduğu açık değildir.

D: Ortalama altı: Faktör, A, B, C kalitesindeki testlere ait, az sayıdaki veriden türetilmiştir. İncelenen tesislerin rastgele örnekler olmadığı düşünülebilir.

E: Zayıf: Faktör, C ve D kalitesindeki test verilere dayanmaktadır ve incelenen tesislerin rastgele örnekler olmadığı düşünülebilir.

AP-42'ye göre A, B, C, D ve E kategorilerinden birine veya diğerine dahil edilebilen emisyon faktörleri, ait oldukları proseslerle ilgili olarak istatistik açıdan anlamlı ve yeterli sayı ve sıklıkta ölçüme dayanan yoğun bir deneysel çalışma ve proses analizine ihtiyaç gösterir. Ancak her kaynak için bu kapsamda bir çalışma yapılamayabilir. Genelde bir çok gözleme veya yaygın olarak kabul edilen test prosedürlerine dayanan faktörlerin önem ve kalite itibariyle daha üst düzeyde yer aldığı düşünülür. Oysa, tek bir gözleme dayanan veya benzer bir proses için diğer bir faktörden türetilen faktör, muhtemelen daha düşük düzeyde değerlendirilir.

AP-42’de verilen bağıntılarda, genellikle, prosesle ilgili bir çok parametrenin (sıcaklık, reaktant derişimi vb.) etkisi açıkça görünmese de, petrol ürünleri depolama tanklarının emisyonları gibi birkaç durum için tank çapı, sıvı sıcaklığı, rüzgar hızı v.b. değişkenlerle ilişkili bazı ampirik formüller mevcuttur.

Bu çalışmada, çoğunlukla EPA tarafından, 200 sabit kaynak sınıfı için verilmiş olan AP-42 emisyon faktörü değerleri, burada yer almayan doğal kaynaklarla ilgili faktörler için de diğer literatür verileri kullanılmıştır.

### 6.3.1. Çalışmada erişilen temel bilgi ve veri kaynakları

Emisyon envanterlerinin oluşturulması için gereken veriler bir çok bilgi kaynağından temin edilebilir. Bazı veriler, birden fazla kaynağa başvurularak kontrol edilmelidir. Örneğin, bir bölgede satılan benzin miktarı, yalnızca benzin üretim tesislerinin pazarlama bölümlerine değil, birden fazla benzin satış noktasına sorularak kontrol edilmelidir. Emisyon envanteri oluşturmak amacıyla bilgi sağlanabilecek kaynak, kurum ve kuruluşlar arasında, literatürden sağlanan dokümanlar yanında,

- ◆ planlama komisyonları ve ticaret odaları, organize sanayi bölge müdürlükleri ve sanayi odası gibi yerel endüstriyel komisyonları;
- ◆ nüfus sayım büroları;
- ◆ ulusal ve yerel kömür satış noktaları; özel kömür, benzin, fuel-oil ve doğal gaz dağıtım firmaları;
- ◆ yerel kamu kuruluşları;
- ◆ araştırma ve ölçme yoluyla veri elde eden hava kirliliği kontrol merkezleri; ve
- ◆ trafik haritaları

sayılabilir [58].

Bu çalışmada, emisyon envanterini oluşturmak üzere kullanılan yöresel veriler; Eskişehir’de Çevre İl Müdürlüğü, Büyükşehir Belediyesi, BOTAŞ Müdürlüğü, Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Müdürlüğü, Emniyet Müdürlüğü Trafik Şube Müdürlüğü, Tarım İl Müdürlüğü ve Orman Bölge Müdürlüğü’nden temin edilmiştir.

### 6.3.2. Çalışma alanında toplam VOC emisyonunun hesaplanması

Bir bileşen için hesaplanan toplam emisyon sonuçları, coğrafi alt bölgelere ayrılmış bir alan haritasında gösterilebilir [1]. Alt bölgelerin alanı ve şekli; kirletici kaynaklar ve arazi kullanım amaçları, topografya ve nüfus yoğunluğu gibi genel karakteristikler göz önüne alınarak belirlenir. Mesela, merkezi ticaret alanları, yoğun endüstrileşme alanları, müstakil evlerin bulunduğu bölgeler ve toplu konut alanları ayrı bölgeler (5-10 km<sup>2</sup>) olarak alınabilir. Önce topografik yapıları, politik sınırları ve ana ulaşım yollarını gösteren bir çalışma alanı haritası hazırlanır ve bunun üzerinde bölgeler (nüfus yoğunluklarına göre) işaretlenir. Bu bölgeler, genellikle, modelleme çalışmalarında olduğu gibi, 1×1 km'lik (veya yoğun kirlenme bölgelerinde 0,5×0,5 km'lik) alanlar (grid) şeklinde belirlenir.

Kirletici madde miktarlarının, genellikle, her bir alt bölge için çizelge, grafik ve haritalarla ifade edildiği emisyon envanterlerinde kaynak kategorilerinin bağlı katkıları gösterilebilir. Her bir kirletici, yüzde cinsinden, kaynak kategorilerine bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilebilir [1].

Bilgi toplama-değerlendirme ve coğrafi alana ve kirletici kategorilerine yayma işlemleri sonucunda, araştırma bölgesinde kirletici maddenin yayınlanma şiddeti, belirli bir zaman ortalaması için (ton/gün v.b. cinsinden) yansıtılmış olur [36].

Bu çalışmanın yapıldığı alan için toplam emisyon değerlerini teorik yolla belirlemek üzere, emisyon faktörleri ve kaynağa özgü diğer veriler birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmada, literatürden bulunan emisyon faktörlerini, yöresel otoritelerden sağlanan alan verileriyle bağdaştırarak toplam emisyonların bulunmasını sağlayan model denklemler Çizelge 6.18'de topluca sunulmuştur.

Çizelge 6.18. Çalışmada toplam VOC emisyonlarının hesaplanması için kullanılan model denklemler

Denklem no	Kullanım alanı	Denklem
6.1.	Genel	Emisyon = $\left[ \begin{array}{l} \text{birim üretim} \\ \text{veya} \\ \text{tüketim} \end{array} \right] \times [\text{emisyon faktörü}] \times [\text{birim çevirme faktörü}]$
6.2	Doğal kaynak emisyonları	Emisyon (ton/yıl) = $\left[ \begin{array}{l} \text{biyokütle} \\ \text{miktarı} \\ \text{(ton)} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{emisyon} \\ \text{faktörü} \\ \text{(\mu g/g saat)} \end{array} \right] \times \left[ \frac{10^6 \text{ g}}{1 \text{ ton}} \right] \times \left[ \frac{1 \text{ ton}}{10^6 \mu\text{g}} \right] \times \left[ 24 \frac{\text{saat}}{\text{gün}} \times 365 \frac{\text{gün}}{\text{yıl}} \right]$
6.3	Evsel ısıtmada kömür kullanımı	Emisyon (ton/yıl) = $\frac{\left[ \begin{array}{l} \text{kullanılan} \\ \text{kömür} \\ \text{miktarı} \\ \text{(ton/yıl)} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{emisyon} \\ \text{faktörü} \\ \text{(lb/ton)} \end{array} \right] \times \left[ 0,5 \left( \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} / \frac{\text{lb}}{\text{ton}} \right) \right]}{1000 \text{ (ton/kg)}}$
6.4	Evsel ısıtmada ve endüstride doğal gaz kullanımı	Emisyon (ton/yıl) = $\frac{\left[ \begin{array}{l} \text{kullanılan} \\ \text{doğal gaz} \\ \text{miktarı} \\ \text{(m}^3\text{/yıl)} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{emisyon} \\ \text{faktörü} \\ \text{(lb/10}^6\text{ scf)} \end{array} \right] \times \left[ 16 \left( \frac{\text{kg}}{10^6 \text{ m}^3} / \frac{\text{lb}}{10^6 \text{ scf}} \right) \right]}{1000 \text{ (ton/kg)}}$
6.5	Hareketli kaynaklarda yakıt kullanımı	Emisyon (ton/yıl) = $\frac{\left[ \begin{array}{l} \text{araç} \\ \text{sayısı} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{yılda} \\ \text{katedilen} \\ \text{mesafe (km/ yıl)} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{emisyon} \\ \text{faktörü (g/km)} \end{array} \right]}{10^6 \text{ (ton/g)}}$
6.6	Çöp depolama alanlarında emisyonlar	Emisyon (ton/yıl) = $Q_p \times \left[ \frac{MW_p \times 1 \text{ atm}}{(8,205 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3 \cdot \text{atm}}{\text{gmol} \cdot \text{K}}) (10^3 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times \frac{10^3 \text{ kg}}{1 \text{ ton}}) (273 + T^\circ \text{K})} \right]$
6.7	Benzin istasyon. benzinin buharlaşma.	Emisyon (ton/ay) = $\left[ \begin{array}{l} \text{aylık satılan} \\ \text{benzin miktarı} \\ \text{(ton/yıl)} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{emisyon} \\ \text{faktörü} \\ \text{(\%)} \end{array} \right] \times \left[ 12 \frac{\text{ay}}{\text{yıl}} \right]$

Çizelge 6.18. (Devam) Çalışmada toplam VOC emisyonlarının hesaplanması için kullanılan model denklemler

Denklem no	Kullanım alanı	Denklem
6.8	Orman endüstrisi emisyonları	$\text{Emisyon (ton/ yıl)} = \frac{\left[ \frac{\text{tesis üretim miktarı (m}^3/\text{yıl)}}{\left[ \frac{3}{8} \text{ in} \times 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{in}} \right]} \right] \times \left[ \frac{\text{emisyon faktörü (lb/MSF } 3/8)}{\left[ 2,1 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \right]} \right] \times \left[ 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{lb}} \right]}{\left[ 9,2903.10^{-2} \frac{\text{m}^2}{\text{ft}^2} \right] \times 1000 \text{ (ton/kg)}}$
6.9	Seramik endüstrisi emisyonları	$\text{Emisyon (ton/yıl)} = \frac{\left[ \frac{\text{üretim miktarı (m}^2/\text{yıl)}}{\left[ 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}} \right]} \right] \times \left[ \frac{\text{emisyon faktörü (lb/ton)}}{\left[ 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} / \frac{\text{lb}}{\text{ton}} \right]} \right]}{1000 \text{ (ton/kg)}}$
6.10	Tuğla-kiremit endüstrisi emisyonları	$\text{Emisyon (ton/yıl)} = \frac{\left[ \frac{\text{üretim miktarı (adet/yıl)}}{\left[ 2,3 \frac{\text{kg}}{\text{adet}} \times \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}} \right]} \right] \times \left[ \frac{\text{emisyon faktörü (lb/ton)}}{\left[ 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} / \frac{\text{lb}}{\text{ton}} \right]} \right]}{1000 \text{ (ton/kg)}}$
6.11	Şeker endüstrisi emisyonları	$\text{Emisyon (ton/sezon)} = \frac{\left[ \frac{\text{üretim miktarı (ton/sezon)}}{\left[ \text{emisyon faktörü (lb/ton)} \right]} \right] \times \left[ 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} / \frac{\text{lb}}{\text{ton}} \right]}{1000 \text{ (ton/kg)}}$

## 7. BULGULAR

Bu bölümde sunulan verilerin hesaplanması için gereken yöresel kaynak verileri Eskişehir’de yerleşik yerel otoritelerden sağlanmış (Bkz. Bölüm 6.2.1.-6.2.7); her bir kirlenici kaynak türü için öncelikle literatürden bulunan [6, 11] ve EK-3’de listelenen emisyon faktörü değerleri, VOC emisyon faktörü değerlerine ulaşamayan kaynaklar için ise, AP-42’de yer alan benzer organik maddelere ilişkin emisyon faktörü değerleri kullanılmıştır. Örneğin, kömür için VOC emisyon faktörü değerleri mevcut olmadığından; soma kömürü için metan dışı toplam organik karbon (TNMOC), ithal kömür için ise toplam organik karbon (TOC) emisyon faktörü değerleri kullanılmıştır.

Aşağıdaki alt bölümlerde sunulmuş olan toplam emisyon değerleri Çizelge 6.18’de listelenen bağıntılardan yararlanılarak üretilmiş, hesaplamalarda, PC Excel programı kullanılmıştır.

Hesaplamaların çoğu 1997, 1998 ve 1999 yılları için yapılmış ancak farklı kaynak türlerine ait bulguların karşılaştırılmasında 1999 yılı verileri esas alınmıştır.

### 7.1. Doğal Kaynak Emisyonları

Doğal VOC kaynakları kapsamında incelenen ormanlık alanlar ve tarım arazileri ile ilgili hesaplamalarda 6.2 eşitliği kullanılmış, hesaplama sonuçları Çizelge 7.1 ve 7.2’de yansıtılmıştır.

Ormanlık alanlardan kaynaklanan yıllık VOC emisyonu miktarlarının hesabında, daha önce Çizelge 6.7’de verilen servet değerlerini biyokütleye çevirmek üzere, çam için  $500 \text{ kg/m}^3$ , meşe için  $497 \text{ kg/ster}$  değerleri kullanılmıştır.  $1 \text{ m}^3$ ’lük hacme istif edilen odun miktarı olarak tanımlanan "ster" değerinden  $\text{m}^3$ ’e geçiş için 0,75 faktörü kullanılmıştır.

Çizelge 7.1’de üç ayrı VOC bileşeni için verilen emisyonlar EK-3’den direkt olarak alınan emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tarım alanlarından kaynaklanan emisyon hesaplamalarına sadece buğday, arpa ve mısır üretimleri dahil edilmiştir. Çizelge 7.2’deki hesaplamalarda yine Çizelge EK-3.1’de buğday ve mısır için verilen emisyon faktörü değerleri direkt olarak kullanılmış; ancak arpa için faktörün değeri, buğdaya ait değer olarak alınmıştır.

Çizelge 7.1. Ormanlık alanlardan meydana gelen emisyonlar

	Toplam servet değeri (m <sup>3</sup> )	Toplam biyokütle (ton)	VOC emisyonları (ton/yıl)			
			İzopren	α-Pinen	Monoterpenler	Toplam
Çam	6.349.656	3.174.828	0	94.281	124.874	219.155
Meşe	824.091	307.180	53.522	269	161	53.952
Toplam	7.173.747	3.482.008	53.522	94.550	125.035	273.107

Çizelge 7.2. Tarım alanlarından kaynaklanan emisyonlar

	Yıllar	Üretim (ton)	VOC emisyonları (ton/yıl)			
			İzopren	α-Pinen	Monoterpenler	Toplam
Buğday	1997	105.750	11	19	4	34
	1998	110.515	12	20	4	36
	1999	115.200	12	21	4	37
Arpa	1997	52.700	6	10	2	17
	1998	49.445	5	9	2	16
	1999	49.800	5	9	2	16
Mısır	1997	3930	0	4	4	8
	1998	5735	0	6	6	11
	1999	5790	0	6	6	11

## 7.2. Sabit Kaynaklarda Yakıt Kullanımından Oluşan Emisyonlar

### 7.2.1. Eysel ısıtmada kömür tüketimi

Eysel ısınma amaçlı kömür tüketiminden kaynaklanan emisyon hesaplamalarını yapmak için 6.3 eşitliği kullanılmış ve soma kömürü için Çizelge EK-3.2'de verilen CH<sub>4</sub>, TNMOC ve ithal kömür için Çizelge EK-3.4'de verilen TOC emisyon faktörleri kullanılarak işlem yapılmıştır. Hesaplama sonucunda bulunan, emisyonlar Çizelge 7.3 (a), (b), (c)'de ve ithal kömürden kaynaklanan organik bileşik emisyonları Çizelge 7.4'de verilmektedir.

Çizelge 7.3. Evsel kömür kullanımından kaynaklanan emisyonlar

## (a) 1997 yılı emisyonları

	SOMA (ton)	CH <sub>4</sub> ton	TNMOC ton	İTHAL (ton)	CH <sub>4</sub> ton	TOC ton	Toplam VOC (TNMOC+TOC)
OCAK	29333,7	73,33	146,7	17374,6	69,50	2,61	149,3
ŞUBAT	18596,6	46,49	93,0	11014,9	44,06	1,65	94,6
MART	18458,2	46,15	92,3	10932,9	43,73	1,64	93,9
NİSAN	8933,3	22,33	44,7	5291,3	21,17	0,79	45,5
MAYIS	1411,1	3,53	7,1	835,8	3,34	0,13	7,2
HAZİRAN	414,9	1,04	2,1	245,7	0,98	0,04	2,1
TEMMUZ	178,5	0,45	0,9	105,8	0,42	0,02	0,9
AĞUSTOS	217,4	0,54	1,1	128,8	0,52	0,02	1,1
EYLÜL	209,5	0,52	1,0	124,1	0,50	0,02	1,1
EKİM	8412,5	21,03	42,1	4982,8	19,93	0,75	42,8
KASIM	18178,5	45,45	90,9	10767,3	43,07	1,62	92,5
ARALIK	25655,7	64,14	128,3	15196,1	60,78	2,28	130,6
TOPLAM	130000	325,00	650,0	77000	308,0	11,55	661,6

## (b) 1998 yılı emisyonları

	SOMA (ton)	CH <sub>4</sub> (ton)	TNMOC (ton)	İTHAL (ton)	CH <sub>4</sub> (ton)	TOC (ton)	Toplam VOC (TNMOC+TOC)
OCAK	22564,4	56,4	112,8	27077,3	108,3	4,06	116,9
ŞUBAT	14305,1	35,8	71,5	17166,1	68,7	2,57	74,1
MART	14198,6	35,5	71,0	17038,3	68,2	2,56	73,5
NİSAN	6871,8	17,2	34,4	8246,1	33,0	1,24	35,6
MAYIS	1085,5	2,7	5,4	1302,5	5,2	0,20	5,6
HAZİRAN	319,2	0,8	1,6	383,0	1,5	0,06	1,7
TEMMUZ	137,3	0,3	0,7	164,8	0,7	0,02	0,7
AĞUSTOS	167,2	0,4	0,8	200,7	0,8	0,03	0,9
EYLÜL	161,2	0,4	0,8	193,4	0,8	0,03	0,8
EKİM	6471,2	16,2	32,4	7765,4	31,1	1,16	33,5
KASIM	13983,5	35,0	69,9	16780,2	67,1	2,52	72,4
ARALIK	19735,2	49,3	98,7	23682,2	94,7	3,55	102,2
TOPLAM	100000,0	250,0	500,0	120000,0	480,0	18,00	518,0

## (c) 1999 yılı emisyonları

	SOMA (ton)	CH <sub>4</sub> ton	TNMOC ton	İTHAL (ton)	CH <sub>4</sub> ton	TOC ton	Toplam VOC (TNMOC+TOC)
OCAK	20308,0	50,8	101,5	33846,6	135,4	5,08	106,6
ŞUBAT	12874,6	32,2	64,4	21457,6	85,8	3,22	67,6
MART	12778,7	31,9	63,9	21297,9	85,2	3,19	67,1
NİSAN	6184,6	15,5	30,9	10307,7	41,2	1,55	32,5
MAYIS	976,9	2,4	4,9	1628,2	6,5	0,24	5,1
HAZİRAN	287,2	0,7	1,4	478,7	1,9	0,07	1,5
TEMMUZ	123,6	0,3	0,6	206,0	0,8	0,03	0,6
AĞUSTOS	150,5	0,4	0,8	250,8	1,0	0,04	0,8
EYLÜL	145,0	0,4	0,7	241,7	1,0	0,04	0,8
EKİM	5824,1	14,6	29,1	9706,8	38,8	1,46	30,6
KASIM	12585,1	31,5	62,9	20975,2	83,9	3,15	66,1
ARALIK	17761,6	44,4	88,8	29602,7	118,4	4,44	93,2
TOPLAM	90000,0	225,0	450,0	150000,0	600,0	22,50	472,5

Çizelge 7.4. Evsel ithal kömür kullanımından kaynaklanan organik bileşik emisyonları

Bileşik	Emisyon faktörü (lb/ton)	1997		1998		1999	
		Yıllık kömür tüketimi (ton)	Emisyon (ton/yıl)	Yıllık kömür tüketimi (ton)	Emisyon (ton/yıl)	Yıllık kömür tüketimi (ton)	Emisyon (ton/yıl)
Acenaphthene	2,20E-05	77000	8,47E-04	120000	1,32E-03	150000	1,65E-03
Acenaphthylene	8,60E-05	77000	3,31E-03	120000	5,16E-03	150000	6,45E-03
Anthanthrene	5,70E-07	77000	2,19E-05	120000	3,42E-05	150000	4,28E-05
Anthracene	2,50E-05	77000	9,63E-04	120000	1,50E-03	150000	1,88E-03
Benzo(a)anthracene	7,10E-05	77000	2,73E-03	120000	4,26E-03	150000	5,33E-03
Benzo(a)pyrene	5,30E-06	77000	2,04E-04	120000	3,18E-04	150000	3,98E-04
Benzo(e)pyrene	6,20E-06	77000	2,39E-04	120000	3,72E-04	150000	4,65E-04
Benzo(g,h,i,) perylene	5,50E-06	77000	2,12E-04	120000	3,30E-04	150000	4,13E-04
Benzo(k)fluoranthrene	2,50E-05	77000	9,63E-04	120000	1,50E-03	150000	1,88E-03
Biphenyl	ND	77000	ND	120000	ND	150000	ND
Chrysene	8,30E-05	77000	3,20E-03	120000	4,98E-03	150000	6,23E-03
Coronene	3,90E-06	77000	1,50E-04	120000	2,34E-04	150000	2,93E-04
Fluoranthrene	1,70E-04	77000	6,55E-03	120000	1,02E-02	150000	1,28E-02
Fluorene	2,50E-05	77000	9,63E-04	120000	1,50E-03	150000	1,88E-03
Indeno(123-cd) perylene	6,90E-06	77000	2,66E-04	120000	4,14E-04	150000	5,18E-04
Naphthalene	2,20E-04	77000	8,47E-03	120000	1,32E-02	150000	1,65E-02
Perylene	1,20E-06	77000	4,62E-05	120000	7,20E-05	150000	9,00E-05
Phenanthrene	2,40E-04	77000	9,24E-03	120000	1,44E-02	150000	1,80E-02
Pyrene	1,20E-04	77000	4,62E-03	120000	7,20E-03	150000	9,00E-03
TOPLAM			4,30E-02		6,70E-02		8,37E-02

### **7.2.2. Evsel ısıtmada doğal gaz tüketimi**

Evsel ısınma amaçlı doğal gaz tüketiminden kaynaklanan emisyon hesaplamaları yapılırken 6.4 eşitliği kullanılmıştır. Çizelge EK-3.6'da verilen TOC, CH<sub>4</sub> ve VOC emisyon faktörleri kullanılarak bulunan emisyonlar Çizelge 7.5'de, Çizelge EK-3.7'de verilen organik bileşik emisyon faktörü değerleri kullanılarak bulunan emisyonlar ise Çizelge 7.6 'da sunulmuştur.

### **7.2.3. Endüstride doğal gaz tüketimi**

Endüstriyel amaçlı doğal gaz tüketiminden kaynaklanan emisyon hesaplamaları yapılırken yine 6.4 eşitliği kullanılmış; Çizelge EK-3.6'da verilen TOC, CH<sub>4</sub> ve VOC emisyon faktörleri kullanılarak bulunan emisyonlar Çizelge 7.7'de, Çizelge EK-3.7'de verilen organik bileşik emisyon faktörü değerleri kullanılarak bulunan emisyonlar Çizelge 7.8'de verilmiştir.

### **7.3. Hareketli Kaynaklarda Yakıt Kullanımından Oluşan Emisyonlar**

Hareketli kaynaklarda yakıt kullanımından kaynaklanan emisyon hesaplamaları yapılırken 6.5 eşitliği kullanılmış; Çizelge EK-3.8'de verilen emisyon faktörü değerleri kullanılarak bulunan VOC emisyonları Çizelge 7.9'da derlenmiştir.

Araçların yılda kat ettikleri mesafeler, bu konuda yetkili kişilerle yapılan sözlü görüşmelerle tespit edilmiştir

Çizelge 7.5. Evsel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonlar

	1997				1998				1999			
	Şehir İçi Satış (m <sup>3</sup> )	TOC (Ton)	Metan (Ton)	VOC (Ton)	Şehir İçi Satış (m <sup>3</sup> )	TOC (Ton)	Metan (Ton)	VOC (Ton)	Şehir İçi Satış (m <sup>3</sup> )	TOC (Ton)	Metan (Ton)	VOC (Ton)
OCAK	13.897.214	2,45	0,51	1,22	10.552.892	1,86	0,39	0,93	14.693.111	2,59	0,54	1,29
ŞUBAT	6.844.381	1,20	0,25	0,60	8.708.213	1,53	0,32	0,77	10.211.995	1,80	0,38	0,90
MART	6.251.496	1,10	0,23	0,55	9.199.660	1,62	0,34	0,81	10.117.662	1,78	0,37	0,89
NİSAN	5.022.280	0,88	0,18	0,44	2.402.862	0,42	0,09	0,21	4.109.878	0,72	0,15	0,36
MAYIS	0	0,00	0,00	0,00	1.193.865	0,21	0,04	0,11	772.787	0,14	0,03	0,07
HAZİRAN	221.141	0,04	0,01	0,02	124.030	0,02	0,00	0,01	279.050	0,05	0,01	0,02
TEMMUZ	0	0,00	0,00	0,00	151.058	0,03	0,01	0,01	274.494	0,05	0,01	0,02
AĞUSTOS	86.683	0,02	0,00	0,01	94.931	0,02	0,00	0,01	184.952	0,03	0,01	0,02
EYLÜL	0	0,00	0,00	0,00	177.251	0,03	0,01	0,02	495.684	0,09	0,02	0,04
EKİM	3.870.581	0,68	0,14	0,34	3.144.441	0,55	0,12	0,28	5.502.644	0,97	0,20	0,48
KASIM	6.995.639	1,23	0,26	0,62	8.199.243	1,44	0,30	0,72	12.889.084	2,27	0,47	1,13
ARALIK	10.386.012	1,83	0,38	0,91	11.045.236	1,94	0,41	0,97	15.126.727	2,66	0,56	1,33
TOPLAM	53.575.427	9,43	1,97	4,71	54.993.682	9,68	2,02	4,84	74.535.689	13,12	2,74	6,56

Çizelge 7.6. Evsel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonların organik bileşik bazında dağılımı

Kirlenici	Emisyon faktörü (lb/10 <sup>6</sup> scf)	1997		1998		1999	
		Doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)	Doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)	Doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)
2-Methylnaphthalene	2,40E-05	53575427	2,06E-08	54993682	2,11E-08	74535689	2,86E-08
3-Methylchloranthrene	1,80E-06	53575427	1,54E-09	54993682	1,58E-09	74535689	2,15E-09
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	1,60E-05	53575427	1,37E-08	54993682	1,41E-08	74535689	1,91E-08
Acenaphthene	1,80E-06	53575427	1,54E-09	54993682	1,58E-09	74535689	2,15E-09
Acenaphthylene	1,80E-06	53575427	1,54E-09	54993682	1,58E-09	74535689	2,15E-09
Anthracene	2,40E-06	53575427	2,06E-09	54993682	2,11E-09	74535689	2,86E-09
Benz(a)anthracene	1,80E-06	53575427	1,54E-09	54993682	1,58E-09	74535689	2,15E-09
Benzene	2,10E-03	53575427	1,80E-06	54993682	1,85E-06	74535689	2,50E-06
Benzo(a)pyrene	1,20E-06	53575427	1,03E-09	54993682	1,06E-09	74535689	1,43E-09
Benzo(b)fluoranthene	1,80E-06	53575427	1,54E-09	54993682	1,58E-09	74535689	2,15E-09
Benzo(g,h,i)perylene	1,20E-06	53575427	1,03E-09	54993682	1,06E-09	74535689	1,43E-09
Benzo(k)fluoranthene	1,80E-06	53575427	1,54E-09	54993682	1,58E-09	74535689	2,15E-09
Butane	2,10E+00	53575427	1,80E-03	54993682	1,85E-03	74535689	2,50E-03
Chrysene	1,80E-06	53575427	1,54E-09	54993682	1,58E-09	74535689	2,15E-09

Çizelge 7.6. (Devam) Evsel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonların organik bileşik bazında dağılımı

Kirlenici	Emisyon faktörü (lb/10 <sup>6</sup> scf)	1997		1998		1999	
		Doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)	Doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)	Doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)
Dibenzo(a,h)anthracene	1,20E-06	53575427	1,03E-09	54993682	1,06E-09	74535689	1,43E-09
Dichlorobenzene	1,20E-03	53575427	1,03E-06	54993682	1,06E-06	74535689	1,43E-06
Ethane	3,10E+00	53575427	2,66E-03	54993682	2,73E-03	74535689	3,70E-03
Fluoranthene	3,00E-06	53575427	2,57E-09	54993682	2,64E-09	74535689	3,58E-09
Fluorene	2,80E-06	53575427	2,40E-09	54993682	2,46E-09	74535689	3,34E-09
Formaldehyde	7,50E-02	53575427	6,43E-05	54993682	6,60E-05	74535689	8,94E-05
Hexane	1,80E+00	53575427	1,54E-03	54993682	1,58E-03	74535689	2,15E-03
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	1,80E-06	53575427	1,54E-09	54993682	1,58E-09	74535689	2,15E-09
Naphthalene	6,10E-04	53575427	5,23E-07	54993682	5,37E-07	74535689	7,27E-07
Pentane	2,60E+00	53575427	2,23E-03	54993682	2,29E-03	74535689	3,10E-03
Phenanathrene	1,70E-05	53575427	1,46E-08	54993682	1,50E-08	74535689	2,03E-08
Propane	1,60E+00	53575427	1,37E-03	54993682	1,41E-03	74535689	1,91E-03
Pyrene,	5,00E-06	53575427	4,29E-09	54993682	4,40E-09	74535689	5,96E-09
Toluene	3,40E-03	53575427	2,91E-06	54993682	2,99E-06	74535689	4,05E-06
TOPLAM			9,67E-03		9,93E-03		1,35E-02

Çizelge 7.7. Endüstriyel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonlar

	1997				1998				1999			
	Endüstriyel Kullanım (m <sup>3</sup> )	TOC (ton)	Metan (ton)	VOC (ton)	Endüstriyel Kullanım (m <sup>3</sup> )	TOC (ton)	Metan (ton)	VOC (ton)	Endüstriyel Kullanım (m <sup>3</sup> )	TOC (ton)	Metan (ton)	VOC (ton)
OCAK	12.225.521	2,15	0,45	1,08	14.492.193	2,55	0,53	1,28	23.176.010	4,08	0,85	2,04
ŞUBAT	7.973.540	1,40	0,29	0,70	10.513.931	1,85	0,39	0,93	24.415.455	4,30	0,90	2,15
MART	9.598.211	1,69	0,35	0,84	11.177.637	1,97	0,41	0,98	18.970.932	3,34	0,70	1,67
NİSAN	8.475.130	1,49	0,31	0,75	7.010.882	1,23	0,26	0,62	17.499.044	3,08	0,64	1,54
MAYIS	7.324.580	1,29	0,27	0,64	7.612.677	1,34	0,28	0,67	17.623.698	3,10	0,65	1,55
HAZİRAN	8.414.799	1,48	0,31	0,74	7.228.076	1,27	0,27	0,64	16.858.302	2,97	0,62	1,48
TEMMUZ	7.710.281	1,36	0,28	0,68	7.467.250	1,31	0,27	0,66	16.518.970	2,91	0,61	1,45
AĞUSTOS	7.641.763	1,34	0,28	0,67	6.544.919	1,15	0,24	0,58	14.405.669	2,54	0,53	1,27
EYLÜL	9.413.270	1,66	0,35	0,83	17.218.068	3,03	0,63	1,52	17.248.497	3,04	0,63	1,52
EKİM	17.320.668	3,05	0,64	1,52	20.994.028	3,69	0,77	1,85	24.374.877	4,29	0,90	2,14
KASIM	17.202.926	3,03	0,63	1,51	23.798.547	4,19	0,88	2,09	24.159.691	4,25	0,89	2,13
ARALIK	14.652.724	2,58	0,54	1,29	24.070.589	4,24	0,89	2,12	26.354.015	4,64	0,97	2,32
TOPLAM	127.953.412	22,52	4,71	11,26	158.318.300	27,86	5,83	13,93	241.605.160	42,52	8,89	21,26

Çizelge 7.8. Endüstriyel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonların organik bileşik bazında dağılımı

Kirlenici	Emisyon faktörü (lb/10 <sup>6</sup> scf)	1997		1998		1999	
		Yıllık doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)	Yıllık doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)	Yıllık doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)
2-Methylnaphthalene	2,40E-05	127953412	4,91E-05	158318300	6,08E-05	241605160	9,28E-05
3-Methylchloranthrene	1,80E-06	127953412	3,69E-06	158318300	4,56E-06	241605160	6,96E-06
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	1,60E-05	127953412	3,28E-05	158318300	4,05E-05	241605160	6,19E-05
Acenaphthene	1,80E-06	127953412	3,69E-06	158318300	4,56E-06	241605160	6,96E-06
Acenaphthylene	1,80E-06	127953412	3,69E-06	158318300	4,56E-06	241605160	6,96E-06
Anthracene	2,40E-06	127953412	4,91E-06	158318300	6,08E-06	241605160	9,28E-06
Benz(a)anthracene	1,80E-06	127953412	3,69E-06	158318300	4,56E-06	241605160	6,96E-06
Benzene	2,10E-03	127953412	4,30E-03	158318300	5,32E-03	241605160	8,12E-03
Benzo(a)pyrene	1,20E-06	127953412	2,46E-06	158318300	3,04E-06	241605160	4,64E-06
Benzo(b)fluoranthene	1,80E-06	127953412	3,69E-06	158318300	4,56E-06	241605160	6,96E-06
Benzo(g,h,i)perylene	1,20E-06	127953412	2,46E-06	158318300	3,04E-06	241605160	4,64E-06
Benzo(k)fluoranthene	1,80E-06	127953412	3,69E-06	158318300	4,56E-06	241605160	6,96E-06
Butane	2,10E+00	127953412	4,30E+00	158318300	5,32E+00	241605160	8,12E+00
Chrysene	1,80E-06	127953412	3,69E-06	158318300	4,56E-06	241605160	6,96E-06

Çizelge 7.8.(Devam) Endüstriyel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonların organik bileşik bazında dağılımı

Kirlenici	Emisyon faktörü (lb/10 <sup>6</sup> scf)	1997		1998		1999	
		Yıllık doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)	Yıllık doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)	Yıllık doğal gaz tüketim miktarı (m <sup>3</sup> )	Emisyon (ton/yıl)
Dibenzo(a,h)anthracene	1,20E-06	127953412	2,46E-06	158318300	3,04E-06	241605160	4,64E-06
Dichlorobenzene	1,20E-03	127953412	2,46E-03	158318300	3,04E-03	241605160	4,64E-03
Ethane	3,10E+00	127953412	6,35E+00	158318300	7,85E+00	241605160	1,20E+01
Fluoranthene	3,00E-06	127953412	6,14E-06	158318300	7,60E-06	241605160	1,16E-05
Fluorene	2,80E-06	127953412	5,73E-06	158318300	7,09E-06	241605160	1,08E-05
Formaldehyde	7,50E-02	127953412	1,54E-01	158318300	1,90E-01	241605160	2,90E-01
Hexane	1,80E+00	127953412	3,69E+00	158318300	4,56E+00	241605160	6,96E+00
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	1,80E-06	127953412	3,69E-06	158318300	4,56E-06	241605160	6,96E-06
Naphthalene	6,10E-04	127953412	1,25E-03	158318300	1,55E-03	241605160	2,36E-03
Pentane	2,60E+00	127953412	5,32E+00	158318300	6,59E+00	241605160	1,01E+01
Phenanathrene	1,70E-05	127953412	3,48E-05	158318300	4,31E-05	241605160	6,57E-05
Propane	1,60E+00	127953412	3,28E+00	158318300	4,05E+00	241605160	6,19E+00
Pyrene,	5,00E-06	127953412	1,02E-05	158318300	1,27E-05	241605160	1,93E-05
Toluene	3,40E-03	127953412	6,96E-03	158318300	8,61E-03	241605160	1,31E-02
TOPLAM			2,31E+01		2,86E+01		4,36E+01

Çizelge 7.9. Motorlu araçlardan kaynaklanan yıllık emisyonlar

Araç Cinsi		Yılda katedilen mesafe (km)	VOC (ton/yıl)		
			1997	1998	1999
Motosiklet	Resmi	1825	3,0	3,0	3,0
	Hususi	2920	331,8	341,8	339,8
	Ticari	3650	0,2	0,2	0,2
	Toplam	8395	335,0	345,1	343,0
Otomobil	Resmi	10950	17,0	16,8	17,1
	Hususi	5475	689,3	733,9	792,5
	Ticari	47450	70,8	30,0	70,3
	Taksi Dolmuş	91250	38,9	39,8	38,0
	Toplam	155125	816,1	820,5	917,8
Minibüs	Resmi	10950	2,6	2,7	2,8
	Hususi	10950	11,8	12,5	13,1
	Ticari	73000	31,5	33,6	36,4
	Toplam	94900	46,0	48,9	52,3
Otobüs	Resmi	25550	50,2	48,8	49,2
	Hususi	36500	23,7	12,6	9,8
	Ticari	36500	174,8	181,2	193,9
	Toplam	98550	248,7	242,5	252,9
Kamyonet	Resmi	18250	55,7	55,3	56,2
	Hususi	18250	807,8	936,8	1029,1
	Ticari	18250	120,6	118,6	121,5
	Toplam	54750	984,1	1110,7	1206,8
Kamyon	Resmi	25550	141,9	144,1	145,9
	Hususi	25550	348,9	341,6	349,7
	Ticari	25550	918,3	854,0	877,1
	Toplam	76650	1409,0	1339,8	1372,7
GENEL TOPLAM			3838,9	3907,5	4145,6

#### 7.4. Çöp depolama alanı emisyonları

Düzensiz çöp depolama alanlarından kaynaklanan VOC emisyonları, Çizelge 6.18'de verilen 6.6. eşitliği [11] kullanılarak hesaplanmıştır

Anılan eşitlikte  $UM_p$ , kontrolsüz durumda P (NMOC) kirleticisinin kütle emisyonunu (ton/yıl);  $MW_p$ , P'nin moleküler ağırlığını (g/g mol);  $Q_p$ , P'nin hacımsal emisyon hızını ( $m^3$ /yıl); T ise çöp gazının sıcaklığını ( $25^\circ C$  alınabilir) simgelemektedir. Bu eşitlikte P kirleticisinin hacımsal emisyon hızını temsil eden  $Q_p$  değeri,

$$Q_p = 1,82 Q_{CH_4} \times \frac{C_p}{(1 \times 10^6)} \quad (7.1)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir. Burada metanın hacımsal emisyon hızı,  $Q_{CH_4}$  ( $m^3$ /yıl)

$$Q_{CH_4} = L_o R (e^{-kt} - e^{-kt}) \quad (7.2)$$

denkliğinden bulunabilir.

Son iki eşitlikte yer alan terimlerden  $C_p$ , çöp depolama alanından kaynaklanan gazda P bileşeninin bağıl hacımsal derişimini (ppmv);  $L_o$ , metan üretim potansiyelini ( $m^3$   $CH_4$ / Mg atık); R, aktif hal süresince ortalama yıllık atık kabul hızını (Mg/yıl); K ise metan üretim hız sabitini (1/yıl) temsil etmekte olup, t, ilk atık kabulünden itibaren geçen zamanı (yıl) göstermektedir.

Aktif çöp depolama alanları için  $c=0$  alınacağı açıktır. Çöp gazı bileşiminin bir ilk yaklaşımla (default value) %55  $CH_4$ , %45  $CO_2$  şeklinde olduğu kabul edilebilir. Ayrıca metan üretimine ilişkin kinetik hız sabiti için  $K=0,04$  1/yıl, atıkların metan üretim potansiyeli için de  $L_o=100$   $m^3$   $CH_4$ /Mg atık değerleri kullanılabilir [59].

Bu çalışmada henüz aktif durumda bulunan ve 12 yıl boyunca 2 milyon  $m^3$  atık ( $\rho=300$   $kg/m^3$ ) kabul edebilecek kapasiteye (V) sahip olan atık sahası ([57], [59]) için yıllık ortalama atık kabul hızı

$$R = \left( \frac{V}{t} \right) (\rho) = \left( \frac{2 \cdot 10^6 \text{ m}^3}{12 \text{ yıl}} \right) \times \left( 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1000 \text{ g}}{\text{kg}} \right) = 50.000 \frac{\text{Mg}}{\text{yıl}} \quad (7.3)$$

değeri, metan üretim hızı,  $Q_{CH_4}$ , için ise sırasıyla, 1997, 1998 ve 1999 yıllarına ait 1.779.818, 1.906.083 ve 2.027.397  $m^3$ /yıl değerleri hesaplanmıştır.

Bu yolla yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan VOC emisyonları Çizelge 7.10'da verilmektedir.

Çizelge 7.10. Katı atık depolama alanından kaynaklanan emisyonlar

Bileşik	Moleküler Ağırlık	Default Derişimi (ppmv)	1997		1998		1999	
			Emisyon Hızı (m <sup>3</sup> /yıl)	Kütle Emisyonu (ton/yıl)	Emisyon Hızı (m <sup>3</sup> /yıl)	Kütle Emisyonu (ton/yıl)	Emisyon Hızı (m <sup>3</sup> /yıl)	Kütle Emisyonu (ton/yıl)
1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	133,41	0,48	1,55	0,00848	1,67	0,0091	1,77	0,0097
1,1,2,2-Tetrachloroethane	167,85	1,11	3,60	0,02468	3,85	0,0264	4,10	0,0281
1,1-Dichloroethane (ethylidene dichloride)	98,97	2,35	7,61	0,03081	8,15	0,0330	8,67	0,0351
1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride)	96,94	0,2	0,65	0,00257	0,69	0,0028	0,74	0,0029
1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride)	98,96	0,41	1,33	0,00538	1,42	0,0058	1,51	0,0061
Acetone	58,08	7,01	22,71	0,05394	24,32	0,0578	25,87	0,0614
Acrylonitrile	53,06	6,33	20,50	0,04450	21,96	0,0477	23,36	0,0507
Butane	58,12	5,03	16,29	0,03873	17,45	0,0415	18,56	0,0441
Carbon tetrachloride	153,84	0,004	0,01	0,00008	0,01	0,0001	0,01	0,0001
Chlorobenzene	112,56	0,25	0,81	0,00373	0,87	0,0040	0,92	0,0042
Chlorodifluoromethane	86,47	1,3	4,21	0,01489	4,51	0,0159	4,80	0,0170
Chloroethane (ethyl chloride)	64,52	1,25	4,05	0,01068	4,34	0,0114	4,61	0,0122
Chloroform	119,39	0,03	0,10	0,00047	0,10	0,0005	0,11	0,0005
Chloromethane	50,49	1,21	3,92	0,00809	4,20	0,0087	4,46	0,0092

Çizelge 7.10.(Devam) Katı atık depolama alanından kaynaklanan emisyonlar

Bileşik	Moleküler Ağırlık	Default Derişimi (ppmv)	1997		1998		1999	
			Emisyon Hızı (m <sup>3</sup> /yıl)	Kütle Emisyonu (ton/yıl)	Emisyon Hızı (m <sup>3</sup> /yıl)	Kütle Emisyonu (ton/yıl)	Emisyon Hızı (m <sup>3</sup> /yıl)	Kütle Emisyonu (ton/yıl)
Dichlorodifluoromethane	120,91	15,7	50,86	0,25149	54,46	0,2693	57,93	0,2865
Dichlorofluoromethane	102,92	2,62	8,49	0,03572	9,09	0,0383	9,67	0,0407
Dichloromethane (methylene chloride)	84,94	14,3	46,32	0,16092	49,61	0,1723	52,77	0,1833
Ethane	30,07	889	2879,71	3,54150	3084,00	3,7927	3280,29	4,0341
Ethylbenzene	106,16	4,61	14,93	0,06484	15,99	0,0694	17,01	0,0739
Fluorotrichloromethane	137,38	0,76	2,46	0,01383	2,64	0,0148	2,80	0,0158
Hexane	86,18	6,57	21,28	0,07501	22,79	0,0803	24,24	0,0854
Methyl ethyl ketone	72,11	7,09	22,97	0,06773	24,60	0,0725	26,16	0,0772
Methyl isobutyl ketone	100,16	1,87	6,06	0,02481	6,49	0,0266	6,90	0,0283
Pentane	72,15	3,29	10,66	0,03145	11,41	0,0337	12,14	0,0358
Propane	44,09	11,1	35,96	0,06484	38,51	0,0694	40,96	0,0739
t-1,2-dichloroethene	96,94	2,84	9,20	0,03647	9,85	0,0391	10,48	0,0415
Trichloroethylene (trichloroethene)	131,4	2,82	9,13	0,04909	9,78	0,0526	10,41	0,0559
Vinyl chloride	62,5	7,34	23,78	0,06078	25,46	0,0651	27,08	0,0692
Xylenes	106,16	12,1	39,20	0,17018	41,98	0,1822	44,65	0,1938
TOPLAM				4,97		5,24		5,58

## 7.5. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Emisyonları

Atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan VOC emisyonu hesaplamaları, AP-42'nin ilgili bölümünde (1. Cilt, 4. Konuda, 4.3 başlıklı Atıksu Toplama, Arıtma ve Depolama bölümü) yer alan yöntemle göre yapılmıştır; mekanik olarak havalandırılan, biyolojik arıtma yapan ve alıcı ortama deşarj eden bir tesis için örnek hesaplama EK-4'de verilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda kullanılan parametrelerden atıksu debisi ( $Q=0,87 \text{ m}^3/\text{s}$ ), atıksu yüksekliği ( $D=4 \text{ m}$ ), atıksu yüzey alanı ( $A=1105 \text{ m}^2$ ) ve havalandırma havuzunun biyokütle derişimi ( $b_i=3 \text{ g/L}$ ) Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisine ait olup, diğer parametreler örnek hesaplamadakine benzer şekilde alınmıştır. Atıksuda organik madde derişimleri ise (gerçek ölçüm sonuçlarına ulaşamadığı için) 1998 yılında Amerika'da yapılan bir çalışmadan [26] alınmıştır.

Anılan belediyenin arıtma tesisinden açığa çıkan VOC emisyonlarının her bir bileşen için toplam miktarı Çizelge 7.11'de, hesaplanan parametre değerleri ise Çizelge 7.12'de verilmiştir.

Çizelge 7.11. Atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan emisyonlar

Bileşik	VOC emisyonu <sup>a</sup> (ton/yıl)	1,1,1-Trikloroetan haricinde VOC emisyonu <sup>b</sup> (ton/yıl)
Benzen	133,05	133,05
1,1,1-Trikloroetan	1658,38	-
Toluen	145,63	145,63
Tetrakloretilen	196,46	196,46
1,4-Diklorobenzen	21,98	21,98
Kloroform	(yeterli veri bulunamamıştır)	(yeterli veri bulunamamıştır)
Trikloroetilen	52,72	52,72
Etilbenzen	21,29	21,29
1,2-Dikloroetan	14,60	14,60
O-Ksilen	77,32	77,32
TOPLAM	2321,43	663,05

(a) Kloroform harici VOC emisyonları

(b) Kloroform ve 1,1,1-trikloroetan harici VOC emisyonları (Bu çizelgenin ikinci kolonunda 1,1,1-trikloroetan için verilen değerler, diğer bileşiklerinkine kıyasla yüksek oluşu, ancak buna rağmen bu kolondaki verilere temel oluşturan verilerin alındığı kaynağın tek oluşu ve bu kaynaktan da atıksuyun kökeni ve karakteristikleri hakkında yeterli açıklama yapılmamış olması nedeniyle, burada emisyon miktarı bir kez de bu bileşik hariç tutularak hesaplanmıştır.)

Çizelge 7.12. Atıksu arıtma tesisi model hesaplama sonuçları

BİLEŞİK	$C_0$ (g/m <sup>3</sup> )	$D_{w,C}$ (cm <sup>2</sup> /s)	$D_{a,C}$ (cm <sup>2</sup> /s)	$H_C$ (atm·m <sup>3</sup> /gmol)	$K_{max,C}$ (g/g·s)	$K_{s,C}$ (g/m <sup>3</sup> )	$k_{l(T)}$ (m/s)	Re	P	ScG
Benzen	10,29	9,80E-06	8,80E-02	5,50E-03	5,28E-06	1,36E+01	8,76E-02	3,11E+06	2,82E-04	1,71
1,1,1-Trikloretan	83	8,80E-06	7,80E-02	4,92E-03	9,72E-07	4,73E+00	8,30E-02	3,11E+06	2,82E-04	1,93
Toluen	14	8,60E-06	8,70E-02	6,68E-03	2,04E-05	3,06E+01	8,21E-02	3,11E+06	2,82E-04	1,73
Tetrakloretilen	9	8,20E-06	7,20E-02	2,90E-02	1,72E-06	9,12E+00	8,02E-02	3,11E+06	2,82E-04	2,09
1,4-Diklorobenzen	5	7,90E-06	6,90E-02	1,60E-03	1,78E-06	2,78E+00	7,87E-02	3,11E+06	2,82E-04	2,19
Kloroform	10									
Trikloretilen	3	9,10E-06	7,90E-02	9,10E-03	1,08E-06	4,43E+00	8,44E-02	3,11E+06	2,82E-04	1,91
Etilbenzen	2	7,80E-06	7,50E-02	6,44E-03	1,89E-06	3,24E+00	7,82E-02	3,11E+06	2,82E-04	2,01
1,2-Dikloreten	2	9,90E-06	1,04E-01	1,20E-03	5,83E-07	2,14E+00	8,81E-02	3,11E+06	2,82E-04	1,45
O-Ksilen	7	1,00E-05	8,70E-02	5,27E-03	1,13E-05	2,29E+01	8,85E-02	3,11E+06	2,82E-04	1,73

BİLEŞİK	Fr	$k_{g(T)}$ (m/s)	F/D	U* (m/s)	$S_{cL}$	$k_{l(Q)}$ (m/s)	de m	$k_{g(Q)}$ (m/s)	Keq	$K_T$ (m/s)
Benzen	987	0,110	9,38	0,13	911,22	1,06E-06	37,52	0,0072	0,225	0,019
1,1,1-Trikloretan	987	0,103	9,38	0,13	1014,77	1,05E-06	37,52	0,0067	0,201	0,017
Toluen	987	0,109	9,38	0,13	1038,37	1,05E-06	37,52	0,0072	0,273	0,022
Tetrakloretilen	987	0,099	9,38	0,13	1089,02	1,05E-06	37,52	0,0063	1,185	0,048
1,4-Diklorobenzen	987	0,097	9,38	0,13	1130,38	1,05E-06	37,52	0,0062	0,065	0,006
Kloroform										
Trikloretilen	987	0,104	9,38	0,13	981,32	1,05E-06	37,52	0,0067	0,372	0,027
Etilbenzen	987	0,101	9,38	0,13	1144,87	1,05E-06	37,52	0,0065	0,263	0,020
1,2-Dikloreten	987	0,119	9,38	0,13	902,02	1,06E-06	37,52	0,0081	0,049	0,005
O-Ksilen	987	0,109	9,38	0,13	893,00	1,06E-06	37,52	0,0072	0,215	0,019

Çizelge 7.12.(Devam) Atıksu arıtma tesisi model hesaplama sonuçları

BİLEŞİK	$K_Q$ (m/s)	$A_T$ (m <sup>2</sup> )	$A_Q$ (m <sup>3</sup> )	K (m/s)	a	b (g/m <sup>3</sup> )	c	$C_L$ (g/m <sup>3</sup> )	N (g/s)	N (ton/yıl)
Benzen	1,06E-06	265,2	839,8	0,0046	6,863	163,53	-139,94	0,83	4,22	133,05
1,1,1-Trikloreten	1,05E-06	265,2	839,8	0,0040	6,062	-39,51	-392,57	11,94	52,59	1658,38
Toluen	1,05E-06	265,2	839,8	0,0052	7,658	531,56	-428,63	0,80	4,62	145,63
Tetrakloretilen	1,05E-06	265,2	839,8	0,0114	15,527	158,82	-82,06	0,49	6,23	196,46
1,4-Diklorobenzen	1,05E-06	265,2	839,8	0,0014	2,791	29,86	-13,91	0,45	0,70	21,98
Kloroform										
Trikloretillen	1,05E-06	265,2	839,8	0,0064	9,080	53,75	-13,30	0,24	1,67	52,72
Etilbenzen	1,05E-06	265,2	839,8	0,0048	7,057	49,64	-6,48	0,13	0,68	21,29
1,2-Dikloreten	1,05E-06	265,2	839,8	0,0013	2,672	12,62	-4,29	0,32	0,46	14,60
O-Ksilen	1,06E-06	265,2	839,8	0,0045	6,657	317,85	-160,00	0,50	2,45	77,32
TOPLAM		-	-	-	-	-	-	-	73,61	2321,43

## 7.6. Benzin İstasyonlarında Oluşan Emisyonlar

Benzin istasyonlarında dolum sırasında buharlaşma kayıpları şeklinde ortaya çıkan emisyonlar,

$$\text{VOC emisyonu} = \left( \begin{array}{c} \text{tanktan dışarı atılan} \\ \text{hava - VOC karışımı} \\ \text{hacmi} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{gaz karışımındaki} \\ \text{VOC derişimi} \end{array} \right) \quad (7.4)$$

$$m_i = \Delta V \times c_i$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir [8]. Burada  $m_i$ ,  $i$  bileşeninin kütlese emisyonunu (kg/ yıl);  $c_i$ , kaçak gaz karışımındaki  $i$  derişimini (lb/ft<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup> v.b) simgelemektedir.

Derişimi ifade eden,

$$c_i = \frac{y_i M_i}{V_{\text{molar hacim}}} \quad (7.5)$$

denklemindeki buhar mol kesri yerine  $y_i = x_i \frac{p_i}{P}$  (Raoult yasası), gazın (benzinin) molar hacmi yerine de ideal gaz kanununa göre hesaplanan hacim değeri yerleştirilirse (7.4) ve (7.5) eşitliklerinden

$$\frac{m_i}{\Delta V} = \frac{x_i \times p_i \times M_i}{P} \times \frac{P}{RT} = \frac{x_i \times p_i \times M_i}{RT} \quad (7.6)$$

bağıntısı türetilmiş olur.

Böylece sıvı benzin için ( $M_i=60$  lb/lb mol,  $p_i=6$  psia;  $\rho_i=47$  lb/ft<sup>3</sup>) 7.6 eşitliğine göre  $i$  bileşeninin buhar basıncındaki yoğunluğu ve kütlese buharlaşma yüzdesi hesaplanabilir. Ayrıca, buharlaşan benzinin havadaki kısmi basıncının buhar basıncına ( $p_i$ ) eşit alınabildiği koşullarda, saf sıvı benzin ( $x_i=1$ ) için bu değer buharlaşan benzinin ortam sıcaklığındaki yoğunluğuna eşdeğerdir.

$$\frac{m_i}{\Delta V} = \frac{x_i \times p_i \times M_i}{RT} = \frac{1,00 \times 6 \text{ psia} \times 60 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}}{\left(10,73 \frac{\text{psi} \cdot \text{ft}^3}{\text{lbmol}^\circ R}\right) \times (460 + 68^\circ F)^\circ R} = 0,063 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 1,02 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{\text{(Buhar olarak salınan benzinin yoğunluğu)}}{\text{(Sıvı benzinin yoğunluğu)}} = \frac{0,063 \text{ lb/ft}^3}{47 \text{ lb/ft}^3} = 1,34 \times 10^{-3} = \%0,134$$

Bu şekilde, benzinin kütlese buharlaşma yüzdesi 6.7 denklemini kullanılarak, bir VOC componenti sayılan benzinin hesaplanan yıllık emisyon potansiyeli Çizelge 7.13 ve Çizelge 7.14'de sunulmuştur.

Çizelge 7.13. Benzin istasyonlarından kaynaklanan buharlaşma emisyonları

İstasyon adı	Toplam aylık satış miktarı (ton/ay)	Benzinin buharlaşmasından kaynaklanan VOC emisyonu	
		(ton/ay)	(ton/yıl)
Sönmez Petrol	112,5	0,15	1,81
Melis Petrol	120	0,16	1,93
Güven Petrol	247,5	0,33	3,98
Çolpanlar Petrol	90	0,12	1,45
Zeytinoğlu Petrol	150	0,20	2,41
Akyürek Petrol	75	0,10	1,21
Erçelebi Petrol	52,5	0,07	0,84
Köksal Petrol	67,5	0,09	1,09
Yunus Emre Petrol	75	0,10	1,21
Sarar Petrol	900	1,21	14,47
Zeytinoğlu Petrol	375	0,50	6,03
Porsuk Petrol	225	0,30	3,62
Bahar Petrol	75	0,10	1,21
Zeytinoğlu Petrol	300	0,40	4,82
Gencer Petrol	375	0,50	6,03
Karacan Petrol	375	0,50	6,03
Zeytinoğlu Petrol	375	0,50	6,03
Porsuk petrol	225	0,30	3,62
TOPLAM	4215	5,65	67,78

Çizelge 7.14. Benzin istasyonlarından kaynaklanan buharlaşma emisyonlarının yıllara bağlı değişimi

	1997 (*)	1998 (*)	1999
Toplam Aylık Satış (ton)	3783	3963	4215
VOC Emisyonu (ton/yıl)	60,83	63,73	67,78

(\*) 1997 ve 1998 yılı benzin satış miktarları 1999 yılı verileri ve araç sayılarından yola çıkılarak hesap yoluyla bulunmuştur

## 7.7. Endüstriyel Proses Emisyonları

### 7.7.1. Orman endüstrisi

Orman endüstrisinde prosesten kaynaklanan VOC emisyonu hesaplamaları 6.8 eşitliğine göre, Çizelge EK-3.10'da verilen emisyon faktörü değerleri kullanılarak yapılmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 7.15'de verilmiştir.

Çizelge 7.15. Orman endüstrisinden kaynaklanan emisyonlar

Tesisin adı	Üretim miktarı (m <sup>3</sup> )	Üretim miktarı (m <sup>2</sup> )	Üretim miktarı (ft <sup>2</sup> )	Emisyon Faktörü lb/1000 ft <sup>2</sup>	VOC Emisyonu (ton/yıl)
Organize Sanayi Bölgesi					
Suntasan	45585	4785826,772	51514232,82	2,1	54,09

### 7.7.2. Seramik endüstrisi

Seramik endüstrisi prosesten kaynaklanan VOC emisyonu hesaplamaları 6.9 eşitliğine göre, Çizelge EK-3.11'de verilen emisyon faktörü değerleri kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalarda 1 m<sup>2</sup> seramiğin 20 kg olduğu varsayılmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 7.16'da verilmiştir.

Çizelge 7.16. Seramik üretiminden kaynaklanan emisyonlar

Tesisin adı	Üretim miktarı (m <sup>2</sup> /yıl)	Üretim miktarı (ton/yıl)	Emisyon faktörü (lb/ton)	Emisyon (ton/yıl)
Organize Sanayi Bölgesi				
Toprak A.Ş	16200000	324000	0,43	69,66

### 7.7.3. Tuğla-kiremit endüstrisi

Tuğla-kiremit endüstrisinde prosesten kaynaklanan VOC emisyonu hesaplamaları 6.10 eşitliğine göre, Çizelge EK-3.12'de verilen emisyon faktörü değerleri kullanılarak yapılmıştır.

Marsilya tipi tuğla 2,5 kg, Alaturka tipi tuğla 2,2 kg, Dar alaturka tipi tuğla 1,85 kg, Valenciya tipi tuğla 2,7 kg ağırlığındadır. Hesaplamalar sırasında ortalama bir tuğla ağırlığı 2,3 kg olarak alınmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan TOC, metan ve VOC emisyonları Çizelge 7.17'de, Çizelge EK-3.13'de verilen emisyon faktörlerine göre tuğla üretiminden kaynaklanan organik bileşik emisyonları ise Çizelge 7.18'de sunulmaktadır.

Çizelge 7.17. Tuğla kiremit üretiminden kaynaklanan emisyonlar

Tesisin Adı	Üretim kapasitesi (ton/yıl)	TOC (ton/yıl)	Metan (ton/yıl)	VOC (ton/yıl)
<b>Organize Sanayi Bölgesi</b>				
Kılıçoğlu	39744,00	6,08	3,32	5,25
Endel	78200,00	11,96	6,53	10,32
Sertaş	478,50	0,07	0,04	0,06
<b>O.S.B Toplam</b>	<b>118422,50</b>	<b>18,12</b>	<b>9,89</b>	<b>15,63</b>
<b>Şehir içi</b>				
Çatıl	71282,14	10,91	5,95	9,41
Çift Kurt	8510,00	1,30	0,71	1,12
Güneş	11803,65	1,81	0,99	1,56
Kılıçoğlu	86332,70	13,21	7,21	11,40
Koncl	88540,54	13,55	7,39	11,69
Kılıçoğlu İnş.	23757,42	3,63	1,98	3,14
<b>Şehir İçi Toplam</b>	<b>290226,45</b>	<b>44,40</b>	<b>24,23</b>	<b>38,31</b>
<b>Tuğla üretiminden kaynaklanan toplam miktarlar</b>	<b>408648,95</b>	<b>62,52</b>	<b>34,12</b>	<b>53,94</b>

Çizelge 7.18. Tuğla-kiremit üretiminden meydana gelen organik bileşik emisyonları

BİLEŞİK	Emisyon faktörü	Toplam üretim (ton/yıl)	Emisyonlar (ton/yıl)
1,1,1-Trichloroetane	4,7E-06	210808,6194	5,0E-04
1,4-dichlorobenzene	4,8E-05	210808,6194	5,1E-03
2-methylnaphthalene	5,7E-05	210808,6194	6,0E-03
2-butanone	2,2E-04	210808,6194	2,3E-02
2-Hexanone	8,5E-05	210808,6194	9,0E-03
Acetone	1,7E-03	210808,6194	1,8E-01
Benzene	2,9E-03	210808,6194	3,1E-01
Bis(2-ethylhexy)phthalate	2,0E-03	210808,6194	2,1E-01
Butylbenzylphthalate	1,8E-05	210808,6194	1,9E-03
Carbon disulfide	4,3E-05	210808,6194	4,5E-03
Chlorine	1,3E-03	210808,6194	1,4E-01
Chloroetane	5,7E-04	210808,6194	6,0E-02
Chlorometane	6,7E-04	210808,6194	7,1E-02
Di-n-butylphthalate	1,4E-04	210808,6194	1,5E-02
Diethylphthalate	2,4E-04	210808,6194	2,5E-02
Ethylbenzene	4,4E-05	210808,6194	4,6E-03
M-/p-Xylene	6,7E-05	210808,6194	7,1E-03
Iodometane	9,3E-05	210808,6194	9,8E-03
Naphthalene	6,5E-05	210808,6194	6,9E-03
o-Xylene	5,8E-05	210808,6194	6,1E-03
Phenol	8,6E-05	210808,6194	9,1E-03
Styrene	2,0E-05	210808,6194	2,1E-03
Tetrachloroethene	2,8E-06	210808,6194	3,0E-04
Toluene	1,6E-04	210808,6194	1,7E-02
TOPLAM	1,1E-02		1,1E+00

#### 7.7.4. Şeker fabrikası

Şeker fabrikasında prosesten kaynaklanan VOC emisyon hesaplamaları, 6.11 çeşitliğine göre, Çizelge EK-3.15’de verilen emisyon faktörü değerleri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan emisyonlar Çizelge 7.19’da verilmiştir.

Tesis yetkilileri ile yapılan sözlü görüşme sonucu 100 kg pancardan 120 kg ham şerbet üretildiği, ham şerbet yoğunluğunun 1,063 kg/m<sup>3</sup>, koyu şerbet yoğunluğunun ise 1,316 kg/m<sup>3</sup> olduğu öğrenilmiştir.

Çizelge 7.19. Şeker fabrikasından meydana gelen emisyonlar

Üretim birimi	CASRN	Bileşik	Emisyon Faktörü lb/1000 gal	Üretim Miktarı gal/sezon	Emisyon Ton/Sezon*
Birinci karbonatlama tankı	91-57-6	2-methylnaphthalene	5,1E-07	3,00E+11	0,08
	51-28-5	2,4-dinitrophenol	ND	3,00E+11	ND
	106-44-5	4-methylphenol	6,6E-07	3,00E+11	0,10
	83-32-9	Acenaphthene	ND	3,00E+11	ND
	100-52-7	Benzaldehyde	1,1E-04	3,00E+11	16,50
	65-85-0	Benzoic acid	8,4E-06	3,00E+11	1,26
	100-51-6	Benzyl alcohol	5,0E-06	3,00E+11	0,75
	117-81-7	Bis(2-ethylhexyl)phthalate	1,2E-05	3,00E+11	1,80
	91-20-3	Naphthalene	2,0E-06	3,00E+11	0,30
	85-01-8	Phenanthrene	1,4E-06	3,00E+11	0,21
	108-95-2	Phenol	1,3E-06	3,00E+11	0,20
İkinci Karbonatlama tankı	75-07-0	Acetaldehyde	4,3E-03	3,00E+11	645,00
	107-02-8	Acrolein	2,4E-04	3,00E+11	36,00
	123-73-9	Crotonaldehyde	3,0E-05	3,00E+11	4,50
	50-00-0	Formaldehyde	1,6E-05	3,00E+11	2,40
Birinci buharlaştırıcı	75-07-0	Acetaldehyde	6,7E-05	5,72E+10	1,92
	107-02-8	Acrolein	4,2E-07	5,72E+10	0,01
	123-73-9	Crotonaldehyde	1,4E-07	5,72E+10	0,004
	50-00-0	Formaldehyde	7,0E-07	5,72E+10	0,02
	106-44-5	4-methylphenol	ND	5,72E+10	ND
	100-52-7	Benzaldehyde	2,2E-06	5,72E+10	0,06
	65-85-0	Benzoic acid	ND	5,72E+10	ND
	100-51-6	Benzyl alcohol	1,8E-07	5,72E+10	0,00515
	117-81-7	Bis(2-ethylhexyl)phthalate	3,7E-07	5,72E+10	0,01058
	84-74-2	Di-n-butylphthalate	1,1E-09	5,72E+10	0,00003
	132-64-9	Dibenzofuran	ND	5,72E+10	ND
	84-66-2	Diethylphthalate	ND	5,72E+10	ND
	78-59-1	Isophorone	ND	5,72E+10	ND
	91-20-3	Naphthalene	2,5E-08	5,72E+10	0,00072
	85-01-8	Phenanthrene	1,6E-08	5,72E+10	0,00046
108-95-2	Phenol	1,2E-08	5,72E+10	0,00034	
110-86-1	Pyridine	3,4E-08	5,72E+10	0,00097	
	TOPLAM			711,12	

Sezon\*: Yaklaşık yılda 5 ay sürer ve genellikle Eylül-Ocak tarihleri arasındaki kampanya dönemini göstermektedir

## 8. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bölüm 7.1-7.7'de çizelgeler halinde sunulan sonuçlar Çizelge 8.1 yardımıyla özetlenebilir.

Çizelge 8.1. Toplam VOC emisyonlarının doğal ve antropojenik kaynaklar arasında dağılımı

Kaynak Türü	VOC emisyonları			
	Ton/yıl	Ton/yıl	Ton/yıl *	% *
	1997	1998	1999	1999
<b>DOĞAL KAYNAKLAR</b>			273.171	97 (98)
Ormanlar	-	-	273.107	
Tarım alanları	59	63	64	
<b>ANTROPOJENİK KAYNAKLAR</b>	5471,01	5402,04	7932,52 (6274,14)	3 (2)
<b>TOPLAM</b>	-	-	281.104 (279.442)	100 (100)

(\*): Parantez içindeki veriler, antropojenik kaynaklara dahil olan atıksu arıtma tesisi emisyonlarında 1,1,1-trikloreten ve kloroform hariç tutularak elde edilen hesaplama sonuçlarını göstermektedir (Bkz. Çizelge 7.11)

Çizelge 8.1'de görüldüğü üzere, bu çalışmada yalnızca kısıtlı bir grup orman ve tarım bitkisi türü dikkate alınarak ve mevcut emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan doğal kaynak emisyonları, antropojenik emisyonları fazlaca aşmaktadır. Bu sonuç, Bölüm 3.1'de biyojenik emisyonların toplam VOC emisyonları içindeki payının %10, antropojenik emisyonlara eşit veya daha fazla miktarda olabileceğini gösteren literatür [3, 15] bulgularıyla karşılaştırıldığında, konunun yeterince aydınlatılabilmesi için, hem bu çalışmada, hem de literatürde araştırmalarının farklı boyutlarda daha da derinleştirilmesine duyulan ihtiyaç açıktır. Bu hususta, biyojenik/antropojenik VOC emisyonu oranlarını daha hassas şekilde belirleyici araştırmaların yönlendirilmesi beklenen başlıca konular arasında,

- a. kalkınmışlık düzeyinin ve endüstrileşmede ulaşılan seviyelerin etkisi;
- b. doğal kaynaklardan açığa çıkan VOC emisyonlarının (emisyon) ölçüm yoluyla tespitindeki zorluklar ve verilerin güvenilirliği;
- c. mevcut emisyon faktörlerinin farklı yöreler için kullanılabilirliği;
- d. yörede mevcut doğal kaynak türleri ve çeşitliliği ile, doğal kaynak emisyonlarının bitkilerin büyüme sezonları içinde ve çevre sıcaklıkları v.b. diğer koşullara göre değişkenliklerinin etkisi;
- e. çevre koşullarının ve bitkilerin fiziksel değişimlerinin biyogenik VOC emisyonlarına etkilerinin gerçek ölçüm verileri ve model çalışmaları yoluyla saptanması;
- f. benzer işlemlerin antropojenik kaynaklar açısından da irdelenmesi

sayılabilir.

Çalışmanın inceleme alanına giren ve çalışma açısından önemli sayılan bazı antropojenik kaynakların VOC emisyonları açısından payları Çizelge 8.2'de özetlenmiştir. Bu çizelgeye ve ayrıca Şekil 8.1-8.3'e göre 1999 yılı itibariyle motorlu araçlar, %66 (%52) 'lik bir payla antropojenik VOC emisyonlarına en yüksek katkıyı sağlamaktadır.

Daha önce, Bölüm 3.2'de verilen Şekil 3.1, Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'ya göre de en yüksek emisyonlar motorlu araçların egzoz gazlarından kaynaklanmakta; ancak antropojenik VOC emisyon kaynakları içerisinde hareketli kaynakların payının EPA'nın bir çalışmasında %35, Michigan'da yapılan bir başka çalışmada ise %48 civarında olduğu belirtilmektedir. Şekil 3.1'de en yüksek pay %32'lik kısımla hareketli kaynaklara aittir.

Hareketli kaynakları %16'lık payla çözücü kullanımı ve %14'lük payla yüzey kaplama işlemleri izlemektedir. Oysa, bu tez kapsamında, Eskişehir İli'nde yoğun çözücü kullanımı gerektiren prosesler, kimyasal madde üretimi, petrol rafinerisi, yüzey kaplama prosesleri ve tehlikeli atık bertaraf tesisleri (bir kısmının yörede bulunmayışı, bazıları hakkında da yeterli bilgi olmamasından dolayı) gündeme alınmamıştır. Ayrıca, endüstriyel kaynaklar kategorisinde yalnızca orman, seramik, tuğla-kiremit ve şeker fabrikası kapsanmıştır.

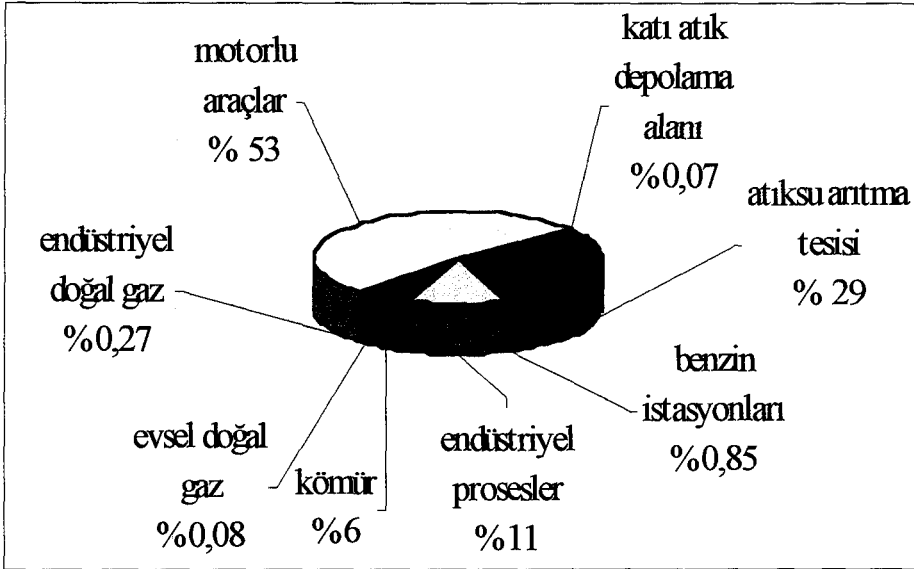
Çizelge 8.2. Antropojenik kaynakların VOC emisyonları içindeki payları

Kaynak Türü	1997		1998		1999			
	Emisyon (Ton/yıl)	%	Emisyon (Ton/yıl)	%	Emisyon (Ton/yıl)	%	Emisyon <sup>a</sup> (Ton/yıl)	% <sup>a</sup>
Kömür tüketimi	661,60	12,09	518,00	9,59	472,50	5,96	472,50	7,53
Doğal gaz tüketimi								
Evsel	4,71	0,09	4,84	0,09	6,56	0,08	6,56	0,10
Endüstri	11,26	0,21	13,93	0,26	21,26	0,27	21,26	0,34
Motorlu Araçlar	3838,90	70,17	3907,50	72,33	4145,60	52,28	4145,60	66,11
Katı Atık Depolama	4,90	0,09	5,24	0,10	5,58	0,07	5,58	0,09
Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi <sup>b</sup>	-	-	-	-	2321,43	29,28	663,05	10,57
Benzin İstasyonları	60,83	1,11	63,72	1,18	67,78	0,85	67,78	1,08
Endüstriyel Proses Toplam <sup>c</sup>	888,81	16,25	888,81	16,45	888,81	11,21	888,81	14,17
Orman Endüstrisi	54,09		54,09		54,09		54,09	
Seramik Endüstrisi	69,66		69,66		69,66		69,66	
Tuğla Endüstrisi	53,94		53,94		53,94		53,94	
Şeker Fabrikası	711,12		711,12		711,12		711,12	
<b>Toplam</b>	<b>5471,01</b>	<b>100,00</b>	<b>5402,04</b>	<b>100,00</b>	<b>7929,52</b>	<b>100,00</b>	<b>6271,14</b>	<b>100,00</b>

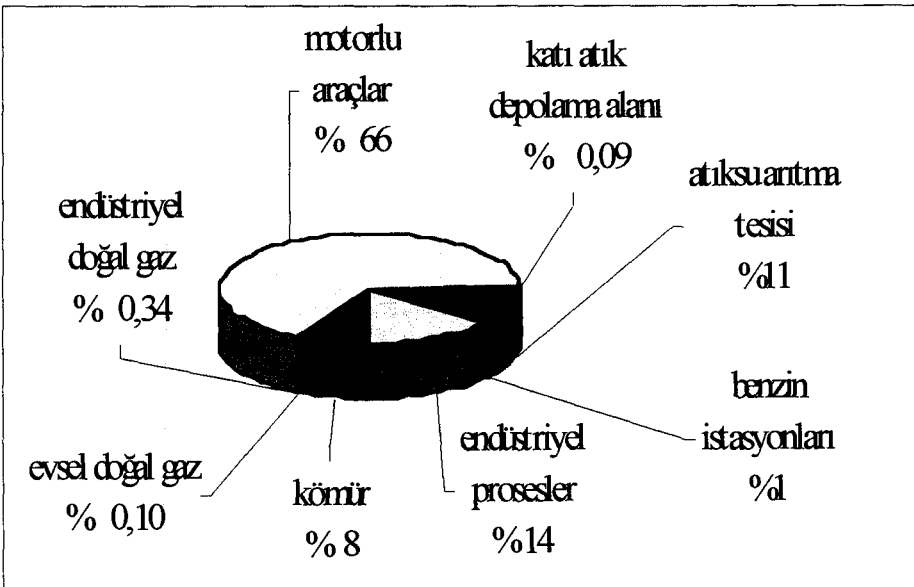
(a) Antropojenik kaynaklara dahil olan atıksu arıtma tesisi için 1,1,1-trikloreten ve kloroform emisyonlarının dikkate alınmadığı sonuçları göstermektedir.

(b) Kentsel atıksu arıtma tesisi 1999 yılında işletmeye alınmıştır.

(c) Endüstriyel prosesler için teorik üretim kapasiteleri alınarak hesaplamalar yapıldığı için 1997, 1998, 1999 yıllarında oluşan emisyonlar aynı kabul edilmiştir.

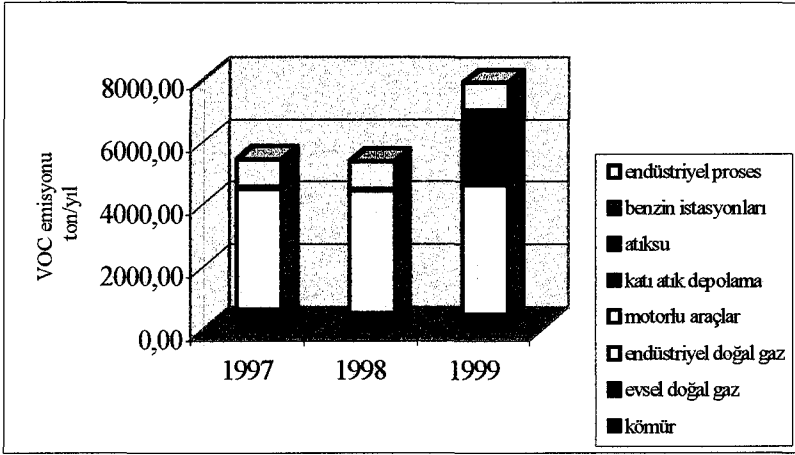


(a)

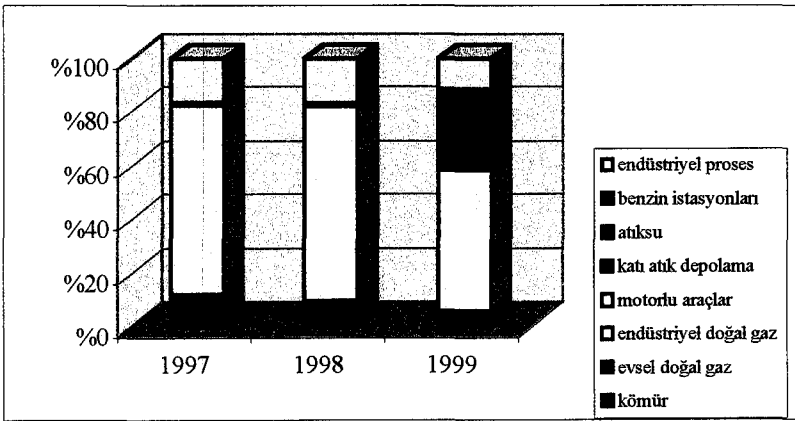


(b)

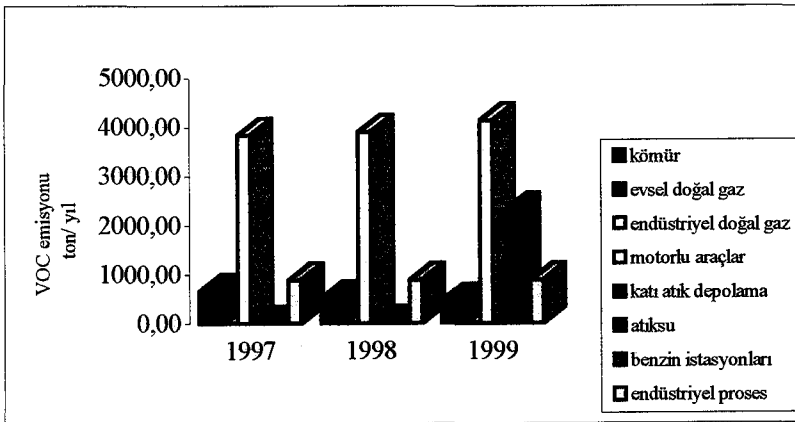
Şekil 8.1. 1999 yılı VOC emisyonlarının antropojenik kaynaklara göre dağılımı, (a) 1,1,1-trikloreten emisyonlarının dahil edildiği hesaplama sonuçları, (b) 1,1,1-trikloreten ve kloroform emisyonlarının haric tutulduğu hesaplama sonuçları



(a)

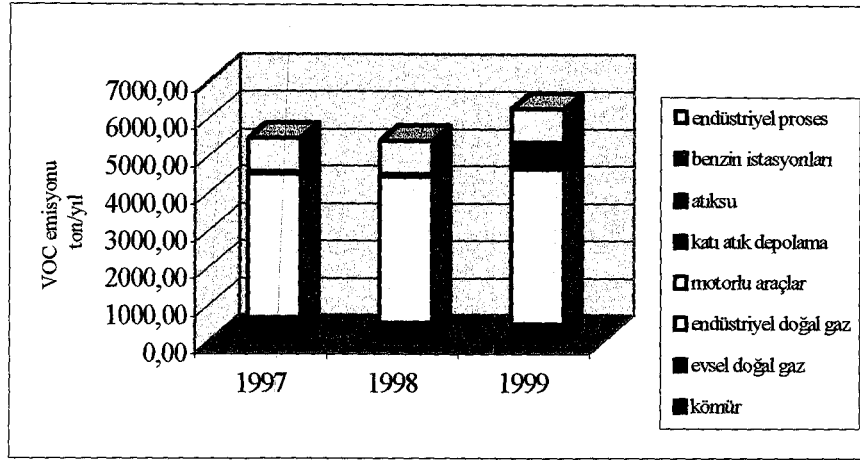


(b)

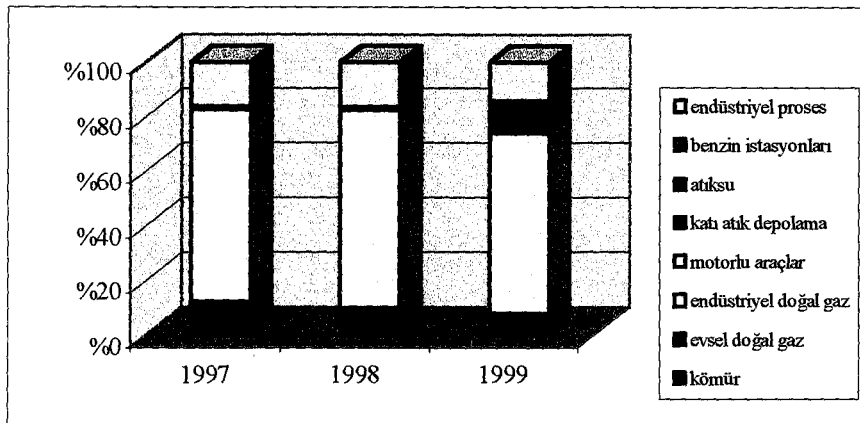


(c)

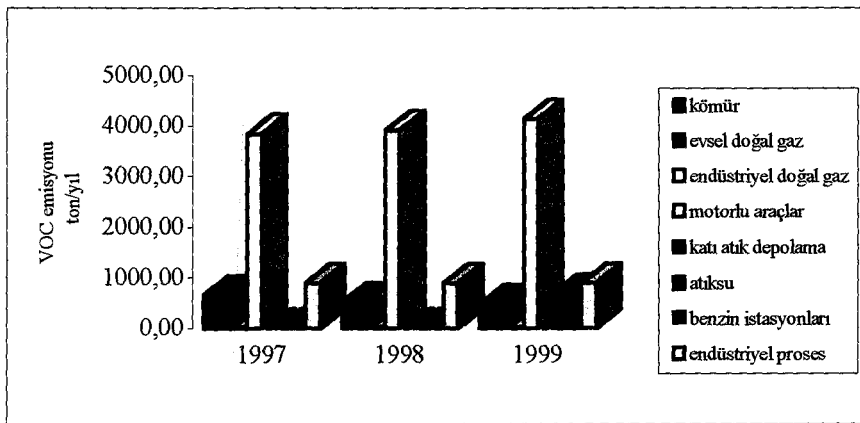
Şekil 8.2. Antropojenik VOC emisyonlarının yıllara bağlı değişimi (a) yıllık miktarların dikey dağılımı (b) yıllık miktarların yüzde dağılımı (c) yıllık miktarların yatay dağılımı (Bu çizelgede atıksu tesisi için kloroform harici emisyonlar yansıtılmıştır)



(a)



(b)



(c)

Şekil 8.3. Antropojenik VOC emisyonlarının yıllara bağlı değişimi (a) yıllık miktarların dikey dağılımı (b) yıllık miktarların yüzde dağılımı (c) yıllık miktarların yatay dağılımı (Bu çizelgede atıksu tesisi için kloroform ve 1,1,1-trikloreten harici emisyonlar yansıtılmıştır)

Bu çalışmada, motorlu araçlardan sonra en yüksek emisyon payının endüstriyel işlemlere ait olduğu görülmektedir. Halbuki yine Bölüm 3.2’de verilen Çizelge 3.4’e göre, Amerika’da (1970-1985 yılları arasında) endüstriyel işlemler en yüksek VOC emisyonlarına sahiptir.

Evsel ve endüstriyel doğal gaz kullanımından kaynaklanan emisyonların toplamı oldukça düşük düzeydedir [% 0,44 (% 0,35)]. Sabit kaynaklarda fosil yakıt kullanımı sonucu açığa çıkan VOC emisyonlarını gösteren Çizelge 3.8 ile, çalışmada elde edilen fosil yakıt kullanımına ilişkin emisyonlar merteye olarak karşılaştırıldığında, endüstriyel doğal gaz kullanımının evsel doğal gaz kullanımına göre genellikle daha fazla VOC emisyonu oluşturması beklenen bir sonuçtur. Eskişehir İli’nde 1996 yılından itibaren doğal gaz kullanımının yaygınlaşması, doğal gaz emisyonlarının da artmasını sağlamıştır. Çizelge 3.8, konutsal kömür kullanımından kaynaklanan emisyonların konutsal doğal gaz kullanımına ilişkin emisyonlarla hemen hemen eşit olduğunu göstermekte, ancak bu çalışmada kömür tüketimine eşlik eden VOC emisyonlarının daha yüksek seviyelerde seyrettiği anlaşılmaktadır. Bu durum Eskişehir İli’nde henüz tam olarak doğal gaza geçiş işleminin tamamlanmamış olmasına bağlanabilir. Çizelge 8.3, şehrin tümünde ısınma amacıyla doğal gaz kullanıldığı durumda VOC emisyonlarında önemli bir azalma sağlanacağını açıkça göstermektedir [60]. Burada, I numaralı senaryo, 1999 yılı gerçek durum uygulamasını; II, yalnızca doğal gaz kullanılması durumunu; III, yalnızca ithal kömür kullanılması durumunu; IV, yalnızca Soma kömürü kullanılması durumunu; V, yalnızca düşük kaliteli Seyitömer kömürü kullanılması durumunu göstermektedir.

Çizelge 8.3. Eskişehir’de evsel ısınma amaçlı yakıt kullanımı açısından beş değişik senaryoya göre oluşacak VOC emisyonları [60]

Senaryo	Yakıtın Isıl Değeri	Yakıt (*) Miktarı	VOC Emisyonu (ton/yıl)
I	Soma:4500 kcal/kg İthal :6000 kcal/kg D.G :8500 kcal/m <sup>3</sup>	Soma:90.000 ton/yıl İthal :150.000 ton/yıl D.G : 74.535.689 m <sup>3</sup> /yıl	479,06
II	8500 kcal/ m <sup>3</sup>	165.925.058 m <sup>3</sup> /yıl	14,6
III	6000 kcal/kg	235.061 ton/yıl	35,3
IV	4500 kcal/kg	313.414 ton/yıl	1567
V	2500 kcal/kg	564.145 ton/yıl	2820

(\*): Yakıt miktarları 1999 yılı Eskişehir Merkez İlçe şehir nüfusu 470.121 kişi, yıllık kişi başına yıllık ortalama ısınma ihtiyacı 3.10<sup>6</sup> kcal [61] alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 8.3'deki farklı senaryolar için bulunan VOC emisyonları karşılaştırıldığında, VOC emisyonları açısından en uygun koşulun tamamen doğal gaz kullanılması durumu olduğu açıktır. Isıl değeri düşük, uçucu madde yüzdesi fazla olan kalitesiz linyit kömürünün kullanılması durumunda ise VOC emisyon miktarı artmaktadır.

Kömürden kaynaklanan emisyonlar özellikle yoğun bir şekilde ısınmanın gerçekleştiği Kasım-Mart döneminde artmakta, diğer aylarda ise azalmaktadır. Üç yılın karşılaştırması yapıldığında (Şekil 8.2-8.3), VOC emisyonlarında görülen yıllara bağlı azalma, doğal gaz kullanımının yaygınlaşmasının bir sonucu olarak yorumlanabilir.

Eskişehir endüstrisinin önemli bir kısmının enerji yoğun tesisler olmasına rağmen, bu tesislerin %100'e yakın bir kısmında doğal gaz kullanılması nedeniyle buradan kaynaklanan VOC emisyonları çok büyük miktarlara ulaşmamaktadır.

Benzin satış istasyonlarında dolum, boşaltım ve satış sırasında buharlaşma kayıpları yoluyla oluşan emisyonların da önemli seviyelerde olduğu Bölüm 3.2'de belirtilmişti. Bu çalışmada da %1 (%0,85)'lik bir paya sahip olduğu hesaplanan buharlaşma emisyonlarının yine de, ihmal edilemeyecek düzeyde olduğu söylenebilir.

İlde henüz düzenli bir atık deponi sahası konumunda olmayan ve tehlikeli atık yönetimi konusundaki stratejileri bilinmeyen katı atık depolama alanının emisyonlarının oldukça düşük seviyelerde [% 0,09 (%0,07)] görünmesi, bu aşamada yanıltıcı olmamalıdır.

Atıksu arıtma tesisi emisyonları [%11 (%29)] konusunda literatürdeki çalışma sayısı çok azdır ve bu konuyla ilgili herhangi bir veriye ulaşamadığı için, burada bir kıyaslama yapılabilmesi mümkün olmamıştır.

**KAYNAKLAR**

1. TÜNAY, O., ALP, K., Hava Kirliliği Kontrolü, Ticaret Odası, Yayın No.1996-36, İstanbul, 1996.
2. EPA, Organic Air Emission from Waste Management Facilities, Report No. EPA/625/R-92/003, US Government Printing Office, Washington, August, 1992.
3. SEINFELD, J., PONDIS, S., Atmospheric Chemistry and Physics, Chapter 2, John Wiley&Sons, New York, 1998.
4. [http:// www.gsgs.com/enviro/envirospeak/ voc.html](http://www.gsgs.com/enviro/envirospeak/voc.html)
5. MARK, H.F., OTHMER, D.F., OVERBERGER, C.G., SEABARG, G.T. (Editors), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Volume 1-24, John Wiley&Sons, New York, 1987.
6. JAECKER, A., VOC Formation and Emission, Institut Français Du Petrole (LISA), 1999.
7. HAYS, S.M., GOBBEL, R.V., GANICK, N.R., Indoor Air Quality, Solution and Strategies, Mc Graw Hill, New York, 1995.
8. NEVERS, N., Air Pollution Control Engineering, Chapter 10, Mc Graw Hill, New York, 1995.
9. EPA, Fugitive VOC Emissions in the Synthetic Organic Chemicals Manufacturing Industry, Report No. EPA-625/10-84-004, US Government Printing Office, Washington, December, 1984.
10. [http:// www.ozone.co.uk/ voc/general\\_consideration\\_in\\_voc\\_se.html](http://www.ozone.co.uk/voc/general_consideration_in_voc_se.html)
11. EPA, Volume I of the Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, <http://www.EPA.gov/ttn/chief/ap42.html>
12. BAUMBACH, G., Air Quality Control, Springer, Berlin, 1996.
13. LEWIS, W.C., STEVENS, R.K., RASMUSSEN, R.A., CARDELINO, C.A., PIERCE, T.E., *Biogenic Fraction of Ambient VOC: Comparison of Radiocarbon, Chromatographic, and Emission Inventory Estimates for Atlanta, Georgia*, J. Air&Waste Manegement, 49, 299-307, March, 1999.
14. PLACET, M., MANN, C.O., GILBERT, R.O., NIEFER, M.J., *Emission of Ozone Precursors from Statinary Sources: A Critical Review*, Atmospheric Environment, 34, 2183-2204, 2000.

15. GUENTHER, A., GERON, C., PIERCE, T., LAMB, B., HARLEY, P., FALL, R., *Natural Emission of Non-methane Volatile Organic Compounds, Carbon Monoxide, and Oxides of Nitrogen from North America*, Atmospheric Environment, 34, 2205-2230, 2000.
16. GERON, C., RASMUSSEN, R., ARNTS, R., GUENTHER, A., *A Review and Synthesis of Monoterpene speciation from forests in the United States*, Atmospheric Environment, 34, 1761-1781, 2000.
17. [http:// www.chevron.com/prodserv/bulletin/motorgas/ch3.html](http://www.chevron.com/prodserv/bulletin/motorgas/ch3.html)
18. DOSKEY, P.V., MAGHRABY, A., *Source Profiles for Nonmethane Organic Compounds in the Atmosphere of Cairo, Egypt*, J. Air & Waste Management, 49, 814-822, July, 1999.
19. VARSNEY, C.K., PODY, P.K., *Total Volatile Organic Compounds in the Urban Environment of Delhi*, J. Air & Waste Management, 48, 448-453, May, 1998.
20. EPA, Control Techniques for Fugitive VOC Emission from Chemical Process Facilities, Report No. EPA /625/R-93/005, US Government Printing Office, Washington, March, 1994.
21. PLEIL, J.D., McCLENNY, W.A., HOLDREN, M.W., POLLACK, A.J., OLIVER, K.D., *Spatially Resolved Monitoring for Volatile Organic Compounds Using Remote Sector Sampling*, Atmospheric Environment, Vol.27A, No.5, 739-747, 1993.
22. PRAFFLIN, J.R., ZIEGLER, E.N. (Editors), *Encyclopedia of Environmental Science and Engineering*, Volume 1, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 1992.
23. GARCIA, J.P., BEYNE, M.S., MOUVINER, G., MASCLLET, P., *Emissions of Volatile Organic Compounds by Coal-fired Power Stations*, Atmospheric Environment, Vol.26A, No.9, 1589-1597, 1992.
24. TSILYANNIS, C.A., *Comparison of Environmental Impacts From Solid Waste Treatment and Disposal Facilities*, Waste Management & Research, 17, 231-241, 1999.
25. KAZIEL, A.J., *VOC Emissions from Municipal Sewer: Hot Spots*, University of Texas at Austin, PhD Dissertation, May, 1998.
26. TANSEL, B., EYMA, R., *Volatile Organic Contaminant Emission from Wastewater Treatment Plants during Secondary Treatment*, Water, Air And Soil Pollution, 112, 315-325, 1999.

27. DAVIS, M.L., CORNWELL, D.A., Introduction to Environmental Engineering, Chapter 6, Mc Graw Hill, New York, 1991.
28. ZHANG, X.J., *Emission of VOCs from Large Scale Incineration Plants*, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 33, (2), 279-306, 1998.
29. ZHANG, X.J., *The Effect of the Oxygen Fraction on VOC Emission from Waste Combustion*, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 33, (1), 147-163, 1998.
30. KRZYMIEN, M., DAY, M., SHAW, K., ZAREMBA, L., *An Investigation of Odors and Volatile Organic Compounds Released during Composting*, J. Air&Waste Management, 49, July, 1999.
31. SRIVASTAVA, P.K., PANDIT, G.G. SHARMA, S., MOHAN RAO, A.M., *Volatile Organic Compounds in Indoor Environments in Mumbai, India*, The Science of the Total Environment, 255, 161-168, 2000.
32. OTSON, R., FELLIN, P., TRAN, Q., *VOCs in Representative Canadian Residences*, Atmospheric Environment, Vol.28, No.22, 3563-3569, 1994.
33. [http:// www.gmied.org/ voc.html](http://www.gmied.org/voc.html)
34. MICHAEL, L.C., PELLIZZARI, E.D., PERRITT, R.L. HARTWELL, T.D., *Comparison of Indoor, Backyard, and Centralized Air Monitoring Strategies for Assessing Personal Exposure to Volatile Organic Compounds*, Environment Science Technology, Vol.24, No.7, 996-1003, 1990.
35. FENSKE, D.J., POULSON, E.S., *Human Breath Emissions of VOCs*, J. Air&Waste Management, 49, 594-598, May, 1999.
36. MÜEZZİNOĞLU, A., *Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 1987.
37. Tekmar-DOHRMAN, *The Analysis of VOCs in Air*, Tekmar-Dohrman Confidential, Air 98A.PPT, 1998.
38. [http:// www.silicon.nist.gov/analytical/ voc.html](http://www.silicon.nist.gov/analytical/voc.html)
39. [http:// www.neosoft.com/~ghasp/toxics\\_report/chat.html](http://www.neosoft.com/~ghasp/toxics_report/chat.html)
40. PEAVY, H.S., ROWE, R.D., TCHOBANOGLIOUS, G., Environmental Engineering, Part 2, McGraw Hill, New York, 1985.
41. ATASOY, E., ÖNDER, E., *Global Atmosferik Değişim, Hava Kirliliği ve Kontrolü Dersi Proje Raporu*, Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 1997.

42. TIRIS, M., KALAFATOĞLU, E., OKUTAN, H., Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü, Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli, 1993.
43. MØLHAVE, L., BACH, B., PEDERSEN, O.F., *Human Reactions to Low Concentrations of Volatile Organic Compounds*, Environmental International, Vol.12, 167-175, 1986.
44. VAINIOTALO, S., RUONAKANGAS, A., *Tank Truck Driver Exposure to Vapors from Oxygenated or Reformulated Gasolines during Loading and Unloading*, American Industrial Hygiene Association Journal (AIHAJ), 60, 518-525, 1999.
45. HALDER, C.A., VAN GORP, G.S., HATOUM, N.S., WARNE, T.M., *Gasoline Vapor Exposures. Part I. Characterization of Workplace Exposures*, American Industrial Hygiene Association Journal (AIHAJ), 47 (3), 164-172, 1986.
46. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Resmi Gazete Yayın No.19269, 2 Kasım 1986.
47. [http:// www.dnr.state.wi.us/org/aw/air/tech/coatingsfacts.html](http://www.dnr.state.wi.us/org/aw/air/tech/coatingsfacts.html)
48. [http:// 199.212.18.79/~ind/English/urb\\_Air/Bulletin/ua\\_iss\\_e.cfm](http://199.212.18.79/~ind/English/urb_Air/Bulletin/ua_iss_e.cfm)
49. [http:// www.etcentre.org/main/e/pubs/NAPS/Benzene89\\_98\\_Report.html](http://www.etcentre.org/main/e/pubs/NAPS/Benzene89_98_Report.html)
50. [http:// www.IVL.org](http://www.IVL.org)
51. VARSHNEY, C.K., PADHY, P.K., *Total Volatile Organic Compounds in the Urban Environment of Delhi*, J. Environment Science Technology, Vol.28, No.7, 996-1003, 1999.
52. PADHY, P.K., VARSHNEY, C.K., *Total Non-methane Volatile Organic Compounds (TNMOC) in the Atmosphere of Delhi*, Atmospheric Environment, 34, 577-584, 2000.
53. KUO, H., WEI, H., LIU, C., LO, Y., WANG, W., LAI, J., CHAN, C., *Exposure to Volatile Organic Compounds while Commuting in Taichung, Taiwan*, Atmospheric Environment, 34, 3331-3336, 2000.
54. LIU, C., XU, Z., DU, Y., GUO, H., *Analyses of Volatile Organic Compounds Concentrations and Variation Trends in the Air of Chagchun, The Northeast of China*, Atmospheric Environment, 34, 4459-4466, 2000.
55. T.C. ESKİŞEHİR VALİLİĞİ SANAYİ VE TİCARET İL MÜDÜRLÜĞÜ, Sanayi ve Ticaret Durum Raporu, Eskişehir, 1998.

56. T.C. ESKİŞEHİR VALİLİĞİ SANAYİ VE TİCARET İL MÜDÜRLÜĞÜ, Sanayi ve Ticaret Durum Raporu, Eskişehir, 1999.
57. ALAT, A., PINAR, A., Eskişehir Merkez İlçe Atıklarının Yönetimi: Çevresel Etki Değerlendirmesi, Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Lisans Bitirme Tezi, Eskişehir, 1999.
58. DOUBEL, R., FOX, D.L., TURNER, D.B., STERN, A.C., Fundamentals of Air Pollution, Part 1, Chapter 6, Academic Press, San Diego, 1994.
59. BANAR, M., Atıkların Yönetiminde Yanma ve Art-Yakma Mühendisliği; Avantaj ve Sorunlar, Anadolu Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Eskişehir, 1998.
60. ATASOY, E., DÖĞEROĞLU, T., Eskişehir'de Yakıt Kullanımı ve Yanmadan Kaynaklanan Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) Mevcut Potansiyeli, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V. Ulusal Sempozyumu, Elazığ, 2000
61. MUTLU, H., ÇENGEL, A., NEVRUZ, Y., MENKÜ, İ., KÖSEOĞLU, O., ERTÜN, T., BİLGİKARÇA, Ş., KARA, S., KAYA, M., DÖĞEROĞLU, T., VAR, F., 1995-1996 Kış Sezonunda Eskişehir'de Hava Kalitesinin İyileştirilmesi Amacıyla Konutlarda Yakılacak Kömürlerin Cins ve Kalitelerinin Tespiti Hakkında Komisyon Raporu, Eskişehir Valiliği, İl Çevre Müdürlüğü, İl Sağlık Müdürlüğü Gıda ve Çevre Kontrol Şube Müdürlüğü, Kömür Tevzi Müdürlüğü, Osmangazi Üniversitesi ve Anadolu Üniversitesi tarafından hazırlanan rapor, Eskişehir, Şubat, 1995.
62. ALONSO, L., DURANA, N., NAVAZO, M., GARCIA, J.A., ILARDIA, J.L., *Determination of Volatile Organic Compounds in the Atmosphere Using Complementary Analysis Techniques*, J. Air&Waste Management, 49, 916-924, August, 1999.
63. JAYANTY, R.K.M., *Evaluation of Sampling and Analytical Methods for Monitoring Toxic Organics in Air*, Atmospheric Environment, Vol.23, No.4, 777-782, 1989.
64. McNAIR, H., MILLER, J., Basic Gas Chromatography, A Wiley-Interscience, Canada, 1997.
65. FOWLIS, I.A., Gas Chromatography, John Wiley&Sons, New York, 1995.
66. GROB, R.L. (Editor), Modern Practice of Gas Chromatography, John Wiley&Sons, New York, 1995.
67. NEWMAN, L. (Editor), Measurement Challenges in Atmospheric Chemistry, American Chemical Society, Washington, 1993.

68. YU, T.C., MITRA, S., McALLISTER, G., *Monitoring Effluents from an Air Toxic control Device Using Continuous Nonmethane organic Carbon Analyzer*, American Industrial Hygiene Association Journal (AIHAJ), 61, 16-21, 2000.
69. UCHIYAMA, S., ASAI, M., HASEGAWA, S., *A Sensitive Diffusion Sampler for Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air*, Atmospheric Environment, 33, 1913-1920, 1999.
70. ATKINS, R., CAREY, F.A., Organic Chemist, McGraw Hill, New York, 1997.
71. ASTM D 3686, Sampling Atmospheres to Collect Organic Compound Vapor (Activated Charcoal Tube Adsorption Method).
72. ASTM D 3687, Analysis of Organic Compound Vapors Collected by the Activated Charcoal Tube Adsorption Method.
73. SCAQMD Method 313, Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS).
74. EPA, Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Compendium Method TO-15, Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Metal kap (canister) and Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), EPA/625/R-96/010b, January, 1997.
75. EPA, Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Compendium Method TO-17, Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling onto Sorbent Tubes, EPA/625/R-96/010b, January, 1997.
76. FISCHER, P.H., HOEK, G., REEUWIJK, H., BRIGGS, D.J., LEBRET, E., WIJNEN, J.H., KINGHAM, S., ELLIOTT, P.E., *Traffic-Related Differences in Outdoor and Indoor Concentrations of Particles and Volatile Organic Compounds in Amsterdam*, Atmospheric Environment, 34, 3713-3722, 2000.
77. YAMAMOTO, N., OKAYASU, H., MURAYAMA, S., MORI, S., HUNAHASHI, K., SUZUKI, K., *Measurement of Volatile Organic Compounds in the Urban Atmosphere of Yokohama, Japan, by An Automated Gas Chromatographic System*, Atmospheric Environment, 34, 4441-4446, 2000.

**EKLER****EK-1****ESKİŞEHİR KENT HARİTASI ÜZERİNDE ANTROPOJENİK VOC  
KAYNAKLARININ GÖSTERİMİ**



## EK-2

# UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN AÇIK ORTAM DERİŞİM SEVİYELERİNİ BELİRLEMeye YÖNELİK ÖRNEKLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

### EK-2.1. Örnekleme Yöntemleri

Örnekleme, bilinen hacimde bir havanın, içerdiği kirleticilerin tutulduğu bir filtre ortamından geçirilerek alınmasıdır. Bu filtre ortamı genellikle katılar için kağıt, gazlar için adsorbandır. Örneklenen hava hacmi içindeki kirletici miktarı  $\text{mg}/\text{m}^3$  veya ppm olarak ifade edilen bir derişim cinsinden bulunur. Hava hacmi, filtre ortamı içinden dakikada geçen akış hızı olarak belirlenir [27].

Hava örneklerinin alınması, bir katı sorbent (örneğin Tenax [34, 62], XAD-2 ve aktif karbon [26, 44, 45]) üzerinde istenen bileşiklerin adsorpsiyon yoluyla tutulması veya bir konteynerde (torba [30], cam ampuller veya çelik metal kap (canister) [13, 18, 21, 34, 63]) toplam havanın örneklenmesi ve daha sonra kriyojenik bir tutucu ile yoğunlaştırılması gibi çeşitli şekillerde yapılabilir.

Bu örnekleme yöntemlerinde en çok tercih edilen, örneklerin toplanacağı ortama (karbon tüpü, tenax, metal kap (canister) v.b.) batarya ile çalışan ve belirli hacimde havanın toplayıcıya geçmesini sağlayan bir pompa bağlanılarak aktif örnekleme yapılmasıdır. Diğer bir yöntem ise, örneklenecek maddenin, örneklerin toplanacağı ortam ile dış ortam arasındaki derişim farkına dayanarak örnekleme sağlayan pasif örneklemedir [18, 32]. Pasif örneklemede örnekleme süreleri nispeten daha uzun tutulmaktadır.

Uçucu organik bileşiklerin açık ortam havasından örneklenmesi için uygulanmakta olan yöntemleri [18, 32];

- ◆ Adsorban tüpleri
- ◆ Blank tüpleri
- ◆ Polimerik torbalar
- ◆ Metal kap (canister)

şeklinde sıralayabiliriz.

**ADSORBAN TÜPLERİ:** Sekiz saat gibi uzun zaman periyotlarında gazların ve buharların örneklenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Adsorban tüpleri, farklı boyutlardaki standart odun kömürü tüpünden (6×100 mm) jumbo tüplere (17×110 mm) kadar çeşitlilik göstermektedir. Kullanılmakta olan çoğu tüp iki adet adsorban bölümüne sahiptir. Bunlardan, pompaya daha yakın ve küçük olan bölüm destek (backup) olarak bilinir. Arka ve ön bölüm çeşitli separatörlerle ayrılmıştır. Aktif karbon en çok kullanılan adsorban olmakla birlikte silika jel ve tenax gibi maddeler de kullanılmaktadır [27].

Adsorbant tüpleri kullanılarak yapılan işlemde, tüp içinden geçirilen hava, gaz veya buhar moleküllerinin tutulduğu, çok küçük çaplı, deliksiz bir tüpün içinde bulunan adsorban içine çekilir [27]. Adsorban tüplerine örnekleme, hem aktif (pompa kullanılarak), hem de pasif şekilde yapılabilir.

Adsorban tüpüyle tutulan kirletici, gaz kromatografisi gibi analitik bir ölçüm cihazında ölçüm yapmak için, çözücü ile yıkama (desorpsiyon) veya ısıtma (termal desorpsiyon) işlemlerine tabi tutulur [64-67].

**POLİMERİK TORBALAR:** Anlık veya kısa süreli örnekler için uygun olan yöntemde hava, 0,6-155 L hacimli polivinil florür film torbalar içine pompalanarak alınır. Polimerik torbalar, baca gazından örnek alınmasında yaygın olarak kullanılırlar [27].

**METAL KAPLAR (CANISTER):** Kullanılan bir diğer yöntem örneklerin tek parça şeklinde toplandığı, paslanmaz çelikten yapılmış küre şeklindeki metal kaplardır (canister). Metal kapların hacmi, 0,75-32 L arasında değişir. Ancak en çok 1, 3, 6, 15, 32, L'lik metal kaplar kullanılır. Metal kaplara aktif örnekleme ve pasif örnekleme yapılabilir. Metal kap (canister) ile alınan örneklerde %100 nem bulunabilir. Bu nemin derişimi, örnek sıcaklığı ile artar, basınç ile azalır [27].

Yapılan çalışmalarda [63], metal kap ile yapılan toplam hava örneklemelerinin daha az probleme sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, sorbent tüpleri kullanıldığı zaman ortaya çıkan toplama ve geri kazanım verimi gibi parametrelere burada gereksinim olmamasıdır. Ayrıca metal kaplar ile yapılan örneklemelemlerde, bileşiklerin 2 haftanın üzerinde stabil kalabildikleri görülmüştür.

Kullanılan örnekleme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge EK-2.1.'de özetlenmiştir.

Çizelge EK-2.1. Örnekleme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları [27, 63]

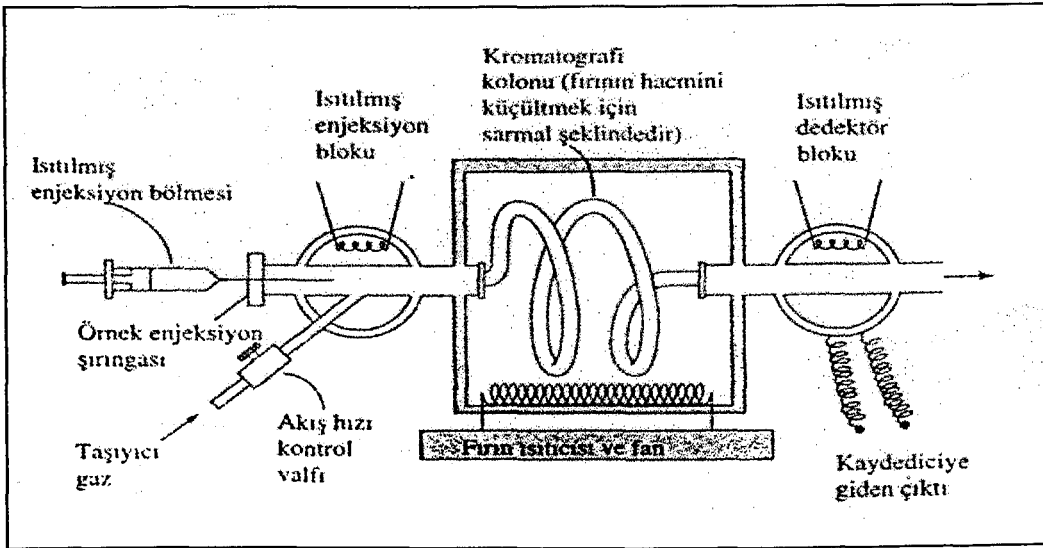
	<i>AVANTAJLAR</i>	<i>DEZAVANTAJLAR</i>
<i>ADSORBAN TÜPÜ</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sürekli nem gidermek gerekmez</li> <li>Tepkime kolaylığı</li> <li>Küçük boyutlarda olduğundan kolay saklanır</li> <li>Ucuzdur ve bazı adsorban tüplerinin tekrar kullanımı mümkündür</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Örnek başına tek devir yapılabilir</li> <li>Genellikle pompalama sistemi gereklidir</li> <li>Yapay olarak üretilir</li> <li>Kısa bekleme süresine sahiptir</li> </ul>
<i>POLİMERİK TORBALAR</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hava örneği tek parça olarak alınabilir</li> <li>Ucuz bir yöntemdir</li> <li>Saklaması kolaydır</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kırılgandır, bu nedenle kullanımı sınırlıdır</li> <li>Örnek ile doldurulduğunda hacmi genişler</li> <li>Analiz sırasında nem giderme sistemi gereklidir</li> <li>Bekletme süresi çok kısadır</li> <li>Isıya duyarlı bileşikler için uygun değildir</li> <li>Temizlemesi zordur</li> </ul>
<i>METAL KAPLAR (CANİSTER)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tek parça hava örneği alınabilir</li> <li>Tüm bileşikler için tek analiz yapılabilir</li> <li>Pompa gerekli değildir</li> <li>Bekleme süresi uzundur</li> <li>Temizlemesi kolaydır</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pahalıdır</li> <li>Analiz sırasında nem giderme sistemi kullanılması gereklidir</li> </ul>

## EK-2.2. Analiz Yöntemleri

Uçucu organik maddelerin belirlenmesi ve miktarlarının ölçülmesi amacıyla bir çok analitik yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler, alev iyonizasyon dedektörüne (FID) sahip gaz kromatografisi (GC/FID), gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC/MS) ve kriyojenik veya sorbent zenginleştiricili Fourier Transform Infrared spektrometre (FTIR) gibi cihazların kullanımına dayanmaktadır. Bu geleneksel yöntemlerin dışında daha etkin, daha pratik ve daha ucuz cihazların geliştirilmesine çalışılmaktadır [68, 69].

Uçucu organik bileşiklerin analizinde en çok kullanılan kromatografi yönteminin ilk basamağı, karışımın "sabit faz" denilen bazı materyaller tarafından adsorplanmasıdır. Sonra, sabit fazın üzerinden ikinci bir faz (hareketli faz) geçirilir. İki fazın ve karışımdaki bileşiklerin özelliklerine bağlı olarak karışım (her bir bileşiğin hareketli faz tarafından sabit fazdan sürüklenme hızlarına göre) bileşenlerine ayrılır [70].

Gaz kromatografisinde (GC) sabit faz, yüksek sıcaklıkta kaynama özelliğine sahip bir sıvıyla kaplanmış inert katı destek taneciklerinden, hareketli faz ise genellikle bir gazdan (helyum) oluşur. Şekil EK-2.1'den anlaşılacağı gibi, karışım, bir şırıngayla, ısıtılmış bir bölmeye enjekte edilir ve buradan helyum akımıyla, sabit fazla doldurulmuş sarmal bir kolonla taşınır. Karışımdaki bileşikler kolonun içinde farklı hızlarda (farklı alıkonma zamanlarında) hareket ederler.



Şekil EK-2.1. Bir gaz kromatografinin şeması [70]

Kolondan geçen gaz, daha sonra bir dedektöre gönderilir. Dedektör, kolondan çıkan gazda, saf taşıyıcı gazdan farklı bir madde olduğunda bunu kaydediciye bir sinyal olarak gönderir. Böylelikle karışımdaki bileşiklerin sayısı grafik kağıdındaki piklerin sayılmasıyla belirlenebilir. Gaz kromatografisi, bileşiklerin alıkonma zamanlarının standart örneklerle karşılaştırılması yoluyla bir karışımda bulunan bileşiklerin tanınmasında da kullanılabilir.

Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC/MS) tekniğinde gaz kromatografından çıkan gaz, bir kütle spektrometresinden geçer ve her pikin kütle spektrumu alınır. Böylece gaz kromatografisi karışımı ayırmada, kütle spektrometresi ise onu analiz etmede kullanılır [70].

Yukarıda bahsedilen cihazların kullanımına dayanarak VOC'ları analiz etmek için bilinen başlıca yöntemler EPA yöntemleridir. Bunun dışında ASTM [71, 72] ve SCAQMD [73] yöntemleri mevcuttur.

#### **EK-2.2.1. VOC'lar için EPA yöntemleri**

Açık ortam havasında uçucu organik bileşiklerin derişimlerinin ölçülmesi için EPA tarafından geliştirilen yöntemler şunlardır [27]:

**TO-1 metodu:** 1984 yılında geliştirilmiştir. Kaynama noktaları 80°C ile 200°C arasında olan, aromatik, doymuş ve doymamış hidrokarbonlar ve halojenli hidrokarbonlar sınıfında yer alan uçucu organik bileşiklerin analizi için kullanılır. TO-1 metodu ile analiz edilebilen uçucu organik bileşiklerin bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- ◆ Benzen
- ◆ Toluen
- ◆ Etil benzen
- ◆ Ksilen
- ◆ Kloroform
- ◆ Karbontetraklorür
- ◆ Tetrakloretilen

TO-1 metodunun uygulanmasında izlenen prosedür aşağıda belirtilen aşamalardan oluşur;

- ◆ Örnekleme için kullanılacak tenax tüplerinin koşullandırılması (8 saatlik ortalama değer için 230°C ve 40 mL/dk),
- ◆ Analiz edilecek hava ortamından tenax adsorpsiyon tüpleri ile örnek alınması,
- ◆ Örnek tüplerinin analiz için laboratuvara taşınması sırasında dış etkilere karşı koruma önlemlerinin alınması,
- ◆ Örneklerin gaz kromatografisi/kütle spektroskopisinde (GC/MS) analiz edilmesi.

**TO-2 metodu:** 1985 yılında EPA tarafından geliştirilmiştir. Kaynama noktası aralığı -15°C ile 120°C olan, çok uçucu hidrokarbonların analizinde kullanılmaktadır. Bu metot ile derişim seviyeleri ölçülebilen uçucu organik bileşiklerin bazıları aşağıda sıralanmıştır :

- ◆ Vinil klorür
- ◆ Akrlonitril
- ◆ Viniliden klorür
- ◆ Kloroform
- ◆ 1,2-diklorometan
- ◆ Benzen toluen

TO-2 metodunun uygulanmasında izlenmesi gereken genel prosedür;

- ◆ Örneklerin, paketlenmiş karbon moleküllerinin filtre ortamı olarak kullanıldığı tüplere toplanması,
- ◆ Karbon moleküler elek (CMS) tüplerinin koşullandırılması (8 saatlik örnekleme için 375°C ve 40 mL/dk).
- ◆ Standartların hazırlanması ve
- ◆ Örnek tüplerinin analiz edilmesi (GC/MS) şeklindedir.

**TO-14 metodu:** Yalnız nonpolar bileşiklerin analizinde uygulanabilen bir metottur. Bu nedenle, polar bileşiklerin uzaklaştırılması için bir kurutma sistemi kullanılmalıdır. Ancak sınırlı sayıda bileşiğin analizinin yapılabildiği bu metodun yerine, genellikle modifiye edilmiş hali olan, TO-15 metodu uygulanmaktadır.

Apolar organik bileşiklerin bazıları şunlardır [21]:

- |                     |                      |                   |
|---------------------|----------------------|-------------------|
| ◆ Metil klorür      | ◆ İzopentan          | ◆ Freon 113       |
| ◆ Freon 12          | ◆ Siklo pentan       | ◆ Metil kloroform |
| ◆ Diklor metan      | ◆ N-hekzan           | ◆ Benzen          |
| ◆ m, p, x, o-ksilen | ◆ Metil siklo pentan | ◆ Toluen          |
| ◆ İzobütan          | ◆ İzo oktan          | ◆ Klorbenzen      |
| ◆ Pentan            | ◆ Triklorbenzen      |                   |

**TO-15 metodu:** Hem polar hem de nonpolar bileşiklerin derişimlerinin ölçülebildiği bu metotla analiz edilebilen uçucu organik bileşiklerin bazıları şunlardır [27, 40];

- ◆ Metil klorür
- ◆ Etilen oksit
- ◆ Karbon disülfür
- ◆ Benzen
- ◆ Toluen
- ◆ Bromoform
- ◆ Dimetil sülfat
- ◆ Hekzakloreten

TO-15 metodunda; ortam havasından metal kaba (canister) toplanmış örnekler gaz kromatografi cihazında analiz edilir. Ölçümden önce standart hazırlama ve kalibrasyon işlemlerinin yapılması gerekmektedir [74].

**TO-17 metodu:** Uçucu organik bileşiklerin ölçümü için geliştirilen en son metot olup, çok yataklı adsorban tüpleri ile örneklenmiş kirleticilerin analizinde kullanılmaktadır. Ölçüm için iki ayrı örnek aynı zamanda farklı akış hızlarında (1 saatte 1 litre ve 4 litre) toplanmalıdır [75].

Bu metotla derişimleri ölçülebilen tipik uçucu organik bileşiklerden bazıları şunlardır;

- ◆ Aseton
- ◆ Asetonitril
- ◆ Benzen
- ◆ Kloroform
- ◆ 1,2-dikloreten
- ◆ Metil asetat
- ◆ Toluen
- ◆ 1,2,4-trimetil benzen

### **EK-2.2.2. VOC'lar için ASTM yöntemleri**

ASTM D 3686 [71], organik bileşik buharları için örnekleme yöntemini, ASTM D 3687 [72] ise analiz yöntemini tanımlamaktadır.

ASTM D 3686'ya göre, örnekleme küçük taşınabilir bir örnekleme pompası ile 100/50 mg'lık 20/40 mesh aktif karbon içeren cam tüplerde aktif karbon üzerinde adsorpsiyon yoluyla gerçekleştirilir. Kullanılan akış hızları 10-200 mL/dk arasında değişmektedir. Birçok bileşik için difüzyon katsayılarına dayanarak yapılan hesaplamalar 10 mL/dk'dan daha küçük hızlarla yapılan örnekleme hassas sonuçlar vermeyebileceğini göstermektedir. Örnekleme işlemi tamamlandıktan sonra ASTM D 3687'de belirtilen basamaklara göre aktif karbon üzerinde toplanan ve karbon disülfür (CS<sub>2</sub>) veya diğer uygun çözücü ile desorbe edilen organik buharlar, alev iyonizasyon dedektörü (FID) veya diğer uygun bir dedektör kullanılarak gaz-sıvı kromatografi yöntemiyle belirlenir.

### **EK-2.2.3. VOC'lar için SCAQMD yöntemleri**

SCAQMD Metot 313'de, uçucu organik bileşiklerin GC/MS yöntemi kullanılarak nasıl belirlenebileceği açıklanmaktadır. VOC'ların bu yöntemle belirlenebilmesi için en az 2 ppm toplam metan dışı hidrokarbon seviyesi gerekmektedir [74].

Ayrıca, SCAQMD 304'de yine uçucu organik bileşiklerin belirlenmesi açıklanmakta, SCAQMD 308'de ise gaz kromatografi yöntemi tanımlanmaktadır.

### **EK-2.3. VOC'larla İlgili Örnekleme ve Analiz Çalışmaları**

Literatürde VOC'larla ilgili yapılmış çalışmalar Çizelge EK-2.2'de özetlenmektedir.

Çizelge EK-2.2. Farklı çalışmalarda kullanılan VOC örnekleme-analiz yöntem ve özellikleri

Makale Konusu	Örnekleme	Analiz	Bileşik	Örn. hızı	Örn. süresi	Termal desorber	Kolon		
							Cinsi	Boyut	İşlem koşulları
GC/MS ve GC/PID yöntemlerinin karşılaştırılması [62]	TENAX	GC/MS HP 5890 HP 5970	C <sub>6</sub> gibi non-polar bileşikler, daha yüksek alifatik,olefinik HC, aromatik ve 1,1,1-trikloretoandan daha az uçucu halojenli HC	20 mL/dk	8-24 saat	√	Pona (metil silikon)	50m×0,2mm×0,5mm	Giriş sıcaklığı 270 °C Fırın sıcaklığı 40°C(2dk), 5°C/dk-135°C(2dk) 20°C/dk-240°C
	-	Portatif GC/PID	GS/MS ile belirlenen bileşikler için nokta değerler belirlenmiştir. Aromatik HC'lar ve 8 klorlu HC analizine imkan vermemektedir.				Non-polar Kapiler Cp-Sil 5CB	9m (1m ön kolon) × 0,53mm	PID lambası 10,6 eV Fırın sıcaklığı 40 °C
Kapalı ortamda bulunan VOC'ların belirlenmesi [30]	TEDLAR GAZ ÖRN. TORBALARI	GS/FID Chemito Model 8610HT	n-hekzan benzen heptan toluen p-ksilen o-ksilen etil benzen n-dekan				%10 OV-101 Chromosorb WAW 80/100 mesh ile doldurulmuş paslanmaz çelik kolon	3m× 3mm o.d.	4 °C/dk -60-120 °C enjeksiyon sıcaklığı 150 °C
Şehir atmosferinde biyojenik VOC miktarının belirlenmesi [13]	METAL KAP (CANISTER)	GC/FID HP 5890A HP 3396A	134 adet bileşik belirlenmiştir.		2 saat		J&W Scientific DB-1	60m×0,32mm×1µm	Fırın sıcaklığı -60 °C(5dk), 4°C/dk-200 °C
	METAL KAP (CANISTER)	GS/MS HP 5996					J&W Scientific DB-1	60m×0,25mm×1µm	Fırın sıcaklığı -60 °C(5dk), 4°C/dk-200 °C

Cizelge EK-2.2. (Devam) Farklı çalışmalarda kullanılan VOC örnekleme-analiz yöntem ve özellikleri

Makale Konusu	Örnekleme	Analiz	Bileşik	Örn. hızı	Örn. stresi	Termal desorber	Kolon		
							Cinsi	Boyut	İşlem koşulları
Kapalı ortamlarda bulunan VOC'lar [32]	PASİF ÖRN. CS2 ile desorpsiyon	GC/MS 5890	Analiz edilmesi amaçlanan 26 adet bileşik için analizler yapılmıştır				J&W DB-Wax	30 m×0,25mm×0,25 µm	
							HP Ultra 2	30m×0,20mm×0,33µm	
							Supelcowax	60m×0,32mm×0,25µm	
							J&W DB-5	30m×0,25mm×0,25µm	
Şehir atmosferinde metan dışı VOC'ların belirlenmesi [18]	METAL KAP (CANISTER)  Pasif Örnekleme	GC/FID HP 5890A	Doymuş, doymamış, aromatik, oksijenli ve klorlu HC'lar (en fazla bulunan 23 tane bileşik var)	PASİF ÖRN.		√	Fused-silica capillary colon Polydimetil Siloxone (DB-1;J&W scientific, folsom CA) C <sub>4</sub> C <sub>12</sub> ,oksijenliHC	60m×0,32mm×1µm	8°C/dk-210 °C, 20°C/dk-250 °C, 250 °C(5dk)
							Porous-layer Open tubular Colon Coated alumina (GS,Alumina;J&W Scientific) C2-C3	30m×0,53mm×1µm	8°C/dk-135 °C, 20°C/dk-200 °C, 200 °C(5dk)

Çizelge EK-2.2. (Devam) Farklı çalışmalarda kullanılan VOC örnekleme-analiz yöntem ve özellikleri

Makale Konusu	Örnekleme	Analiz	Bileşik	Örn. hızı	Örn. süresi	Termal desorber	Kolon		
							Cinsi	Boyut	İşlem koşulları
Havada bulunan toksik organik maddeler için kullanılan örnekleme ve analitik yöntemlerin değerlendirilmesi [63]	METAL KAP (CANİSTER)	Kriyojenik trap GS/FID GC/ECD	Standartta mevcut olan 18 adet bileşik tanımlanmıştır				DB-1 fused silika kapiler kolon	50 m×0,32 mm	35°C - 4 dk 6 °C/dk-150 °C
Dış ortamda VOC'ların belirlenmesi için difüzyon örnekleme yöntemi [69]	DSD ile 4 farklı adsorban üzerine örnekleme yapılmıştır	GS/MS 5890A					CP-SİL 5CB	50m×0,32mm×5um	50 °C-5 dk 15 °C/dk- 260 °C 6 dk- 260 °C enjeksiyon sıcaklığı 280 °C
Kapalı ve açık ortam maruziyetlerinin karşılaştırılması [34]	TENAX	GC/MS	20 adet bileşik belirlenmiştir		12 saat	√			
	METAL KAP (CANİSTER)	GC/MS/C OM	20 adet bileşik belirlenmiştir						

Çizelge EK-2.2. (Devam) Farklı çalışmalarda kullanılan VOC örnekleme-analiz yöntem ve özellikleri

Makale Konusu	Örnekleme	Analiz	Bileşik	Örn. hızı	Örn. süresi	Termal desorber	Kolon		
							Cinsi	Boyut	İşlem koşulları
Uzak örnekleme sistemi kullanılarak VOC'ların belirlenmesi [21]	METAL KAP (CANİSTER)	GS/MS GS/FID	C <sub>4</sub> -C <sub>10</sub> , non polar hidrokarbonlar belirlenmiştir (36 adet bileşik)				HP-1 silika kapiler kolon	50m×0,32mm i.d	
Kamyon şoförlerinin yüklemeye boşaltma sırasında benzin buharlarına maruziyetinin belirlenmesi[44]	SKC 222-3 pompa ile Karbon tüplerine örnekleme ve CS <sub>2</sub> ile desorpsiyon	GS/MS	Toplam hidrokarbonlar MTBE, TAME, heksan, benzen, toluen, etil benzen, ksilen	0,2L/dk 0,1L/dk	35 dk		HP-5 fused silika kolon (tek tek bileşikler)	50m×0,32mm×1,05um	40 °C-4 dk 5 °C/dk-55 °C 30 °C/dk- 160 °C 160 °C- 3,5 dk
							HP-5 fused silika kolon (toplam hidrokarbonlar)	30m×0,53mm×2,65um	40 °C-5 dk 15 °C/dk- 200 °C 200 °C- 0,5 dk
Benzin buharlarına maruziyetinin belirlenmesi [45]	3M 3500 organik buhar monitorlama	GS/FID	C <sub>6</sub> hidrokarbonları		9,2 saat		DB-1 Fused silika	60m×0,25mm	-10 °C-4 dk 2 °C/dk- 250 °C
	3M 3500 organik buhar monitorlama	GS/FID	C <sub>6</sub> hidrokarbonları		7,2 saat			12 ft 1/8 in çelik kolon %10 SP-2100, 80/100 mesh supelcoport ile dolgulu	0 °C 8 °C/dk- 154 °C 154 °C-2dk
	MSA model C-210 pompa ile karbon tüplerine	GS/FID 5880-A			50 mL/dk	3,8 saat		Non polar metil silikon	60m×0,32mm

Çizelge EK-2.2. (Devam) Farklı çalışmalarda kullanılan VOC örnekleme-analiz yöntem ve özellikleri

Makale Konusu	Örnekleme	Analiz	Bileşik	Örn. hızı	Örn. süresi	Termal desorber	Kolon		
							Cinsi	Boyut	İşlem koşulları
Trafikle ilişkili iç ve dış ortam uçucu organik bileşik derişimleri [76]	Model SP-280E, model pompa ile SKC karbon tüpleri kullanılarak örnekleme ve CS <sub>2</sub> le desorpsiyon	HP 5890	VOC	10 L/dk			RSL-160	30 m×0,32 mm×5 µm	Enjeksiyon sıcaklığı:220 °C Dedektör sıcaklığı:250 °C Fırın sıcaklığı: 40°C 4°C/dk 130 °C 20°C/dk 220°C
Şehir atmosferinde VOC'ların ölçümü [77]	Carbotrap B, Carboxen 1000, Carboxen 1001 çok yataklı örnekleme tüplerine pompa ile örnekleme	HP 5890 PID, ELCD	Aromatik hidrokarbonlar, klorlu hidrokarbonlar,	50 mL/dk	20 dk	√	DB-624 kapiler kolon	75 m× 0,53mm ×3 µm	40 °C (5 dk) 6°C/dk 200 °C (10 dk)

## EK-3

## VOC KAYNAKLARINA İLİŞKİN EMİSYON FAKTÖRÜ DEĞERLERİ

## EK-3.1. Doğal Kaynaklara İlişkin Emisyon Faktörleri

Çizelge EK-3.1. Çeşitli bitki örtüsü için standart emisyon faktörleri ( $\mu\text{g/g/h}$ ) [6]

Tür	İzopren	$\alpha$ -pinen	Monoterpenler
<b>AĞAÇLAR</b>			
Meşe ağacı	19,89	0,10	0,06
Diğer yaprağını döken ağaçlar	13,51	1,10	4,40
Çam	0,00	3,39	4,49
Kozalaklı ağaçlar	8,58	1,50	1,62
<b>BITKİ ÖRTÜSÜ</b>			
Tütün	0,000	0,060	0,060
Buğday	0,012	0,021	0,004
Mısır	0,000	0,110	0,110

## EK-3.2. Sabit Kaynaklarda Yakıt Kullanımına İlişkin Emisyon Faktörleri

## EK-3.2.1. Kömür

Linyit kömürüÇizelge EK-3.2. Linyit yakılmasından kaynaklanan  $\text{CH}_4$  ve TNMOC emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

Yakma şekli	SCC	$\text{CH}_4$		TNMOC	
		Emisyon Faktörü (lb/ton)	Emisyon faktör oranı	Emisyon Faktörü (lb/ton)	Emisyon faktör oranı
Elle-beslemeli kazan	1-03-002-14	5	E	10	E

(a) lb/ton'u kg/Mg'ye çevirmek için verilen değerler 0,5 ile çarpılmalıdır

SCC=Kaynak sınıflandırma kodu

ND=Veri mevcut olmadığını göstermektedir

Çizelge EK-3.3. Linyit yakılmasından kaynaklanan organik bileşikler için emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

Kirletici	Emisyon faktörü <sup>b</sup> (lb/ton)	Emisyon Faktör Oranı
Acetaldehyde	5,7E-04	C
Acetophenone	1,5E-05	D
Acrolein	2,9E-04	D
Benzene	1,3E-03	A
Benzyl chloride	7,0E-04	D
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	7,3E-05	D
Bromoform	3,9E-05	E
Carbon disulfide	1,3E-04	D
2-Chloroacetophenone	7,0E-06	E
Chlorobenzene	2,2E-05	D
Chloroform	5,9E-05	D
Cumene	5,3E-06	E
Cyanide	2,5E-03	D
2,4-Dinitrotoluene	2,8E-07	D
Dimethyl sulfate	4,8E-05	E
Ethyl benzene	9,4E-05	D
Ethyl chloride	4,2E-05	D
Ethylene dichloride	4,0E-05	E
Ethylene dibromide	1,2E-06	E
Formaldehyde	2,4E-04	A
Hexane	6,7E-05	D
Isophorone	5,8E-04	D
Methyl bromide	1,6E-04	D
Methyl chloride	5,3E-04	D
Methyl ethyl ketone	3,9E-04	D
Methyl hydrazine	1,7E-04	E
Methyl methacrylate	2,0E-05	E
Methyl tert butyl ether	3,5E-05	E
Methylene chloride	2,9E-04	D
Phenol	1,6E-05	D
Propionaldehyde	3,8E-04	D
Tetrachloroethylene	4,3E-05	D
Toluene	2,4E-04	A
1,1,1-Trichloroethane	2,0E-05	E
Styrene	2,5E-05	D
Xylenes	3,7E-05	C
Vinyl acetate	7,6E-06	E

(a) Emisyon faktörleri kireç taşı yıkayıcı ve sprey kurutucunun ikisini birden ve elektrostatik çökeltilici (ESP) veya torba filtre kullanan kazanlara uygulanabilir.

(b) lb/ton'u kg/Mg'ye çevirmek için verilen değerler 0,5 ile çarpılmalıdır.

**Antrasit kömürü**

Çizelge EK-3.4. Antrasit yakılmasından kaynaklanan TOC ve metan (CH<sub>4</sub>) için emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

## EMİSYON FAKTÖR ORANI: E

Kaynak kategorisi	TOC Emisyon faktörü (lb/ton)	CH <sub>4</sub> Emisyon faktörü (lb/ton)
Mekanik beslemeli kazan (SCC 1-01-001-02, 1-02-001-04, 1-03-001-02)	0,30	ND
Evsel ısıtma amaçlı kazan (A2-10-400-1000)	ND	8

(a) lb/ton'u kg/Mg'ye çevirmek için verilen değerler 0,5 ile çarpılmalıdır

SCC=Kaynak sınıflandırma kodu

ND=Veri mevcut olmadığını göstermektedir

Çizelge EK-3.5. Antrasit yakılmasından kaynaklanan organik madde emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

## EMİSYON FAKTÖR ORANI: E

Kirlenici	Mekanik beslemeli kazan (SCC 1-01-001-02, 1-02-001-04, 1-03-001-02)	Evsel ısıtma amaçlı kazan (SCC A2-10-400-1000)	
	Emisyon faktörü (lb/ton)	Emisyon faktör aralığı (lb/ton)	Ortalama emisyon faktörü (lb/ton)
Acenaphthene	ND	1,1 E-05 - 2,9 E-05	2,2 E-05
Acenaphthylene	ND	1,1 E-05 - 2,2 E-04	8,6 E-05
Anthanthrene	ND	1,5 E-07 - 8,8 E-07	5,7 E-07
Anthracene	ND	7,0 E-06 - 3,7 E-05	2,5 E-05
Benzo(a)anthracene	ND	1,1 E-05 - 1,6 E-04	7,1 E-05
Benzo(a)pyrene	ND	3,1 E-06 - 7,0 E-06	5,3 E-06
Benzo(e)pyrene	ND	3,5 E-06 - 1,0 E-05	6,2 E-06
Benzo(g,h,i) perylene	ND	3,1 E-06 - 9,5 E-06	5,5 E-06
Benzo(k)fluoranthrene	ND	1,1 E-05 - 4,5 E-05	2,5 E-05
Biphenyl	2,5 E-02	ND	ND
Chrysene	ND	1,8 E-05 - 1,8 E-04	8,3 E-05
Coronene	ND	8,8 E-07 - 6,4 E-06	3,9 E-06
Fluoranthrene	ND	7,5 E-05 - 2,7 E-04	1,7 E-04
Fluorene	ND	7,0 E-06 - 4,1 E-05	2,5 E-05
Indeno(123-cd) perylene	ND	3,5 E-06 - 1,1 E-05	6,9 E-06
Naphthalene	1,3 E-01	7,0 E-06 - 4,8 E-04	2,2 E-04
Perylene	ND	6,1 E-07 - 1,8 E-06	1,2 E-06
Phenanthrene	6,8 E-03	7,1 E-05 - 3,4 E-04	2,4 E-04
Pyrene	ND	4,2 E-05 - 1,9 E-04	1,2 E-04

(a) lb/ton'u kg/Mg'ye çevirmek için verilen değerler 0,5 ile çarpılmalıdır

SCC=Kaynak sınıflandırma kodu

ND=Veri mevcut olmadığını göstermektedir

### EK-3.2.2. Doğal gaz

Çizelge EK-3.6. Doğal gazdan kaynaklanan TOC, metan ve VOC için emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

Kirletici	Emisyon Faktörü (lb/10 <sup>6</sup> scf)	Emisyon Faktör Oranı
TOC	11	B
Metan	2,3	B
VOC	5,5	C

(a) lb/10<sup>6</sup> scf' yi kg/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>'e çevirmek için verilen değerler 16 ile çarpılmalıdır.

Çizelge EK-3.7. Doğal gazdan kaynaklanan organik bileşikler için emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

CASRN.	Kirletici	Emisyon faktörü (lb/10 <sup>6</sup> scf)	Emisyon Faktör Oranı
91-57-6	2-Methylnaphthalene <sup>b,c</sup>	2,4E-05	D
56-49-5	3-Methylchloranthrene <sup>b,c</sup>	<1,8E-06	E
	7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	<1,6E-05	E
83-32-9	Acenaphthene <sup>b,c</sup>	<1,8E-06	E
203-96-8	Acenaphthylene <sup>b,c</sup>	<1,8E-06	E
120-12-7	Anthracene <sup>b,c</sup>	<2,4E-06	E
56-55-3	Benz(a)anthracene <sup>b,c</sup>	<1,8E-06	E
71-43-2	Benzene <sup>b</sup>	2,1E-03	B
50-32-8	Benzo(a)pyrene <sup>b,c</sup>	<1,2E-06	E
205-99-2	Benzo(b)fluoranthene <sup>b,c</sup>	<1,8E-06	E
191-24-2	Benzo(g,h,i)perylene <sup>b,c</sup>	<1,2E-06	E
205-82-3	Benzo(k)fluoranthene <sup>b,c</sup>	<1,8E-06	E
106-97-8	Butane	2,1E+00	E
218-01-9	Chrysene <sup>b,c</sup>	<1,8E-06	E
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracene <sup>b,c</sup>	<1,2E-06	E
25321-22-6	Dichlorobenzene <sup>b</sup>	1,2E-03	E
74-84-0	Etane	3,1E+00	E
206-44-0	Fluoranthene <sup>b,c</sup>	3,0E-06	E
86-73-7	Fluorene <sup>b,c</sup>	2,8E-06	E
50-00-0	Formaldehyde <sup>b</sup>	7,5E-02	B
110-54-3	Hexane <sup>b</sup>	1,8E+00	E
193-39-5	Indeno(1,2,3-cd)pyrene <sup>b,c</sup>	<1,8E-06	E
91-20-3	Naphthalene <sup>b</sup>	6,1E-04	E
109-66-0	Pentane	2,6E+00	E
85-01-8	Phenanathrene <sup>b,c</sup>	1,7E-05	D
74-98-6	Propane	1,6E+00	E
129-00-0	Pyrene <sup>b,c</sup>	5,0E-06	E
108-88-3	Toluene <sup>b</sup>	3,4E-03	C

(a) lb/10<sup>6</sup> scf' yi kg/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>'e çevirmek için verilen değerler 16 ile çarpılmalıdır.

(b) Clean Air Act (CAA) Bölün 112(b)'de tanımlanmış olan tehlikeli hava kirleticileri (HAP)

(c) Polisiklik organik madde (POM) olmasından dolayı HAP olanlar.

### EK-3.3. Hareketli Kaynaklarda Yakıt Kullanımına İlişkin Emisyon Faktörleri

Çizelge EK-3.8. Motorlu araçlardan kaynaklanan VOC emisyon faktörleri (g/km)  
[42]

Araç cinsi	Şehir	Kırsal Tek şerit	Kırsal Çift şerit	Otoban
Benzinli oto	2,48	0,98	0,84	0,8
Dizel oto	1,05	0,85	0,85	1,25
Küçük kamyon (<16 t)	6,41	3,21	3,21	3,21
Büyük kamyon (>16 t)	6,78	3,21	3,21	3,21
Otobüs	5,46	2,88	2,88	2,88
Motosiklet <50 cm <sup>3</sup>	6,0	6,0	6,0	6,0
>50 cm <sup>3</sup> , 2 saat	15,0	15,0	15,0	15,0
>50 cm <sup>3</sup> , 4 saat	3,0	3,0	3,0	3,0

### EK-3.4. Çöp Depolama Alanına İlişkin Emisyon Faktörleri

Çizelge EK-3.9. Atık giderim şekline göre çöp depolama alanından kaynaklanan benzen, NMOC ve toluenin default derişimleri (SCC 50100402, 50300603) [11]

Kirletici	Molekül Ağırlığı	Default Derişimi (ppmv)	Emisyon Faktör Oranı
Benzen	78,11	11,1 <sup>a</sup> 1,91 <sup>b</sup>	D B
NMOC (hekzan olarak)	86,18	2420 <sup>a</sup> 595 <sup>b</sup>	D B
Toluen	92,13	165 <sup>a</sup> 39,3 <sup>b</sup>	D A

(a) Birlikte bertaraf (Co-disposal)

(b) Birlikte bertarafın olmadığı veya bilinmediği durumlar (No or unknown co-disposal)

Çizelge EK-3.10. Çöp depolama alanından kaynaklanan organik bileşiklerin default derişimleri [11]

(SCC 50100402, 50300603)

Bileşik	Molekül Ağırlığı	Default Derişimi (ppmv)	Emisyon Faktör Oranı
1,1,1-Trichloroetane (methyl chloroform)	133,41	0,48	B
1,1,2,2-Tetrachloroetane	167,85	1,11	C
1,1-Dichloroetane (ethylidene dichloride)	98,97	2,35	B
1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride)	96,94	0,20	B
1,2-Dichloroetane (ethylene dichloride)	98,96	0,41	B
1,2-Dichloropropane (propylene dichloride)	112,99	0,18	D
2-Propanol (isopropyl alcohol)	60,11	50,1	E
Acetone	58,08	7,01	B
Acrylonitrile	53,06	6,33	D
Bromodichlorometane	163,83	3,13	C
Butane	58,12	5,03	C
Carbon tetrachloride	153,84	0,004	B
Carbonyl sulfide	60,07	0,49	D
Chlorobenzene	112,56	0,25	C
Chlorodifluorometane	86,47	1,30	C
Chloroetane (ethyl chloride)	64,52	1,25	B
Chloroform	119,39	0,03	B
Chlorometane	50,49	1,21	B
Dichlorobenzene	147	0,21	E
Dichlorodifluorometane	120,91	15,7	A
Dichlorofluorometane	102,92	2,62	D
Dichlorometane (methylene chloride)	84,94	14,3	A
Dimethyl sulfide (methyl sulfide)	62,13	7,82	C
Ethane	30,07	889	C
Etanol	46,08	27,2	E
Ethyl mercaptan (etanethiol)	62,13	2,28	D
Ethylbenzene	106,16	4,61	B
Ethylene dibromide	187,88	0,001	E
Fluorotrichlorometane	137,38	0,76	B
Hexane	86,18	6,57	B
Methyl ethyl ketone	72,11	7,09	A
Methyl isobutyl ketone	100,16	1,87	B
Methyl mercaptan	48,11	2,49	C
Pentane	72,15	3,29	C
Perchloroethylene (tetrachloroethylene)	165,83	3,73	B
Propane	44,09	11,1	B
t-1,2-dichloroethene	96,94	2,84	B
Trichloroethylene (trichloroethene)	131,40	2,82	B
Vinyl chloride	62,50	7,34	B
Xylenes	106,16	12,1	B

## EK-3.5.Endüstriyel Kaynaklara İlişkin Emisyon Faktörleri

### EK-3.5.1. Orman endüstrisi

Çizelge EK-3.11. Kontrplak kaplama tahtası kurutucusundan kaynaklanan organik maddeler için emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

Kaynak	Emisyon kontrolü <sup>b</sup>	VOC <sup>c</sup>	Emisyon Faktör Oranı-	Formaldehit	Emisyon Faktör Oranı
Direkt odun yakan					
Çam (SCC 3-07-007-40)	Yok	3,3	E	ND	
Katran ağacı (SCC 3-07-007-44)	Yok	0,70	E	ND	
Özel Köknar (SCC 3-07-007-47)	WESP	0,5	D	ND	
Özel olmayan köknar (SCC 3-07-007-46)	IWS	0,61	E	ND	
Direkt doğal gaz yakan					
Çam (SCC 3-07-007-50)	Yok	2,1	E	ND	
İndirekt ısıtma					
Çam (SCC 3-07-007-60)	Yok	2,7	D	ND	
Özel köknar (SCC 3-07-007-67)	Yok	1,3	D	ND	
Kavak (SCC 3-07-007-69)	Yok	0,033	E	0,0023	E

(a) Verilen emisyonlar, ayrıca belirtilmediği takdirde kontrolsüz koşullar için geçerlidir.

SCC = Kaynak sınıflama kodu ND=Veri mevcut değil

Bütün emisyon faktörü değerleri lb/ 1000 ft<sup>2</sup> 3/8-inc kalınlığındaki kaplama tahtaları için verilmiştir (lb/MSF 3/8).

1 lb/MSF 3/8 = 0.5 kg/m<sup>3</sup> dür

(b) Emisyon kontrol cihazları: WESP =İslak elektrostatik çöktürücü; IWS =İyonlaştırıcı ıslak yıkayıcı

(c) Uçucu organik bileşikler propan olarak verilmiştir

### EK-3.5.2. Seramik endüstrisi

Çizelge EK-3.12. Seramik ürünleri üretiminden kaynaklanan VOC'lar için emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

#### EMİSYON FAKTÖR ORANI: E

Kaynak	VOC <sup>b</sup>
Doğal gazla ateşlenen fırında pişirme işlemi (SCC 3-05-008-50)	0,43
Doğal gazla ateşlenen fırında ikinci pişirim işlemi (SCC 3-05-008-56)	ND
Döküm yoluyla şekillendirme (SCC 3-05-008-31)	58

(a) lb/ton'u kg/Mg'ye çevirmek için verilen değerler 0,5 ile çarpılmalıdır. Emisyon faktörü değerleri kontrolsüz durumlar için geçerlidir.

SCC=Kaynak sınıflandırma kodu ND=Veri mevcut olmadığını göstermektedir

(b) VOC'lar EPA Metot 25A'ya göre ölçülmüş propan olarak verilmiştir. Emisyon faktörü fotokimyasal olarak reaktif olmayan ve VOC olarak düşünülmeyen bileşikleri içerebilir.

### EK-3.5.3. Tuğla-kiremit endüstrisi

Çizelge EK-3.13. Tuğla üretimi işleminden kaynaklanan TOC, metan ve VOC emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

Kaynak	TOC <sup>b</sup>	Emisyon Faktör Oranı	Metan	Emisyon Faktör Oranı	VOC	Emisyon Faktör Oranı
Tuğla kurutucu (SCC 3-05-003-50)	0,05	E	0,02	E	0,03	E
Tuğla kurutucu için gaz yakıcı (SCC 3-05-003-51)	0,014	E	0,11	E	0,03	E
Tuğla fırını (SCC 3-05-003-10,-11,-13)	0,062	C	0,037	E	0,024	D
Talaş yakıcı fırın ve talaş kurutucu (SCC 3-05-003-61)	0,18	E	ND	NA	0,18	E

(a) lb/ton'u kg/Mg'ye çevirmek için verilen değerler 0,5 ile çarpılmalıdır

SCC=Kaynak sınıflandırma kodu ND=Veri mevcut olmadığını göstermektedir NA= Uygulanamaz

(b) VOC'lar EPA Metod 25A'ya göre ölçülmüş propan olarak verilmiştir.

Çizelge EK-3.14. Tuğla üretimi işleminden kaynaklanan organik bileşiklerin emisyon faktörleri (Doğal gaz yakan fırın-SCC 3-05-003-11) <sup>a</sup>

#### EMİSYON FAKTÖR ORANI: E

CASRN	Kirletici Adı	Emisyon Faktörü (lb/ton)
71-55-6	1,1,1-Trichloroetane*	4,7x10 <sup>-6</sup>
106-46-7	1,4-dichlorobenzene	4,8x10 <sup>-5</sup>
91-57-6	2-methylnaphthalene	5,7x10 <sup>-5</sup>
78-93-3	2-butanone	0,00022
591-78-6	2-Hexanone	8,5x10 <sup>-5</sup>
67-64-1	Acetone*	0,0017
71-43-2	Benzene	0,0029
117-81-7	Bis(2-ethylhexy)phthalate	0,0020
85-68-7	Butylbenzylphthalate	1,8x10 <sup>-5</sup>
75-15-0	Carbon disulfide	4,3x10 <sup>-5</sup>
7782-50-5	Chlorine	0,0013
75-00-3	Chloroetane	0,00057
74-87-3	Chlorometane	0,00067
84-74-2	Di-n-butylphthalate	0,00014
84-66-2	Diethylphthalate	0,00024
100-41-4	Ethylbenzene	4,4x10 <sup>-5</sup>
1330-20-7	M-/p-Xylene	6,7x10 <sup>-5</sup>
74-88-4	Iodometane	9,3x10 <sup>-5</sup>
91-20-3	Naphthalene	6,5x10 <sup>-5</sup>
95-47-6	o-Xylene	5,8x10 <sup>-5</sup>
108-95-2	Phenol	8,6x10 <sup>-5</sup>
100-42-5	Styrene	2,0x10 <sup>-5</sup>
127-18-4	Tetrachloroethene	2,8x10 <sup>-6</sup>
108-88-3	Toluene	0,00016

(a) lb/ton'u kg/Mg'ye çevirmek için verilen değerler 0,5 ile çarpılmalıdır. \*: 40 CFR 51.100(s), 1 Haziran 1995'de belirlenen reaktif olmayan bileşikler

### EK-3.5.4. Şeker fabrikası

Çizelge EK-3.15. Şeker pancarı işleme tesisinden kaynaklanan VOC ve metan için emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

#### EMİSYON FAKTÖR ORANI: D

Kaynak	VOC <sup>b</sup> (lb/ton)	Metan (lb/ton)
Kömür yakan pulp dryer (SCC 3-02-016-01)	1,2	ND
Doğal gaz yakan pulp dryer (SCC 3-02-016-08)	ND	ND
Fuel oil yakan pulp dryer (SCC 3-02-016-05)	0,11	0,028
Birinci buharlaştırıcı (SCC 3-02-016-41)	ND	ND
Kükürt fırını (SCC 3-02-016-31)	ND	ND
Birinci karbonatlama tankı (SCC 3-02-016-21)	ND	ND
İkinci karbonatlama tankı (SCC 3-02-016-22)	ND	ND

(a) Verilen emisyon faktörü değerleri kontrolsüz durumlar için geçerlidir.

lb/ton'u kg/Mg'ye çevirmek için verilen değerler 0,5 ile çarpılmalıdır

SCC =Kaynak sınıflama kodu ND =Verinin mevcut olmadığı durumları göstermektedir

(b) Metan olarak uçucu organik bileşikler

Çizelge EK-3.16. Şeker pancarı işleme tesisinde karbonat tanklarından ve buharlaştırıcılardan kaynaklanan organik bileşikler için emisyon faktörleri <sup>a</sup> [11]

#### EMİSYON FAKTÖR ORANI: E

Kaynak	CASRN	Kirletici Adı	Emisyon Faktörü (lb/1000 gal)	Emisyon Faktör Oranı
Birinci Karbonatlama Tankı <sup>b</sup> (SCC 3-02-016-21)	91-57-6	2-methylnaphthalene	$5,1 \times 10^{-7}$	D
	106-44-5	4-methylphenol	$6,6 \times 10^{-7}$	D
	100-52-7	Benzaldehyde	$1,1 \times 10^{-4}$	D
	65-85-0	Benzoic acid	$8,4 \times 10^{-6}$	D
	100-51-6	Benzyl alcohol	$5,0 \times 10^{-6}$	D
	117-81-7	Bis(2-ethylhexyl)phthalate	$1,2 \times 10^{-5}$	D
	91-20-3	Naphthalene	$2,0 \times 10^{-6}$	D
	85-01-8	Phenanthrene	$1,4 \times 10^{-6}$	D
	108-95-2	Phenol	$1,3 \times 10^{-6}$	D
	75-07-0	Acetaldehyde	0,0043	D
	107-02-8	Acrolein	$2,4 \times 10^{-4}$	D
İkinci Karbonatlama Tankı <sup>b</sup> (SCC 3-02-016-22)	123-73-9	Crotonaldehyde	$3,0 \times 10^{-4}$	E
	50-00-0	Formaldehyde	$1,6 \times 10^{-5}$	E
	75-07-0	Acetaldehyde	$6,7 \times 10^{-5}$	E
	107-02-8	Acrolein	$4,2 \times 10^{-7}$	E
Birinci Buharlaştırıcı <sup>c</sup> (SCC 3-02-016-41)	123-73-9	Crotonaldehyde	$1,4 \times 10^{-7}$	E
	50-00-0	Formaldehyde	$7,0 \times 10^{-7}$	E
	110-86-1	Pyridine	$3,4 \times 10^{-8}$	E
	100-52-7	Benzaldehyde	$2,2 \times 10^{-6}$	E
	100-51-6	Benzyl alcohol	$1,8 \times 10^{-7}$	E
	117-81-7	Bis(2-ethylhexyl)phthalate	$3,7 \times 10^{-7}$	E
	84-74-2	Di-n-butylphthalate	$1,1 \times 10^{-9}$	E
	91-20-3	Naphthalene	$2,5 \times 10^{-8}$	E
	85-01-8	Phenanthrene	$1,6 \times 10^{-8}$	E
108-95-2	Phenol	$1,2 \times 10^{-8}$	E	

(a) SCC =Kaynak sınıflama kodu ND= Veri yok

(b) Emisyon faktörü birimi lb/ 1000 galon ham şerbet üretimi cinsinden verilmiştir

(c) Emisyon faktörü birimi lb/ 1000 galon koyu şerbet üretimi cinsinden verilmiştir

## EK-4

### ATIKSU ARITMA TESİSİ İÇİN AP-42 YÖNTEMİNE GÖRE ÖRNEK VOC EMİSYON HESAPLAMASI

Örnek hesaplama, alıcı ortama deşarj yapan ve mekanik olarak havalandırılarak biyolojik arıtma yapan bir tesis için, atıksudan havaya verilen benzen emisyonunu hesaplamak üzere yapılmıştır. Atıksuda benzen derişimi  $10,29 \text{ g/m}^3$ 'dür.

Benzen emisyon hızı, aşağıdaki basamaklar takip edilerek hesaplanabilir:

- I. Kullanılacak emisyon modeli belirlenir.
- II. Tesise özel bilgiler tespit edilir.
- III. Emisyon modelinde kullanılacak diğer model parametreler belirlenir.
- IV. Kirletici maddelerin fiziksel özellikleri ile hava, su özellikleri belirlenir.
- V. Sıvı ve gaz faz kütle transfer katsayıları hesaplanır.
- VI. Toplam kütle transfer katsayısı hesaplanır.
- VII. VOC emisyonlarının hesaplanmasına geçilir.

#### EK-4.1. Emisyon Modeli

AP-42 Bölüm 4.3'de belirtilen emisyon modeline göre havalandırmalı, biyolojik olarak aktif ve alıcı ortama deşarj yapan bir tesis için hesaplamalar yapılmıştır. AP-42 Bölüm 4.3 Şekil 4.3.4'e göre VOC emisyonlarının hesabını yapmak üzere aşağıdaki denklemlerin (Çizelge EK-4.1) kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Çizelge EK-4.1. Atıksu arıtma tesisi emisyon hesaplamasında kullanılan denklemler

Parametre	Tanımlama	AP-42 Bölüm 4.3. Çizelge 4.3.1'den kullanılacak denklem numaraları
K	Toplam kütle transfer katsayısı (m/s)	7
$k_l$	Sıvı faz kütle transfer katsayısı (m/s)	1,3
$K_g$	Gaz faz kütle transfer katsayısı (m/s)	2,4
N	VOC emisyonu (g/s)	16

### EK-4.2. Tesise Özel Bilgiler

Emisyon modeli için hesaplamalarda kullanılmak üzere tesise özel bilgiler arasında, en azından atıksu arıtma tesisinin debisi, atıksu yüzey alanı, su yüksekliği ve kirletici derişimleri bilinmelidir.

Yapılan hesaplamada Çizelge EK-4.2'de verilen Q, D, A, C<sub>o</sub> değerleri kullanılmıştır.

### EK-4.3. Diğer Model Parametreleri

Model hesaplamasında kullanılacak diğer parametre değerleri tesise özel veriler mevcutsa kullanılmalıdır. Eğer bu veriler bilinmiyor veya bu verilere ulaşılamıyorsa AP-42 Bölüm 4.3 Çizelge 4.3.3'de yer alan veriler kullanılabilir.

Örnek hesaplamanın yapılacağı tesis için kullanılan veriler (U<sub>10</sub>, T, b<sub>i</sub>, J, POWR, O<sub>t</sub>, V<sub>a</sub>, d, d\*, w, N<sub>1</sub>) Çizelge EK-4.2'de verilmektedir.

### EK-4.4. Kirleticilerin Fiziksel Özellikleri ve Hava/Su Özellikleri

Benzenin fiziksel özellikleri (AP-42 Bölüm 4.3 Çizelge 4.3.4) ile hava ve su özellikleri (AP-42 Bölüm 4.3 Çizelge 4.3.2) Çizelge EK-4.2'de verilmektedir.

### EK-4.5. Sıvı ve Gaz Kütle Transfer Katsayıları

Havalandırma havuzunda hem turbulent, hem de hareketsiz alanlar bulunduğu için kütle transfer katsayıları turbulent ve hareketsiz alanlar için ayrı ayrı hesaplanır.

#### EK-4.5.1. Havuzun turbulent alanı için hesaplama

##### EK-4.5.1.1. Sıvı faz kütle transfer katsayısı

$$k_i = \left[ (8,22 * 10^{-9}) (J) (POWR) (1,024)^{(T-20)} (O_t) (10^6) MW_L / (V a_v \rho_L) \right] (D_w / D_{O_2,w})^{0,5}$$

I. Havalandırıcılar için toplam güç

$$POWR(\text{hp}) = 0,75 \text{hp} / 1000 \text{ft}^3 (\text{V})$$

$$\text{V} = \text{Atıksu hacmi, m}^3$$

$$\text{V} = (\text{A})(\text{D}) = (17.652 \text{m}^2)(1,97 \text{m}) = 34.774 \text{m}^3$$

$$POWR = (0,75 \text{ hp} / 1000 \text{ ft}^3) (\text{ft}^3 / 0,028317 \text{ m}^3) (34.774 \text{ m}^3)$$

$$= 921 \text{ hp}$$

Çizelge EK-4.2. Kütle transfer katsayıları ve emisyon hesaplama denklemlerinde kullanılan parametrelerin tanımlamaları

Parametre	Tanımlama	Diğer	Birim
A	Atıksu yüzey alanı	17.652	m <sup>2</sup>
b <sub>i</sub>	Havalandırma sisteminin biyokütle derişimi	300	g/m <sup>3</sup>
C <sub>o</sub>	Sıvı fazdaki başlangıç bileşik derişimi	10,29	g/m <sup>3</sup>
d	İmpeller yarıçapı	61	cm
D	Atıksu derinliği	1,97	m
d*	İmpeller yarıçapı	2	ft
D <sub>a, benzen</sub>	Benzenin havada difüzyonu	0,088	cm <sup>2</sup> /s
D <sub>w, benzen</sub>	Benzenin suda difüzyonu	9,8×10 <sup>-6</sup>	cm <sup>2</sup> /s
D <sub>O<sub>2</sub>,w</sub>	Oksijenin suda difüzyonu	2,4×10 <sup>-5</sup>	cm <sup>2</sup> /s
g <sub>c</sub>	Yerçekimi sabiti	32,17	lb <sub>m</sub> -ft/lb <sub>r</sub> -s <sup>2</sup>
H <sub>benzen</sub>	Benzenin Henry kanunu sabiti	0,0055	atm-m <sup>3</sup> /gmol
J	Yüzey havalandırıcısı için oksijen transfer oranı	3	lb O <sub>2</sub> /hp-hr
K <sub>max,benzen</sub>	Benzen için maksimum biyohız sabiti	5,28×10 <sup>-6</sup>	g/g-s
K <sub>s, benzen</sub>	Benzen için yarı doygunluk biyohız sabiti	13,6	g/m <sup>3</sup>
MW <sub>L</sub>	Suyun moleköl ağırlığı	18	g/gmol
MW <sub>a</sub>	Havanın moleköl ağırlığı	29	g/gmol
N <sub>1</sub>	Havalandırıcı sayısı	POWR/75 hp	Birimsiz
O <sub>t</sub>	Oksijen transferi düzeltme faktörü	0,83	Birimsiz
POWR	Havalandırıcılar için toplam güç	0,75 hp/1000ft <sup>3</sup> (V)	hp
Q	Hacimsel akış hızı	0,0623	m <sup>3</sup> /s
R	Gaz sabiti	8,21×10 <sup>-5</sup>	atm-m <sup>3</sup> /gmol
T	Su sıcaklığı	25	°C
U <sub>10</sub>	Sıvı yüzeyinden 10 m yukarıda rüzgar hızı	4,47	m/s
V <sub>a<sub>v</sub></sub>	Turbulent yüzey alanı	0,24 (A)	m <sup>2</sup>
w	İmpellerin döngüsel hızı	126	rad/s
ρ <sub>a</sub>	Havanın yoğunluğu	1,2*10 <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
ρ <sub>L</sub>	Suyun yoğunluğu	1 (62,4)	g/cm <sup>3</sup> (lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup> )
μ <sub>a</sub>	Havanın vizkozitesi	1,81×10 <sup>-4</sup>	g/cm-s

## II. Turbulent yüzey alanı

$$\begin{aligned} V_{a_v} (\text{ft}^2) &= 0,24(A) \\ &= 0,24(17.652 \text{ m}^2)(10,758 \text{ ft}^2/\text{m}^2) \\ &= 45.576 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar kullanılarak  $k_1$ 'nin hesaplanması:

$$\begin{aligned} k_1 &= [(8,22 \cdot 10^{-9})(3 \text{ lbO}_2/\text{hp-hr})(921 \text{ hp}) \\ &\quad (1,024)^{(25-20)}(0,83)(10^6)(18 \text{ g/gmol})/ \\ &\quad ((45.576 \text{ ft}^2)(1 \text{ g/cm}^3))] \\ &\quad [(9,8 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s})/(2,4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s})]^{0,5} \\ &= (0,00838)(0,639) \\ k_1 &= 5,35 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \end{aligned}$$

### EK-4.5.1.2. Gaz fazı kütle transfer katsayısı

$$k_g (\text{m/s}) = (1,35 \cdot 10^{-7})(\text{Re})^{1,42}(P)^{0,4}(Sc_G)^{0,5}(Fr)^{-0,21}(D_a MW_a / d)$$

#### I. Reynold sayısı

$$\begin{aligned} \text{Re} &= d^2 \omega \rho_a / \mu_a \\ &= (61 \text{ cm})^2 (126 \text{ rad/s}) (1,2 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3) / (1,81 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm-s}) \\ &= 3,1 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

#### II. Güç sayısı

$$\begin{aligned} P &= [(0,85)(\text{POWR})(550 \text{ ft-lb}_f/\text{s-hp})/N_1] g_c / (\rho_L (d^*)^5 \omega^3) \\ N_1 &= \text{POWR}/75 \text{ hp} \\ P &= [(0,85)(75 \text{ hp})(\text{POWR}/\text{POWR})(550 \text{ ft-lb}_f/\text{s-hp}) \\ &\quad (32,17 \text{ lb}_m\text{-ft}/\text{lb}_f\text{-s}^2) / [(62,4 \text{ lb}_m/\text{ft}^3)(2 \text{ ft})^5 (126 \text{ rad/s})^3] \\ &= 2,8 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

#### III. Gaz tarafındaki Schmidt sayısı

$$\begin{aligned} Sc_G &= \mu_a / (\rho_a D_a) \\ &= (1,81 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm-s}) / [(1,2 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3)(0,088 \text{ cm}^2/\text{s})] \\ &= 1,71 \end{aligned}$$

#### IV. Froude sayısı

$$\begin{aligned} Fr &= (d^*) \omega^2 / g_c \\ &= (2 \text{ ft})(126 \text{ rad/s})^2 / (32,17 \text{ lb}_m\text{-ft}/\text{lb}_f\text{-s}^2) = 900 \end{aligned}$$

Yukarıdaki hesaplamalar kullanılarak  $k_g$ 'nin hesaplanması:

$$k_g (m/s) = (1,35 * 10^{-7})(3,1 * 10^6)^{1,42} (2,8 * 10^{-4})^{0,4} (1,71)^{0,5} (990)^{-0,21} (0,088)(29)/61$$

$$=0,109 \text{ m/s}$$

#### EK-4.5.2. Havuzun hareketsiz alanı için hesaplama

Sıvı faz kütle transfer katsayısı(m/s): $k_1$

$0 < U_{10} < 3,25$  m/s ve bütün F/D oranları için

$$k_1 = (2,78 \times 10^{-6})(D_w/D_{eter})^{2/3}$$

$U_{10} > 3,25$  m/s ve  $14 < F/D < 51,2$  için

$$k_1 = \left[ (2,605 \times 10^{-9})(F/D) + (1,277 \times 10^{-7}) \right] (U_{10})^2 (D_w/D_{eter})^{2/3}$$

$U_{10} > 3,25$  m/s ve  $F/D > 51,2$  için

$$k_1 = (2,61 \times 10^{-7})(U_{10})^2 (D_w/D_{eter})^{2/3}$$

$U_{10} > 3,25$  m/s ve  $F/D < 14$  için

$$k_t = 1,0 \times 10^{-6} + 144 \times 10^{-4} (U^*)^{2,2} (Sc_L)^{-0,5}; U^* < 0,3$$

$$k_t = 1,0 \times 10^{-6} + 34,1 \times 10^{-4} (U^*) (Sc_L)^{-0,5}; U^* > 0,3$$

$$U^* = (0,01)(U_{10})(6,1 + 0,63(U_{10}))^{0,5}$$

$$Sc_L = \mu_L / (\rho_L D_w)$$

$$F/D = 2(A/\pi)^{0,5}/D$$

##### EK-4.5.2.1. Sıvı faz kütle transfer katsayısı

$$F/D = 2(A/\pi)^{0,5}/D$$

$$= 2(17.652 \text{ m}^2/\pi)^{0,5}/(1,97 \text{ m})$$

$$= 76,1$$

$$U_{10} = 4,47 \text{ m/s}$$

$U_{10} > 3,25$  m/s ve  $F/D > 51,2$  için

$$k_1 = (2,61 * 10^{-7})(U_{10})2(D_w/D_{eter})^{2/3}$$

$$= (2,61 * 10^{-7})(4,47 \text{ m/s})2[9,8 * 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}]/(8,5 * 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s})^{2/3}$$

**EK-4.5.2.2. Gaz fazı kütle transfer katsayısı**

$$k_g = (4,82 \cdot 10^{-3})(U_{10})^{0,78}(Sc_G)^{-0,67}(d_e)^{-0,11}$$

I. Gaz tarafı Schmidt sayısı

$$Sc_G = \mu_a / (\rho_a D_a) = 1,71$$

II. Etkin yarıçap

$$\begin{aligned} d_e \text{ (m)} &= 2(A/\pi)^{0,5} \\ &= 2(17.652 \text{ m}^2/\pi)^{0,5} \\ &= 149,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Yukarıdaki hesaplamalar kullanılarak  $k_g$ 'nin hesaplanması:

$$\begin{aligned} k_g &= (4,82 \cdot 10^{-3})(4,47 \text{ m/s})^{0,78}(1,71)^{-0,67}(149,9 \text{ m})^{-0,11} \\ &= 6,24 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \end{aligned}$$

**EK-4.6. Toplam kütle transfer katsayısı**

Havalandırma havuzunda toplam kütle transfer katsayısı, turbulent ve hareketsiz toplam kütle transfer katsayılarının alan-ağırlıklı ortalamaları alınarak hesaplanır.

**EK-4.6.1. Havuzun turbulent yüzey alanının toplam kütle transfer katsayısı**

$$K_T = (k_l Keq k_g) / (Keq k_g + k_l)$$

$$Keq = H/RT$$

$$= (0,0055 \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{gmol}) / [(8,21 \cdot 10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{gmol} \cdot \text{K})(298 \text{ K})]$$

$$= 0,225$$

$$K_T = (5,35 \cdot 10^{-3})(0,225)(0,109) / [(0,109)(0,225) + (5,35 \cdot 10^{-3})]$$

$$= 4,39 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

**EK-4.6.2. Havuzun hareketsiz yüzey alanının toplam kütle transfer katsayısı**

$$K_Q = (k_l Keq k_g) / (Keq k_g + k_l)$$

$$= (5,74 \cdot 10^{-6})(0,225)(6,24 \cdot 10^{-3}) / [(6,24 \cdot 10^{-3})(0,225) + (5,74 \cdot 10^{-6})]$$

$$= 5,72 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

**EK-4.6.3. Toplam kütle transfer katsayısı (turbulent ve hareketsiz alan ağırlıklı)**

$$K = (K_T A_T + K_Q A_Q) / A$$

$$A_T = 0,24(A)$$

$$A_Q = (1-0,24)A$$

$$K = [(4,39 \cdot 10^{-3})(0,24A) + (5,72 \cdot 10^{-6})(1-0,24)A] / A$$

$$= 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

**EK-4.7. Havalandırma biyolojik havuz için VOC emisyonu hesaplaması**

$$N(\text{g/s}) = K C_L A$$

$$C_L(\text{g/m}^3) = [-b + (b^2 - 4ac)^{0,5}] / (2a)$$

$$a = KA/Q + 1$$

$$a = [(1,06 \cdot 10^{-3} \text{ m/s})(17.652 \text{ m}^2) / (0,0623 \text{ m}^3/\text{s})] + 1 = 301,3$$

$$b = K_s(KA/Q + 1) + K_{\max} b_i V/Q - C_0$$

$$b = (13,6 \text{ g/m}^3) [(1,06 \cdot 10^{-3} \text{ m/s})(17.652 \text{ m}^2) / (0,0623 \text{ m}^3/\text{s})] +$$

$$[(5,28 \cdot 10^{-6} \text{ g/g-s})(300 \text{ g/m}^3)(34.774 \text{ m}^3) / (0,0623 \text{ m}^3/\text{s})] - 10,29 \text{ g/m}^3$$

$$= 4084,6 + 884,1 - 10,29 = 4958,46 \text{ g/m}^3$$

$$c = -K_s C_0$$

$$c = - (13,6 \text{ g/m}^3)(10,29 \text{ g/m}^3) = - 139,94$$

$$C_L = [-b + (b^2 - 4ac)^{0,5}] / (2a)$$

$$= [-(4958,46 \text{ g/m}^3) + [(4958,46 \text{ g/m}^3)^2 - 4(301,3)(-139,94)]^{0,5}] / (2(301,3))$$

$$= 0,0282 \text{ g/m}^3$$

Böylece sıvı ortamdan havaya verilen benzen emisyonu için,

$$N(\text{g/s}) = K A C_L$$

$$= (1,06 \cdot 10^{-3} \text{ m/s})(17.652 \text{ m}^2)(0,0282 \text{ g/m}^3)$$

$$= 0,52 \text{ g/s}$$

değeri hesaplanmış olur.