

**ZONGULDAK BÖLGESİ SERA GAZI EMİSYON MİKTARLARININ
BELİRLENMESİ**

Özgür ZEYDAN

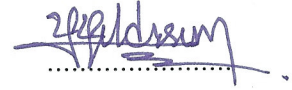
**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Temmuz 2008**

KABUL:

Özgür ZEYDAN tarafından hazırlanan " ZONGULDAK BÖLGESİ SERA GAZİ EMİSYON MİKTARLARININ BELİRLENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
14/07/2008

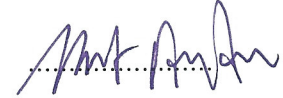
Başkan: Doç. Dr. Yılmaz YILDIRIM (ZKÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa EYRİBOYUN (ZKÜ)

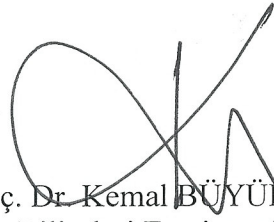


Üye : Yrd. Doç. Dr. Hamit AYDIN (ZKÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2008



Doç. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Özgür ZEYDAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZONGULDAK BÖLGESİ SERA GAZI EMİSYON MİKTARLARININ BELİRLENMESİ

Özgür ZEYDAN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yılmaz YILDIRIM

Temmuz 2008, 107 sayfa

Endüstri devriminden sonra, fosil yakıtlarının aşırı tüketilmesi sera etkisini kuvvetlendirmiştir. Bu da, küresel ortalama sıcaklıkların artması ile sonuçlanmıştır. Buna bağlı olarak da iklimler değişmektedir. İklim değişikliği ile mücadelede ilk adım sera gazları emisyon envanterinin hazırlanmasıdır. Bu çalışmada, Zonguldak Bölgesindeki evsel ısınmadan, termik santralden ve trafikten salınan sera gazları emisyonlarının miktarları hesaplanmıştır. Evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında USEPA ve IPCC emisyon faktörleri kullanılmıştır. IPCC emisyon faktörleri kullanılarak 3.048×10^5 ton/yıl CO₂, 966.71 ton/yıl CH₄ ve 4.83 ton/yıl N₂O emisyonu hesaplanmıştır. Termik santral için de CORINAIR, USEPA ve IPCC emisyon faktörleri kullanılmıştır. IPCC emisyon faktörleri kullanılarak ÇATES'den yılda 2.12×10^6 ton CO₂, 23.04 ton CH₄ ve 33.34 ton N₂O salındığı hesaplanmıştır. Ayrıca, il genelindeki trafikten kaynaklanan emisyon miktarları ise

ÖZET (devam ediyor)

1918 ton/yıl VOC, 3933 ton/yıl NO_x, 5981 ton/yıl CO ve 106 ton/yıl PM olarak hesaplanmıştır. Son olarak, tüm emisyonlar için VOC/NO_x oranı hesaplanmış ve ozon oluşumunda VOC limitli fotokimsyal tepkimelerin etkin olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: emisyon envanteri, sera gazları, troposferik ozon, Zonguldak

Bilim Kodu: 615.02.02

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINING THE AMOUNTS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN ZONGULDAK REGION

Özgür ZEYDAN

Zonguldak Karaelmas University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Yılmaz YILDIRIM

July 2008, 107 pages

After industry revolution, burning of fossil fuels excessively has enforced the greenhouse effect. This results in increase in global mean temperature. Depending on that, climates have been changing. The first step in dealing with climate change is the preparation of the greenhouse gases emission inventory. In this study, the amounts of greenhouse gas emissions, emitted from residential heating, thermal power plant and traffic, have been calculated in Zonguldak Region. In calculation of residential heating emissions USEPA and IPCC emission factors have been used. Emissions of 3.048×10^5 tones/year CO_2 , 966.71 tones/year CH_4 and 4.83 tones/year N_2O have been calculated by using IPCC emission factors. For thermal power plant, CORINAIR, USEPA and IPCC emission factors have been used. By the use of IPCC emission factors, it has been found that 2.12×10^6 tones CO_2 , 23.04 tones CH_4 and 33.34 tones N_2O have been emitted from ÇATES annually. Moreover, the amounts of emissions from total city traffic have been calculated as 1918 tones/year VOC, 3933 tones/year NO_x , 5981 tones/year CO and 106 tones/year PM. Finally, VOC/ NO_x ratio for all these emissions

ABSTRACT (continued)

has been calculated and it has been found that VOC limited photochemistry occurs in tropospheric ozone formation.

Key Words: emission inventory, greenhouse gases, tropospheric ozone, Zonguldak

Science Code: 615.02.02

TEŞEKKÜR

Beni bu alana yönlendiren, önümde yeni ufuklar açan ve bu çalışma sırasında desteğini hiç esirgemeyen çok değerli hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Yılmaz YILDIRIM'a (Z.K.Ü. Çevre Müh. Böl.) ne kadar teşekkür etsem azdır.

Eğitim hayatım boyunca bana hep destek olarak bu günlere gelmemi sağlayan annem Sıdika ZEYDAN'a ve babam Burhan ZEYDAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında beni hep anlayışla karşılayan ve bana sürekli destek olan eşim Araş. Gör. Zeynep ERDOĞAN ZEYDAN'a (Marmara Üniv.) teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Suat ÖZTÜRK'e (Z.K.Ü. Enformatik Böl.) teşekkür ederim.

Kömür miktarlarının ve analizlerinin belirlenmesinde sağladığı bilgilerden dolayı TTK Kömür Satış Müdürü Sayın Nizam ÇEBİ'ye teşekkür ederim.

Çalışma alanının haritası ve konut sayıları hakkında sağladıkları bilgilerden dolayı Zonguldak Belediyesi İmar İşleri çalışanlarından Sayın Müh. Atilla ALP ve Sayın Yük. Müh. Ogan GÖKTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak konutlardaki kömür tüketim anketinin gerçekleştirilmesindeki yardımlardan dolayı Z.K.Ü. Maliye Böl. öğrencisi Emre PULAT'a, Z.K.Ü. Devlet Konservatuvarı öğrencisi Nalan AN'a ve Z.K.Ü. Çevre Müh. Böl. öğrencilerinden Neşe TAŞTAN'a, Zeynep KÜTÜK'e, Müberra KAŞKAYA'ya, Selin SARAÇ'a, Melike ALICI'ya, Merve ÖZKUL'a, Nuray BİLALOĞLU'na, Esra DÜZENLİ'ye ve Kezban Ay ŞENLİK'e teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 HAVA KİRLİLİĞİ, SERA GAZLARI VE EMİSYON ENVANTERİ.....	5
2.1 HAVA KİRLİLİĞİ	5
2.2 KİRLETİCİ KAYNAKLARI.....	5
2.3 ATMOSFERİN YAPISI	7
2.4 HAVA KİRLİLİĞİNİN BOYUTLARI	8
2.5 KİRLETİCİLERİN ETKİLERİ.....	9
2.6 KÜRESEL ISINMA	12
2.7 SERA ETKİSİ VE SERA GAZLARI	13
2.7.1 Karbondioksit (CO ₂)	16
2.7.2 Metan (CH ₄)	16
2.7.3 Diazotmonoksit (N ₂ O).....	16
2.7.4 Ozon (O ₃).....	17
2.7.5 Azot Oksitler (NO _x).....	17

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	Sayfa
2.7.6 Metan Dışı Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC)	17
2.7.7 Sentetik Sera Gazları.....	18
2.8 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	18
2.9 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİ	19
2.10 EMİSYON ENVANTERLERİ.....	20
2.11 EMİSYON FAKTÖRLERİ	23
 BÖLÜM 3 TROPOSFERİK OZON OLUŞUMU.....	 27
3.1 OZON	27
3.2 STRATOSFERİK VE TROPOSFERİK OZON	27
3.3 TROPOSFERİK OZON OLUŞUMU VE OZONUN ÖNCÜ GAZLARI.....	29
3.4 OZON VE ÖNCÜ GAZLARININ KONSANTRASYONLARININ GÜN İÇİNDEKİ DEĞİŞİMİ	 31
3.5 OZON-NOX-VOC DUYARLILIĞI.....	32
3.6 TROPOSFERİK OZONUN KONTROLÜ	34
3.7 OZON OLUŞTURMA POTANSİYELİ.....	35
 BÖLÜM 4 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	 39
4.1 TÜRKİYE’DEKİ EMİSYON ENVANTERİ ÇALIŞMALARI	39
4.2 ÜLKEMİZ DIŞINDAKİ EMİSYON ENVANTERİ ÇALIŞMALARI	43
 BÖLÜM 5 ÇALIŞMA ALANI VE HAVA KALİTESİ DURUMU	 51
5.1 ÇALIŞMA ALANI COĞRAFİ VE TOPOGRAFİK ÖZELLİKLER	51
5.2 İKLİM DURUMU	54
5.3 ZONGULDAK İLİNDE KULLANILAN YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	56
5.4 HAVA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	57
5.4.1 Eysel Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği	57
5.4.2 Sanayi ve Güç Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliği.....	58
5.4.3 Trafikten Kaynaklanan Hava Kirliliği	59

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 EMİSYON ENVANTERİ İLE SERA GAZLARI EMİSYONLARININ HESAPLANMASI	61
6.1 EVSEL ISINMADAN KAYNAKLANAN SERA GAZLARI.....	61
6.1.1 USEPA AP-42 Emisyon Faktörleri ile Evsel Isınmadan Kaynaklanan Sera Gazları Emisyonlarının Hesaplanması.....	62
6.1.2 IPCC Emisyon Faktörleri ile Evsel Isınmadan Kaynaklanan Sera Gazları Emisyonlarının Hesaplanması	67
6.2 ENERJİ SEKTÖRÜ (TERMİK SANTRAL) KAYNAKLI SERA GAZLARI.....	69
6.2.1 CORINAIR Emisyon Faktörleri ile Enerji Sektörü (Termik Santral) Kaynaklı Emisyon Miktarlarının Hesaplanması.....	70
6.2.2 USEPA Emisyon Faktörleri ile Enerji Sektörü (Termik Santral) Kaynaklı Emisyon Miktarlarının Hesaplanması.....	72
6.2.3 IPCC Emisyon Faktörleri ile Enerji Sektörü (Termik Santral) Kaynaklı Emisyon Miktarlarının Hesaplanması.....	74
6.3 TRAFİKTE KAYNAKLANAN SERA GAZLARI	76
6.4 VOC/NOX ORANLARININ BELİRLENMESİ	83
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	89
BİBLİYOGRAFYA	97
EK AÇIKLAMALAR A KÖMÜR TÜKETİM ANKETİ TANIMLAYICI İSTATİSTİKLERİ.....	99
EK AÇIKLAMALAR B DİZEL YAKITLI OTOMOBİL SAYISININ HESAPLANMASI	101
EK AÇIKLAMALAR C LİTERATÜRDEKİ MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN EMİSYON MİKTARLARININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN EMİSYON FAKTÖRLERİ.....	103
ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Hava kirliliği problemini oluşturan faktörler	6
2.2 Atmosferin katmanları	9
2.3 1860'dan itibaren küresel ortalama sıcaklıklar	12
2.4 Sera gazlarının radyasyonu absorplamaları	14
2.5 1750 – 2005 arasındaki radyasyon akısı	15
2.6 Milankovitch döngüleri	19
2.7 Emisyon envanterlerindeki kaynakların kategorileri	22
3.1 Stratosferik ve troposferik ozon	28
3.2 Azot oksitler ve ozon döngüsü	30
3.3 Los Angeles kenti için ozon ve öncü gazlarının konsantrasyonlarının gün içindeki değişimleri	32
3.4 Pik ozon oluşum izopleti	33
3.5 Ozon kontrolünde VOC ve NOx emisyonlarının kontrolü	34
3.6 Duman çemberinde ozon oluşumu	36
5.1 Zonguldak ili haritası	52
5.2 Çalışma alanındaki mahalleler	53
5.3 Zonguldak il merkezi topografik haritası	53
5.4 Zonguldak ili rüzgar diyagramı	56
5.5 Çatalağzı Termik Santrali	59
6.1 Zonguldak şehir merkezinde araç sayımı yapılan caddelerin uydu görüntüsünde belirlenmesi	78
6.2 Benzinli araçların emisyonlarından kaynaklanan VOC türleri	81
6.3 Dizel araçların emisyonlarından kaynaklanan VOC türleri	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Temiz havanın bileşimi	8
2.2 Hava kirliliğinin etkin olduğu mesafeler	10
2.3 Küresel ısınmada etkili olan sera gazları ve özellikleri	15
3.1 Bazı uçucu organik bileşikler için POCP değerleri	36
5.1 Çalışma alanındaki mahallelere ait bilgiler.....	52
5.2 Zonguldak ili için uzun yıllar içinde gerçekleşen sıcaklık değerleri	54
5.3 Zonguldak ili için uzun yıllar içinde gerçekleşen güneşlenme, yağış ve rüzgar değerleri	55
5.4 Zonguldak ili için uzun yıllar içinde gerçekleşen basınç ve bağıl nem değerleri	55
5.5 Zonguldak'ta satışına izin verilen kömürler ve özellikleri	57
5.6 Yakıt olarak kullanılan taş kömürünün özellikleri	58
5.7 Zonguldak ilinde trafiğe kayıtlı olan motorlu taşıtlar.....	60
6.1 “Elle beslemeli” kazanlarda taşkömürü için emisyon faktörleri	62
6.2 Zonguldak bölgesinde evsel ısınmadan kaynaklanan sera gazları emisyon miktarları	65
6.3 Zonguldak bölgesinde evsel ısınmadan kaynaklanan emisyon miktarları ve kirlilik yükleri	66
6.4 Evsel ısınmadan kaynaklanan sera gazları için IPCC taş kömürü emisyon faktörleri ve Zonguldak Merkez'deki emisyon miktarları	69
6.5 Evsel ısınmadan kaynaklanan emisyon miktarlarının karşılaştırılması.....	69
6.6 Gücü 300 MW'tan düşük termik santraller için emisyon faktörleri.....	70
6.7 ÇATES'de kullanılan yakıtlara ait bilgiler	71
6.8 CORINAIR emisyon faktörleri ile hesaplanan ÇATES kaynaklı emisyonlar	72
6.9 ÇATES için USEPA emisyon faktörleri.....	73
6.10 USEPA emisyon faktörleri ile hesaplanan ÇATES kaynaklı emisyonlar	74
6.11 ÇATES için IPCC emisyon faktörleri	75

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.12 IPCC emsiyon faktörleriyle hesaplanan ÇATES kaynaklı emisyonlar	75
6.13 Enerji sektörü (ÇATES) emisyonlarının karşılaştırılması	76
6.14 Şehir içi ve etrafındaki yollarda motorlu taşıtlar için emisyon faktörleri	77
6.15 Zonguldak il geneli araç sayıları ve emisyon miktarları	79
6.16 Zonguldak il merkezi araç sayıları ve emisyon miktarları	80
6.17 Zonguldak şehir merkezi araç sayıları ve emisyon miktarları	81
6.18 Çalışma alanında trafikten kaynaklanan VOC emisyon miktarları	83
6.19 Çalışma alanındaki VOC/NOx oranları	84
A.1 Kömür tüketim anketi tanımlayıcı istatistikleri	100
B.1 Dizel yakıtlı otomobil oranının hesaplanması	102
C.1 Motorlu taşıtlar için emisyon faktörleri	104
C.2 Motorlu taşıtlar için emisyon faktörleri	104
C.3 Motorlu taşıtlar için emisyon faktörleri	105
C.4 Dizel araçlar için emisyon faktörleri	105
C.5 Benzin araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık < 3.5 ton)	106
C.6 Benzin araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık > 3.5 ton)	106
C.7 Dizel araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık < 3.5 ton)	106
C.8 Dizel araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık 3.5 - 16 ton arası)	106
C.9 Dizel araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık > 16 ton)	106

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
A KÖMÜR TÜKETİM ANKETİ TANIMLAYICI STATİSTİKLERİ.....	99
B DİZEL YAKITLI OTOMOBİL SAYISININ HESAPLANMASI	101
C LİTERATÜRDEKİ MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN EMİSYON MİKTARLARININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN EMİSYON FAKTÖRLERİ	103

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	:	aktivite istatistiği
CFCs	:	kloroflorokarbonlar
CH ₄	:	metan
CO ₂	:	karbondioksit
E	:	emisy on miktarı
EF	:	emisy on faktörü
ER	:	toplam emisy on giderim verimi
HC	:	hidrokarbonlar
HCFCs	:	hidrokloroflorokarbonlar
HFCs	:	hidroflorokarbonlar
HO ₂	:	hidroperoksi radikali
mb	:	milibar
N ₂ O	:	diazotmonoksit
NM VOC	:	metan dışı uçucu organik bileşikler
NO	:	azot monoksit
NO ₂	:	azot dioksit
NO _x	:	azot oksitler
O ₃	:	ozon
OH	:	hidroksil
PAN	:	peroksiasetilnitrat
PCDD	:	poliklorinated dibenzo-p-dioksinler
PCDF	:	poliklorinated dibenzofuranlar
PM	:	partikül maddeler
POCP	:	fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli
R	:	alkil grubu
RO ₂	:	organik peroksi radikali
SF ₆	:	sülfürhekzaflorit
SO ₂	:	kükürt dioksit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

VOC	:	uçucu organik bileşikler
TOC	:	toplam organik karbon
TSP	:	toplam katı partikül
UV-B	:	ultraviyole ışınları

KISALTMALAR

ADNKS	:	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
CALMET	:	Computer Aided Learning in Meteorology
CAMx	:	Comprehensive Air Quality Model with Extensions
CIT	:	California Institute of Technology
COPERT	:	Computer Program to Calculate Emissions from Road Traffic
CORINAIR	:	Core Inventory of Air Emissions
CSUMM	:	Colorado State University Mesoscale Model
ÇATES	:	Çatalağzı Çatalağzı Termik Santrali
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İşleri
DTU	:	Technical University of Denmark
EMEP	:	European Monitoring and Evaluation Program
EMITRA	:	Emissions from Road Transport
ERDEMİR	:	Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları
GWP	:	küresel ısınma potansiyeli
HGK	:	Harita Genel Komutanlığı
IPCC	:	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
I-TEQ	:	International Toxic Equivalent System
LPG	:	sıvılaştırılmış petrol gaz
MM5	:	Mesoscale Model 5th Generation
MOBILE	:	Mobile Source Emission Model
MVEI	:	Motor Vehicle Emission Inventory
ppb	:	milyardaki parçacık sayısı
ppm	:	milyondaki parçacık sayısı
ppt	:	trilyondaki parçacık sayısı
TCÇOB	:	Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

TTK	:	Türkiye Taş Kömürü Kurumu
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜPRAŞ	:	Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.
TWC	:	üç yollu katalizör
UAM-CB IV	:	Urban Airshed Model
USEPA	:	Amerikan Çevre Koruma Örgütü
VITO	:	Flaman Teknolojik Araştırma Enstitüsü
ZİÇDR	:	Zonguldak İl Çevre Durum Raporu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayi devrimini takip eden toplumların refah seviyeleri ve insanların yaşam kaliteleri gün geçtikçe artmıştır. Bu artış, yüksek oranlarda enerji ve hammadde ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Isınma, ulaşım ve enerji üretimi gibi faaliyetleri gerçekleştirebilmek için kullanılan yakıtlar çevre sorunlarının başlıca sebebi olmuştur. Yakıtların yanma işlemleri sırasında oluşan emisyonların kontrolsüz bir şekilde atmosfere salınması havayı kirletmektedir. Hava kirliliği ise hem canlıları hem de ekosistemleri olumsuz şekilde etkilemektedir.

Hava kirliliği problemi yerel bir sorun olmayıp meteorolojik etkilere ve atmosferik taşınmaya bağlı olarak ülkelerin sınırlarını aşan bir problem haline gelmiştir. Nitekim, sera etkisinin antropojenik emisyonlar nedeniyle kuvvetlenmesiyle ortaya çıkan küresel ısınma bunun en büyük kanıtıdır. Küresel ısınma süreci iklimlerde değişikliklere neden olmaktadır. İklimler değişimi ise sağlıktan tarıma, enerjiden turizme kadar pek çok sektörü etkilemeye başlamıştır ve etkilemeye devam edecektir.

İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini önleme çalışmalarında her ülke ilk adım olarak, atmosfere saldıkları sera gazlarının miktarını belirleyebilmek için sera gazları emisyon envanterlerini hazırlamaktadır. Emisyon envanteri, hava kalitesinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin maliyeti kirletici kaynağında veya dış ortamda yapılan ölçümlere göre oldukça düşük olduğundan tercih edilmektedir. Emisyon envanteri, uygun emisyon faktörlerinin ve aktivite istatistiklerinin belirlenmesiyle kolaylıkla hazırlanabilmektedir.

Sera gazları emisyon envanterlerindeki emisyonları hesaplanan başlıca gazlar, uzun ömürlü sera gazları olan karbondioksit, metan ve diazotmonoksittir. Ancak, son yıllarda troposferik ozonun da küresel iklim değişikliğine olan katkısı daha iyi anlaşılmıştır. Ozon, kirletici

kaynaklardan doğrudan salınmayıp atmosferde ikincil kirletici olarak oluştuğundan, ozon oluşumunda etkili olan azot oksitler ve uçucu organik bileşikler de sera gazları emisyon envanterlerine dolaylı sera gazları olarak dahil edilmişlerdir.

Bu çalışma, Zonguldak Bölgesi sera gazlarının emisyon envanteri metoduyla belirlenmesini içermektedir. Bu amaçla, çalışmanın ikinci bölümünde hava kirliliğinin kaynakları, etkileri ve boyutları hakkında bilgiler verilmiş; sera etkisi, sera gazları, küresel ısınma ve iklim değişikliği kavramları detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, emisyon envanterlerinin hazırlanmasında kullanılan yöntemler ve dünya genelinde yaygın olarak kullanılan emisyon faktörü veritabanları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise troposferik ozon oluşum reaksiyonlarından ve öncü gazlarının ozon oluşumundaki etkilerinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, literatürdeki emisyon envanterlerinin hazırlanması ile ilgili çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise çalışma alanı olan Zonguldak Merkez ilçesinin coğrafi ve iklim şartları hakkında detaylı bilgiler bulunmaktadır. Bölgede kullanılan yakıtların özelliklerine değinilmiş ve bölgedeki sera gazları emisyonlarının kaynakları olan konut ve işyeri ısınması, enerji sektörü ve trafik hakkında bilgiler verilmektedir.

Altıncı bölümde, sera gazları emisyon envanterinin hazırlanması detaylı olarak anlatılmıştır. Doğrudan ve dolaylı sera gazlarına ek olarak birincil kirletici olan kükürt dioksit ve partikül madde de hesaplamaaya dahil edilmiştir. Konutlardaki yakıt tüketiminin tespit edilmesi için yapılan anket çalışması sonuçlarına yer verilip evsel ısınmadan kaynaklanan sera gazları emisyon miktarları hesaplanmıştır. Evsel ısınmadan kaynaklanan sera gazlarının emisyonlarının hesaplanmasında Amerikan Çevre Koruma Örgütü'nün ve Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin emisyon faktörleri kullanılmıştır. Her iki yöntemle elde edilen sonuçların birbiriyle karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca, her mahalledeki kirlilik yükleri hesaplanmıştır. Enerji sektöründen kaynaklanan emisyon miktarlarının hesaplanmasında ise Avrupa Çevre Ajansı'nın, Amerikan Çevre Koruma Örgütü'nün ve Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin emisyon faktörü veritabanı olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmıştır. Üç farklı yöntemin sonuçları birbiriyle kıyaslanmıştır. Trafikten kaynaklanan sera gazlarının

emisyon miktarlarının, belirlenmesinde ise literatürdeki pek çok çalışmadan derlenen emisyon faktörleri ile araç sayımı verileri kullanılmıştır. Son olarak ozon oluşumunda etkili olan uçucu organik bileşiklerin azot oksitlere oranı hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

Yedinci ve son bölümde de elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve daha sonra yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

HAVA KİRLİLİĞİ, SERA GAZLARI VE EMİSYON ENVANTERİ

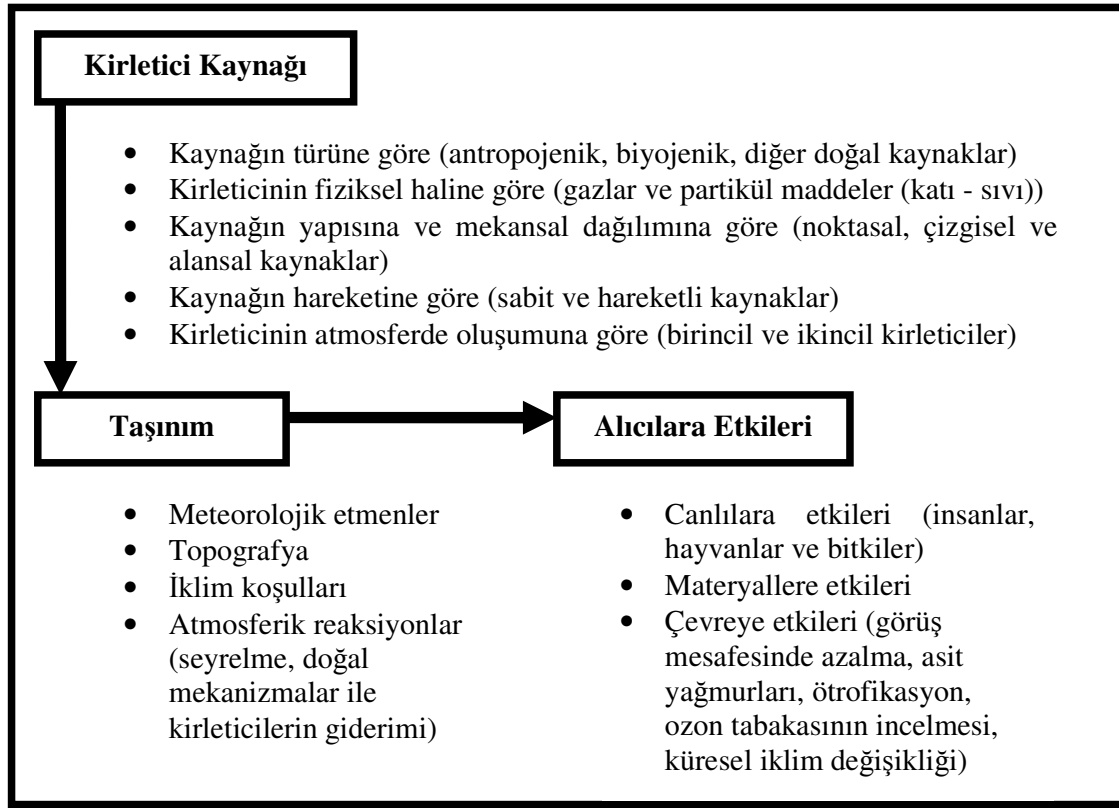
2.1 HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği, atmosferin doğal yapısında bulunmayan kirleticilerin insan sağlığına, bitkilere, hayvanlara veya materyallere zarar verebilecek konsantrasyonda ve yeterince uzun süre havada bulunması olarak tanımlanır. Kükürt dioksit, azot oksitler, karbon monoksit, hidrokarbonlar, uçucu organik bileşikler (VOCs), hidrojen sülfür, partikül maddeler, duman ve sis hava kirleticilere örnektir (Altwicker et al. 1999, Gökmen Sözak 2004).

Hava kirliliği probleminin oluşması üç faktörün bir arada bulunmasına bağlıdır. Bu faktörler kirletici kaynağı, kirleticinin taşınımı ve kirliliğin alıcılara etkileridir (Şekil 2.1) (Scnelle and Brown 2002, De Nevers 1995). Hava kirleticilerini kaynağın türüne, kirleticilerin fiziksel hallerine, kaynağın yapısına ve mekansal dağılımına, kaynağın hareketine ve kirleticilerin atmosferde oluşumlarına göre sınıflandırmak mümkündür (Altwicker et al. 1999). Kirleticilerin taşınımında meteorolojik etmenler, topografya ve iklim koşulları dispersiyona etki eden önemli faktörlerdir. Ayrıca taşınma sürecinde hava kirleticileri çeşitli fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda seyrebilmekte veya tümüyle giderilebilmektedirler. Alıcılar ise hava kirliliğinden etkilenen insanlar, hayvanlar, bitkiler, materyaller ve çevredir. Hava kirliliği canlıların sağlığını olumsuz etkilemekle beraber görüş mesafesini düşürerek ulaşımı engellemekte, asit yağmurlarına neden olmakta ve küresel iklim değişikliklerine de yol açmaktadır (De Nevers 1995, Scnelle and Brown 2002).

2.2 KİRLETİCİ KAYNAKLARI

Kirletici kaynakları, kaynağın türüne göre antropojenik (insan etkisiyle oluşan) veya doğal olarak sınıflandırılabilir. Antropojenik hava kirleticileri her türlü ısınma ve ulaşım amaçlı yakıt tüketiminden, endüstriyel faaliyetlerden, katı atık depolama ve yakma tesisleri ile atıksu



Şekil 2.1 Hava kirliliği problemini oluşturan faktörler (De Nevers 1995, Scnelle and Brown 2002, Çınar'dan değiştirilerek 2003).

artıma tesislerinden kaynaklanır. Bitki ve hayvanlardan kaynaklanan hava kirleticileri ise biyogenik kirleticiler olarak adlandırılır. Volkanların dışarıya püskürttüğü tozlar ve gazlar, orman yangınları, çöl kumlarından kaynaklanan tozlar, deniz tuzları ve polenler diğer doğal hava kirliliği kaynaklarıdır (Nathanson 1999, Colls 2002). Hava kirleticileri, kirleticilerin fiziksel durumuna göre gazlar veya partikül maddeler (katı veya sıvı) olarak gruplandırılır (Gökmen Sözak 2004). Kaynak yapısı ve mekansal dağılımı göz önüne alındığında hava kirleticileri noktasal, çizgisel ve alansal olarak sınıflandırılabilirler. Endüstriyel tesisler ve güç üretme tesisleri noktasal kaynaklardır. Trafikteki motorlu taşıtlar ile trenler, gemiler ve uçaklar çizgisel kaynakları oluştururlar. Hava kirleticilerinin geniş bir alanı kaplaması ile alansal kirleticiler oluşur. Örneğin, belli bir bölgedeki evsel ısınmadan kaynaklanan hava kirleticileri (Altwick et al. 1999). Kaynağın hareketine göre sınıflandırma ise hareketli kaynaklar ve sabit kaynaklar olarak yapılır. Her türlü ulaşım faaliyeti hareketli kaynakları oluşturur. Evsel ısınma, endüstriyel tesisler, çöplerin yakılması, yangınlar ve atıksu arıtma tesisleri ise sabit kaynaklardır (Çınar 2003). Son olarak kirleticiler atmosferde yer alış durumlarına göre birincil ve ikincil kirleticiler olarak gruplandırılır. Birincil kirleticiler,

atmosfere kirletici kaynaklardan doğrudan salınan kirleticilerdir. İkincil kirleticiler ise atmosferde bulunan birincil kirleticilerin hidroliz, oksidasyon veya fotokimyasal oksidasyon reaksiyonları sonucunda meydana gelir (Altwicker et al. 1999). Karbon monoksit ve kükürt dioksit birincil kirleticilere örnek verilebilir. Ozon ve peroksiasetilnitrat (PAN) ikincil kirleticilere örnektir.

2.3 ATMOSFERİN YAPISI

Hava kirliliği probleminin oluşumunu ve etkilerini daha iyi anlayabilmek için öncelikle atmosferin yapısı iyi anlaşılmalıdır. Atmosferdeki gazlar, atmosferin katmanları ve bu katmanlarda gerçekleşen fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar bilinmeden hava kirliliğinin oluşumu, etkileri ve kontrol yöntemleri hakkında yorum yapmak mümkün değildir. Çok sayıda gazın karışımından oluşan atmosferde hacimce en çok azot (%78) ve oksijen (%21) gazları bulunur (Nanhatson 1999). Hava kirliliği açısından asıl önemli olan geriye kalan %1'lik bölümü oluşturan gazlar ve bu gazların konsantrasyonlarındaki değişimlerdir. Kirletilmemiş kuru havayı oluşturan gazlar ve hacim oranları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Kirletilmemiş hava kavramı gerçekte var olmayan bir kavramdır. Çünkü dünyanın en uzak yerlerinde dahi hava kirliliğine rastlanmaktadır. Çizelge 2.1'de gösterilen veriler geçtiğimiz yüzyıldaki hava kirliliği eğilimleri kullanılarak oluşturulmuştur (Kreider et al. 1999).

Atmosferin en alttaki tabakası olan troposfer yer yüzeyinden 12 km yüksekliğe kadar ulaşır ve toplam hava kütleinin %95'ini oluşturur. Troposfer meteorolojik olayların gerçekleştiği ve hava kirliliğinin olduğu katmandır. Yer yüzeyinden yükseğe çıkıldıkça troposferin sonuna doğru ortalama sıcaklık 298–288 Kelvin (K)'den 210–215 Kelvine düşer. Basınç da benzer şekilde 1013 milibar (mb)'dan 140–200 milibara düşer. Atmosferin katmanlarındaki sıcaklık ve basınç değişimleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Troposferin hemen üzerinde bulunan tabaka stratosfer olarak adlandırılıp, yeryüzünden 50 km yüksekliğe kadar ulaşır. Stratosferde güneş ışığının etkisiyle doğal olarak oluşan ozon, güneşten gelen zararlı ultraviyole radyasyonunu süzerek yer yüzeyine ulaşmasını engellemektedir. Mezosfer tabakası troposferin üzerinde olup 50 ile 80 kilometreler arasındadır. 80. kilometreden sonra termosfer tabakası başlar. Troposfer ve stratosfer hava kirliliğinin gerçekleştiği katmanlar olup diğer katmanlar hava kirliliğinden etkilenmemektedir (Nanhatson 1999, Atkinson 2000, USEPA 2007).

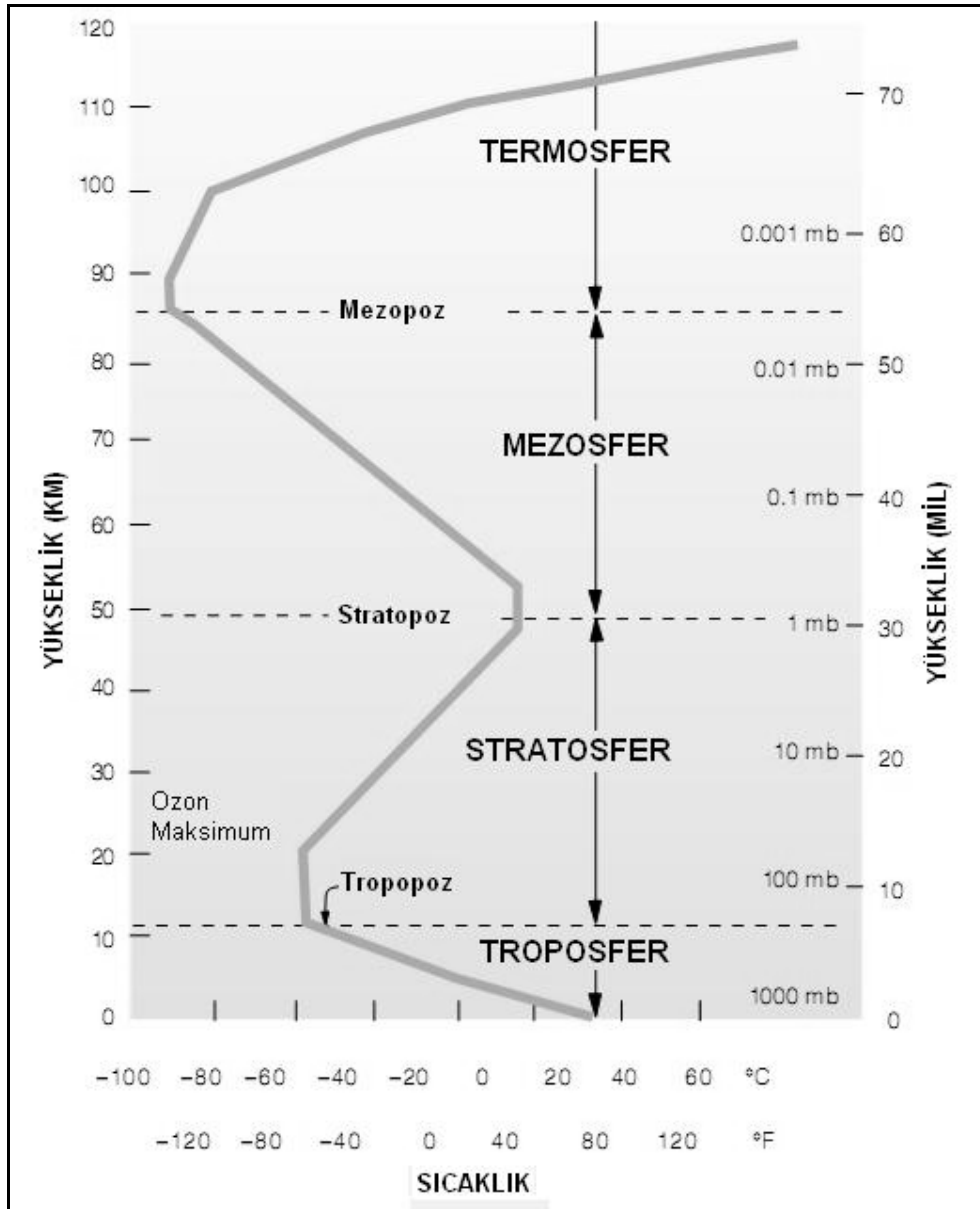
Çizelge 2.1 Temiz havanın bileşimi (Kreider et al. 1999).

Molekül	Sembol	ppm (hacim)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Azot	N_2	780000	8.95×10^8
Oksijen	O_2	209400	2.74×10^8
Argon	Ar	9300	1.52×10^7
Karbon Dioksit	CO_2	315	5.67×10^7
Neon	Ne	18	1.49×10^4
Helyum	He	5.2	8.50×10^2
Metan	CH_4	1.0 – 1.2	$6.56 – 7.87 \times 10^2$
Kripton	Kr	1.0	3.43×10^3
Nitröz Oksit	N_2O	0.5	9.00×10^2
Hidrojen	H_2	0.5	4.13×10^1
Ksenon	Xe	0.08	4.29×10^2

Not: 1 ppm hacim = 0.0001% hacim

2.4 HAVA KİRLİLİĞİNİN BOYUTLARI

Hava kirliliği problemi sadece yerel (kaynaktan birkaç kilometreye kadar) veya bölgesel (kaynaktan 1000 km'ye kadar) ölçeklerde gerçekleşmez. Atmosferik taşınımlara ve kirleticinin atmosferdeki ömrüne bağlı olarak hava kirliliği kıtasal (kaynaktan birkaç bin km. ye kadar) ve küresel boyutlarda olabilir. Reaktif serbest radikallerin atmosferik ömrü birkaç saniye veya dakika olabilirken, ozon tabakasının seyrelmesinde ve küresel ısınmada etkin rol oynayan kloroflorokarbonlar (CFCs) gibi sentetik gazların atmosferik ömürleri binlerce yıl ile ifade edilmektedir. Örneğin atmosferik ömrü 0.01 saniye olan hidroksil radikalının (OH) atmosferik taşınımı sadece 1 cm iken atmosferik ömrü 12 yıl olan metan gazı bütün atmosferi kaplamıştır. Asit yağmurları bölgesel veya kıtasal ölçeklerde etkili olabilirken, ozon tabakasının incilmesi ve küresel ısınma gibi sorunlar küresel ölçeklidir (Sienfield and Pandis 1998, Nanhatsen 1999). Dolayısıyla hava kirliliği probleminin ülkesel sınırları yoktur. Yapılan bir çalışmada İstanbul'daki aerosol konsantrasyonunun batı, kuzeybatı ve kuzey Avrupa'daki emisyonlardan etkilendiği bulunmuştur (Kindap et al. 2006). Bir başka çalışmada ise Antalya ilindeki aerosolların Ukrayna, Belarus, Yunanistan, Gürcistan, Romanya, Rusya, Almanya, Macaristan, Çek Cumhuriyeti, Fransa, İspanya, İngiltere, İsveç, Bosna, Cezayir, Mısır, İtalya ve İsrail gibi ülkelerden taşınarak geldiği belirtilmiştir (Güllü et al. 2005). Hava kirliliğine bağlı oluşan çeşitli sorunların etkin olduğu mesafeler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Atmosferin katmanları (Ahrens'den değiştirilerek 2000).

2.5 KİRLETİCİLERİN ETKİLERİ

Hava kirleticilerinin insanlar, hayvanlar, bitkiler, materyaller ve çevre üzerine olumsuz etkileri mevcuttur. Sağlık üzerine etkiler akut, kronik veya geçici olarak sınıflandırılabilir. Akut etkiler kısa süreli fakat ciddi hatta ölümle sonuçlanabilen etkilerdir. Kronik etkiler ise uzun vadede ortaya çıkan bronşit, nefes darlığı, amfizem gibi solunum sistemi hastalıkları ve akciğer kanseridir. Geçici etkiler ise gözlerde ve boğazda tahriş, öksürük, göğüs ağrısı ve halsizliktir (Nanhatson 1999, TCÇOB 2004). Partikül maddeler, kükürt dioksit, azot dioksit

Çizelge 2.2 Hava kirliliğinin etkin olduğu mesafeler (Sienfield and Pandis 1998).

Problem	Etkin Olduğu Mesafe (km)
Kentsel Hava Kirliliği	1 – 100
Bölgesel Hava Kirliliği	10 – 1000
Asit Yağmurları	100 – 2000
Toksik Hava Kirleticileri	0.1 – 100
Ozon Tabakasının İncelmesi	1000 – 40000
Sera Gazlarındaki Artış	1000 – 40000
Aerosol – İklim İlişkisi	100 – 40000
Troposferik Taşınım ve Oksidasyon Prosesleri	1 – 40000
Stratosferik – Troposferik Değişimler	0.1 – 100
Stratosferik Taşınım ve Oksidasyon Prosesleri	1 – 40000

ve ozonun sağlık üzerine hem akut hem de kronik etkileri vardır. Karbon monoksitin sadece akut etkileri varken kurşun, arsenik, cıva, asbestos ve benzen gibi toksik ve kanserojen maddeler ise kronik etkiye sahiptir. Hava kirleticilerinin insanlar üzerindeki zararlı etkileri solunum sisteminde görülmektedir. Kirli hava vücuda ağız ve burun yoluyla girerek soluk borusu aracılığıyla akciğerlere ulaşmaktadır. Solunabilir parçacıklar olarak adlandırılan ve çapı 10 µm den küçük olan partikül maddeler bronşlara kadar ulaşp bronşları daraltırlar. Kükürt dioksit ve partikül maddeler birlikte sinerjistik etki göstererek kalp ve akciğer hastalıklarına neden olurlar. Bazı durumlarda vakalar ölümle bile sonuçlanabilmektedir. Azot dioksit, ozon ve diğer fotokimyasal oksidanlar ise solunum sisteminde tahrişe neden olmaktadır. Ozona maruz kalma ile görülen akut etkiler gözlerde ve boğaz bölgesinde tahriş, boğaz kuruluğu, baş ağrısı, göğüs ağrısı, öksürük, akciğer fonksiyonlarında azalma ve astım ataklarıdır. Ozona uzun süreli maruz kalmada görülen kronik etkiler ise bağışıklık sistemi fonksiyonlarının bozulması, yaşlanmanın hızlanması ve diğer hastalıklara yatkınlıkta artış gözlenmesidir. Ozonun etkileri yaş gruplarına göre farklı olmaktadır. Yaşlılar ve çocuklar ozon konsantrasyonlarındaki değişimlere karşı daha duyarlıdır. Ayrıca, astım ve benzeri solunum sistemi hastaları da ozondaki değişimlere karşı daha hassas olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Karbon monoksit, hemoglobin ile birleşerek kararlı bir yapıya sahip olan karboksihemoglobini oluşturur ve kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır. Kandaki karboksihemoglobin konsantrasyonu %1–2 iken bazı davranış bozuklukları ortaya çıkmakta, bu oran %10–80 olduğunda ise ciddi baş ağrıları, yorgunluk, uyku hali, solunum yetersizliği, koma ve ölüm görülmektedir (Pierce et al. 1997, Hester and Harrison 2002, Griffin 2007).

Hayvanların hava kirleticilerinden etkilenmeleri insanlardaki etkilere benzer. Fakat, zararlı veya ölümcül dozlar hayvanın boyutlarına ve nefes alıp verme miktarına bağlıdır. Ayrıca su ekosistemlerinde görülen asidifikasyon ve pH değişimleri balık ve diğer su canlılarının ölümüne neden olmaktadır. Toksik hava kirleticilerinin çökmesiyle, kirleticiler karasal ekosistemlerdeki bitkilerin yapısında birikmekte ve bu bitkilerle beslenen hayvanlarda kronik zehirlenmeler görülmektedir (Boubel et al. 1994, Pierce et al. 1997).

Bitkileri en çok etkileyen hava kirleticileri ozon, kükürt dioksit, azot dioksit, floritler ve PAN'dır. Hava kirliliğinin tarım ürünlerine verdiği zararın %90'ını tek başına ozon gerçekleştirir. Troposferik ozon konsantrasyonundaki artış tarım ürünlerini ve ormanlık alanlardaki ağaçları ciddi şekilde etkilemektedir. Tarım ürünlerinden buğday, arpa, patates, tütün ve ayçiçeği ozon miktarındaki değişimlere duyarlı olan bitki gruplarındandır. Hava kirleticilerinin bitkiler üzerine üç farklı şekilde olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Bu etkiler:

- Yaprak dokularında tahribat
- Yaprakların sararması veya yeşilden başka renklere dönüşmesi
- Büyümenin yavaşlaması ve besin değerinin azalmasıdır (Boubel et al. 1994, Pierce et al. 1997, Nanhatson 1999, TCÇOB 2004, Reis 2005).

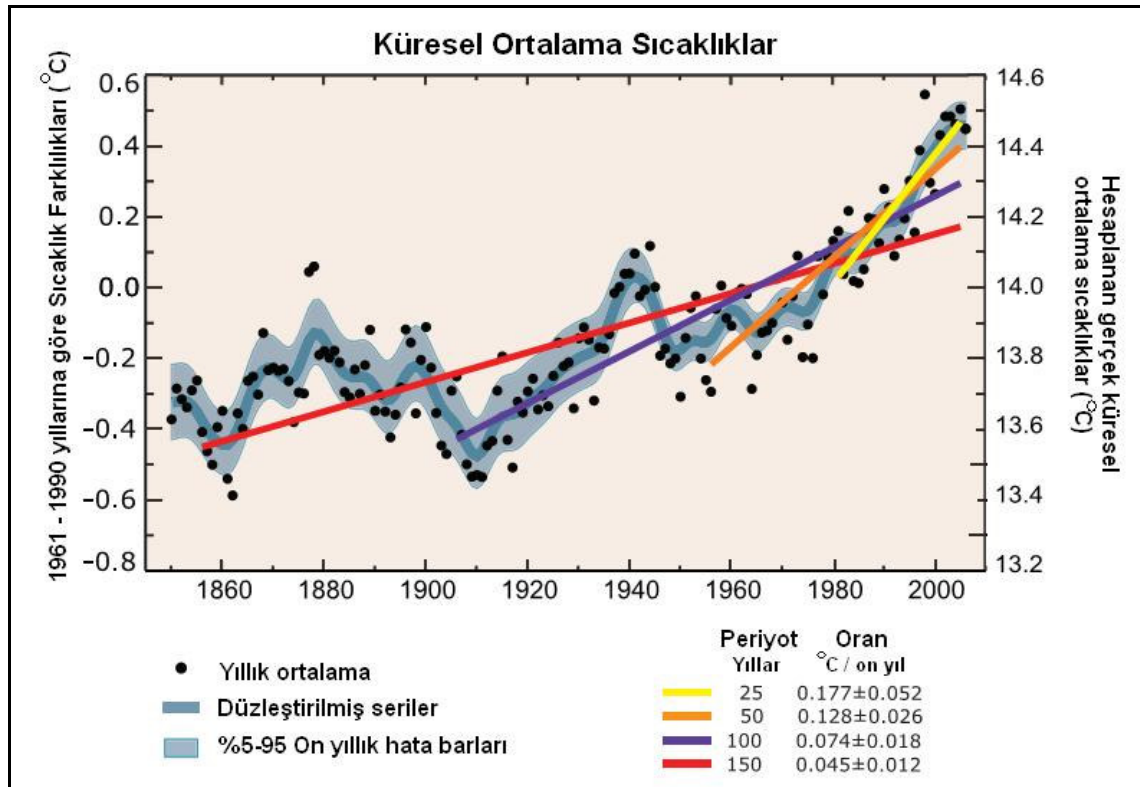
Kentsel bölgelerde görülen hava kirliliği hem estetik hem de ekonomik problemlere yol açar. Hava kirleticileri binaların dış cephelerinde, kumaşlarda ve diğer eşyalar üzerinde birikerek lekeler oluştururlar. Kükürt dioksit metallerin paslanmasını hızlandırır. Ozonun ve PAN'ın, kauçuk ve lastik materyaller üzerine oldukça zararlı etkileri mevcuttur (Pierce et al. 1997, Nanhatson 1999, TCÇOB 2004).

Görüş mesafesinde azalma, asit yağmurları, ötrofikasyon (bataklıklaşma), ozon tabakasının incilmesi ve küresel iklim değişikliği hava kirleticilerinin çevreye etkileri olarak sıralanabilir. Çapları 0.3 µm ile 0.6 µm arasındaki partikül maddelerin konsantrasyonlarındaki artış görüş mesafesinin azalmasına neden olmakta ve estetik problemlerin yanı sıra ulaşımdan turizme kadar pek çok sektör için ekonomik sorunlar da oluşturmaktadır (Pierce et al. 1997, Hester and Harrison 2002). Kükürt dioksitin ve azot oksitlerin oksidasyonu sonucunda oluşan sülfürik asitin ve nitrik asitin, yağmur damlaları vasıtasıyla ıslak çökmesi asit yağmurları olarak adlandırılır. Asit yağmurları akarsuların ve göllerin pH'ını düşürerek asidifikasyona

yol açar. Nitrik asitte bulunan azot ayrıca ötrofikleşme sürecinde de etkin rol oynar (Boubel et al. 1994, Hester and Harrison 2002). Stratosferde bulunan ve canlıları güneşin zararlı ultraviyole (UV-B) ışınlarından koruyan ozon tabakası kloroflorokarbonların etkisiyle incelmektedir (USEPA 2008a). Hava kirleticilerinin çevre üzerine en önemli etkilerinden biri de küresel ısınma ve dolayısıyla ortaya çıkan iklim değişiklikleridir.

2.6 KÜRESEL ISINMA

1906 – 2005 yıllarını kapsayan 100 yıllık zaman periyodunda dünyanın ortalama sıcaklığı 0.74 °C artmıştır. 1860 yılından günümüze kadar tutulan sıcaklık kayıtları Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Sıcaklık artışının en yoğun olarak gözlemlendiği dönem ise 1990 yılı sonrasındır. Sıcaklık artışının temel nedeninin, sanayi devrimini takip eden yıllarda fosil kaynaklı yakıtların aşırı derecede kullanılmaları sonucu atmosfere salınan sera gazlarının doğal sera etkisini kuvvetlendirmesi olduğu bilim çevreleri tarafından kabul edilmiş bir konsensustur (Kreider et al. 1999, IPCC 2007).



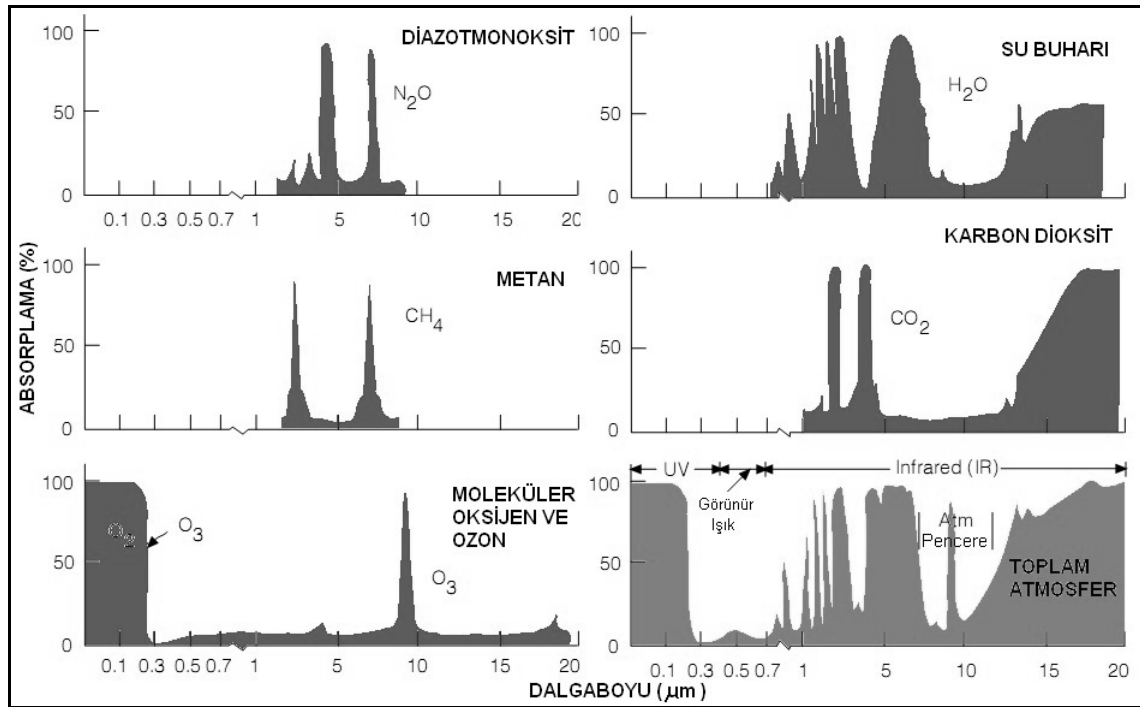
Şekil 2.3 1860’dan itibaren küresel ortalama sıcaklıklar (IPCC’den değiştirilerek 2007).

2.7 SERA ETKİSİ VE SERA GAZLARI

Küresel ısınmanın tam olarak anlaşılabilmesi için öncelikle doğal sera etkisi ve antropojenik sera etkisi kavramları açıklanmalıdır. Yüzey sıcaklığı 6000 °C olan güneşten yayılan radyasyonun dalga boyu 3 µm'nin altında olup elektromanyetik spektrumun “görünen ışık” ve üzeri bölümündedir. Güneşten dünyaya gelen ışınların % 46'sı atmosfer tarafından ve % 23'ü de bulutlar tarafından soğurur. Güneş ışınlarının %23'ü bulutlar tarafından ve %4'ü de yer yüzeyinden geri yansımaktadır. Dünyaya gelen ışınların ancak %4'lük bir bölümü yeryüzüne ulaşır ve gezegenimizi ısıtır. Isınan yeryüzü uzun dalga boyunda (infrared, 3 µm'nin üzerinde) olan enerjiyi geri atmosfere yayar. Sera gazları yeryüzünden atmosfere geri yayılan ışınların bir bölümünü soğurup tekrar atmosfere yansıtarak troposferin sıcaklığın yükselmesine sebep olurlar. Atmosfere geri yayılan ışınları en fazla soğuran gazlar karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O), ozon (O₃) ve su buharıdır. Şekil 2.4'te sera gazlarının radyasyonu absorbe ettikleri dalga boyları gösterilmiştir. Su buharı ve karbondioksit, infrared radyasyonunu çok kuvvetli olarak absorbe ederlerken görünür ışık dalga boyundaki radyasyonu oldukça zayıf olarak absorblarlar. Şekil 2.4'te ayrıca diazotmonoksit, metan ve ozon gazlarının radyasyonu absorblama dalgaboyları ve yüzdelik miktarları görülmektedir. Herhangi bir sera gazı, dünya yüzeyinden yayılan infrared radyasyonunu absorbladığında kinetik enerjisi artar ve yanındaki diğer gazlar ile çarpışmaya başlar. Bu çarpışmalar havanın ortalama kinetik enerjisini yükseltir ve havanın ortalama sıcaklığının artmasına sebep olur. Ayrıca, bu gazlar tarafından yayılan infrared dalga boyundaki enerjinin bir bölümü yeniden yeryüzüne gelir ve ısınan yeryüzü tarafından tekrar alt atmosfere gönderilir. Sadece 8 ile 11 µm dalga boyları arasındaki infrared radyasyonu çok az bir absorblanmaya maruz kalır ve rahatlıkla uzaya kaçabilir. Bu yüzden 8–11 µm dalga boyu aralığına “atmosferik pencere” denilir. Atmosferdeki sera gazlarının, seralardaki cam pencereler gibi davranarak sıcaklığı arttırması nedeniyle bu olay “doğal sera etkisi” olarak adlandırılır. Doğal sera etkisi olmasaydı gezegenimizin ortalama sıcaklığı 15 °C yerine -18 °C civarında olacaktı (Nanhatson 1999, Kreider et al. 1999, Ahrens 2000, Zeydan ve Yıldırım 2007a).

Doğal sera gazlarının konsantrasyonları, sanayi devrimini takip eden yıllarda antropojenik etkilere bağlı olarak artış göstermiştir. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarının kullanımı, tarımsal faaliyetler, çöp depolama sahalarından salınan gazlar, enerji üretimi, ulaşım ve endüstriden kaynaklı emisyonlar ve sera gazları için yutak vazifesi gören orman

alanlarının yok edilmesi sera gazlarının konsantrasyonlarındaki artışın başlıca nedenleridir. Daha önceleri atmosferde bulunmayan, ancak 1930’lu yıllardan itibaren sanayide kullanılmaya başlanan sülfürhekzaflorit (SF_6), kloroflorokarbonlar (CFCs), hidroflorokarbonlar (HFCs) ve hidrokloroflorokarbonlar (HCFCs) gibi sentetik sera gazları da atmosferin ısı tutma kapasitesini yükseltmektedir. Antropojenik etkiler sonucu doğal sera etkisi kuvvetlenmiş ve küresel bir ısınma süreci başlamıştır (Sanyel 1994, Jain and Hayhoe 2003).



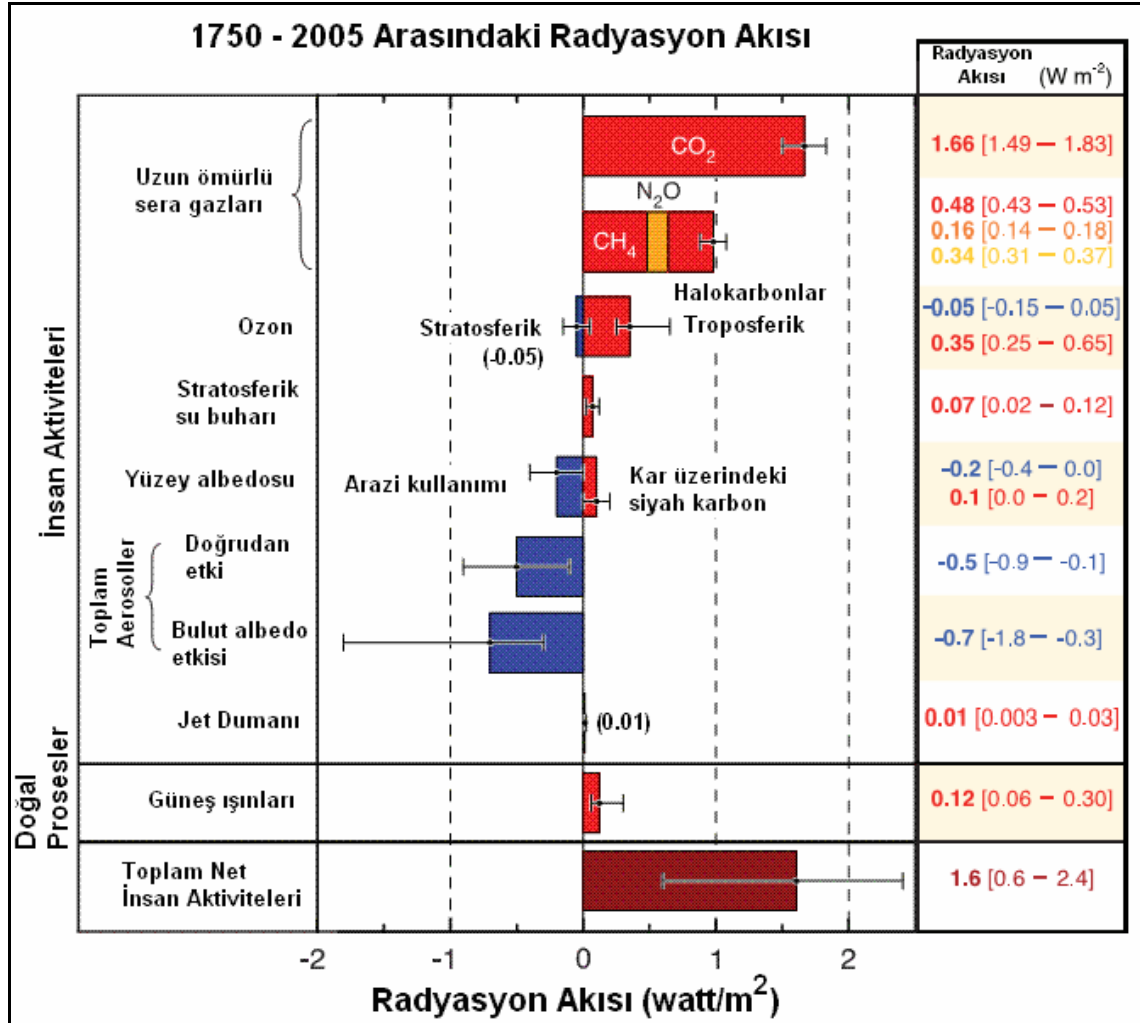
Şekil 2.4 Sera gazlarının radyasyonu absorplamaları (Ahrens 2000).

Sera gazlarının iklim değişikliğine etki oranlarını kıyaslamak için “Küresel Isınma Potansiyeli” (GWP) olarak adlandırılan göreceli bir ölçek kullanılır. Karbondioksitin küresel ısınma potansiyeli 1’dir. Diğer gazlar için de GWP değerleri ise belirli bir zaman içinde atmosferde yaptıkları ısınma etkisinin CO_2 ’te kıyasla ne kadar olacağının oranıdır. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri ile birlikte atmosferik ömürleri ve atmosferdeki konsantrasyonları Çizelge 2.3’te gösterilmiştir. Herhangi bir sera gazının atmosferde oluşturduğu ısınma veya soğuma etkisi “Radyasyon Akısı” olarak adlandırılan terimle ölçülür. Birimi watt/m^2 olan radyasyon akısı, atmosferden dünyaya gelen, birim alandaki enerji oranındaki değişimdir. Atmosferde ısınma ve soğuma etkisi yapan gazların radyasyon akılarının 1750’den 2005’e olan değerleri ile yüzeylerin elektromanyetik enerjiyi yansıtma

kapasitesi değerleri (albedo) Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Pozitif radyasyon akısı ısınma etkisini, negatif radyasyon akısı ise soğuma etkisini göstermektedir (IPCC 2007).

Çizelge 2.3 Küresel ısınmada etkili olan sera gazları ve özellikleri (IPCC 2007'den).

Sera gazı	Atmosferdeki ömrü (yıl)	Küresel ısınma potansiyeli (GWP) (100 yıllık)	Atmosferdeki konsantrasyonu (2005 yılı)
CO ₂	50–200	1	379 ppm
CH ₄	12	25	1774 ppb
N ₂ O	114	298	319 ppb
SF ₆	3200	22800	5.6 ppt
CFCs	45–1700	4750–14400	
HFCs	1.4–270	124–14800	
HCFCs	1.3–17.9	77–2310	
PFCs	2600–50000	7390–12200	



Şekil 2.5 1750 – 2005 arasındaki radyasyon akısı (IPCC'den değiştirilerek 2007).

2.7.1 Karbondioksit (CO₂)

Renksiz ve kokusuz bir gaz olan karbondioksit, dünya atmosferinin ilk zamanlarından bugüne kadar atmosferde yer almıştır. Endüstri devrimi öncesindeki konsantrasyonu 280 ppm iken 2005 yılında bu değer % 35’lik bir artışla 379 ppm’e ulaşmıştır. Karbondioksitin atmosferik ömrü 5 ile 200 yıl arasında değişmekte olup küresel ısınma potansiyeli 1’dir (100 yıllık). Antropojenik CO₂ emisyonları kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının ısınma, enerji üretimi ve endüstride kullanımlarından, çimento üretiminden, metal ve petrol yan ürünlerinin üretimlerinden ve taşıtlardan kaynaklanır. Arazi kullanımının değişmesi ve fotosentez mekanizmasıyla karbondioksitin yıkımında rol oynayan orman alanlarının azalması da CO₂ konsantrasyonunun artmasına sebep olmuştur (De Nevers 1995, Jain and Hayhoe 2003, IPCC 2007)

2.7.2 Metan (CH₄)

Karbondioksit göre 25 kat daha kuvvetli bir sera gazı olan metanın atmosferik ömrü 12 yıldır. 1750’li yıllarda atmosferde 700 ppb olan metan konsantrasyonu 2005 yılına gelene kadar %153 artış göstermiş ve 1774 ppb’ye yükselmiştir. Antropojenik CH₄ emisyon kaynakları olarak katı atık depolama alanları, doğalgaz ve petrol üretim tesisleri, tarımsal faaliyetler, gübre üretimi, kömür madenciliği, ısınma faaliyetleri, motorlu taşıtlar, atıksu arıtma tesisleri ve çeşitli endüstriler sayılabilir. Metan gazının atmosferdeki yıkımı hidroksil radikali (OH) ile girdiği oksidasyon reaksiyonu sonucu gerçekleşir ve atmosferdeki metan gideriminin %90 bu reaksiyon sonucudur. Diğer giderim mekanizmaları topraktaki mikroorganizmaların metanı bünyelerine almaları ve metan ile klor atomlarının reaksiyonları sonucudur (USEPA 2006, IPCC 2007).

2.7.3 Diazotmonoksit (N₂O)

Renksiz, hoş kokulu olup “gülme gazı” olarak da bilinen diazotmonoksit atmosferde 114 yıl kalabilmektedir. Küresel ısınma potansiyeli 298 (100 yıllık) olup atmosferdeki konsantrasyonu 2005 yılı için 319 ppb’ye ulaşmıştır. N₂O atmosfere tarım alanlarından, gübre üreten tesislerden, evlerdeki ve taşıtlardaki yanma işlemlerinden, atıksu arıtma tesislerinden, katı atık yakma tesislerinden ve asit üreten tesislerden salınır. Ayrıca diazotmonoksitin

motorlu taşıtlarda egzoz emisyonlarını azaltmak için kullanılan katalitik dönüştürücülerden de atmosfere salındığı bilinmektedir (Nathatson 1999, USEPA 2006, IPCC 2007).

2.7.4 Ozon (O₃)

Ozon, özellikle troposferde ikincil kirletici olarak oluşmaktadır ve azot oksitler ile uçucu organik bileşiklerin güneş ışığındaki reaksiyonu sonucu ortaya çıkan fotokimyasal bir kirleticidir. Ozon oluşumunda hidroksil, hidroperoksi ve daha büyük yapıdaki peroksi radikalleri rol oynamaktadır. Sıcak ve güneşli hava koşullarında atmosferik ortamda kolayca oluşabilmektedir. Bu sebepten dolayı sıcaklığın yüksek olduğu yaz aylarında ozon seviyeleri oldukça artabilmektedir. Şekil 2.5'teki radyasyon akısı değerleri dikkatli olarak incelendiğinde troposferik ozonun, karbondioksit ve metandan sonra gelen en etkili sera gazı olduğu söylenebilir. Ozon oluşmasına neden olan azot oksitler, karbon monoksit, metan ve metan dışı uçucu organik bileşikler ozonun öncü gazlarıdır ve dolaylı olarak küresel ısınmaya sebep olurlar (Jain and Hayhoe 2003, Zeydan ve Yıldırım 2007a).

2.7.5 Azot Oksitler (NO_x)

Yüksek sıcaklıklardaki yanma prosesleri sırasında havadaki azotla oksijenin birleşmesinden oluşan azot oksitler, troposferik ozon oluşum reaksiyonlarına katıldıkları için dolaylı olarak sera etkisinin kuvvetlenmesine neden olurlar. Azot oksitler (NO_x) genellikle, azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) gazlarının toplamı olarak ifade edilirler. Azot oksitler atmosfere trafikteki motorlu kara taşıtların egzozlarından, güç santrallerinden ve yanma prosesleri sonucunda salınırlar. Azot oksitlerin diğer emisyon kaynakları ise hava, deniz ve demiryolu ulaşımındaki taşıtlar, tarımda ve sanayide kullanılan iş makineleri, askeri araçlar, endüstriyel tesisler ve çözücülerin kullanımınıdır (Ahrens 2000, Reis 2005).

2.7.6 Metan Dışı Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC)

Metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) 273.15 K'de en az 0.01 kPa buhar basıncına sahip olan tüm organik bileşiklerdir. Azot oksitlerle birlikte NMVOC'ların, ortamda bulunmaları durumunda güneş ışığı yardımıyla troposferik ozon oluşumuna yol açarlar ve bu sebeple, dolaylı yoldan sera etkisine katkıda bulunurlar. Emisyon kaynakları arasında biyogenik VOC emisyonları önemli bir role sahiptir. Özellikle kırsal alanlarda ozon

oluşumunu hızlandırırlar. Antropojenik NMVOC emisyonları ise trafikten, çözücülerin kullanımından, petrol rafinerileri ve diğer endüstriyel tesislerden, akaryakıtların dağıtımı ve depolanmasından, tarım alanlarından ve yanma prosesleri gibi birçok kaynaktan atmosfere salınmaktadır (Reis 2005).

2.7.7 Sentetik Sera Gazları

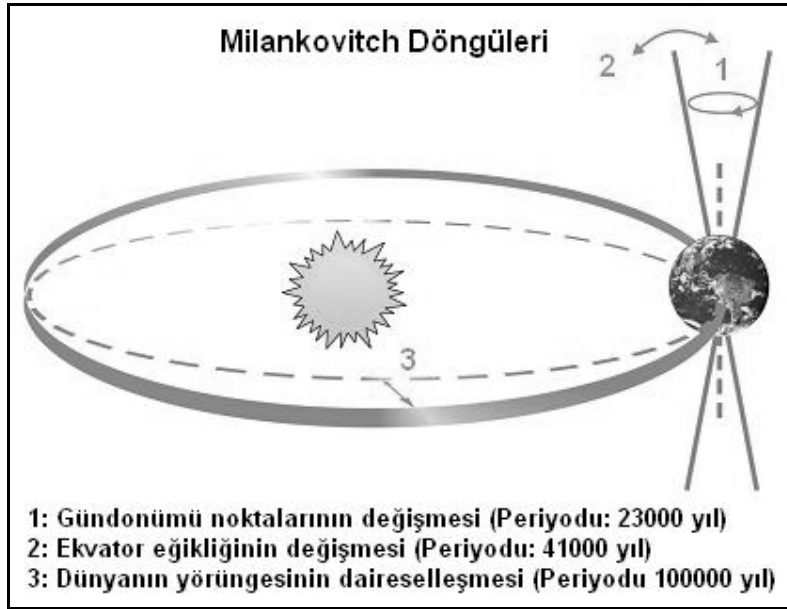
Yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip sentetik sera gazları üç ana grup altında incelenebilir. Bunlar hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs) ve sülfür hekzaflorid (SF₆) dir. İlk olarak 1930’larda keşfedilen bu gazlar alüminyum ve magnezyum üretiminde, yarı iletken imalatında, soğutucu ve buzdolabı üretiminde ve spreylerde kullanılmışlardır. Buzdolaplarında soğutucu olarak kullanılan ve çok kuvvetli küresel ısınma potansiyeline sahip olan kloroflorokarbonların (CFCs), stratosferik ozonun yıkım reaksiyonlarına katıldıkları anlaşıncı Montreal Protokolünün imzalanmasından (1987) sonra üretimleri durdurulmuştur. Kloroflorokarbonların yerlerine ozon tabakasına daha az zarar veren hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar ve sülfür hekzaflorid gibi sentetik sera gazları kullanılmaya başlanmıştır ve bu gazların atmosferdeki konsantrasyonları ise günden güne artmaktadır (USEPA 2006, IPPC 2007).

2.8 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Yeryüzündeki herhangi bir yer için belirli bir zamanda yaşanan ve gözlenen atmosferik olayların tümü hava durumu; o bölgede uzun yıllar boyunca gözlenen atmosferik olayların geneli ise iklim olarak adlandırılır (Türkeş 2007). Dünyadaki iklimler sabit olmayıp jeolojik tarih boyunca sürekli değişimler göstermiştir. Bu değişimlerin nedenleri şunlardır: yerin yörüngesel hareketindeki değişimler, atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonundaki değişimler, volkanik püskürmeler ve güneş enerjisindeki değişimler. Sırp matematikçi Milankovitch yerin yörüngesel hareketindeki değişimleri (gündönümü noktalarının değişmesi – 23000 yıl, ekvator eğikliğinin değişmesi – 41000 yıl ve dünyanın yörüngesinin daireselleşmesi – 100000 yıl) inceleyerek bu değişikliklerin iklimlerde değişikliğe neden olduğunu öne sürmüştür. Yerin yörüngesel hareketindeki değişimler Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonundaki artışların sera etkisinin kuvvetlenmesine neden olduğu bilinmektedir. Volkanik aktiviteler sonucunda atmosfere salınan partikül maddeler ve kükürtlü gazlar ise güneş ışınlarını dünyaya ulaşmadan

perdelemekte ve soğuma etkisine neden olmaktadır. Güneşin enerjisindeki azalmalar ve güneş lekelerindeki artışlar da daha soğuk iklimlerin oluşmasına sebep olurlar (Ekmekçi 2008). Bütün bu etmenlerle oluşan iklim değişiklikleri binlerce yıl gibi uzun bir süre zarfında gerçekleştiği için ekosistemlerin değişikliğe adaptasyonu daha kolay olmuştur.

Normalde binlerce yılda gerçekleşen doğal iklim değişiklikleri sanayi devrimini takip eden 2 yüzyıl boyunca çok hızlı bir şekilde gözlemlenmeye başlanmıştır. Küresel ısınma nedeniyle iklimi oluşturan sıcaklık, yağış, rüzgar, buharlaşma gibi etmenlerde uzun süreli ve kalıcı olan değişiklikler meydana gelmektedir (USEPA 2007). Bu sürece ise “ani iklim değişikliği” veya “insan kaynaklı iklim değişikliği” demek daha doğru olacaktır.



Şekil 2.6 Milankovitch döngüleri (IPCC'den değiştirilerek 2007).

2.9 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİ

İklim değişiminin gözlenen belirgin sonuçları dünyanın giderek ısınması, buzulların erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesi, yağış rejimlerinin değişmesi, uç hava olaylarının şiddetinde ve sıklığında meydana gelen artışlar ve ekosistemlerde gözlenen değişikliklerdir (İncecik 2007). İklim değişikliğinin diğer olası sonuçları ise sosyal ve ekonomik yapılardaki değişimler, kuraklık, çölleşme, aşırı yağışlar ve seller, arazi kullanımındaki değişiklikler (ormanlar, tarımsal ve sulak alanlar), iklim göçleri, türlerin yok olması ve insan sağlığı üzerine olan etkilerdir (Erdoğan vd. 2008).

İklim değışikliklerinin gelecekteki sonuçlarını tahmin edebilmek için iklim değışikliği senaryolarından faydalanılır. Bu senaryoları iklimsel olmayan senaryolar ve sayısal iklim analizleri olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Hükümetler arası İklim Değışikliği Paneli'nin (IPCC) "4. İlerleme Raporu"na göre 21 yüzyıl sonuna kadar küresel ortalama sıcaklıklar yaklaşık 1.8 ile 4.0 °C aralığında artış gösterecektir. Deniz seviyelerinde ise yaklaşık 0.18 ile 0.59 m arasında yükselme beklenmektedir (IPCC 2007). İklim değışikliğinin etkileri her yerde aynı olmayıp bölgesel farklılıklar gözlenecektir. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan "Türkiye İklim Değışikliği Birinci Ulusal Bildirimi Raporu"nda 2100 yılına kadar Ege ve Akdeniz bölgelerinde yaz sıcaklıklarında maksimum 6 °C'ye kadar artış tahmin edilmektedir. Ege ve Akdeniz bölgelerinde özellikle kış yağışlarında büyük oranda azalmalar beklenmekte olup bu azalış akarsu rejimlerinin değışmesine ve su stresinin oluşmasına neden olacaktır (Apak ve Ubay 2007). İngiliz Meteoroloji Dairesi Hadley Merkezi'nde 2080 yılı için yapılan bir modele göre de atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun 550 ppm ve 750 ppm olduğu iki ayrı senaryo hazırlanmıştır. 550 ppm CO₂ senaryosuna göre ülkemizdeki ortalama sıcaklığın 1 – 2 °C artacağı, akarsu debilerinin de % 0 – 15 arasında azalacağı tahmin edilmiştir. 750 ppm CO₂ senaryosunda ise sıcaklık artışının 3 – 4 °C arasında olacağı ve akarsu debilerinde de % 20 – 50 arasında azalacağı öngörülmektedir (Yılmaz 2005).

2.10 EMİSYON ENVANTERLERİ

Hava kalitesinin belirlenebilmesi için ölçüm yöntemleri veya emisyon envanterleri kullanılır. Tüm kirletici kaynaklarından salınan emisyonları kaynağında belirlemek mümkün değildir. Bunun yerine belirli bölgelerde kurulan hava ölçüm istasyonları, hava kalitesini belirlemek amacıyla kullanılabilir fakat bu yöntem de oldukça maliyetlidir. Emisyon envanterleri ise kolay, hızlı uygulanabilir ve ucuz olduğundan tercih edilen bir yöntemdir. Emisyon envanteri, belli bir zaman periyodu içinde sınırları belirli bir alandaki tüm kirletici kaynaklar tarafından atmosfere salınan hava kirleticilerinin miktarlarının listesidir. Emisyon envanterleri hava kalitesinin belirlenmesinde ve planlanmasında sıklıkla kullanılır (Boubel et al. 1994, Holman 1999, Çınar 2003).

Emisyon envanterlerinin diğ er kullanım amaçları ise şu şekilde listelenebilir:

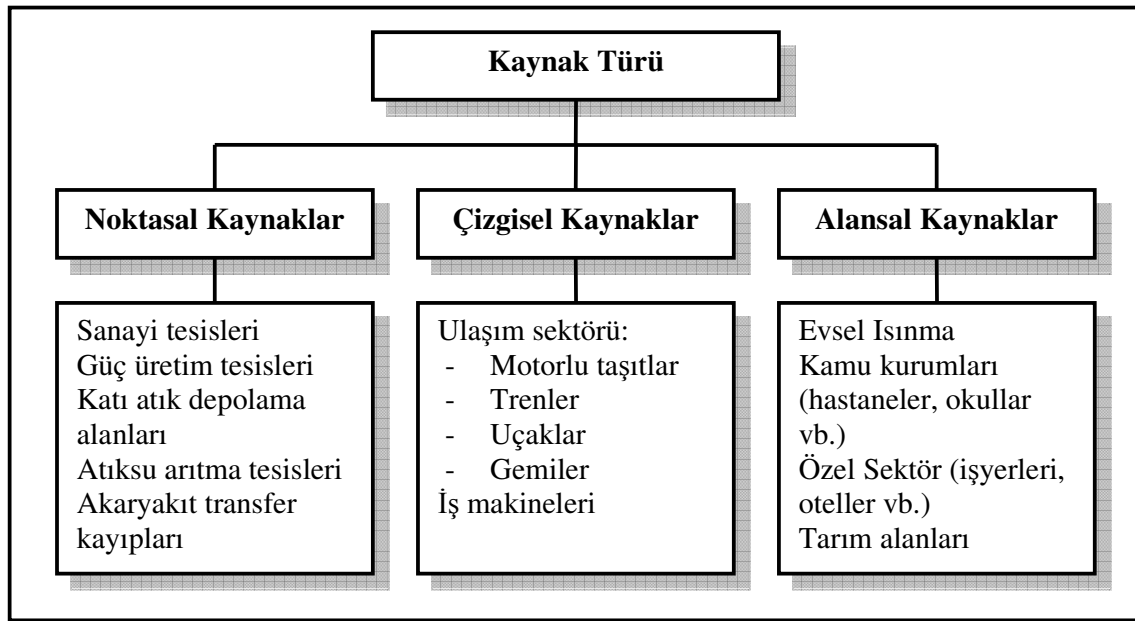
- Hava kalitesi izleme istasyonları ve erken uyarı sistemlerinin konumlandırılması
- Emisyon azaltma faaliyetlerinin izlenmesi ve stratejilerin geliştirilmesi
- Gelecekteki hava kalitesinin tahmini
- Coğrafi ve mevsimsel emisyon değışimlerinin izlenmesi
- Hava kirliliğinde fayda-maliyet ilişkisinin belirlenmesi
- Hava kirliliğ  dağılım modellerinin oluşturulması (Çınar 2003, Gökmen Sözak 2004).

Emisyon envanterlerini hazırlanma amaçlarına göre üç temel gruba ayırmak mümkündür: hızlı ve basit envanterler, detaylı envanterler ve spesifik envanterler. Kaynak ve s renin kısıtlı olduğu durumlarda hızlı ve basit envanterler, kaynak ve s renin yeterli olduğu durumlarda ise detaylı envanterler hazırlanır. Özel bir kaynak ve belirli kirleticiler için yapılan envanterler ise spesifik envanterlerdir ( ınar 2003). Emisyon envanterleri kapsadıkları alana göre de küresel, bölgesel ve yerel ölçekli olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Küresel boyutta hazırlanan emisyon envanterleri birkaç ülkeyi veya bir kıtayı kapsar ve envanter haritalarında kullanılan çözünürlük 1° enlem $\times$ 1° boylamdır. Bölgesel ölçekteki envanterler ise birkaç yüz kilometreden başlayarak ülkesel büyüklükte olabilir. Bölgesel emisyon envanterlerindeki haritalarda kullanılan çözünürlükler 50×50 km ( rneğ n EMEP – European Monitoring and Evaluation Program) veya 20×20 km'dir. Yerel ölçekteki emisyon envanterleri haritalarındaki çözünürlük ise 1×1 km olup bu envanterler şehirleri veya endüstriyel tesisleri kapsamaktadır (Elbir 1997, Colls 2002).

Emisyon envanterlerinde noktasal, çizgisel ve alansal olmak üzere üç ana grupta kirletici kaynakları bulunmaktadır. Noktasal kaynaklar genellikle fabrika, sanayi tesisi veya g   üretim tesisi olup tek başlarına yüksek oranda emisyon üretirler. Çizgisel kaynaklar her türlü  laşım faaliyetini ve traktör ve iş makineleri gibi yol dışı motorlu taşıt emisyonlarını kapsar. Alansal kaynaklar ise tek başlarına oldukça düşük miktarda emisyonu neden olmaktadır bir araya geldiklerinde ciddi miktarda emisyon oluştururlar.  rneğ n evsel ısınma (Placet et al. 2000, Hutchinson 2003,  ınar 2003). Emisyon envanterlerindeki kaynakların kategorileri şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Emisyonların tahmin edilmesinde iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bunlar, tavandan-tabana (top-down) yaklaşım ve aşağıdan-yukarı (bottom-up) yaklaşımlardır. Emisyon envanteri

hazırlanacak alan ile ilgili detaylı veri mevcut değilse ulusal veya bölgesel istatistiklerden yola çıkılarak nüfus, işçi sayıları veya yakıt satış miktarları gibi verilerin yardımıyla yerel verilerin elde edildiği yaklaşım türü tavandan-tabana yaklaşımdır. Bu yaklaşım türü daha az kaynak gerektirdiği için yerel veri toplamanın maliyeti fazla olduğu durumlarda tercih edilir. Aşağıdan yukarı yaklaşımda ise envanter alanındaki her bir kirletici kaynağı ile ilgili verilerin mevcut olması veya anket çalışmaları ile elde edilmesi gerekir. Bu yaklaşım türü tavandan-tabana yaklaşıma göre daha masraflı ve daha fazla zaman gerektirmesine rağmen elde edilen sonuçlar daha kesin ve güvenilirdir. Emisyon envanteri çalışmalarında genellikle her iki yöntem iç içe geçmiş şekilde kullanılır (Hutchinson 2003, Ağaçayak 2007).



Şekil 2.7 Emisyon envanterlerindeki kaynakların kategorileri (Altwicker et al. 1999, Hutchinson'dan değiştirilerek 2003).

Emisyon envanterlerinin hazırlanmasında (1) planlama aşaması, (2) veri toplama aşaması, (3) veri analizi ve emisyonların tahmini aşaması ve (4) raporlama aşaması olmak üzere dört temel aşama vardır. Planlama sürecinde envanterin hangi amaç doğrultusunda hazırlandığı, envanterin kapsamı, envanter alanının sınırları, kirletici kaynakları ve kirleticilerin türleri belirlenir. Planlama aşamasında kaynak kategorilerinin doğru belirlenmesi, herhangi bir kirletici türünün emisyon envanterinde birden çok kullanımını engelleme açısından oldukça önemlidir. Veri toplama sırasında, ilk olarak daha önceden hazırlanan herhangi bir envanter çalışmasının olup olmadığına bakılır. Mevcut kirletici kaynakları hakkında mümkün olan en fazla verinin elde edilmesi envanterin güvenilirliğini artıracaktır. Elde edilen veriler analiz

edilerek envanterde kullanılacak veriye dönüştürülür. Daha sonra da emisyon tahmini yapılır. Emisyonların tahmininde kullanılan yöntemler şunlardır: anket çalışmaları, emisyonların sürekli takibi, emisyon kaynağında yapılan testler, kütle balansı, yakıt analizi, emisyon faktörleri, emisyon belirleme modelleri ve mühendislik karar vermesidir. Anket çalışmaları en güvenilir sonuçları verir fakat hazırlanmaları oldukça zahmetlidir. Bazı kategorilerde, örneğin çözücülerin buharlaşması, kütle balansı uygun bir yöntemdir. Atıksu arıtma tesislerinden, katı atık depolama tesislerinden ve akaryakıt tanklarından kaynaklanan emisyonların hesaplanması için USEPA tarafından geliştirilmiş matematiksel modeller mevcuttur. Bu yöntemlerin yanı sıra emisyon faktörleri de emisyon miktarlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılırlar. Emisyon envanteri hazırlamanın son aşaması olan raporlamada ise elde edilen sonuçlar başlangıçta hedeflenen amaçlar doğrultusunda sunulur (Placet et al. 2000, Hutchinson 2003, Gökmen Sözak 2004).

Emisyon envanterlerinin hazırlanması sırasında bir takım kabuller yapıldığından dolayı bazı belirsizlikler söz konusudur. Elde edilen veriler, verinin kalitesine göre A, B, C, D ve E şeklinde sınıflandırılır. A sınıfı veriler en güvenilir veri olup E sınıfı verilere doğru gidildikçe belirsizlik artmaktadır. Envanter sonuçlarının geçerliliğinin kanıtlanabilmesi için kirletici kaynağında ve dış ortamda yapılacak olan ölçümlerle karşılaştırılmaları gerekir (Passant 1995).

2.11 EMİSYON FAKTÖRLERİ

Emisyon faktörü, kirletici kaynağının birim aktivitesi sonucu atmosfere saldıgı ortalama kirletici miktarını belirtmek için kullanılan bir değerdir. Emisyon faktörleri genellikle kirletici kütlesinin birim aktiviteye bölümü şeklinde ifade edilirler. Örneğin kg CO₂ / megagram kömür, kg CO / km araç veya kg CH₄ / ton üretim gibi (Elbir 1997).

Emisyon faktörlerinin aktivite istatistikleri ile çarpımı sonucunda ise emisyon miktarları hesaplanır. Emisyon miktarlarını hesaplamak için kullanılan formül denklem 2.1’de gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta hava kirliliğini azaltmak için kirlilik kontrol ekipmanları kullanan kaynaklardan salınan emisyon miktarları, hiçbir kontrol ekipmanı bulunmayan kirletici kaynaklarından salınan emisyonlara oranla çok daha düşüktür. Kirletici emisyonlarını azaltmak için herhangi bir kontrol ekipmanının kullanılması

durumunda, toplam emisyon giderim verimi de denklem 2.1'e dahil edilerek, emisyon hesabında denklem 2.2'deki formül kullanılır (Boubel et al. 1994, Passant 1995, Elbir 1997).

$$E = A \times EF \quad (2.1)$$

$$E = A \times EF \times (1 - ER / 100) \quad (2.2)$$

E: emisyon miktarı,

A: aktivite istatistiği,

EF: emisyon faktörü,

ER: toplam emisyon giderim verimi (%)

Emisyon envanterinin doğruluğu açısından aktivite istatistiklerinin ve emisyon faktörlerinin doğru seçimi oldukça önemlidir. Mesela, evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında envanter alanı içindeki satılan kömür miktarına ait veriler kullanılabilir. Fakat, o bölgede yaşayan kişiler tarafından satın alınan kömürün tamamının tüketilmemesi ve bir bölümünün depo edilmesi gibi durumlar söz konusu olabilir. Bu tip durumlarda hesaplanan emisyon miktarları hatalı olacaktır. Benzer bir biçimde akaryakıt istasyonlarından satın alınan yakıt miktarının tamamı envanter alanı içinde kullanılmayabilir. Örneğin, Londra'daki Heathrow Havaalanında yılda yaklaşık 4 milyar ton uçak yakıtı satılmakta ancak bu miktarın çok küçük bir bölümü Londra bölgesinde tüketilmektedir. Dolayısıyla, yerel ölçekte hazırlanan emisyon envanterlerinde özellikle çizgisel kaynaklar için satın alınan yakıt miktarları yerine tüketilen yakıt miktarlarının kullanılması tercih edilmelidir. Hesaplamalarda kullanılacak emisyon faktörleri de aktivitenin türüne göre oldukça değişiklik göstermektedir. Örneğin, motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar aracın türüne (otomobil, minibüs, kamyon, otobüs vb.), aracın yüküne, motor hacmine, aracın yaşına ve kullanılan teknolojiye, dış ortam sıcaklığına, kullanılan yakıt tipine (benzin, dizel), trafiğin akış hızına ve hatta sürücünün psikolojik davranışlarına (kibar, agresif) göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, çizgisel kaynaklar araç türü, yakıt tipi ve motor hacimlerine göre ayrı ayrı gruplanmalı, envanter alanındaki trafiğin ortalama akış hızına göre uygun emisyon faktörleri seçilmelidir. Bir diğer önemli nokta ise farklı bir ülkenin şartlarında hesaplanan emisyon faktörünün başka bir ülkenin şartlarına uygun olup olmadığıdır (Hutchinson 2003).

Emisyon faktörlerini, emisyon kaynağında yapılacak olan ölçümlerle belirlemek oldukça maliyet gerektiren bir iştir. Bu nedenle, emisyon faktörleri veritabanları kullanılarak uygun emisyon faktörleri seçilir. Değişik ulusal ve uluslar arası organizasyonlar tarafından hazırlanan çok sayıda emisyon faktörleri veritabanı bulunmaktadır. Ancak bunları içinde üç tanesi en yaygın olarak kullanılan önemli veritabanlarıdır. Bunlar Avrupa Çevre Ajansı tarafından hazırlanan “EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook”, Amerikan Çevre Koruma Örgütü tarafından hazırlanan ve “AP-42” adıyla da bilinen “Compilation of Air Pollution Emission Factors” ve Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli bünyesinde hazırlanan “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” veritabanlarıdır. CORINAIR emisyon envanteri 30 ülkeden salınan 11 ana kategorideki (yakma tesisleri, rafineriler, sanayiler, sanayi prosesleri, çözücülerin kullanımı, trafik, tarım, atık arıtımı, yakıt temini, doğal kaynaklar ve diğer hareketli kaynaklar) 260 farklı aktiviteyi içermekte ve 8 kirleticili türü (SO_2 , NO_x , NMVOC, CH_4 , N_2O , CO_2 , CO ve NH_3) için hazırlanmaktadır. CORINAIR emisyon envanteri aşağıdan-yukarı yöntemi kullanır ve emisyon kaynakları antropojenik ve doğal olmak üzere ikiye ayrılabilir. Yakma tesisleri emisyonları hesaplanırken yakma teknolojisi dikkate alınır. Trafikten kaynaklanan emisyonların hesabında ise trafik istatistikleri, ortalama yakıt tüketimleri ve seyahat mesafelerine odaklanılır. CORINAIR emisyon envanteri sanayileşmiş Avrupa ülkelerinde kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Daha çok gelişmekte olan ülkelere kullanılmak için geliştirilen IPCC emisyon envanteri ise tavandan-tabana yaklaşımı kullanılır. Doğal kaynaklar hesaba katılmaz. IPCC emisyon envanteri, 6 farklı sektör (enerji, sanayi, çözücüler, tarım, ormancılık ve atıklar) ve 9 kirleticili türü (CO_2 , CH_4 , N_2O , CO, NO_x , NMVOC, HFC, PFC ve SF_6) için hazırlanır. Bu envanterde, sera gazlarına odaklanılmakta, tüm antropojenik CO_2 ve CH_4 emisyon kaynakları üzerinde detaylı olarak durulmakta ve N_2O ile troposferik ozon öncü gazları olan CO, NO_x ve NMVOC emisyonları ile ilgili temel bilgiler yer almaktadır. Yakma tesislerinde kullanılan yakıtın türü önemlidir. Trafikten kaynaklanan emisyonların hesabında ise yakıt satışlarına ait veriler kullanılır (Salt and Moran 1997, Holman 1999, Colls 2002, Hutchinson 2003).

BÖLÜM 3

TROPOSFERİK OZON OLUŞUMU

3.1 OZON

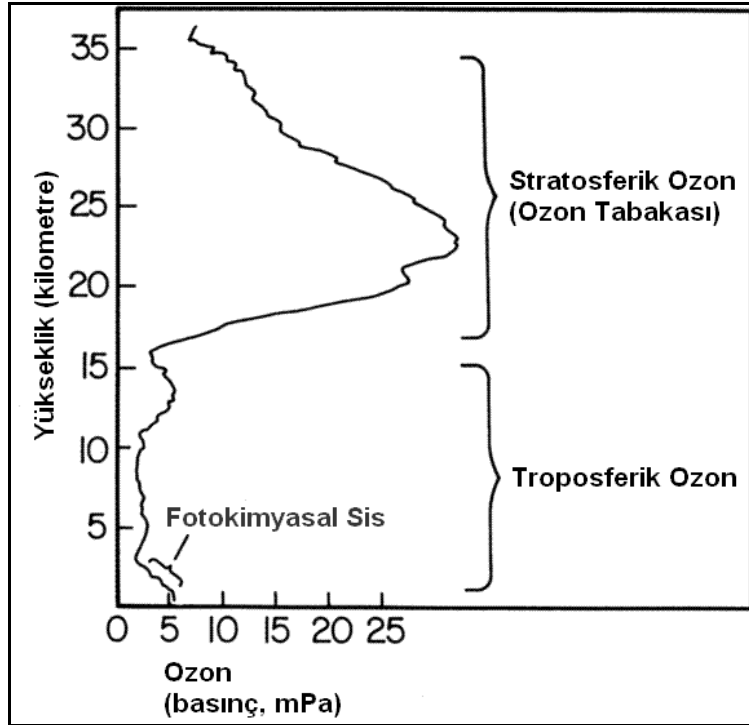
Oksijenin üç atomlu allotropu olan ozon keskin kokulu, mavi renkli oldukça reaktif bir moleküldür. İlk olarak 1840 yılında Christian Friedrich Schönbein tarafından bulunmuştur. Ozon kelimesi Yunancada koku anlamına gelen “ozein”den gelmektedir (Sienfield and Pandis 1998). Ozonun canlılar üzerinde etkileri atmosferde yer aldığı katmana göre değişmektedir. Atmosferin üst bölümlerinde (10 – 50 km arası) bulunan ozon ise güneşin yüksek enerjili ışınlarını filtrelemesiyle canlılar için kalkan vazifesi görmekte iken yere yakın olan ozon (troposferik ozon) yüksek konsantrasyonlarda canlılar için zehirleyici hatta ölümcül olabilir. Troposferik ozon aynı zamanda sera etkisini de kuvvetlendirici role sahiptir. Yer seviyesi ozonunun konsantrasyonu meteorolojik şartlara ve ozon oluşumunda yer alan öncü gazların emisyonlarına göre değişiklik göstermekte ve her yerde aynı olmamaktadır (National Research Council 1992). Bu nedenle yer seviyesi ozonu ve beraberinde getirdiği sorunlar şimdiye kadar bölgesel ölçeklerde ele alınmış ancak troposferik ozonun sera etkisini arttırdığı ortaya çıkınca ozon ile ilgili problemler küresel boyutta irdelenmeye başlanmıştır.

3.2 STRATOSFERİK VE TROPOSFERİK OZON

Ozon (O_3), hem troposferde hem de stratosferde yer almaktadır (Şekil 3.1). Atmosferdeki ozonun %90'ı stratosferde, geri kalanı ise troposferde bulunur (Sienfield and Pandis 1998, Atkinson 2000).

Stratosferik ozon, oksijen molekülünün oksijen atomuyla birleşmesi sonucunda doğal olarak oluşur. Stratosferde, 20-25 kilometreler arasında ozon (O_3) konsantrasyonu 12000 ppb olup maksimum seviyededir. Ozon tabakası olarak adlandırılan bu bölge güneş ışınlarının yüksek enerjili (düşük dalgaboyu ≤ 290 nm) ultraviyole ışınlarını (UV-B) süzerek daha düşük enerjili

ışınların troposfere ve yer yüzeyine ulaşmasını sağlar. Ozon tabakasında meydana gelecek herhangi bir incelmeye güneşin yüksek enerjili ultraviyole ışınlarının yeryüzüne ulaşması ile sonuçlanacaktır. Yüksek enerjili ışınların yeryüzüne ulaşması insanlarda cilt kanseri riskini arttıracak, katarakt ve güneş yanığı vakalarında artışlar gözlenecek ve bağışıklık sistemi hastalıklarına yol açacaktır. Ayrıca UV-B ışınları bitki yaprakları, hayvanlar ve suda yaşayan canlılar açısından da oldukça tehlikelidir. Tüm bu nedenlerden dolayı stratosferdeki ozon “iyi ozon” olarak adlandırılmaktadır (Sienfield and Pandis 1998, Ahrens 2000, Atkinson 2000).



Şekil 3.1 Stratosferik ve troposferik ozon (NOAA'dan değiştirilerek 2008).

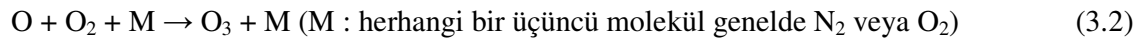
Troposferdeki ozon konsantrasyonu 20-100 ppb olup bu miktar antropojenik emisyonlar nedeniyle artmaktadır. Troposferik ozon, ozon öncüleri olarak bilinen azot oksitlerin ve uçucu organik bileşiklerin reaksiyonları sonucu ikincil kirletici olarak oluşmaktadır. “Fotokimyasal sis” olarak da adlandırılan ve toksik etkisi olan troposferik ozon, görüş seviyesinde azalmaya yol açmakta; insan sağlığı üzerinde de akciğer ve solunum sisteminde tahribat, gözlerde ve boğaz bölgesinde tahrişe neden olmaktadır. Ayrıca tarım ürünleri, ekosistemler ve yapılar üzerinde de olumsuz etkileri mevcuttur. Bu nedenle troposferik ozon “kötü ozon” olarak anılmaktadır (Sienfield and Pandis 1998). Belli meteorolojik koşullar altında, rüzgarın etkisine ve azot oksitlerle uçucu organik bileşiklerin emisyonlarına bağlı olarak ozon

konsantrasyonu 200 – 400 ppb'ye kadar yükselmektedir (National Research Council 1992). Troposferik ozon, aynı zamanda kuvvetli sera gazlarından biridir ve sera etkisini kuvvetlendirmektedir. Şekil 2.5'teki (Bölüm 2) radyasyon akısı değerlerine göre troposferik ozon, CO₂ ve CH₄'den sonra gelen en etkili sera gazı olduğunu söylemek mümkündür. Artan sera etkisi, küresel ısınmaya ve dolayısıyla iklim değişikliklerine neden olmaktadır. İklim değişikliğinin etkileri arttıkça buna bağlı olarak ozon konsantrasyonları da artacaktır, çünkü ozonun oluşma reaksiyonları sıcaklığa bağımlıdır ve özellikle yaz aylarında ozon miktarları oldukça yüksektir. Ayrıca ozonun öncü gazlarından olan uçucu organik bileşiklerin biyogenik kaynaklı emisyonları sıcaklık artışı ile artma eğilimindedir (Bell et al. 2007).

3.3 TROPOSFERİK OZON OLUŞUMU VE OZONUN ÖNCÜ GAZLARI

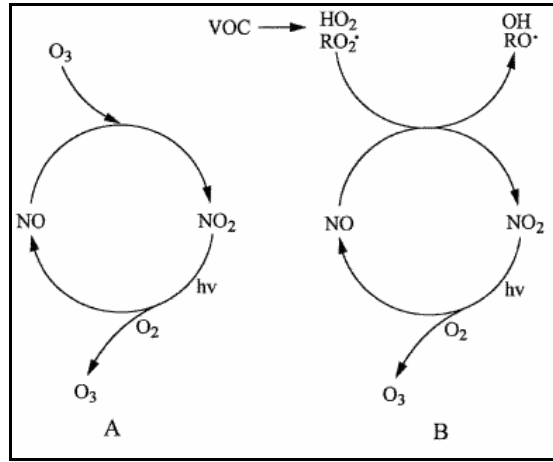
Atmosferde gerçekleşen kimyasal reaksiyonları güneş ışığının etkisine göre fotokimyasal ve termal olmak üzere sınıflandırmak mümkündür. Fotokimyasal reaksiyonlarda moleküller foton yakaladıklarında kararsız hale geçerek küçük moleküllere ayrışır ve serbest radikaller oluşur. Foto-ayırışma reaksiyonları fotonun enerjisine bağlı olup belli bir enerjinin üzerindeki fotonlar tarafından başlatılabilir. Foton etkisi olmadan gerçekleşen reaksiyonlar ise termal veya karanlık reaksiyonlar olarak adlandırılırlar (Boubel et al. 1994).

Ozon gazının troposferde oluşması şu üç denklemle açıklanır:



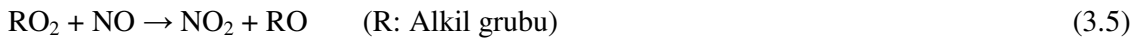
Troposferdeki ozon gazının oluşması doğrudan azot oksitlerin fotokimyasal ayrışma reaksiyonlarına bağlıdır. Azot dioksit gazı (NO₂) 400 nanometrenin (nm) altında dalga boyuna sahip fotonu absorbe ettiğinde azot dioksit kararsız hale geçer ve foto-ayırışma reaksiyonu gerçekleşir (Denklem 3.1). Denklem 3.2 ozon gazının oluşum reaksiyonunu göstermektedir. Ozonun oluşması sırasında üçüncü bir molekül (genellikle N₂ veya O₂) fazla enerjiyi absorbe ederek katalizör görevi yapar. Denklem 3.3 ise azot monoksitin (NO) ozon ile oksidasyonudur ve tepkime sonucunda azot dioksit ve oksijen molekülü oluşur. Bu üç denklem döngüsel bir yol izleyerek gerçekleşir Bu döngü Şekil 3.2'de (A) olarak

gösterilmiştir. Eğer ortamda başka hiçbir madde yoksa üretilen net ozon miktarı sıfırdır (Boubel et al. 1994, Colls 2002, Monks 2003).



Şekil 3.2 Azot oksitler ve ozon döngüsü (Atkinson 2000).

Ozonun üretilmesi için azot monoksitin (NO) azot dioksitle (NO₂) oksidasyonunu gerçekleştiren diğer bir serbest radikal veya uçucu organik bileşik ortamda bulunmalıdır. Hidroperoksi radikalinin (HO₂) veya organik peroksi radikalinin (RO₂) azot monoksitle reaksiyonları (Denklem 3.4 ve 3.5) ile ozon üretimi için gerekli olan azot dioksitin (NO₂) miktarının artması gerçekleşir. Bu reaksiyonlar da Şekil 3.2'de (B) olarak sağdaki döngüde gösterilmiştir (Boubel et al. 1994, Atkinson 2000, Colls 2002).



NO_x titrasyonu olarak da bilinen (3.3) numaralı reaksiyon güneş ışığından bağımsızdır. Eğer ortamda azot dioksitle (NO₂) kıyasla yüksek oranda azot monoksit (NO) bulunuyorsa ozonun yıkımı gerçekleşir. NO_x titrasyonu üç durumda oldukça önemlidir: geceleri, kış mevsiminde ve güç santrallerinin yakınında. Geceleri (3.3) numaralı reaksiyon, gündüzleri de (3.1) numaralı reaksiyon gerçekleşecek ve gün içerisinde artan ozon miktarı gece azalacaktır. Benzer bir biçimde yaz mevsiminde ozon üretimi oldukça yüksek, kış mevsiminde de düşüktür. Güç santrallerinin bulunduğu bölgelerde ise NO_x emisyonları oldukça yüksek, uçucu organiklerin emisyonları NO_x'e kıyasla çok az olduğu için NO_x titrasyonu ile ozon yıkımı gerçekleşir (Sillman 1999, Syri et al. 2001).

Karbon monoksit (CO) de ozonun yapım ve yıkım reaksiyonlarında önemli rol oynar. Ortamda yüksek oranda azot oksitlerin (NO_x) bulunması durumunda ozon üretimi (Denklem 3.6), düşük oranda azot oksitlerin bulunması durumunda da ozon yıkımı gerçekleşir (Denklem 3.7) (Colls 2002, Monks 2003).



(net yapım reaksiyonu) (yüksek NO_x konsantrasyonlarında)

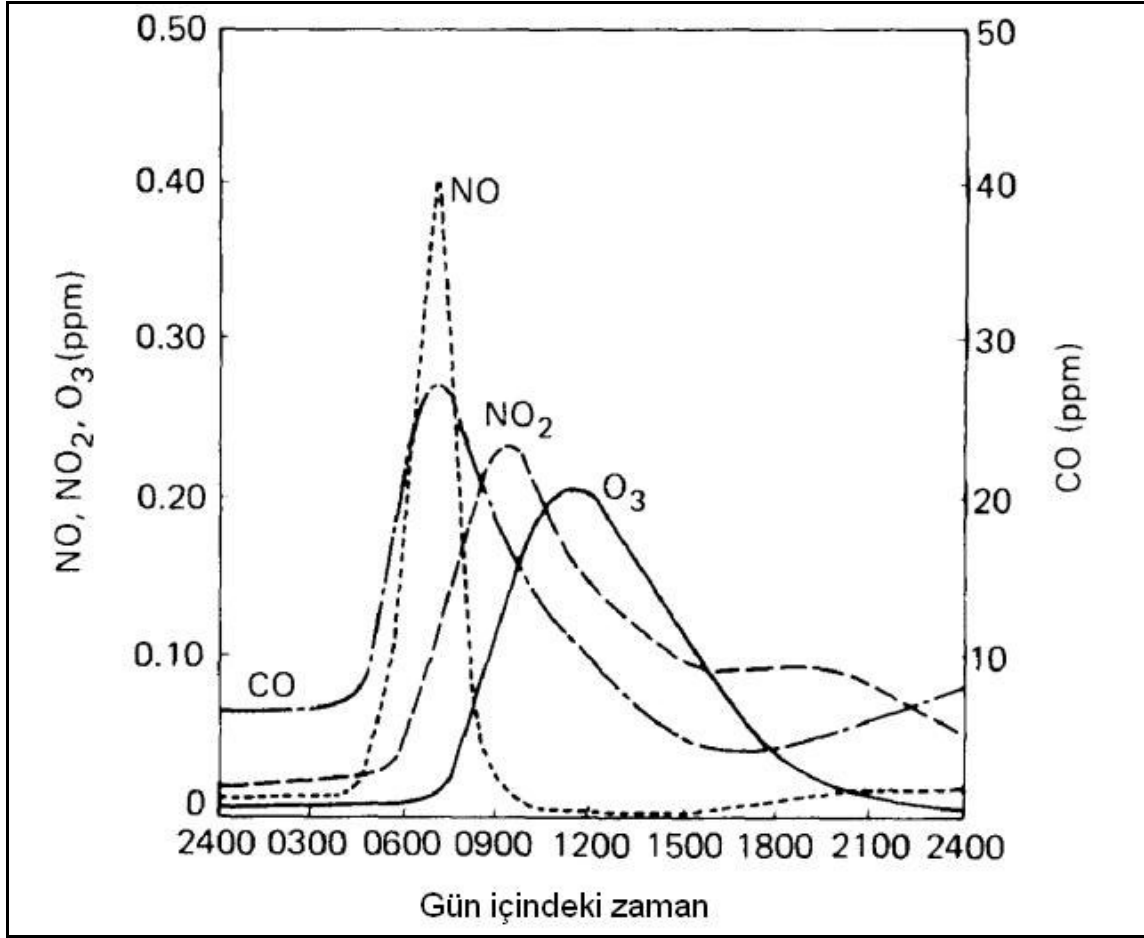


(net yıkım reaksiyonu) (düşük NO_x konsantrasyonlarında)

Troposferik ozonun oluşmasında rol oynayan iki önemli grup olan azot oksitler (NO_x) ve uçucu organik bileşikler genellikle antropojenik orijinlidir. Azot oksit emisyonlarının kaynakları olarak motorlu taşıtlar, güç üretme tesisleri, atık depolama alanları, biyokütle yanması, evsel ısınma, mikrobiyal aktiviteler ve yıldırımlardır. Uçucu organik bileşikleri, metan gazının (CH₄) reaktivitesi az olduğu için metan ve metan dışı uçucu organik bileşikler olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Metan dışı uçucu organik bileşiklerin emisyonları ise motorlu taşıtlardan, çözücülerin kullanımından, endüstriyel proseslerden, akaryakıtların taşınmasından, tarımdan, evsel ısınmadan ve biyojenik emisyonlardan kaynaklanmaktadır (Ahrens 2000, Monks 2003, Reis 2005).

3.4 OZON VE ÖNCÜ GAZLARININ KONSANTRASYONLARININ GÜN İÇİNDEKİ DEĞİŞİMİ

Denklem 3.1’de gösterilen foto-ayırışma reaksiyonu güneş ışınına bağlı gerçekleşirken, Denklem 3.3’deki reaksiyon ise geceleri gerçekleşmektedir. Sabah, trafiğin çok yoğun olduğu saatlerde, atmosferdeki CO ve NO_x konsantrasyonlarında artış gözlenir. Güneş ışığının etkisiyle gerçekleşen fotokimyasal reaksiyonlarla ozon konsantrasyonu gün ortasına doğru artarken öğleden sonraki ilk saatlerde pik değerine ulaşır. Güneş ışığının etkisi ortadan kalktığında yeni NO oluşmayacaktır. Dolayısıyla, NO_x titrasyonu ile gündüz üretilen ozon geceleri tüketilecektir. Şekil 3.3’de Los Angeles kenti için ozon ve öncü gazlarının konsantrasyonlarının gün içindeki değişimleri gösterilmiştir (Colls 2002).

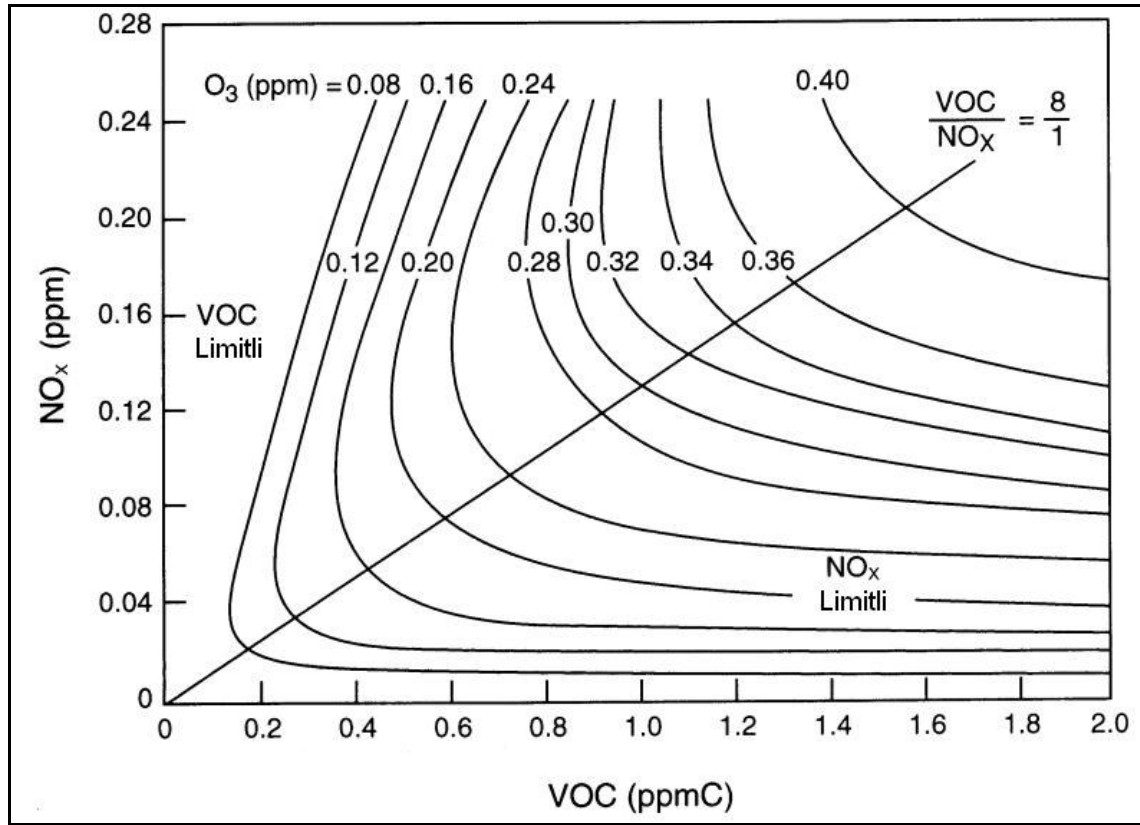


Şekil 3.3 Los Angeles kenti için ozon ve öncü gazlarının konsantrasyonlarının gün içindeki değişimleri (Strauss and Mainwaring 1984, Colls'dan 2002).

3.5 OZON-NOX-VOC DUYARLILIĞI

Ozon oluşumunda rol oynayan NO_x ve VOC'lar arasındaki ilişki izoplet adı verilen grafikler yardımı ile açıklanır. Şekil 3.4'te gösterilen izoplette VOC ve NO_x konsantrasyonlarına bağlı olarak, açık ve güneşli bir yaz günündeki pik ozon konsantrasyonlarını göstermektedir. İzopletten de rahatlıkla anlaşılabileceği gibi ozon oluşumu doğrusal olmayan bir süreçtir. Düşük NO_x konsantrasyonlarında, NO_x konsantrasyonu yükseldikçe ozon konsantrasyonu da doğrusala yakın bir şekilde artma eğilimindedir. Ozon konsantrasyonu belli bir NO_x değeri için maksimuma ulaşır. Yüksek NO_x konsantrasyonlarında ise ozon oluşumu artan NO_x konsantrasyonlarına karşın azalış eğilimindedir. Grafik, lokal maksimum noktalarından geçen sırt çizgisi ile iki farklı fotokimyasal bölgeye ayrılmıştır. Sırt çizgisinin üzerinde kalan grafiğin sol üst bölümü, "VOC limitli" bölge olup ozon konsantrasyonu VOC miktarındaki artışa bağlı olarak artarken, NO_x miktarındaki artışa bağlı olarak azalır. VOC konsantrasyonu

sabitken NO_x konsantrasyon değeri azalması ise ozon oluşumunu artırır. Bu olay bazı şehirlerdeki hafta sonu ozon konsantrasyonunun hafta içindeki değerlere göre yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Çünkü hafta sonu trafik yoğunluğu, hafta içi trafik yoğunluğundan düşüktür. Bu şehirler için, trafikten kaynaklanan NO_x emisyonlarının azalması ozon konsantrasyonundaki artışa sebep olmaktadır. Sırt çizgisinin altında kalan ve “NO_x limitli” olarak adlandırılan bölgede ise ozon oluşumu artan NO_x konsantrasyonuna bağlı olarak artarken, artan VOC konsantrasyonlarına göre çok az değişiklik göstermektedir. Şehir merkezlerinde NO emisyonları yüksek olduğu için ozon seviyesi düşüktür. Kırsal bölgelere doğru gidildikçe fotokimyasal reaksiyonlarla ve atmosferik taşınım ile NO_x konsantrasyonları VOC'lara göre daha az olacaktır. VOC/NO_x oranının artması nedeniyle kimyasal tepkimeler NO_x limitli bölgeye doğru kayacaktır. NO konsantrasyonu düşük olacağı için ozon yıkımı gerçekleşmeyecektir. Ozon yıkımı, NO_x konsantrasyonlarından dolayı şehir ortamında daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla, kırsal alanlarda ozon konsantrasyonu kent merkezlerindeki göre daha yüksektir (Sillman 1999, Colls 2002, Reis 2005).

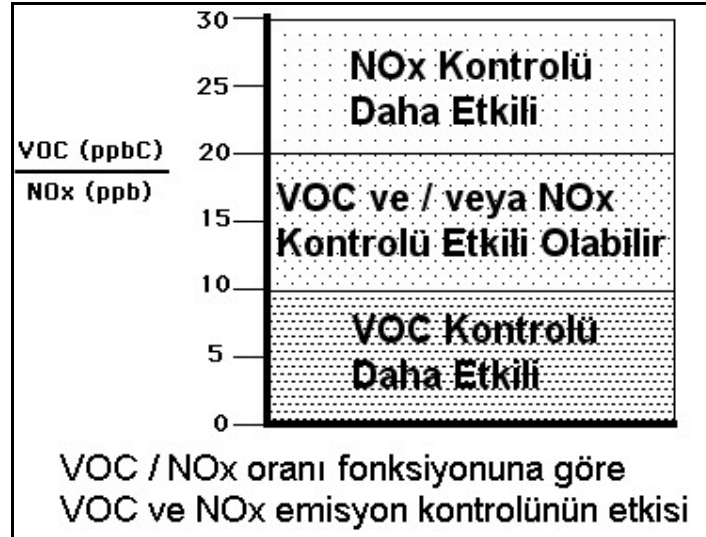


Şekil 3.4 Pik ozon oluşum izopleti (Finlayson-Pitts and Pitts 1993, Colls'dan 2002).

Yüksek miktarda NO_x emisyonuna sahip olan güç santralleri yakınlarında “VOC limitli” terimi yerine “NO_x doygun” terimini kullanmak daha uygun olacaktır çünkü termik santrallerin VOC ve CO emisyonları çok azdır. Termik santrallerde NO_x emisyonunun %90’ı NO olduğu için NO_x titrasyonu sebebiyle ozon seviyesi oldukça düşüktür. Termik santrallerden kırsal alanlara doğru uzaklaştıkça ozon oluşumunda artış gözlenir (Sillman 1999).

3.6 TROPOSFERİK OZONUN KONTROLÜ

Ozon konsantrasyonunun kontrolü ancak ozonun öncü gazları olan NO_x ve VOC’ların kontrolü ile mümkündür. VOC kontrolü sadece VOC-limitli bölgede etkilidir. NO_x kontrolü ise sadece NO_x limitli bölgede etkili iken VOC limitli bölgede NO_x emisyonlarının azalması ozon konsantrasyonunda artışla sonuçlanmaktadır (Sillman 1999, Colls 2002). Troposferik ozon oluşumunu azaltabilmek için VOC/NO_x oranının bilinmesi, kontrol edilecek öncü gazın seçiminde kolaylık sağlayacaktır (Şekil 3.5). VOC/NO_x oranının 10’dan düşük olduğu durumlardan VOC kontrolü, 20’den yüksek olduğu durumlarda ise NO_x kontrolü ozon miktarının düşürülmesinde etkilidir. VOC/NO_x oranı 10 ile 20 arasında olduğunda ise hem NO_x hem de VOC kontrolü gereklidir.



Şekil 3.5 Ozon kontrolünde VOC ve NO_x emisyonlarının kontrolü (URL-1 2008).

3.7 OZON OLUŞTURMA POTANSİYELİ

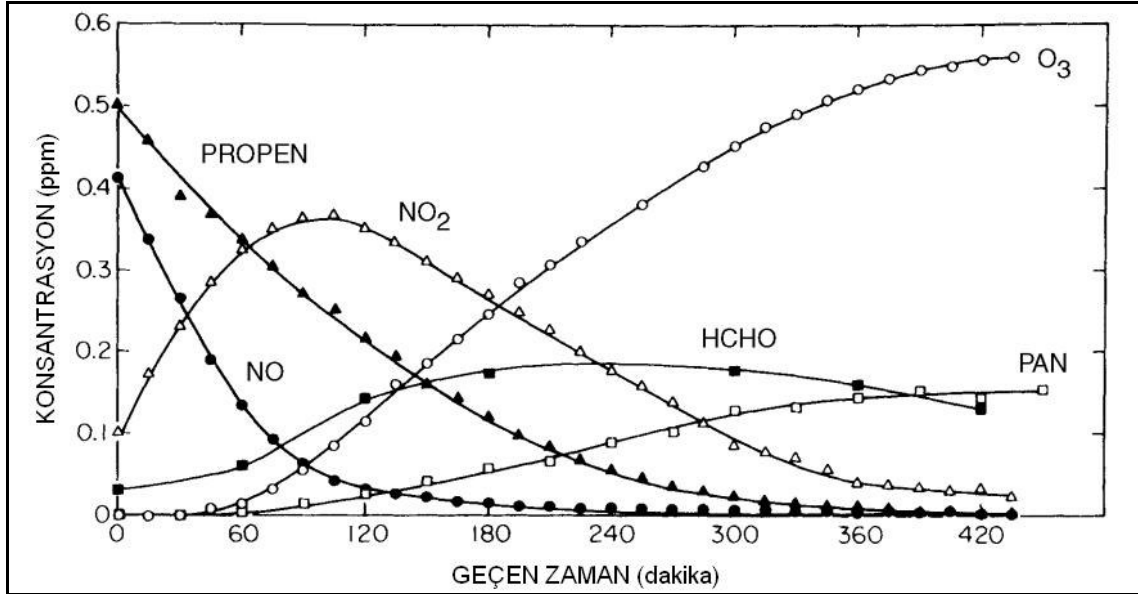
Troposferik ozonun oluşum reaksiyonlarına katılan yüzlerce farklı uçucu organik bileşik bulunmaktadır. Her birinin atmosferik ömrü ve kimyasal reaktivitesi farklıdır. Bu nedenle her VOC bileşiği, ozon oluşumunda farklı etki oranına sahiptir. OH karşısında kimyasal reaktivitesi çok düşük olan CH₄'ü ayırdıktan sonra Metan Dışı Uçucu Organik Bileşiklerin (NMVOC) ozon oluşumundaki etkilerinin belirlenmesi için “fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP)” adı verilen reaktivite skalasından yararlanılır. Literatürde POCP için oldukça değişik tanımlar bulunmaktadır. En basit şekliyle POCP, herhangi bir hidrokarbonun konsantrasyonundaki artışla oluşan ozon konsantrasyonundaki artışın, etilenin konsantrasyonundaki artışla oluşan ozon konsantrasyonundaki artışa oranı olarak tanımlanabilir (Denklem 3.8). Aynı tanımlama artış yerine azalış şeklinde de yapılabilir. Bir başka deyişle POCP, herhangi bir hidrokarbonun konsantrasyonundaki azalışla oluşan ozon konsantrasyonundaki azalışın, etilenin konsantrasyonundaki azalışla oluşan ozon konsantrasyonundaki azalışa oranı olarak tanımlanabilir. Herhangi bir “i” hidrokarbonu için fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli aşağıdaki gibi formüle edilmektedir (Derwent et al. 1998, Xiao and Zhu 2003, Reis 2005):

$$POCP_i = \frac{\text{i hidrokarbonuyla ozondaki artış / azalış}}{\text{etilen ile ozondaki artış / azalış}} \quad (3.8)$$

$$POCP_i = \frac{\Delta O_{3,i} / \Delta M(C)_i}{\Delta O_{3,etilen} / \Delta M(C)_{etilen}} \times 100$$

POCP değerleri hesaplamak için dört değişik yöntem mevcuttur. Bunlar: duman çemberi (smog chamber) çalışmaları, organik kimyasallarla OH'ın tepkimesindeki hız sabiti verileri, hava kalitesi simülasyon modelleri ve detaylı kimyasal mekanizmalardır. Laboratuvar ortamında yapılan bir duman çemberi deneyinin sonuçları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Başlangıç konsantrasyonu olarak 500 ppb propan, 400 ppb NO ve 100 ppb NO₂ 7 saat boyunca güneş ışığı altında bekletilmiştir. NO ve propen konsantrasyonu sürekli olarak azalırken NO₂ 90 dakikada pik yapmış sonradan azalmaya başlamıştır. Duman çemberinde 7 saat sonucunda ozon, PAN ve formaldehit oluştuğu gözlenmiştir. Organik kimyasallarla OH'ın tepkimesindeki hız sabitlerinin kullanımı oldukça basit bir yöntem olduğu için POCP değerlerini hesaplamada artık kullanılmamaktadır. Duman çemberi deneylerinden elde edilen

verilerle geliştirilen simülasyon çalışmaları POCP değerini hesaplamada oldukça kabul gören bir yöntemdir. POCP hesaplamada bir başka önemli yöntem ise detaylı kimyasal mekanizmaların fotokimyasal yörünge modelleri ile birlikte kullanımındır. Bazı uçucu organik bileşikler için POCP değerleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir (Derwent et al. 1998, Reis 2005).



Şekil 3.6 Duman çemberinde ozon oluşumu (Winer 1986, Colls'dan 2002).

Çizelge 3.1 Bazı uçucu organik bileşikler için POCP değerleri (Derwent and Jenkin 1991, Reis'den 2005).

VOC	POCP	VOC	POCP
Metan	1	n-bütan	51
Etan	11	Propan	52
Metanol	14	Toluen	61
Aseton	19	n-oktan	62
Asetilen	20	Asetaldehit	64
Benzen	22	Etilbenzen	67
i-pentan	34	o-ksilen	71
Etanol	35	Etilen	100
i-bütan	35	p-ksilen	101
Formaldehit	39	m-ksilen	106
n-pentan	48	Propilen	113

Detaylı kimyasal mekanizmaların fotokimyasal yörünge modelleri ile birlikte kullanıldığı bir çalışmada Derwent et al. (1998) 120 farklı uçucu organik bileşik için POCP değerlerini hesaplamışlardır. Başlangıçtaki NOx konsantrasyonu 120 ppb'dir. POCP değerleri en yüksek grup aromatik bileşiklerdir. Aromatik bileşikleri sırasıyla alken bileşikleri ve alkan bileşikleri

takip etmektedir. Aromatik bileşikler için POCP değerleri 50–138 aralığında ve alken bileşiklerinin POCP değerleri ise 62 ile 115 arasında değişmektedir. Alken bileşikleri, alkan bileşiklerine göre daha yüksek POCP değerlerine sahiptirler. Alkan bileşikleri için POCP değerleri genellikle düşük olup 30–54 aralığında olduğu belirtilmiştir. Oksijenli organik bileşiklerin içinde aldehitlerin POCP değerleri 51 ile 80 aralığındadır. Alkoller ve ketonlar için POCP değerleri 26–60 aralığındadır. Glikoller, eterler, alkol eterleri ve glikol eterleri için POCP değerleri oldukça düşük olup 15 ile 48 arasında değişmektedir. POCP değeri en düşük bileşikler metan, etan, asetilen, benzaldehit, formik asit, asetik asit, aseton, metil format, metil asetat ve t-bütil asetatdır. Bu bileşikler, troposferik ozon oluşumunu önlemek için, POCP değeri daha yüksek organiklerin yerine kullanılabilirler.

Yapılan farklı çalışmalar sonucunda elde edilen POCP değerleri, birbiriyle tutarlı olmayıp kirletici kaynağının türüne, arazi yapısına, mevsime, meteorolojik şartlara, NMVOC/NO_x oranına ve kirleticinin kaynaktan salındıktan sonra geçen süreye göre değişiklik göstermektedir. POCP değeri yüksek olan bileşiklerin NMVOC/NO_x oranı arttıkça POCP değerleri düşmektedir. POCP değeri düşük olan bileşikler ise NMVOC/NO_x oranındaki artıştan fazla etkilenmektedirler. POCP değeri düşük olan bileşikler için zaman geçtikçe POCP değeri artmakta iken, POCP değeri yüksek olan bileşikler için zaman geçtikçe POCP değeri çok az değişmektedir. NO_x, alkenler, aromatikler ve aldehitler yüksek reaktivite ve düşük atmosferik ömre sahip olduklarından uzak mesafelere taşınamazlar ve yerel (lokal) kirliliğe sebep olurlar. Atmosferik ömrü yüksek ve reaktiviteleri düşük olan alkanlar ise oldukça uzak mesafelere taşınabilmektedirler (Xiao and Zhu 2003).

BÖLÜM 4

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Emisyon envanterleri, hava kalitesinin belirlenmesi amacıyla sıklıkla başvurulmuş bir yöntem olup ülkemizde ve dünyada çeşitli ölçeklerde uygulamaları bulunmaktadır. Ülkemiz genelinde uygulanan, sektörler göre ayrı ayrı düzenlenmiş emisyon envanter değerleri bulunmamaktadır. Buna rağmen ülkemizdeki emisyon envanteri çalışmaları başta USEPA ve Avrupa Birliği emisyon envanter değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ulusal ve uluslararası dergilerde yayınlanmıştır. Bu çalışmaların yoğunluğu evsel, endüstriyel ve trafikten kaynaklanan emisyonları belirlemede yapılan çalışmalardan oluşmaktadır. En yaygın çalışmalar Ege Bölgesi'nde yer alırken, Kocaeli bir başka çalışılan bölge olmuştur. Bu çalışmaları içeren literatür bilgileri aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

4.1 TÜRKİYE'DEKİ EMİSYON ENVANTERİ ÇALIŞMALARI

Ege Bölgesi'nde yapılan bir emisyon envanteri çalışmasında, bölgedeki noktasal (sanayi tesisleri), alansal (evsel ısınma) ve çizgisel (trafik) kirletici kaynaklarından atmosfere salınan partikül maddeler (PM), kükürt dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) ve karbon monoksit (CO) emisyonları hesaplanmıştır. Envanterin hazırlanması sırasında yeterli ve kaliteli veriye ulaşılamadığı için, “yukarıdan-aşağıya” yöntem kullanılarak ulusal boyuttaki istatistikler nüfus rakamlarına uyarlanmıştır. Emisyon faktörleri CORINAIR veritabanından seçilmiş, yetersiz kalması durumunda ise Amerikan Çevre Koruma Örgütü (USEPA) emisyon faktörlerine başvurulmuştur. Noktasal kaynakların hesaplanmasında sanayi tesislerinin prosesleri, teknolojileri ve kapasiteleri ile ilgili yeterli miktarda veri bulunmadığı için sadece yakıttan gelen kirleticiler hesaplanmıştır. Alansal kaynaklar olarak sadece evsel ısınma kaynaklı kirleticiler, nüfus verileri ve ısınma amaçlı yakıt miktarları kullanılarak hesaplanmıştır. Trafikten kaynaklanan kirliliğin hesaplanması için de taşıtlar, ağırlıklarına ve tükettikleri yakıt türüne (benzin veya mazot) göre sınıflandırılmıştır. Her aracın yılda ortalama 5000 km yol kat ettiği varsayılmıştır. Yeterli veri

bulunmadığı için bazı iller çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Envanter sonuçlarına göre Ege Bölgesinde yılda toplam 1.32×10^5 ton PM, 8.99×10^5 ton SO₂, 6.33×10^4 ton NO_x, 1.85×10^4 ton NMVOC ve 1.85×10^4 ton CO atmosfere salındığı hesaplanmıştır (Elbir vd. 2001).

İzmir ili için hazırlanan bir çalışmada, envanter alanı 80 km × 100 km olarak belirlenmiş ve noktasal, çizgisel ve alansal kaynaklardan gelen partikül maddeler, kükürt dioksit ve azot oksitler hesaplanmıştır. Noktasal kaynak olarak, 153'ü İzmir metropolitan bölgede olmak üzere 374 endüstriyel tesis envanter çalışmasına dahil edilmiştir. Endüstriyel tesislerin türleri çok geniş bir yelpazeye yayılmış olup deri, yiyecek, tekstil, kağıt, metal, boya, kimyasal maddeler, mineral ve seramik, petrokimya, çimento, metalürji, elektrik ve elektronik endüstrileri ve petrol rafinerileri şeklinde sınıflandırılmıştır. Endüstrilerde kullanılan yakıt türleri ise fuel-oil, linyit kömürü, sıvılaştırılmış petrol gaz (LPG) ve diğer yakacıklardan (odun, biogaz vb.) oluşan yakıtlardır. Evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonları hesaplamak için nüfus verileri, yakıt türleri ve miktarlarına ait veriler kullanılmıştır. 2000 yılı için İzmir ve çevresinde 4.5×10^4 ton fuel-oil kullanıldığı hesaplanmış ve ayrıca 5.15×10^5 ton linyit kömürü tüketildiği anket çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Trafikten kaynaklanan emisyonlar için de iki farklı veri seti kullanılmıştır: İzmir çevresindeki otoyollardaki araç trafiği ve nüfusun hareketli olduğu şehir alanlarındaki cadde ve sokaklardaki araçların oluşturduğu trafik. Çevre havasındaki emisyon miktarlarını hesaplamada kullanılan emisyon faktörleri CORINAIR ve USEPA emisyon faktörleri kataloglarından seçilmiştir. Sonuçta, envanter alanındaki yıllık toplam emisyon miktarları 2.34×10^4 ton PM, 8.42×10^4 ton SO₂ ve 4.41×10^4 ton NO_x olarak belirtilmiştir. Yapılan sınıflandırmaya göre SO₂ emisyonlarının %88'i endüstriyel kökenli iken PM emisyonlarının %56'sı ise evsel ısınmadan atmosfere salınan emisyonlardır. NO_x emisyonlarında ise en önemli kirletici kaynağı %67 ile trafiktir (Elbir ve Müezzinoğlu 2004).

Türkiye'nin en fazla sanayileşen illerinden biri olan Kocaeli için hazırlanan bir emisyon envanter çalışmasında, 273 km²'lik (26 km × 10.5 km) alanda PM, SO₂, NO_x ve CO emisyon miktarları hesaplanmıştır. Kirletici kaynakları noktasal (endüstriyel tesisler), alansal (evsel ısınma) ve çizgisel (motorlu taşıtlar) olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Emisyon faktörleri CORINAIR ve USEPA emisyon faktörleri arasından seçilerek çalışma gerçekleştirilmiştir. Yüksek oranda kül ve kükürt içeren yakıtların yakılmasından dolayı emisyon envanter çalışmasında USEPA emisyon faktörleri kullanılmıştır. Envanter alanı

içinde 274 noktasal kaynak yer almakta olup endüstriyel tesislerin kategorileri çok çeşitlidir: katı atık yakma, seramik, güç üretimi, kağıt hamuru ve kağıt üretimi, tekstil, plastik, ağaç işleri ve mobilya, otomotiv, kimyasal madde üretim tesisleri, petrokimya tesisleri, lastik fabrikaları ve petrol rafinerisi. Endüstriyel tesislerde kullanılan başlıca yakıt %95'lik bir oranla doğalgazdır. Diğer yakıtlar ise kömür, fuel-oil, odun ve LPG'dir. Evsel ısınmada kullanılan başlıca yakıt linyit kömürü (%62) olup kullanılan diğer yakıtlar doğalgaz, odun, fuel-oil ve LPG'dir. Kocaeli ili, Ankara ve İstanbul arasındaki iki önemli otoyol üzerinde olduğu için, envanter çalışmasında sadece ana yollardaki trafik hesaba katılmış şehirdeki diğer trafik ihmal edilmiştir. Emisyon envanteri sonuçlarına göre Kocaeli ilinde yılda 2.20×10^3 ton PM, 5.34×10^3 ton SO₂, 1.46×10^4 ton NO_x ve 2.31×10^4 ton CO kirletici olarak atmosfere salınmaktadır. PM, SO₂ ve CO sırasıyla %75, %76 ve %69'luk oranlarla evsel ısınmada linyit kömürü ve odun yakılmasından kaynaklanmakta iken endüstriyel tesislerdeki doğalgaz kullanımı %73'lük oranla NO_x kirlenmesinin başlıca nedenidir. Endüstriyel tesisler arasında da petrol rafinerisi, güç üretim tesisi, petrokimya ve kimya endüstrileri ve lastik endüstrisi yüksek emisyon miktarlarıyla önde gelen NO_x kaynaklarıdır. Ayrıca, gerçekteki SO₂ miktarının, kayıt altına alınamayan kömür kullanımı nedeniyle hesaplanan değerlerden daha fazla olabileceği belirtilmiştir (Çetin vd. 2007).

Kocaeli ili için gerçekleştirilen bir diğer envanter çalışmasında ise sadece konutlardan kaynaklanan NO_x emisyonları envanterlenmiştir. Çalışma sonunda yaklaşık 2.009×10^3 ton/yıl NO_x'in atmosfere salındığı hesaplanmıştır. Yıllık 934 ton NO_x emisyonu ile Gebze ilçesinin hava kirliliğinde önemli paya sahip olduğu belirtilmiştir (Çetin et al. 2004).

Türkiye'deki çimento fabrikaları için hazırlanan bir emisyon envanterinde CO, NO₂, SO₂ ve PM emisyonları standart yöntemler ve ekipmanlar yardımı ile ölçülmüştür. Emisyon faktörleri, kirletici miktarlarının toplam üretime bölünmesi ile elde edilmiştir. Ulusal ortalama emisyon faktörleri CO için 1.609 kg/t, NO₂ için 0.596 kg/t, PM için 0.337 kg/t ve SO₂ için de 0.060 kg/t olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre Türkiye'deki çimento fabrikaları için geliştirilen emisyon faktörlerinden PM değeri Avrupa Birliği ülkelerine kıyasla daha fazla iken NO₂ ve SO₂ emisyon faktörlerinin değerleri daha azdır (Ekinci et al. 1998).

Emisyon envanterlerinin daha kolay hazırlanabilmesi için "emisyon envanter modelleri"nden yararlanılabilir. Karayolu taşıtlarından kaynaklanan emisyon miktarlarını COPERT

(COMputer Program to calculate Emissions from Road Traffic), MOBILE (Mobile Source Emission Model) veya MVEI (Motor Vehicle Emission Inventory) gibi modeller kullanılarak belirlemek de mümkündür. 2004 yılında Türkiye geneli için yapılan bir çalışmada COPERT III modeli kullanılarak taşıtların neden olduğu emisyonlar ortaya konulmuştur. COPERT III yazılımı otomobiller, hafif ve ağır yük taşıtları, mopet ve motosikletler için, CO₂, CH₄, N₂O, CO, NO_x, NMVOC, PM emisyonlarını ve yakıtla bağlı olan kurşun (Pb) ve SO₂ emisyonlarını hesaplamaktadır. Yazılım kentsel, kırsal ve otoyol trafiğini ayrı ayrı hesaplayabilmektedir. Yakıt tüketimi, dış ortamın maksimum ve minimum sıcaklıkları, her kategorideki araç sayıları, araçların seyahat ettiği mesafeler ve ortalama araç hızları COPERT III yazılımının girdileridir. Çalışma sonucunda, 2004 yılı için Türkiye genelindeki taşıtların toplam emisyonu 3.37×10^8 ton CO₂, 7.30×10^3 ton CH₄, 2.26×10^3 ton N₂O, 9.30×10^5 ton CO, 1.48×10^5 ton NMVOC, 17.11×10^3 ton PM, 2.79×10^5 ton NO_x, 1.06×10^5 ton SO₂ ve 6.58×10^4 ton kurşun olarak belirlenmiştir. CO, hidrokarbon (HC = CH₄ + NMVOC) ve Pb emisyonlarında otomobiller önde gelirken NO_x, PM ve SO₂ emisyonlarından ağır vasıtalar sorumludur. Çalışmada ayrıca, yakıt tüketimini ve emisyon miktarlarını azaltmak için şu önerilere de yer verilmektedir: taşıtların yenilenmesi, toplu taşımanın geliştirilmesi, trafik sıkışıklığının önlenmesi ve ortalama araç hızlarının arttırılması (Soylu 2007).

Emisyon envanterlerinin, coğrafi bilgi sistemleri ile birlikte kullanıldığı bir çalışmada ise hava kalitesi dağılım modelleri oluşturulmuştur. Bu amaçla İzmir ili için hazırlanan hava kalitesi karar destek sisteminde emisyon envanteri ile elde edilen emisyon miktarları modelin girdilerini oluşturmuştur. Endüstriyel tesislerden, evsel ısınmadan ve trafikten kaynaklanan PM, SO₂, NO_x ve CO emisyonları, USEPA tarafından geliştirilen ve uzun mesafeli taşınımları belirlemek için kullanılan CALPUFF dispersiyon modelinde veri olarak kullanılmıştır. Meteorolojik ve topografik verilerin de sisteme girilmesi sonrasında çalıştırılan CALPUFF modelinin çıktıları, dış ortamda yapılan ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak, modelin kalibrasyonu sağlanmıştır. Model çıktıları, bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ESRI kullanılarak, İzmir ili için 80 km × 100 km boyutunda hava kirliliği dağılım haritaları oluşturulmuştur. Model sonuçları ve kirlilik dağılım haritalarına göre endüstri en çok havayı kirleten sektördür. Ayrıca, endüstriyel tesislerden kaynaklanan SO₂'nin %93'ü, PM'in %59'u, NO_x'in %80'i ve CO'nın %80'i metropolitan bölgeye şehir dışından taşındığı ortaya çıkmıştır (Elbir 2004).

4.2 ÜLKEMİZ DIŞINDAKİ EMİSYON ENVANTERİ ÇALIŞMALARI

Ülkemiz dışında kalan dünyanın diğer bölgelerinde de, değişik ölçeklerde hazırlanan emisyon envanterlerine sıklıkla rastlanmaktadır. Bazı çalışmalarda envanter alanı bir kıtanın tamamı olabilirken, bazı çalışmalarda da envanter alanının bir kentin birkaç mahallesi ile sınırlı kaldığı görülmektedir. Literatürle rastlanılan emisyon envanterlerinin bir kısmında hesaplanan emisyon miktarları, ozon oluşumunu formüle eden fotokimyasal modellerde girdi verisi olarak kullanılmışlardır. Fotokimyasal modeller, emisyon verileri ile birlikte meteorolojik verileri ve kimyasal dönüşüm formüllerini de kullanarak ozon oluşumundaki kompleks prosesleri modellemek ve ozon konsantrasyonlarını tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadırlar (Placet et al. 2000).

Küresel ölçekte hazırlanan emisyon envanterlerinden biri, Asya kıtasındaki 24 ülkeyi ve 1980–2020 yılları arasını kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Envanter çalışmasına dahil edilen ülkeler Çin, Japonya, Güney Kore, Kuzey Kore, Moğolistan, Tayvan, Bruney, Kamboçya, Endonezya, Laos, Malezya, Myanmar, Filipinler, Singapur, Tayland, Vietnam, Bengaldeş, Bhutan, Hindistan, Nepal, Pakistan, Sri Lanka, Afganistan ve Maldivler’dir. $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ çözünürlükte hazırlanan bu envanterde, güç tesislerindeki yakıt yanmalarından, endüstriyel tesislerden (demir-çelik, kimya ve petrokimya, demir dışı metaller ve metal harici mineral üretim tesisleri), ulaştırma sektöründen (havayolu, karayolu, demiryolu ve denizyolu) ve diğer sektörlerden (evsel ısınma, tarım, ticaret vb.) kaynaklanan SO_2 , NO_x , CO, NMVOC, siyah karbon (BC) ve organik karbon (OC) kirleticilerinin emisyonları dikkate alınmıştır. Emisyon faktörleri seçiminde USEPA, CORINAIR, IPCC emisyon faktörleri veritabanlarından ve mevcut çalışmalarda kullanılan emisyon faktörlerinden yararlanılmıştır. Emisyon envanterinde, 1980’den 2003 yılına kadar olan geçmiş emisyonlar, 2000 yılı için şimdiki emisyonlar ile 2010 ve 2020 yılları için gelecek emisyon projeksiyonları yer almaktadır. Asya kıtasındaki toplam enerji tüketiminin iki katından daha fazla arttığı 1980–2003 zaman diliminde BC emisyonlarının %28, OC emisyonlarının %30, CO emisyonlarının %64, NMVOC emisyonlarının %108, SO_2 emisyonlarının %119 ve NO_x emisyonlarının da %176 arttığı belirtilmiştir. 2000 yılı için hesaplanan emisyon miktarlarına bakıldığında, en çok kirleticilerin Çin ve Hindistan’dan atmosfere salındığı belirlenmiştir. Toplam 42.8×10^6 ton olan SO_2 emisyonunun %65’i (27.6×10^6 ton) Çin’den %14’ü (6.1×10^6 ton) de Hindistan’dan kaynaklanmaktadır. SO_2 emisyonlarına sektörlere göre bakıldığında ise güç tesislerindeki kömür kullanımı %35’lik ve endüstrideki kömür kullanımı ise %28’lik bir paya sahiptir.

Ülkeler bazındaki NO_x, BC ve CO emisyonlarında ise benzer bir durumlar söz konusudur. Toplam 27.3×10^6 NO_x emisyonunun %65'i (11.2×10^6 ton) Çin'den, %17'si (4.7×10^6 ton) de Hindistan'dan gelmektedir. Başlıca NO_x emisyonlarının %34'ü ulaştırma sektöründekinden, %22'si güç tesislerindeki kömür kullanımından ve %14'ü de endüstrideki kömür kullanımından kaynaklanmaktadır. 2.73×10^6 ton BC emisyonunun da %40'ı (1.09×10^6 ton) Çin, %29'u (0.80×10^6 ton) Hindistan kaynaklıdır. Önde gelen BC emisyon kaynakları %60'lık pay ile biyo-yakıt kullanımı ve %20'lik pay ile evsel ısınmadaki kömür kullanımıdır. Toplam 306×10^6 tonluk CO emisyonunun %45'i (137×10^6 ton) Çin'den, %26'sı (137×10^6 ton) Hindistan'dan salınmaktadır. CO emisyonlarındaki önemli sektörler evsel biyo-yakıt kullanımı (%48), endüstrideki kömür kullanımı (%19), ulaştırma sektörü (%14) ve evsel ısınmada kömür kullanımıdır (%7). OC emisyonlarında ise toplam 8.88×10^6 tonluk emisyonun %37'si (3.27×10^6 ton) Hindistan'dan, %29'u (2.56×10^6 ton) Çin'den atmosfere salınmaktadır. Evsel ısınmadaki biyo-yakıt kullanımı toplam OC emisyonunun %90'ını oluşturmaktadır. Çin'deki emisyonların oldukça yüksek olduğu göz önünde bulundurularak 2010 ve 2020 yılları için üç farklı emisyon senaryosu hazırlanmıştır. Bunlar referans senaryosu, Çin'in emisyon azaltışını başarması senaryonu ve Çin'in emisyon azaltışını başaramaması senaryosudur. 2020 yılındaki referans senaryosu için Asya'daki toplam emisyonların 2000 seviyesine göre SO₂ emisyonlarında %22, NO_x emisyonlarında %44 ve NMVOC emisyonlarında ise %99 oranında artacağı öngörülmüştür. 2020 referans senaryosu için, fotokimyasal reaktivitenin göstergesi olan NMVOC/NO_x oranı 2000 yılı seviyesine göre 2.05 (g/g)'den 4.44 (g/g)'a yükselecek ve NO_x-kısıtlı rejim görülecektir. Dolayısıyla ozon konsantrasyonu artan NO_x konsantrasyonuna bağlı olarak artacak ve NMVOC konsantrasyonlarındaki değişime duyarsız olacaktır (Ohara et al. 2007).

Güç santralleri ve endüstriyel tesisler için gerçekleştirilen bir envanter çalışması ise Tayland'da yapılmıştır. Güç tesisleri için yakıtların yanmasından, sanayi tesisleri için de hem yakıtların yanması hem de yanma dışı emisyon kaynaklarına bakılmıştır. Güç tesislerindeki yakıtlardan kaynaklanan yıllık toplam emisyon miktarları 107.9×10^3 ton NO_x, 146.2×10^3 ton SO₂, 6.1×10^3 ton NMVOC, 47.0×10^3 ton CO, 1.8×10^3 ton NH₃, 1.5×10^3 ton OC (organik karbon), ve 1.5×10^3 ton BC (siyah karbon)'dur. Endüstriyel tesislerdeki yakıtlardan kaynaklanan yıllık toplam emisyon miktarları ise 111.4×10^3 ton NO_x, 476.9×10^3 ton SO₂, 33.4×10^3 ton NMVOC, 193.1×10^3 ton CO, 1.6×10^3 ton NH₃, 8.5×10^3 ton OC ve 8.0×10^3 ton BC'dur. Sanayi sektörleri içinde yiyecek ve içecek, kimya ve metal-dışı endüstrilerin kirlilikte payı büyüktür. Endüstriyel tesislerdeki yanma dışındaki proseslerden kaynaklı emisyon

miktarları ise 79.2×10^3 ton SO_2 , 76.0×10^3 ton NMVOC ve 4.8×10^3 ton CO'dir. Ayrıca emisyon envanteri sonucunda endüstriyel tesislerdeki NMVOC emisyonlarının yarısının petrol tesislerindeki kaçaklardan meydana geldiği belirtilmiştir (Pham et al. 2008).

Çin'deki 220 MW gücündeki antrasit kömür yakan bir güç tesisi için hazırlanan envantere ise partikül maddeler ve iz elementlerinin miktarları ortaya konulmuştur. USEPA AP-42 emisyon faktörlerinin kullanıldığı çalışmada küllerin parçacık boyutları belirlenmiş ve bu sayede $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} emisyon envanterleri hazırlanabilmiştir (Yi et al. 2008).

Emisyon envanterleri, sadece birincil kirleticiler için hazırlanmakla kalmayıp diğer çevre kirleticileri için de hazırlanabilir. Literatürde, çeşitli ölçeklerde, dioksinler ve furanlar olarak bilinen poliklorinated dibenzo-p-dioksinler ve poliklorinated dibenzofuranlar (PCDD/PCDF) için hazırlanan envanterler mevcuttur. PCDD/PCDF yağ dokusunda birikerek besin zinciri boyunca taşınan toksik kirleticilerdir. Tayvan'da, başlıca dioksin ve furan kaynaklarından salınan emisyonlar incelenmiştir. Katı atık yakma tesisleri için Tayvan Çevre Koruma İdaresi tarafından geliştirilen emisyon faktörleri seçilmiş geri kalan kirletici kaynakları için de USEPA emisyon faktörleri kullanılarak PCDD/PCDF emisyon envanteri hazırlanmıştır. Envanter sonuçlarına göre ülke genelinde yılda 67.25 g I-TEQ (International Toxic Equivalent System) dioksin emisyonu rapor edilmiştir. Toplam dioksin ve furan emisyonlarında ikincil bakır dökümü yaklaşık %40'luk pay ile başlıca sektördür. Diğer PCDD/PCDF emisyonları sırasıyla katı atık tesislerinden, çimento fırınlarından, elektrik ark fırınlarından, ikincil alüminyum dökümünden, endüstriyel yakıt yakılmasından ve güç santrallerinde kömür yakılmasından kaynaklanmaktadır (Chen 2004).

Toplam 17 Avrupa ülkesi için hazırlanan bir diğer envanter çalışmasında ise 1993–1995 yılları arasındaki PCDD/PCDF emisyonları hesaplanmıştır. Dioksinler ve furanlar için ulusal rapor hazırlayan ülkelerin raporları incelenmiştir. Seçilen kirletici kaynakları için PCDD/PCDF emisyonları, ortalama emisyon faktörleri kullanılarak yeniden hesaplanmıştır. Bulunan emisyon miktarlarının, rapor edilen değerlerin en az iki katı olduğu belirlenmiştir. 17 ülkenin yıllık PCDD/PCDF emisyonu 5545 g I-TEQ'dir. En önemli kirletici kaynakları ise katı atık yakma tesisleri ve demir cevheri sinter tesisleridir. Diğer emisyon kaynakları ise sırasıyla evsel ısınmada odun yakılması, tıbbi atıkların yakılması, yangınlar, demir-dışı metal üretimi ve motorlu taşıtlardır (Quaß 2000).

1997 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya eyaletinin Los Angeles bölgesinde gerçekleştirilen bir emisyon envanteri çalışmasında uzaktan algılama yöntemlerinden faydalanılmıştır. Eyalet genelindeki akaryakıt satış verileri ile infrared uzaktan algılama ölçüm sonuçları bir arada incelenerek araç başına ortalama 80 ± 7 g/litre CO ve 9.3 ± 1.5 g/litre VOC emisyonu olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışma sırasında farklı gelir seviyesine sahip bölgelerdeki emisyon oranları da karşılaştırılmış ve en düşük gelir seviyesine sahip olan bölgelerdeki motorlu taşıtlardan kaynaklı CO ve VOC emisyonlarının, en yüksek gelir seviyesine sahip olan bölgelerdeki motorlu taşıtlardan kaynaklı CO ve VOC emisyonlarına göre iki kat daha fazla olduğu belirlenmiştir (Singer and Harley 2000).

Emisyon envanterlerinin hava kalitesi modellemesi ile kullanıldığı bir çalışma ise Portekiz'in başkenti Lizbon'da yapılmıştır. Trafikten kaynaklanan emisyonların şehrin hava kalitesine etkisinin araştırıldığı çalışmada hem tabandan-tavana hem de tavandan-tabana yöntemler kullanılmıştır. Tabandan-tavana yöntemde sadece ana yollardaki trafik çizgisel kaynak olarak envantere dahil edilmiştir. Araç hızlarının kentsel bölgelerde 30 km/s, otoyollarda 120 km/s ve diğer yollarda da 70 km/s olduğu varsayımı yapılmıştır. Tipik bir yaz günü için CO, NO_x ve NMVOC emisyonları hesaplanmıştır. Tavandan-tabana yaklaşımda ise ülke genelindeki trafik emisyonları, alansal kaynak olarak düşünülmüş ve nüfus verileri ile orantılı olarak küçük parçalara ayrılmıştır. Daha sonra farklı iki yöntemden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Lizbon şehir geneli için iki farklı yöntemden gelen sonuçlar birbirine yakın çıkarken daha küçük ölçekli mahalleler için elde edilen sonuçlar oldukça farklı çıkmıştır. Bu farkın nüfus verilerinin mekansal dağılımlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Trafikten kaynaklanan emisyonların, hava kalitesine etkisinin anlaşılabilmesi için de envanter sonuçları, model girdisi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan model, Troposferik ozon konsantrasyonlarını belirlemek için geliştirilmiş olan Urban Airshed Model (UAM – CB IV) atmosferik taşınım modelidir. Meteorolojik verilerin elde edilmesi için de 3 boyutlu Colorado State University Mesoscale Model (CSUMM) meteorolojik modeli kullanılmıştır. UAM modeli, bir kez bütün emisyonlar modele dahil edilerek bir kez de trafikten kaynaklanan emisyonlar modele dahil edilmeden çalıştırılmıştır. Trafikten kaynaklanan emisyonlar modele dahil edildiğinde, Lizbon'daki troposferik ozon konsantrasyonunun pik değerinin $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e yükseldiği görülmüştür (Borrego 2000).

Emisyon envanterlerinin geçerliğinin kanıtlanması için, envanter sonuçlarının dış ortam hava kalitesi ölçümleri ve fotokimyasal hava kalitesi modeli ile birlikte kullanıldığı bir çalışma,

Brezilya'nın Sao Paulo kenti metropolitan bölgesinde gerçekleştirilmiştir. 1999 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında sabah 07:00 ve 08:00 saatleri arasında motorlu taşıtlardan kaynaklı NMVOC ve NO_x emisyonları ölçülmüştür. Sabah saatlerinin seçilmesinin nedeni fotokimyasal reaksiyonların ve biyogenik emisyonların en az, trafik yoğunluğunun ise maksimum düzeyde olmasıdır. Halihazırdaki mobil kaynaklar emisyon envanterindeki NMVOC/CO ve NO_x/CO oranları, dış ortamda ölçülen NMVOC/CO ve NO_x/CO oranları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, mevcut emisyon envanterindeki NO_x değerlerinin gerçektekinden oldukça fazla olduğu ve envanterdeki NMVOC değerlerinin de dış ortam ölçümlerine göre bir miktar az olduğu belirlenmiştir. Motorlu taşıtlar emisyon envanteri yeni bulgulara göre yukarıdan aşağıya yöntemle revize edilmiştir. Her iki emisyon envanteri, California Institute of Technology (CIT) airshed modeli ile 10–12 Ağustos 1999'da meydana gelen epizodu modellemek için kullanılmışlardır. Model girdisi olarak kullanılan meteorolojik veriler, CALMET 3 (Computer Aided Learning In Meteorology) boyutlu meteorolojik modelinden elde edilmiştir. 300 km × 150 km'lik alan 5 km × 5 km'lik gridlere bölünmüş ve iki farklı durum için CIT fotokimyasal modeli çalıştırılmıştır. CIT modeli çıktılarına göre, revize edilen emisyon envanterinin, gerçekte ölçülen ozon seviyelerini oldukça yakın olduğu görülmüştür (Vivanco and Andrade 2006).

2003 yılında yaz mevsimi Avrupa'da oldukça sıcak ve kurak geçmiş, oluşan sıcaklık epizodu sebebiyle ozon seviyeleri sıklıkla tehlike eşiğini aşmıştır. İsviçre'de yapılan bir çalışmada, sıcaklık epizodlarının gerçekleştiği dönemlerde, otoyollardaki hız limitinin 120 km/saat'ten 80 km/saat'e indirilmesiyle ozon konsantrasyonlarında meydana gelecek azalma miktarı incelenmiştir. 2000 yılı için hazırlanan ve NO_x, CO, NMVOC, CO₂ ve PM kirleticilerini içeren halihazırdaki envantere, trafikten kaynaklanan emisyonlar iki kategoriye bölünmüştür: bağlantılar ve zonlar. Otoyollar bağlantıları oluştururken, kentsel ve kırsal bölgeler ise zonları oluşturmuştur. Bağlantı yolları çizgisel, zonlar ise alansal kirleticiler olarak değerlendirilmiştir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon değerleri, hız sınırı 80 km/saat olacak şekilde yeniden düzenlenerek ikinci bir envanter elde edilmiştir. Hız sınırındaki değişiklikten sadece trafiğin hızlı aktığı otoyolların etkilendiği kabul edilmiştir. Daha sonra bu iki farklı senaryo Comprehensive Air Quality Model with extensions (CAMx) hava kalitesi modelinde girdi olarak kullanılmıştır. CAMx modelinin meteorolojik verileri, Mesoscale Model 5th generation (MM5) meteorolojik modeli yardımıyla elde edilmiştir. 2003 Ağustosundaki güneşli 4 gün için çalıştırılan model sonuçlarına göre hız sınırının azaltılmasından sonra trafik kaynaklı NO_x emisyonları %4 azalmış, VOC emisyonlarında ise

belirgin bir değişiklik olmamıştır. Pik ozon konsantrasyonu ise %1’den daha az azalmıştır. Dolayısıyla, sıcaklık episodlarının gerçekleştiği dönemlerde otoyollardaki hız sınırlamasını azaltılmanın yeterli bir çözüm olmadığı ortaya çıkmıştır (Keller et al. 2008).

Benzinli otomobillerdeki yakıt tüketim ve emisyon miktarlarının ölçüldüğü bir çalışmada, üç yollu katalizöre (TWC) sahip otomobiller ile katalizör bulunmayan otomobiller kıyaslanmıştır. Gerçek trafik şartlarında TWC’li otomobillerin CO, HC ve NO_x emisyonlarının katalizör bulunmayan otomobillere göre %70 daha düşük olduğu belirlenmiştir. TWC’li araçlar için emisyon miktarları şehir içinden kırsal bölgelere veya otoyola doğru seyahat ettikçe azalma eğilimindedir. Katalizörsüz araçlarda en yüksek NO_x emisyonları otoyol trafiğinde kaydedilmiştir. Agresif sürüş sırasında ise normal sürüşle oranla emisyonlar dört kata kadar artmaktadır. Ayrıca şehir trafiğinde agresif sürüşün %40 daha fazla yakıt tüketimine neden olduğu belirtilmiştir. Son olarak da “cold start” olarak bilinen araçların motorlarının soğukken çalıştırılması sırasında ortaya çıkan CO ve HC emisyonlarının sıcak motorun çalıştırılması (hot start) sırasındaki emisyonlardan oldukça fazla olduğu vurgulanmıştır (Vlieger 1997).

Flaman Teknolojik Araştırma Enstitüsü (VITO)’nun ölçüm yöntemleri kullanılarak yapılan bir çalışmada sürücünün davranışlarının ve trafik koşullarının otomobillerdeki yakıt tüketimini ve emisyon miktarlarını nasıl etkilediğı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda şehir trafiğindeki yakıt tüketimi ve emisyon miktarlarının en üst düzeyde olduğu belirtilmiştir. Çevre yollarındaki yakıt tüketimi şehir merkezine göre yarı yarıya düşüktür. Trafik yoğunluğunun yaşandığı saatlerde çevre yollarındaki emisyonların %10 ile %200 arasında arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, agresif sürüşün normal sürüşle göre %40 daha fazla yakıt tüketimine neden olduğu belirtilmiştir. Sürücü davranışları benzinli taşıtlardaki yakıt tüketimini daha fazla etkilemektedir (Vlieger et al. 2000).

2004 yılında Çin’in Şangay eyaletinde motorlu taşıtlar için aşağıdan yukarı yöntem ile hazırlanan bir emisyon envanterinde kirletici olarak CO, VOC, NO_x ve PM emisyonları hesaplanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre Şangay’daki motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar 57.06×10^4 ton CO, 7.75×10^4 ton VOC, 9.20×10^4 ton NO_x ve 0.26×10^4 ton PM’dir. Emisyonların %20’si motorun ilk çalışması sırasında atmosfere salınmaktadır. Kamyonlar ve otobüsler gibi ağır vasıtalar NO_x ve PM emisyonlarının yarısından sorumludurlar. VOC emisyonlarının %45’i PM emisyonlarının da %36.3’ü mopetler ve

motosikletler tarafından atmosfere salınmaktadır. Otomobiller ise başlıca CO kaynağıdır. Toplam emisyonların yarısından fazlası ana yollardaki trafikten kaynaklanmaktadır (Wang et al. 2008).

1994 yılında İngiltere'nin Kuzey Batı Bölümü'nde gerçekleştirilen bir envanter çalışmasında motorlu taşıtlardaki yakıt yanması ve buharlaşma gibi yanma dışı olaylardan kaynaklanan CO, NO_x, VOC ve PM emisyonları hesaplanmıştır. Farklı araç grupları, farklı yol türleri ve motorun soğuk çalıştırıldığı seyahat türlerine göre değişik emisyon profilleri hazırlanmıştır. Envanter sonuçları Arc Info yazılımı kullanılarak coğrafi bilgi sistemine aktarılmış ve emisyonların mekansal dağılımları ortaya konulmuştur (Lindley et al. 1999).

İtalya'nın Sardunya Adası'nda motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonları belirlemek için yapılan bir çalışmada aşağıdan yukarı teknik kullanılmış ve EMITRA (EMISSIONS from road TRANspot) modelinden faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda, Sardunya Adası'ndaki motorlu taşıtlar içinde en önemli kirleticinin, silindir hacmi 1.4 litreden daha küçük olan 1987 veya daha eski model benzinli araçlar olduğu belirlenmiştir (Bellasio et al. 2007).

1997 yılında Lübnan'da IPCC metodolojisinin kullanıldığı bir envanter çalışmasında motorlu taşıtlardan kaynaklanan sera gazlarının miktarları hesaplanmıştır. Emisyonların azaltılması için iki değişik senaryo hazırlanmıştır: taşıtların teknolojilerinin yenilenmesi ve trafiğin yeniden planlanması. Emisyon senaryolarının sonuçlarına göre taşıtlardaki teknolojilerin yenilenmesinin, gelecek yıllardaki seyahat talebinde gerçekleşecek artış nedeni ile etkili olmayacağı belirtilmiştir (El-Fadel and Bou-Zeid 1999).

Danimarka'da, motor hacmi 1.4 ve 2.0 litre olan araçlar üzerinde yapılan bir çalışmada CO, VOC ve NO_x emisyonları üç farklı model ile belirlenmiş ve ayrıca doğrudan ölçülmüştür. Emisyon miktarlarının belirlenmesinde COPERT II, German Workbook ve DTU (Technical University of Denmark) modelleri kullanılmıştır. Katalizörlü araçlar için yüksek hızlarda COPERT II yazılımının kullandığı emisyon faktörlerinden katalizör veriminin azaldığı ortaya çıksa da bu sonuç doğrudan ölçümler sonucunda doğrulanmamıştır. Emisyon faktörlerinin modelden modele değiştiği ve DTU modeli ile belirlenen CO emisyonlarının diğer modellere oranla %50 ile %70 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen VOC ve NO_x emisyonlarının, COPERT II ve German Workbook modelleri

sonuçlarında hesaplanan miktarlara göre sırasıyla %40 ve %50 oranında daha az olduğu belirtilmiştir (Winther 1998).

BÖLÜM 5

ÇALIŞMA ALANI VE HAVA KALİTESİ DURUMU

5.1 ÇALIŞMA ALANI COĞRAFİ VE TOPOGRAFİK ÖZELLİKLER

Batı Karadeniz kıyısına kurulmuş olan Zonguldak ilinin, kuzeyinde Karadeniz, kuzeydoğusunda Bartın, doğusundan Karabük, güneyinde Bolu ve batısında da Düzce illeri yer almaktadır. Zonguldak ili haritası Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Merkez, Alaplı, Çaycuma, Devrek, Gökçebey ve Ereğli ilçelerini kapsayan ilin yüzölçümü 3481 km²’dir. Zonguldak, Türkiye topraklarının %1.1’ini oluşturur. 2007 yılında hazırlanan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Veritabanı’na göre il genelindeki toplam nüfus 615890 kişidir. 19 mahallenin yer aldığı çalışma alanı Zonguldak Merkezdeki nüfus ise 107354 kişidir. Merkezdeki mahallelerin nüfusları ve alanları ile mahallelerde yer alan konut sayıları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir (TÜİK/ADNKS 2007). Şekil 5.2’de ise çalışma alanındaki 19 mahallenin haritası gösterilmiştir.

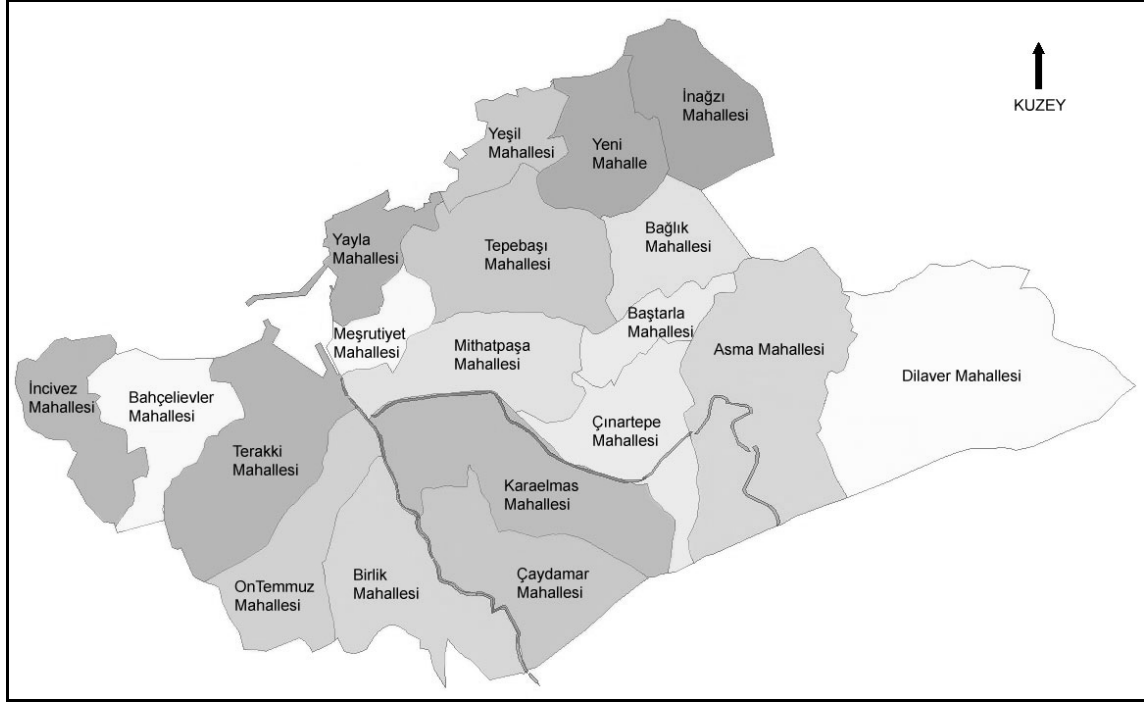
İlin %56’sını dağlar, %31’ini platolar ve %13’ünü de ovalar oluşturmaktadır. Ormanların kapladığı alan ise 186390 hektar olup il alanının yaklaşık %54’dür. İlin topografik yapısı hava kirliliğinde etkin rol oynamaktadır. İlin topraklarının sadece %29,17’si %20’den az eğimlidir. Çalışma alanı olarak seçilen Zonguldak şehir merkezinin etrafı dağlarla çevrili olup oldukça dik ve eğimli bir arazi yapısına sahiptir (Şekil 5.2). Kent merkezinin hemen arkasında yükselen dağlar ve engebeli arazi yapısı nedeniyle yeterince atmosferik dispersiyon oluşamamakta ve özellikle kış aylarında ve akşam saatlerinde yüksek oranda hava kirliliği görülmektedir (ZİÇDR 2006, Zeydan ve Yıldırım 2007b).



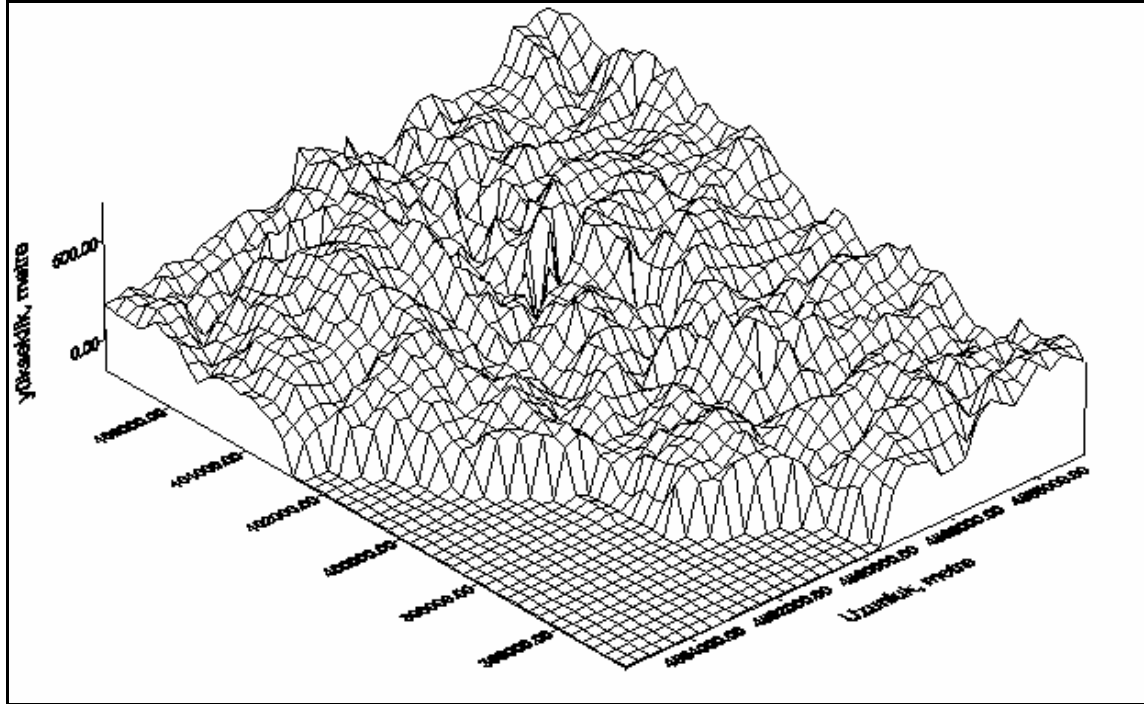
Şekil 5.1 Zonguldak ili haritası (HGK'dan 2008).

Çizelge 5.1 Çalışma alanındaki mahallelere ait bilgiler.

Mahalle Adı	Nüfus	Alanı (m ²)	Konut Sayısı
Asma	2791	2582399.994	1163
Bağlık	1459	818588.893	519
Bahçelievler	15549	982860.844	5020
Baştarla	3549	492461.866	1388
Birlik	4446	1446146.019	1860
Çaydamar	4469	1346978.043	1716
Çınartepe	3650	1171796.143	1037
Dilaver	2391	3126475.607	871
İnağzı	3201	1066925.760	1227
İncivez	3373	847352.776	885
Karaelmas	10108	1838851.748	3693
Meşrutiyet	7485	422430.927	3132
Mithatpaşa	9486	1191648.302	3317
On temmuz	4471	1137096.709	1772
Tepebaşı	11681	1560095.094	4251
Terakki	10819	1721465.145	4356
Yayla	1895	607467.876	573
Yeni	2841	926712.309	1071
Yeşil	3690	571685.850	1643
Toplam	107354	23859439905	39494



Şekil 5.2 Çalışma alanındaki mahalleler.



Şekil 5.3 Zonguldak il merkezi topografik haritası.

5.2 İKLİM DURUMU

İl genelinde Karadeniz iklimi görülmekte olup her mevsim yağışlı ve ılımandır. Yağışlar güneyden kuzeye doğru artmaktadır. Mevsimler arası sıcaklık farkı ile gece-gündüz sıcaklık farkı fazla değildir. Çalışma alanına ait meteorolojik veriler, deniz seviyesinden 137 metre yükseklikte bulunan, 41.27 enlem ve 31.48 boylam koordinatlı Zonguldak Meteoroloji İstasyonu'nda 1975–2005 yılları arasında yapılan gözlemlere dayanmaktadır. 31 yıllık rasat verilerine göre ortalama sıcaklık 13.6 °C, yıllık ortalama yağış 1240.9 mm, ortalama rüzgar hızı 2.4 m/s, ortalama bağıl nem oranı %68 ve ortalama yerel basınç ise 1000.1 milibar'dır. Zonguldak ili için uzun yıllar içinde gerçekleşen sıcaklık değerleri Çizelge 5.2'de, güneşlenme, yağış ve rüzgar değerleri Çizelge 5.3'de, basınç ve bağıl nem değerleri de Çizelge 5.4'de verilmiştir. Ayrıca, rüzgarın esme sayısı toplamını ve yönünü gösteren rüzgar diyagramı Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Zonguldak, Karadeniz'in en az yağış ve en fazla güneş ışını alan bölgesidir. (ZİÇDR 2006).

Meteorolojik olaylar hava kirliliğinde önemli rol oynamaktadır. Sera gazı özelliğine sahip ozon oluşumu özellikle güneşlenme süresiyle ve şiddetiyle orantılı olarak arttığı bilinmektedir (National Research Council 1992). Bu nedenle bölgede oluşacak ozon miktarının bilinmesi için birincil hava kirleticilerinin yanı sıra atmosferin güneşlenme (insolation) miktarının da bilinmesi gerekmektedir. Zonguldak iline ait ortalama güneşlenme süreleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Zonguldak ili için uzun yıllar içinde gerçekleşen sıcaklık değerleri (DMİ 2008).

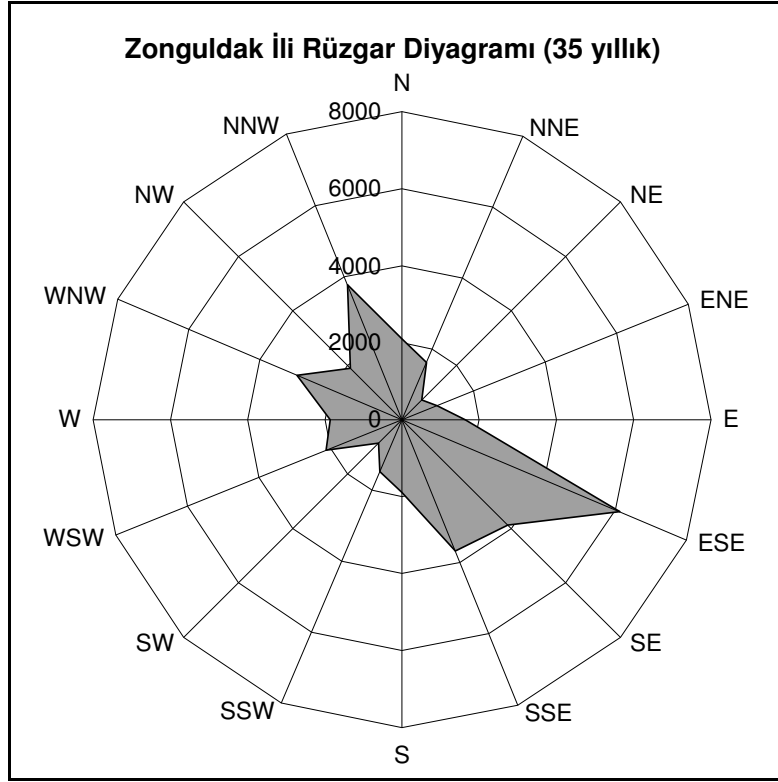
Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Mak. Sıcaklık (°C)	Ortalama Min. Sıcaklık. (°C)	Mak. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık (°C)
Ocak	6.2	9.2	3.5	24.1	-5.4
Şubat	5.8	9.0	3.0	26.0	-7.2
Mart	7.4	10.7	4.5	29.9	-6.4
Nisan	11.4	15.1	8.2	32.6	-2.1
Mayıs	15.2	18.6	11.9	35.6	3.2
Haziran	19.6	22.9	15.8	37.4	8.8
Temmuz	21.8	24.9	18.1	39.5	11.2
Ağustos	21.6	25.0	18.1	39.0	11.1
Eylül	18.5	22.3	15.3	34.0	6.6
Ekim	14.9	18.4	12.1	35.9	1.8
Kasım	11.1	14.6	8.4	29.9	-0.8
Aralık	8.0	11.1	5.4	24.4	-3.5

Çizelge 5.3 Zonguldak ili için uzun yıllar içinde gerçekleşen güneşlenme, yağış ve rüzgar değerleri (TCÇOB 2006, DMİ 2008).

Aylar	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Ortalama Yağış Miktarı (mm)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	En Hızlı Esen Rüzgar Hızı (m/s)	En Hızlı Esen Rüzgar Yönü
Ocak	2.3	18.1	130.1	2.8	25.6	S
Şubat	2.9	15.5	83.5	2.9	26.0	SSE
Mart	4.2	14.4	82.3	2.6	29.5	SSW
Nisan	5.5	13.0	61.3	2.4	31.5	SW
Mayıs	7.4	10.9	54.9	2.1	21.9	WSW
Haziran	9.6	9.2	70.5	2.0	27.1	WSW
Temmuz	10.1	8.1	86.7	2.1	23.8	WSW
Ağustos	9.4	7.9	99.5	2.3	31.5	WNW
Eylül	7.8	9.2	114.9	2.4	25.0	ESE
Ekim	5.2	13.1	154.2	2.5	25.5	WSW
Kasım	3.3	14.4	148.6	2.6	32.0	SSE
Aralık	2.3	18.1	154.4	2.8	26.1	SW

Çizelge 5.4 Zonguldak ili için uzun yıllar içinde gerçekleşen basınç ve bağıl nem değerleri (TCÇOB 2006, ZİÇDR 2006).

Aylar	Ortalama Yerel Basınç (hPa)	En Yüksek Yerel Basınç (hPa)	En Düşük Yerel Basınç (hPa)	Ortalama Bağıl Nem (%)	En Düşük Bağıl Nem (%)
Ocak	1002.6	1021.8	972.8	67.0	13.0
Şubat	1002.0	1020.2	978.2	66.0	8.0
Mart	1000.7	1022.2	975.0	66.0	13.0
Nisan	997.8	1016.2	980.0	67.0	16.0
Mayıs	998.6	1009.7	985.6	70.0	17.0
Haziran	997.6	1008.5	984.4	68.0	20.0
Temmuz	996.7	1006.3	985.1	71.0	21.0
Ağustos	997.4	1007.3	986.5	72.0	23.0
Eylül	1000.1	1013.4	985.4	70.0	21.0
Ekim	1002.6	1016.3	989.4	71.0	11.0
Kasım	1002.8	1017.9	981.8	66.0	11.0
Aralık	1002.4	1017.8	977.2	66.0	10.0



Şekil 5.4 Zonguldak ili rüzgar diyagramı (35 yıllık).

5.3 ZONGULDAK İLİNDE KULLANILAN YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ

Türkiye’de koklaşabilir taşkömürünün üretildiği tek havza olan Zonguldak’ta ısınmada kullanılan en önemli yakıt taşkömürüdür. Ayrıca ısınmada kullanılan diğer yakıt türleri ise sıvı yakıtlardan mazot ve fuel-oil, doğalgaz, linyit ve odundur. Zonguldak’ta hava kalitesinin iyileştirilmesi için evsel ısınmada ve sanayide kullanılan yakıtlarla ilgili bazı yasal düzenlemeler yapılmıştır. İl genelinde satılacak yerli ve ithal kömürlerin Çizelge 5.5’deki standartları sağlaması gerekmektedir. Sıvı yakıtlardan da, % 3,5 kükürt içeren 6 nolu fuel-oil’in, meskun mahal içinde ısınmada, sanayi ve üretim sektöründe (kükürtdioksit arıtma tesisleri bulunanlar hariç) kullanılması yasaklanmış, Tüpraş ürünü olan 6 nolu fuel-oil’in yalnızca kırsal kesimdeki yerleşim birimleri dışında kalan sanayi tesislerinde kullanılmasına izin verilmiştir. Benzer şekilde, TS 3082 EN 580 motorin standardını sağlamayan ve ucuz mazot olarak bilinen motorinler ile yüksek kükürtlü fuel-oilin satış ve kullanımı yasaklanmıştır. Üretimi Tüpraş tarafından yapılan ve en fazla % 1.5 kükürt içeren TÜPRAŞ (Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.) 615 kalorifer yakıtının sıvı yakıt olarak kullanılmasına izin verilmiştir (ZİÇDR 2006).

Ayrıca Zonguldak'ın Ereğli ve Çaycuma ilçelerinde ısınma amaçlı olarak doğalgaz kullanımına başlanmıştır fakat, çalışma alanı olan Zonguldak Merkez'de henüz doğalgaz yakıt olarak kullanılmamaktadır.

Çizelge 5.5 Zonguldak'ta satışına izin verilen kömürler ve özellikleri (ZİÇDR 2006).

Kömür Özellikleri	Yerli Kömür	İthal Kömür	Sanayi Kömürleri
Toplam Kükürt (Kuru bazda) (maks)	%2	% 0.9	%1 (+ %0.1)
Alt Isıl Değer (Orjinalde) (min)	4000 kcal/kg (-200 kcal/kg)	6200 kcal/kg	6200 kcal/kg (-500 kcal/kg)
Uçucu Madde (Kuru bazda)		%12-28 (+ %1)	%36 (+ %1)
Toplam Nem (Orjinalde) (maks)	%20	% 10	
Kül(Kuru Bazda) (maks)	%18	%14 (+ %1)	
Şişme İndeksi (maks)	1	1	
Boyut (mm)	18 - 150	18 - 150	0-50

5.4 HAVA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Çalışma alanında hava kalitesini etkileyen en önemli faktör yanma prosesleri sonucu atmosfere salınan kirleticilerdir. Yanma kaynaklı hava kirleticileri evsel ısınmadan, endüstriyel tesislerden ve motorlu taşıtlardan atmosfere salınmaktadır. Kötü koşullarda gerçekleşen yanma işlemi, yakıt olarak fosil yakıtların kullanımı, kalitesiz yakıtların kullanımı, bilinçsiz yakma ve yakma sistemlerinin bakımsız ve onarımsız olması hava kirliliğinin en önemli nedenleridir. Yakıtların tam yanma için gerekli standartları sağlamaması ve yakma sistemlerinin uygun olmaması sonucunda eksik yanma gerçekleşmekte ve karbon monoksit, hidrokarbonlar, uçucu organik bileşikler, partikül maddeler ve is gibi yan ürünler meydana gelmektedir (Yıldırım ve Uzun 2000, Zeydan ve Yıldırım 2007b).

5.4.1 Evsel Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği

Konutlarda kullanılan yakıtların kalitesiz oluşu, kayıt altına alınamayan kömür kullanımı, yakma sistemlerinin uygun olmayışı hava kirliliğinin başlıca sebepleridir. Evsel ısınmada kullanılan kömürlerin özellikleri yapılan bir çalışmada incelenmiş ve Çizelge 5.6'daki sonuçlar bulunmuştur. Yakıt olarak kullanılan özel sektör kömürlerinde kükürt oranı düşük olmakla beraber özellikle kül ve uçucu madde oranları oldukça yüksektir. Bu kömürler koklaşabilir olduğundan dolayı yanma sonrasında başta partikül madde olmak üzere uçucu

organik bileşikler, poliaromatik hidrokarbonlar, siyah karbon ve karbon monoksit gibi kirleticiler atmosfere salınmaktadır (Yıldırım ve Uzun 2000, Yıldırım 2004).

Çizelge 5.6 Yakıt olarak kullanılan taş kömürünün özellikleri (Yıldırım ve Uzun 2000).

Parametre	Lavvar Kömürü (yıkılmış ve elenmiş)			Özel Sektör Kömürleri		
	+50	18-50	Ara Ürün	Tüvenan		Elenmiş parçalanmış kömür
				X	Y	
Nem (%)	2	3	13	1.6	9.3	1.3
Kül (%)	13	13	39	19.4	29.4	26.6
Uçucu Madde (%)	27	27	18	30.6	26.7	27.9
Sabit Karbon(%)	57	56	29	48	34	62
Kükürt S Maksimum	0.8	0.8	0.8	0.7	0.61	0.76
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	7150	7100	3700	6038	4916	7320
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	6950	6900	3550	-	-	-

Tüvenan: ocaktan çıktığı andaki hali ile kömür; X ve Y farklı özel sektörler

5.4.2 Sanayi ve Güç Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliği

Zonguldak'ta hava kirliliğine sebep olan başlıca sanayi tesisleri Türkiye Taş Kömürü (TTK) Müesseseleri, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları (ERDEMİR) ve Çatalağzı Termik Santrali (ÇATES)'dir. TTK'ya ait müesseselerden atmosfere önemli oranlarda karbon monoksit, partikül madde ve özellikle ocak havalandırmalarından metan gazı salınmaktadır. Metan, sera gazı özelliğinden dolayı iklim değişikliği konusunda oldukça önemlidir. ERDEMİR oldukça yeni teknolojiye sahip olduğu için daha az oranda hava kirliliğine neden olmaktadır. Ancak tesis içindeki kireç fabrikalarından ve Sinter'den salınan karbon monoksit emisyonları oldukça yüksektir. Zonguldak'ın 17 km doğusunda Işıkveren mevkiine kurulmuş olan Çatalağzı Termik Santrali ülkemizin ilk termik santralidir. Temeli 1946 yılında atılıp 1948 yılında 129 MW gücünde elektrik üretimine başlayan Çatalağzı Termik Santrali (ÇATES-A) bölgede üretilen taş kömürüne göre tasarlanmıştır. ÇATES-A'da önceleri %14 kül oranına sahip kömür kullanılırken daha sonra kül oranı %50 olan kömür yakılmış ve atmosfere kabul edilebilir değerlerin 4.5-5 katı partikül madde salınmıştır. ÇATES-A'nın teknolojisinin eskiyip kapasitesinin yetersiz kalması nedeniyle, 1987 yılında inşaatına başlanan ÇATES-B'nin 1991 yılında hizmete girmesiyle ÇATES-A kapatılmıştır. ÇATES-B (Şekil 5.5) 2x150 MW gücündeki iki üniteden oluşmaktadır ve ÇATES-B'de kullanılan elektrofiltreler sayesinde partikül madde emisyonları kabul edilebilir düzeye indirilmiştir. Ayrıca, il sınırları

içerisinde faaliyet gösteren OYKA Kağıt Fabrikası, Filyos Ateş Tuğla Fabrikası, Çaytaş Ateş Tuğla Fabrikası, Yurtbay Tuğla Kiremit Fabrikası, Devrektaş Sunta ve Parke Fabrikası, Başoğlu Orman Ürünleri Sanayi ve Gökçe Yağ ve Ambalaj Sanayi gibi tesislerden kaynaklanan emisyonlar da zaman zaman sınır değerlerini aşmaktadır (Avcı 2005, ZİÇDR 2006, Zeydan ve Yıldırım 2007b).



Şekil 5.5 Çatalağzı Termik Santrali.

5.4.3 Trafikten Kaynaklanan Hava Kirliliği

Zonguldak'taki hava kirliliğinin bir diğer sebebi de motorlu taşıtlardır. İl genelinde trafiğe kayıtlı olan motorlu taşıtlarla ilgili veriler Çizelge 5.7'de gösterilmiştir. Şehir merkezinin çok dar bir alana toplanması ve çevre yolunun bulunmaması dolayısıyla motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği ana caddelerde ciddi problemler oluşturmaktadır. Eksoz gazı içinde azot oksitlerin %95'ini oluşturan azot monoksit (NO) atmosferde oksijenle reaksiyon sonucu azot dioksit (NO₂)'e dönüşmekte ve bu bileşikler uygun reaksiyon koşulları oluştuğunda asit yağmurlarına ya da ikincil kirletici olan troposferik ozon oluşumuna yol açmaktadır. Egzoz

gazlarından atmosfere salınan ve kanserojen etkilerinin olduğu bilinen uçucu organik bileşikler ise son yıllarda tüm dünyada ve ülkemizde oldukça önem arz eden bir konu haline gelmiştir. Zonguldak bölgesinde de bu konuda çalışmalar yapılmaktadır ve özellikle kış aylarında VOC konsantrasyonlarının kayda değer bir oranda olduğu bulunmuştur (Yıldırım 2007, Zeydan ve Yıldırım 2007b).

Çizelge 5.7 Zonguldak ilinde trafiğe kayıtlı olan motorlu taşıtlar (TUİK 2008).

Araç Cinsi	Aralık 2003	Aralık 2004	Aralık 2005	Aralık 2006	Aralık 2007	Şubat 2008
Otomobil	57874	47224	48937	51294	53657	53956
Minibüs	4305	4183	4447	4619	4617	4615
Otobüs	2003	1574	1612	1743	1981	1996
Kamyonet	10857	11445	12926	14890	16500	16796
Kamyon	6262	6359	6370	6502	6623	6686
Motorsiklet	3665	2854	3424	5076	5826	5859
Diğerleri	1836	303	320	380	457	451
Toplam	86802	73942	78036	84504	89661	90359

BÖLÜM 6

EMİSYON ENVANTERİ İLE SERA GAZLARI EMİSYONLARININ HESAPLANMASI

Çalışma alanı olan Zonguldak bölgesinde başlıca sera gazı emisyonları özellikle kış aylarında konut ve işyeri ısınmalarından, Çatalağzı Termik Santrali'nden ve trafikten kaynaklanmaktadır. Ayrıca madencilik faaliyetleri esnasında maden ocaklarının havalandırmasından günde 56 ton CH₄ gazı atmosfere salınmaktadır (ZİÇDR 2006). Maden ocaklarının havalandırmasından bir yılda atmosfere salınan CH₄ emisyonu ise:

$$56 \text{ ton CH}_4 / \text{gün} \times (365 \text{ gün} / \text{yıl}) = 20440 \text{ ton CH}_4 / \text{yıl} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bu çalışmada, Zonguldak ilinin 19 mahallesinde bulunan toplam 39494 konut ısınmasından, Çatalağzı Termik Santrali'nden ve trafikten kaynaklanan sera gazlarının emisyon miktarları CORINAIR, USEPA ve IPCC'de verilen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmış ve hesaplama yöntemleri ile kullanılan emisyon faktörleri aşağıda gösterilmiştir.

6.1 EVSEL ISINMADAN KAYNAKLANAN SERA GAZLARI

Çalışma bölgesinde, evsel ısınmadan kaynaklanan sera gazlarının ve troposferik ozon oluşumuna neden olan dolaylı sera gazlarının emisyonlarını hesaplayabilmek için konutlarda kömür tüketim anketi yapılmıştır. Anket çalışmasında kişilere yıllık tükettikleri kömür miktarları, kullandıkları kömürün lavvarlanmış olup olmadığı ve konutlardaki ısınma türü (soba veya kalorifer) sorulmuştur. Kömür tüketim anketine ait tanımlayıcı istatistikler Ek Açıklamalar A'da verilmiştir. Çeşitli mahallelerden toplam 220 kişi ile yüz yüze görüşülerek yapılan anketin sonuçlarına göre, konut başına ortalama kömür tüketimi 3.83 ton/yıl'dır. Tanımlayıcı istatistiklerden elde edilen sonuçlara göre Zonguldak Merkez'deki ortalama kömür tüketim miktarının ise %99 güven aralığında 3.63 ile 4.03 ton arasında olduğu tespit edilmiştir. Ankete katılan kişilerin %50.5'i soba, %49.5'i ise kalorifer ile ısındıklarını

belirtmişlerdir. Sobalı evlerdeki kömür tüketim ortalaması 3.37 ton/yıl iken, kaloriferli evlerdeki ortalama kömür tüketimi 4.30 ton/yıl'dır. Aradaki farkın, sobalı evlerde evin belirli bir bölümünün ısıtılmasından ve sobalı evlerdeki ısınmanın daha kısa süreli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ankete katılanlara ayrıca lavvarlanmış kömür kullanıp kullanmadıkları da sorulmuştur. Lavvarlanmış kömür kullananların oranı %26 olup bu gruptakilerin ortalama kömür tüketimleri 3.57 ton/yıl'dır. Lavvarlanmamış kömür kullananların oranı ise %74 olup ortalama kömür tüketimleri 3.93 ton/yıl'dır. Lavvarlanmış kömür tüketim ortalamasının daha az olmasının sebebi olarak da lavvarlanmış kömürlerin alt ısı değeri daha yüksek olması gösterilebilir.

6.1.1 USEPA AP-42 Emisyon Faktörleri ile Evsel Isınmadan Kaynaklanan Sera Gazları Emisyonlarının Hesaplanması

Taş kömürü için elle beslemeli kazanlarda kullanılacak olan kükürt dioksit, azot oksitler, metan dışı uçucu organik bileşikler, metan, karbon monoksit, karbon dioksit, diazot monoksit ve partikül maddeler (PM-filtrelenebilir ve PM₁₀) için emisyon faktörleri Amerikan Çevre Koruma Örgütünün yayınladığı ve AP 42 olarak bilinen Hava Kirleticileri Emisyon Faktörleri'nden seçilmiştir (Çizelge 6.1). Emisyon faktörü kalitesi CO₂ için "B", SO₂ için "D" ve diğer kirleticiler için de "E"dir. Karbondioksitin hesaplanmasında kömür içeriğindeki %karbon (%C) miktarı yikanmış ve elenmiş lavvar kömüründe 57'dir. Kükürt dioksitin hesaplanmasında kullanılan %kükürt (%S) değeri ise 0.8'dir (Yıldırım ve Uzun 2000, Zeydan ve Yıldırım 2008).

Çizelge 6.1 "Elle beslemeli" kazanlarda taşkömürü için emisyon faktörleri (USEPA 2008b).

Kirletici	Emisyon Faktörü (kg/ton kömür)	Emisyon Faktörü Kalitesi
SO ₂	14.074 × %S	D
NO _x	4.131	E
NM VOC	4.54	E
CH ₄	2.27	E
CO	124.85	E
CO ₂	32.96 × %C	B
N ₂ O	0.018	E
PM-filtrelenebilir	6.81	E
PM ₁₀	2.815	E

Çalışma alanında tüketilen yıllık kömür miktarı ise konut başına tüketim değerinin mahallelerdeki konut sayılarıyla çarpımları sonucunda elde edilmiştir. Evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonlar, Denklem 2.1 (Bölüm 2) kullanılarak, her mahalle için yıllık tüketilen toplam kömür miktarı ve elle beslemeli kazanlar için emisyon faktörlerinin çarpılması sonucunda hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 6.2’de verilmiştir. Bir örnek olarak Asma mahallesi için emisyon miktarlarının hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Asma mah. yıllık kömür tüketimi} = (\text{Asma mah. konut sayısı}) \times (\text{Ortalama kömür tüketimi})$$

$$\text{Asma mah. yıllık kömür tüketimi} = 1163 \text{ konut} \times 3.83 \text{ ton kömür / (konut yıl)}$$

$$\text{Asma mah. yıllık kömür tüketimi} = 4454.3 \text{ ton kömür / yıl}$$

Asma mahallesindeki evsel ısınmadan kaynaklanan emisyon miktarları:

$$\text{SO}_2 = 14.074 \times \%S \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{\text{ton kömür}}{\text{yıl}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$\text{SO}_2 = \frac{(14.074 \times 0.8) \times 4454.3}{1000} = 50.2 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{NO}_x = 4.131 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{\text{ton kömür}}{\text{yıl}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 18.4 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{NMVOC} = 4.54 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{\text{ton kömür}}{\text{yıl}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 20.2 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{CH}_4 = 2.27 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{\text{ton kömür}}{\text{yıl}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 10.1 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{CO} = 124.85 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{\text{ton kömür}}{\text{yıl}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 556.1 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{CO}_2 = 32.96 \times \%C \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{\text{ton kömür}}{\text{yıl}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$\text{CO}_2 = \frac{(32.96 \times 57) \times 4454.3}{1000} = 8368.4 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{N}_2\text{O} = 0.018 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{\text{ton kömür}}{\text{yıl}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 0.1 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$PM_{-filt} = 6.81 \left(\frac{kg}{ton \text{ kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{ton \text{ kömür}}{yıl} \right) \times \frac{1 ton}{1000 kg} = 30.3 \left(\frac{ton}{yıl} \right)$$

$$PM_{10} = 2.815 \left(\frac{kg}{ton \text{ kömür}} \right) \times 4454.3 \left(\frac{ton \text{ kömür}}{yıl} \right) \times \frac{1 ton}{1000 kg} = 12.5 \left(\frac{ton}{yıl} \right)$$

Diğer mahallelerdeki emisyon miktarları ise benzer şekilde hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Hesaplanan sera gazları emisyon miktarları kullanılarak her mahalle için SO₂, NMVOC, NO_x ve PM₁₀ kirlilik yükleri (KY) hesaplanmıştır. Kömür tüketiminin 181 günlük kış sezonunda (15 Ekim – 15 Nisan) tüketildiği varsayılmış ve mahalle başına düşen kirlilik yükleri belirlenen emisyon miktarlarının mahalle alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır (Özkan 2002). Asma mahallesi için SO₂, NMVOC, NO_x ve PM₁₀ kirlilik yüklerinin hesaplanması aşağıda gösterilmiştir. Diğer mahalleler için de benzer yöntem kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 6.3’de sunulmuştur.

$$KY = E \left(\frac{ton}{sezon} \right) \times \frac{1sezon}{181gün} \times \frac{1gün}{24saat} \times \frac{1saat}{60dakika} \times \frac{1dakika}{60saniye} \times \frac{10^{12}\mu g}{1ton} \times \frac{1}{Alan (m^2)}$$

$$KY \left(\frac{\mu g}{saniye \times m^2} \right) = \frac{Emisyon Miktarı}{Mahalle Alanı} \times \frac{10^{12}}{181 \times 86400}$$

$$KY_{SO_2} = \frac{50.2 ton SO_2 / sezon}{2582399.994 m^2} \times \frac{10^{12}}{86400} = 1.2 \left(\frac{\mu g}{saniye \times m^2} \right)$$

$$KY_{NO_x} = \frac{18.4 ton NO_x / sezon}{2582399.994 m^2} \times \frac{10^{12}}{86400} = 0.5 \left(\frac{\mu g}{saniye \times m^2} \right)$$

$$KY_{NMVOC} = \frac{20.2 ton NMVOC / sezon}{2582399.994 m^2} \times \frac{10^{12}}{86400} = 0.5 \left(\frac{\mu g}{saniye \times m^2} \right)$$

$$KY_{PM_{10}} = \frac{12.5 ton PM_{10} / sezon}{2582399.994 m^2} \times \frac{10^{12}}{86400} = 0.3 \left(\frac{\mu g}{saniye \times m^2} \right)$$

Çizelge 6.2 Zonguldak bölgesinde evsel ısınmadan kaynaklanan sera gazları emisyon miktarları.

Mahalle	Konut Sayısı	Kömür Tüketimi	Emisyon Miktarları (ton/yıl)								
			SO ₂	NO _x	NMVOC	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	PM-filt.	PM ₁₀
Asma	1163	4454.3	50.2	18.4	20.2	10.1	556.1	8368.4	0.1	30.3	12.5
Bağlık	519	1987.8	22.4	8.2	9.0	4.5	248.2	3734.5	0.0	13.5	5.6
Bahçelievler	5020	19226.6	216.5	79.4	87.3	43.6	2400.4	36121.4	0.3	130.9	54.1
Baştarla	1388	5316.0	59.9	22.0	24.1	12.1	663.7	9987.4	0.1	36.2	15.0
Birlik	1860	7123.8	80.2	29.4	32.3	16.2	889.4	13383.6	0.1	48.5	20.1
Çaydamar	1716	6572.3	74.0	27.2	29.8	14.9	820.5	12347.5	0.1	44.8	18.5
Çınartepe	1037	3971.7	44.7	16.4	18.0	9.0	495.9	7461.7	0.1	27.0	11.2
Dilaver	871	3335.9	37.6	13.8	15.1	7.6	416.5	6267.3	0.1	22.7	9.4
İnağzı	1227	4699.4	52.9	19.4	21.3	10.7	586.7	8828.9	0.1	32.0	13.2
İncivez	885	3389.6	38.2	14.0	15.4	7.7	423.2	6368.0	0.1	23.1	9.5
Karaelmas	3693	14144.2	159.3	58.4	64.2	32.1	1765.9	26573.0	0.3	96.3	39.8
Meşrutiyet	3132	11995.6	135.1	49.6	54.5	27.2	1497.6	22536.3	0.2	81.7	33.8
Mithatpaşa	3317	12704.1	143.0	52.5	57.7	28.8	1586.1	23867.5	0.2	86.5	35.8
On temmuz	1772	6786.8	76.4	28.0	30.8	15.4	847.3	12750.4	0.1	46.2	19.1
Tepebaşı	4251	16281.3	183.3	67.3	73.9	37.0	2032.7	30588.1	0.3	110.9	45.8
Terakki	4356	16683.5	187.8	68.9	75.7	37.9	2082.9	31343.6	0.3	113.6	47.0
Yayla	573	2194.6	24.7	9.1	10.0	5.0	274.0	4123.0	0.0	14.9	6.2
Yeni	1071	4101.9	46.2	16.9	18.6	9.3	512.1	7706.4	0.1	27.9	11.5
Yeşil	1643	6292.7	70.9	26.0	28.6	14.3	785.6	11822.2	0.1	42.9	17.7
Toplam	39494	151262.0	1703.1	624.9	686.7	343.4	18885.1	284179.0	2.7	1030.1	425.8

Çizelge 6.3 Zonguldak bölgesinde evsel ısınmadan kaynaklanan emisyon miktarları ve kirlilik yükleri.

Mahalle	Alanı (m ²)	Emisyon Miktarları (ton/yıl = ton/sezon)				Kirlilik Yükleri (µg/sn*m ²)			
		SO ₂	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	NMVOC	PM ₁₀
Asma	2582399.994	50.2	18.4	20.2	12.5	1.2	0.5	0.5	0.3
Bağlık	818588.893	22.4	8.2	9.0	5.6	1.7	0.6	0.7	0.4
Bahçelievler	982860.844	216.5	79.4	87.3	54.1	14.1	5.2	5.7	3.5
Baştarla	492461.866	59.9	22.0	24.1	15.0	7.8	2.9	3.1	1.9
Birlik	1446146.019	80.2	29.4	32.3	20.1	3.5	1.3	1.4	0.9
Çaydamar	1346978.043	74.0	27.2	29.8	18.5	3.5	1.3	1.4	0.9
Çınartepe	1171796.143	44.7	16.4	18.0	11.2	2.4	0.9	1.0	0.6
Dilaver	3126475.607	37.6	13.8	15.1	9.4	0.8	0.3	0.3	0.2
İnağzı	1066925.760	52.9	19.4	21.3	13.2	3.2	1.2	1.3	0.8
İncivez	847352.776	38.2	14.0	15.4	9.5	2.9	1.1	1.2	0.7
Karaelmas	1838851.748	159.3	58.4	64.2	39.8	5.5	2.0	2.2	1.4
Meşrutiyet	422430.927	135.1	49.6	54.5	33.8	20.4	7.5	8.2	5.1
Mithatpaşa	1191648.302	143.0	52.5	57.7	35.8	7.7	2.8	3.1	1.9
On temmuz	1137096.709	76.4	28.0	30.8	19.1	4.3	1.6	1.7	1.1
Tepebaşı	1560095.094	183.3	67.3	73.9	45.8	7.5	2.8	3.0	1.9
Terakki	1721465.145	187.8	68.9	75.7	47.0	7.0	2.6	2.8	1.7
Yayla	607467.876	24.7	9.1	10.0	6.2	2.6	1.0	1.0	0.7
Yeni	926712.309	46.2	16.9	18.6	11.5	3.2	1.2	1.3	0.8
Yeşil	571685.850	70.9	26.0	28.6	17.7	7.9	2.9	3.2	2.0
Toplam	23859439.905	1703.1	624.9	686.7	425.8	107.3	39.4	43.3	26.8

Zonguldak Merkez’de 39494 konutun yanma sezonu olarak yıllık kömür tüketimi 151262 tondur. Çizelge 6.2’ye göre çalışma alanındaki evsel ısınmadan kaynaklanan toplam sera gazları emisyon miktarları 1703.1 ton/yıl SO₂, 624.9 ton/yıl NO_x, 686.7 ton/yıl NMVOC, 343.4 ton/yıl CH₄, 18885.1 ton/yıl CO, 2.84×10^5 ton/yıl CO₂, 2.7 ton/yıl N₂O, 1030.1 ton/yıl filtrelenebilir PM ve 425.8 ton/yıl PM₁₀ olarak hesaplanmıştır. Emisyonları en çok olan mahalleler konut sayısının fazla olması nedeniyle Bahçelievler, Terakki, Tepebaşı, Karaelmas, Mithatpaşa ve Meşrutiyet mahalleleridir.

Çizelge 6.3’de ise evsel ısınmadan kaynaklanan SO₂, NO_x, NMVOC ve PM₁₀ kirleticileri için kirlilik yükleri hesaplanmıştır. SO₂ ve PM₁₀ başlıca birincil kirleticilerdir. NO_x ve NMVOC ise troposferik ozon oluşumuna yol açtığı için önemli kirleticilerdir. Çalışma alanına kış sezonu boyunca düşen toplam kirlilik yükleri 107.3 µg/sn×m² SO₂, 39.4 µg/sn×m² NO_x, 43.3 µg/sn×m² NMVOC ve 26.8 µg/sn×m² PM₁₀’dur. Kirlilik yükünün en yüksek olduğu iki mahalle Bahçelievler ve Meşrutiyet mahalleleridir. Bahçelievler mahallesindeki kirlilik yükleri 14.1 µg/sn×m² SO₂, 5.2 µg/sn×m² NO_x, 5.7 µg/sn×m² NMVOC ve 3.5 µg/sn×m² PM₁₀’dur. Meşrutiyet mahallesindeki kirlilik yükleri ise 20.4 µg/sn×m² SO₂, 7.5 µg/sn×m² NO_x, 8.2 µg/sn×m² NMVOC ve 5.1 µg/sn×m² PM₁₀’dur. Bu iki mahalledeki kirlilik yüklerinin yüksek çıkmasının en önemli nedeni nüfus yoğunluğudur. Bahçelievler ve Meşrutiyet mahallelerinin alanları diğer mahallelere göre daha az olup ve konut sayıları ise diğer mahallelere göre daha fazladır.

6.1.2 IPCC Emisyon Faktörleri ile Evsel Isınmadan Kaynaklanan Sera Gazları Emisyonlarının Hesaplanması

IPCC’de sera gazları olarak sadece CO₂, CH₄ ve N₂O bileşikleri verilmiştir. Evsel ısınmada taş kömürünün yanması için kullanılan IPCC emisyon faktörleri CO₂ için 94600 g/GJ, CH₄ için 300 g/GJ ve N₂O için de 1.5 g/GJ’dür (Çizelge 6.4) (IPCC 2008). Emisyon faktörlerinin birimi g/GJ olduğu için kullanılan yakıtların enerji miktarlarını hesaplamak gerekir. Enerji miktarı, tüketilen yakıt miktarının yakıtın alt ısı değeri ile çarpımına eşittir. Lavvarlanmış kömürler için alt ısı değeri 6900 kcal/kg alınmıştır (Çebi 2008). Lavvarlanmamış kömürler için de alt ısı değeri 4500 kcal/kg olduğu kabul edilmiştir. Zonguldak bölgesindeki 19 mahalledeki toplam konut sayısı 39494’dür (Çizelge 5.1). Kömür tüketim anketi sonuçlarına göre, konutların %26’sının lavvarlanmış kömür kullandığı ve yıllık tüketim ortalamalarının

3.57 ton olduğu; konutların %74'ünün lavvarlanmamış kömür kullandığı ve yıllık tüketim ortalamalarının 3.93 ton olduğu düşünülerek tüketilen kömürlerin enerji miktarları aşağıdaki gibi hesaplanır.

Lavvarlanmış kömür için:

$$\text{Enerji Miktarı} = 39494 \text{ konut} \times (\%26) \times 3.57 \left(\frac{\text{ton}}{\text{konut} \times \text{yıl}} \right) \times 6900 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times 4.186 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{GJ}}{\text{kcal}} \right)$$

$$\text{Enerji Miktarı} = 1058817 \left(\frac{\text{GJ}}{\text{yıl}} \right)$$

Lavvarlanmamış kömür için:

$$\text{Enerji Miktarı} = 39494 \text{ konut} \times (\%74) \times 3.93 \left(\frac{\text{ton}}{\text{konut} \times \text{yıl}} \right) \times 5400 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times 4.186 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{GJ}}{\text{kcal}} \right)$$

$$\text{Enerji Miktarı} = 2163551 \left(\frac{\text{GJ}}{\text{yıl}} \right)$$

Lavvarlanmış ve lavvarlanmamış kömürler için elde edilen enerji değerleri ile Çizelge 6.4'deki emisyon faktörlerinin çarpımları sonucunda çalışma alanındaki sera gazlarının emisyon miktarları bulunmuştur. CO₂ için hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir. Diğer kirleticiler için de benzer hesaplama yöntemi kullanılmış olup sonuçlar Çizelge 6.4'de sunulmuştur.

Lavvarlanmış kömür için:

$$\text{CO}_2 = 1058817 \left(\frac{\text{GJ}}{\text{yıl}} \right) \times 94600 \left(\frac{\text{g}}{\text{GJ}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000 \text{ g}} = 1.002 \times 10^5 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

Lavvarlanmamış kömür için:

$$\text{CO}_2 = 2163551 \left(\frac{\text{GJ}}{\text{yıl}} \right) \times 94600 \left(\frac{\text{g}}{\text{GJ}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000 \text{ g}} = 2.046 \times 10^5 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

Toplam CO₂ emisyon miktarı:

$$\text{CO}_2 = 1.002 \times 10^5 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right) + 2.046 \times 10^5 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right) = 3.048 \times 10^5 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

Çizelge 6.4 Evsel ısınmadan kaynaklanan sera gazları için IPCC taş kömürü emisyon faktörleri ve Zonguldak Merkez'deki emisyon miktarları.

Kirlenici	Emisyon Faktörü (g/Gj)	Emisyon Miktarı (ton/yıl)		
		Lavvarlanmış Kömür	Lavvarlanmamış Kömür	Toplam
CO ₂	94600	1.002×10 ⁵	2.046×10 ⁵	3.048×10 ⁵
CH ₄	300	317.65	649.07	966.71
N ₂ O	1.5	1.59	3.25	4.83

IPCC emisyon faktörleri ile hesaplanan emisyon miktarlarına göre çalışma alanındaki CO₂ emisyonu 3.048×10⁵ ton/yıl, CH₄ emisyonu 966.71 ton/yıl ve N₂O emisyonu da 4.83 ton/yıl'dır. CO₂, CH₄ ve N₂O gazları için USEPA emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan değerler 2.841×10⁵ ton/yıl CO₂, 343.4 ton/yıl CH₄ ve 2.7 ton/yıl N₂O'dur. İki farklı yöntem karşılaştırıldığında, IPCC emisyon faktörlerinin varsayılan değerlerinin biraz daha yüksek olduğu ve varsayılan değerlerden daha düşük rakamların kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5 Evsel ısınmadan kaynaklanan emisyon miktarlarının karşılaştırılması.

Kirlenici	Emisyon Miktarı (ton/yıl)	
	USEPA	IPCC
CO ₂	2.841×10 ⁵	3.048×10 ⁵
CH ₄	343.4	966.71
N ₂ O	2.7	4.83

6.2 ENERJİ SEKTÖRÜ (TERMİK SANTRAL) KAYNAKLI SERA GAZLARI

Taş kömürüne göre tasarlanmış olan 2×150 MW kapasiteli Çatalağzı Termik Santrali'nde kullanılan yakıt miktarları yılda 1.6×10⁶ ton kömür, 7200 ton fuel-oil 6 ve 480 ton motorindir (URL-2 2008). Termik santralde yakılan kömürün alt ısı değeri 3300 kcal/kg'dır (Kopaç ve Hilalci 2007). Fuel-oil ve motorinin alt ısı değerleri sırasıyla 9700 kcal/kg ve 10200 kcal/kg'dır (URL-3 2008). Çatalağzı Termik Santrali'nden kaynaklanan emisyonların hesabı CORINAIR, USEPA ve IPCC emisyon faktörleri kullanılarak üç farklı yöntem ile yapılmıştır.

6.2.1 CORINAIR Emisyon Faktörleri ile Enerji Sektörü (Termik Santral) Kaynaklı Emisyon Miktarlarının Hesaplanması

CORINAIR veritabanından, gücü 300 MW'tan düşük termik santrallerde yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan SO₂, NO_x, NMVOC, CH₄, CO, CO₂, N₂O, toplam katı partiküller (TSP), PM₁₀ ve PM_{2.5} için emisyon faktörleri seçilmiş ve Çizelge 6.6'te gösterilmiştir (URL-4 2007). Kullanılan yakıtların enerji miktarları, alt ısı değerleri ile yıllık tüketimin çarpımı olarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 6.7'da gösterilmiştir. Her bir yakıt türü atmosfere salınan emisyonlar Denklem 2.1 kullanılarak, enerji miktarı ve emisyon faktörlerinin çarpımı şeklinde hesaplanmıştır. Çatalağzı Termik Santralinden kaynaklanan sera gazı emisyonları Çizelge 6.8'de sunulmuştur.

Çizelge 6.6 Gücü 300 MW'tan düşük termik santraller için emisyon faktörleri (URL-4 2007).

Kirleticiler	Emisyon Faktörleri (g/Gj)		
	Kömür	Fuel Oil - 6	Motorin
SO ₂	41	283	23
NO _x	127	127	249
NMVOC	1.5	3	1.5
CH ₄	1.5	3	1.5
CO	10	15	15
CO ₂ (kg/Gj)	95	78	74
N ₂ O	0.8	2	2
TSP	3	3	5
PM ₁₀	2.6	3	5
PM _{2.5}	2.1	2.5	5

Kullanılan yakıtların enerji miktarları:

$$\text{Kömür} : 1.6 \times 10^6 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right) \times 3300 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times 4.186 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{GJ}}{\text{kcal}} \right) \times \frac{1000 \text{kg}}{1 \text{ton}} = 22102080 \left(\frac{\text{GJ}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{Fuel - oil} : 7200 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right) \times 9700 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times 4.186 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{GJ}}{\text{kcal}} \right) \times \frac{1000 \text{kg}}{1 \text{ton}} = 292350 \left(\frac{\text{GJ}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{Motorin} : 480 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right) \times 10200 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times 4.186 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{GJ}}{\text{kcal}} \right) \times \frac{1000 \text{kg}}{1 \text{ton}} = 20495 \left(\frac{\text{GJ}}{\text{yıl}} \right)$$

Çizelge 6.7 ÇATES’de kullanılan yakıtlara ait bilgiler.

Yakıt Türü	Yakılan Miktar (ton/yıl)	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	Enerji Miktarı (Gj/yıl)
Kömür	1.6×10^6	3300	22102080
Fuel Oil	7200	9700	292350
Motorin	480	10200	20495

ÇATES’de yakılan kömür için yıllık emisyonların hesaplanması:

$$SO_2 = 41 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 906.19 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$NO_x = 127 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 2806.96 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$NMVOC = 1.5 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 33.15 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$CH_4 = 1.5 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 33.15 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$CO = 10 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 221.02 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$CO_2 = 95 \left(\frac{kg}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000kg} = 2.1 \times 10^6 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$N_2O = 0.8 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 17.68 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$TSP = 3 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 66.31 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$PM_{10} = 2.6 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 57.47 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$PM_{2.5} = 2.1 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 46.41 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

Fuel-oil ve motorin içinde emisyon miktarları benzer şekilde hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 CORINAIR emisyon faktörleri ile hesaplanan ÇATES kaynaklı emisyonlar.

Kirleticiler	Emisyon Miktarı (ton/yıl)			
	Kömür	Fuel Oil - 6	Motorin	Toplam
SO ₂	906.19	82.74	0.47	989.39
NO _x	2806.96	37.13	5.10	2849.20
NM VOC	33.15	0.88	0.03	34.06
CH ₄	33.15	0.88	0.03	34.06
CO	221.02	4.39	0.31	225.71
CO ₂	2.1×10 ⁶	2.3×10 ⁴	1516.60	2.12×10 ⁶
N ₂ O	17.68	0.58	0.04	18.31
TSP	66.31	0.88	0.10	67.29
PM ₁₀	57.47	0.88	0.10	58.44
PM _{2.5}	46.41	0.73	0.10	47.25

CORINAIR emisyon faktörlerinin kullanılmasıyla Çatalağzı Termik Santrali'nden atmosfere salınan toplam emisyon miktarları hesaplanmıştır. Buna göre ÇATES kaynaklı toplam emisyonlar 989.39 ton/yıl SO₂, 2849.20 ton/yıl NO_x, 34.06 ton/yıl NM VOC, 34.06 ton/yıl CH₄, 225.71 ton/yıl CO, 2.12×10⁶ ton/yıl CO₂, 18.31 ton/yıl N₂O, 67.29 ton/yıl toplam katı partikül, 58.44 ton/yıl PM₁₀ ve 47.25 ton/yıl PM_{2.5}'dir.

6.2.2 USEPA Emisyon Faktörleri ile Enerji Sektörü (Termik Santral) Kaynaklı Emisyon Miktarlarının Hesaplanması

USEPA emisyon faktörü veritabanından, pulvarize taş kömürü yakan, kuru yataklı, yandan ateşlemeli santrallerde kömür ve fuel-oil 6 yanmasıyla ortaya çıkan SO₂, NO_x, NM VOC, CH₄, CO, CO₂, N₂O, PM-Filtrelenebilir, PM₁₀ ve toplam organik karbon (TOC) kirleticilerine ait emisyon faktörleri seçilmiştir. Seçilen emisyon faktörleri Çizelge 6.9'de gösterilmiştir. Fuel oil için N₂O ve PM₁₀ emisyon faktörü bulunmamaktadır. %S, %C ve %A sırasıyla yakıttaki kükürt, karbon ve kül oranını göstermektedir. Çatalağzı termik santralinde yakılan kömür için %S değeri 0.8, %C değeri 35 ve %A değeri de 45'dir (Durgun 2008). Fuel oil – 6'nın yoğunluğu 0.9861 kg/dm³ ve %S değeri de 2.8'dir (Ekinci 1993). Kükürt, karbon ve kül oranları kullanılarak, kömür ve fuel oil için kg/ton biriminde emisyon faktörleri türetilmiş ve Çizelge 6.9'de gösterilmiştir. Lb/ton'dan kg/ton'a geçiş yapabilmek için emisyon faktörü değeri 0.454 ile çarpılmıştır. Lb/1000gal'dan kg/1000dm³'e geçebilmek için emisyon faktörü 0.12 ile çarpılmıştır. SO₂ için kg/ton biriminden emisyon faktörlerinin türetilmesi aşağıda gösterilmiştir. Diğer kirleticiler için de benzer yöntemler kullanılmıştır. Motorinin yanması sonucunda ortaya çıkan SO₂, NO_x, CO, CO₂, PM₁₀ ve TOC emisyon

faktörleri de yine Çizelge 6.9’de sunulmuştur. Motorinin yanması sonucu atmosfere salınan kirleticileri için emisyon faktörlerinin birimi g/GJ’dir.

$$\text{Kömür} - \text{EF}(\text{SO}_2) = 38 \times \%S \left(\frac{\text{lb}}{\text{ton}} \right) = 38 \times 0.8 \left(\frac{\text{lb}}{\text{ton}} \right) \times 0.454 \left(\frac{\text{kg}}{\text{lb}} \right) = 13.80 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right)$$

$$\text{FuelOil6} - \text{EF}(\text{SO}_2) = 157 \times \%S \left(\frac{\text{lb}}{1000\text{gal}} \right) = \frac{157 \times 0.12 \left(\frac{\text{kg}}{1000 \text{ dm}^3} \right)}{0.9861 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} \times \%S$$

$$\text{FuelOil6} - \text{EF}(\text{SO}_2) = 0.0191 \frac{\text{kg SO}_2}{\text{kg FuelOil}} \times \frac{1000}{1000} \times 2.8 = 53.48 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right)$$

Çizelge 6.9 ÇATES için USEPA emisyon faktörleri (USEPA 2008b).

Kirleticiler	Emisyon Faktörleri				
	Kömür		Fuel Oil - 6		Motorin
	(lb/ton)	(kg/ton)	(lb/1000 gal)	(kg/ton)	(g/GJ)
SO ₂	38 × %S	13.80	157 × %S	53.48	124.70
NO _x	15	6.81	32	3.90	1896.30
NM VOC	0.06	0.03	0.76	0.09	
CH ₄	0.04	0.02	0.28	0.03	
CO	0.5	0.23	5	0.60	408.50
CO ₂	72.6 × %C	1153.61	25000	3040.00	70520.00
N ₂ O	0.08	0.04			
PM-Filtrelenebilir	10 × %A	204.30	9.19 × %S + 3.22	3.47	
PM ₁₀	2.3 × %A	46.99			133.30
TOC	0.1	0.05	1.04	0.126	154.80

Çizelge 6.9’deki, kömür ve fuel oil - 6 için olan emisyon faktörleri yıllık kömür ve fuel oil tüketimleri ile çarpılarak emisyon miktarları hesaplanmıştır. Motorin yanması sonucunda ortaya çıkan emisyonların hesaplanabilmesi için de emisyon faktörleri Çizelge 6.7’deki enerji miktarı ile çarpılmıştır. Aşağıda SO₂ için emisyon miktarlarının hesaplanması gösterilmiştir. Diğer kirletici emisyonları da benzer şekilde hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 6.10’da sunulmuştur.

$$\text{Kömür} - \text{E}(\text{SO}_2) = 13.80 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) \times 1.6 \times 10^6 \left(\frac{\text{ton kömür}}{\text{yıl}} \right) \times \left(\frac{1\text{ton}}{1000\text{kg}} \right) = 22082.56 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{FuelOil} - E(\text{SO}_2) = 53.48 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) \times 7200 \left(\frac{\text{ton FuelOil}}{\text{yıl}} \right) \times \left(\frac{1\text{ton}}{1000\text{kg}} \right) = 385.06 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{Motorin} - E(\text{SO}_2) = 124.70 \left(\frac{\text{g}}{\text{GJ}} \right) \times 20495 \left(\frac{\text{GJ}}{\text{yıl}} \right) \times \left(\frac{1\text{ton}}{1000000\text{g}} \right) = 2.56 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{Toplam} - E(\text{SO}_2) = 22082.56 + 385.06 + 2.56 = 22470.17 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

USEPA emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan ÇATES kaynaklı emisyon miktarları Çizelge 6.10'da gösterilmiştir. Çizelge 6.10'a göre ÇATES'den 22470.17 ton/yıl SO₂, 10962.94 ton/yıl NO_x, 44.25 ton/yıl NMVOC, 29.30 ton/yıl CH₄, 375.89 ton/yıl CO, 1.87×10⁶ ton/yıl CO₂, 58.11 ton/yıl N₂O, 3.27×10⁵ ton/yıl filtrelenebilir PM, 75185 ton/yıl PM₁₀ ve 76.72 ton/yıl TOC atmosfere salınmaktadır. USEPA emisyon faktörleri yakılan yakıtların içeriğini dikkate aldığından özellikle SO₂ ve PM emisyonları, CORINAIR emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan değerlere göre çok yüksektir.

Çizelge 6.10 USEPA emisyon faktörleri ile hesaplanan ÇATES kaynaklı emisyonlar.

Kirleticiler	Emisyon Miktarı (ton/yıl)			
	Kömür	Fuel Oil - 6	Motorin	Toplam
SO ₂	22082.56	385.06	2.56	22470.17
NO _x	10896.00	28.08	38.86	10962.94
NMVOC	43.58	0.66		44.25
CH ₄	29.06	0.24		29.30
CO	363.20	4.32	8.37	375.89
CO ₂	1.85×10 ⁶	21888.00	1445.28	1.87×10 ⁶
N ₂ O	58.11			58.11
PM-Filtrelenebilir	3.27×10 ⁵	24.98		3.27×10 ⁵
PM ₁₀	75182.40		2.73	75185.13
TOC	72.64	0.91	3.17	76.72

6.2.3 IPCC Emisyon Faktörleri ile Enerji Sektörü (Termik Santral) Kaynaklı Emisyon Miktarlarının Hesaplanması

Çatalağzı Termik Santrali'nden kaynaklanan CO₂, CH₄ ve N₂O sera gazları emisyonlarının hesaplanması için IPCC emisyon faktörü veritabanındaki varsayılan emisyon faktörleri

seçilmiş ve Çizelge 6.11’de gösterilmiştir. Uzun ömürlü sera gazlarının emisyonları, CORINAIR metodolojisinde olduğu gibi, emisyon faktörlerinin Çizelge 6.7’deki enerji miktarları ile çarpımları sonucunda hesaplanmıştır. Kömür yanması sonucunda oluşan CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarının hesaplanması aşağıda gösterilmiştir. Fuel oil – 6 ve motorin yanması sonucu oluşan diğer emisyonlar da benzer şekilde hesaplanmış ve Çizelge 6.12’de sunulmuştur.

Çizelge 6.11 ÇATES için IPCC emisyon faktörleri (IPCC 2008).

Kirleticiler	Emisyon Faktörleri (g/GJ)		
	Kömür	Fuel Oil 6	Motorin
CO ₂	94600	77400	74100
CH ₄	1	3	3
N ₂ O	1.5	0.6	0.6

Kömür için emisyon miktarlarının hesaplanması:

$$CO_2 = 94600 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 2.09 \times 10^6 \left(\frac{ton}{yıl} \right)$$

$$CH_4 = 1 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 22.10 \left(\frac{ton}{yıl} \right)$$

$$N_2O = 1.5 \left(\frac{g}{GJ} \right) \times 22102080 \left(\frac{GJ}{yıl} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000g} = 33.15 \left(\frac{ton}{yıl} \right)$$

Çizelge 6.12 IPCC emisyon faktörleriyle hesaplanan ÇATES kaynaklı emisyonlar.

Kirleticiler	Emisyon Miktarı (ton/yıl)			
	Kömür	Fuel Oil	Motorin	Toplam
CO ₂	2.09×10 ⁶	22627.91	1518.65	2.12×10 ⁶
CH ₄	22.10	0.88	0.06	23.04
N ₂ O	33.15	0.18	0.01	33.34

Çizelge 6.12’de IPCC emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan ÇATES kaynaklı emisyonlar gösterilmiştir. Çizelge 6.12’ye göre ÇATES’den yılda atmosfere 2.12×10⁶ ton CO₂, 23.04 ton CH₄ ve 33.34 ton N₂O salınmaktadır. Aynı kirleticiler için CORINAIR emisyon faktörleri kullanıldığında yıllık 2.12×10⁶ ton CO₂, 34.06 ton CH₄ ve 18.31 ton N₂O’nun atmosfere alındığı hesaplanmıştır (Çizelge 6.8). USEPA emisyon faktörleri kullanıldığında ise ÇATES’den yılda 1.87×10⁶ ton CO₂, 29.30 ton CH₄ ve 58.11 ton N₂O’nun

atmosfere salındığı hesaplanmıştır (Çizelge 6.10). CORINAIR, USEPA ve IPCC emisyon faktörleri ile hesaplanan uzun ömürlü sera gazları emisyon miktarlarının karşılaştırılması Çizelge 6.13’de gösterilmiştir. USEPA emisyon faktörleri kullanıldığında CO₂ emisyon miktarı diğer yöntemlerle hesaplanan miktarlara oranla daha düşük çıkmıştır. En yüksek CH₄ emisyon miktarı CORINAIR emisyon faktörleri kullanıldığında elde edilmiş olup aynı kirletici için en düşük değer ise IPCC emisyon faktörlerinin kullanımıyla bulunmuştur. N₂O için de en yüksek emisyon miktarını USEPA emisyon faktörleri, en düşük emisyon miktarını da CORINAIR emisyon faktörleri vermiştir.

Çizelge 6.13 Enerji sektörü (ÇATES) emisyonlarının karşılaştırılması.

Kirleticiler	Emisyon Miktarı (ton/yıl)		
	CORINAIR	USEPA	IPCC
CO ₂	2.12×10 ⁶	1.87×10 ⁶	2.12×10 ⁶
CH ₄	34.06	29.30	23.04
N ₂ O	18.31	58.11	33.34

6.3 TRAFİKİTEN KAYNAKLANAN SERA GAZLARI

Trafik kökenli kirleticiler içerisinde hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), dizel partikülleri, partikül maddeler ve bazı toksik etkili ağır metaller bulunmaktadır. CO ve HC emisyonları ağırlıklı olarak benzinli araçlardan kaynaklanırken NO_x hem benzinli hem de dizel araçlardan atmosfere salınır. Partikül maddeler ise dizel yakıt kullanımıyla ilişkilidir. Sera gazlarında etkili bir mekanizmaya sahip olan HC’lar, NO_x ve CO, atmosferde ikincil kirletici olarak bilinen troposferik ozonun oluşumunda etkili rol oynarlar (Winther 1998, Zeydan ve Yıldırım 2008).

Bu bölümde, Zonguldak il geneli ve insan faaliyetlerinin en yoğun olduğu il merkezinde araçların atmosfere saldıkları emisyonlar konusunda hesaplamalar yapılmıştır. Emisyonların hesaplanmasında kullanılan emisyon faktörleri literatürdeki çok sayıda kaynaktan derlenmiş ve Çizelge 6.14’de sunulmuştur (Colls 1997, Demircioğlu 1998, Schmitz et al. 2000, Borrego et al. 2000, CORINAIR 2007, Keller et al. 2008) Adı geçen kaynaklarda kullanılan emisyon faktörleri detaylı olarak Ek Açıklamalar C bölümünde verilmiştir. 40 km/saat’lik hızla seyahat eden ve sıvılaştırılmış petrol gaz (LPG) kullanan araçlar için emisyon faktörleri CORINAIR veri tabanındaki formüller kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\text{CO} : 12.523 - 0.418 \times V + 0.0039 \times V^2 = 12.523 - 0.418 \times 40 + 0.0039 \times 40^2 = 2.04 \text{ g/km}$$

$$\text{NO}_x : 0.77 \times V^{0.285} = 0.77 \times 40^{0.285} = 2.20 \text{ g/km}$$

$$\text{VOC} : 26.3 \times V^{-0.865} = 26.3 \times 40^{-0.865} = 1.08 \text{ g/km}$$

Çizelge 6.14 Şehir içi ve etrafındaki yollarda motorlu taşıtlar için emisyon faktörleri.

Araç Türü	Ort. Araç Hız (km/saat)	Emisyon Faktörleri (g/km)				Kaynak
		VOC	NO _x	CO	PM	
Otomobil Benzinli	41	2.02	3.25	8.0	-	Schmitz et al. 2000
Otomobil LPG	40	1.08	2.20	2.04	-	CORINAIR 2007
Otomobil Dizel	30 - 50	0.053	1.6	2.0	0.25	Schmitz et al. 2000, Demircioğlu 1998
Minibüs Dizel	30 - 50	1.02	6.82	2.85	0.25	Colls 1997
Otobüs Dizel	30 - 50	2.75	8.7	18.8	0.95	Demircioğlu 1998
Kamyonet Dizel	30 - 50	1.02	6.82	2.85	0.25	Colls 1997
Kamyon Dizel	35	0.98	10.5	2.61	0.4	Keller et al. 2008
Motorsiklet	30	10.98	0.03	22.36	-	Borrego et al. 2000
TIR ve Ağır Kamyonlar	35	0.84	14.69	5.89	1.60	Colls 1997

İl genelinde Karayolları Genel Müdürlüğü yetkilileri tarafından araç sayımı yapılmamaktadır. Bu nedenle, Zonguldak ili genelindeki araç sayıları TÜİK Ulaştırma İstatistikleri verilerinden alınmıştır. İl merkezi ve şehir merkezindeki araç sayıları ise Zonguldak Emniyet Müdürlüğü yetkililerinden alınan bilgiler doğrultusunda hesaplamalarda kullanılmıştır (ZEM 2007). Zonguldak İl geneli araç sayıları Çizelge 6.15'te, İl merkezi araç sayıları Çizelge 6.16'da ve Şehir merkezi trafik sayımları ise Çizelge 6.17'de verilmektedir. Zonguldak Emniyet Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen araç sayımında, araçların şehir merkezinde takip ettiği ana yollar Şekil 6.1'de uydu görüntüsü ile birlikte verilmektedir. TÜİK istatistiklerinde tır ve ağır kamyonlar ayrı bir kategoriye ayrılmamış olup bu taşıtlar dizel kamyonlara dahil edilmiştir.

Dizel yakıt kullanan otomobillerin sayısı ise Otomotiv Distribütörleri Derneği'nin yayınlamış olduğu bültenlerdeki dizel araç satış oranları kullanılarak hesaplanmıştır. Aralık 2005 – Aralık 2007 dönemini kapsayan bültenlerdeki toplam otomobil satışları içerisinde dizel araçların oranları tespit edilmiştir. Bu oranlar Aralık 2005'de %38, Aralık 2006'da %49, Nisan 2007'de %50 ve Aralık 2007'de % 53'dür (ODD 2008). Diğer aylara ait veriler doğrusal seriler elde edilerek hesaplanmıştır. TÜİK ulaştırma istatistiklerinden de aylık otomobil

sayılarına ulaşılmış ve aylar arasındaki farkların yeni otomobil satışlarından gerçekleştiği düşünülmüştür. Trafîğe kaydedilen yeni otomobillerin içinde dizel araçların oranı aylık olarak hesaplanıp Aralık 2005 – Aralık 2007 dönemindeki toplam dizel araç sayısı bulunmuştur. Hesaplamaların detayları Ek Açıklamalar B’de sunulmuş olup Zonguldak ili için dizel otomobillerin toplam otomobillere oranı %4.16 olarak tespit edilmiştir. Aralık 2005 öncesi dönemde satılan dizel araçlar da hesaplama katıldığında bu oran %5 olarak kabul edilmiştir. LPG’li otomobiller sayısının, toplam otomobil sayısına oranı ise TÜİK ulaştırma istatistikleri dikkate alınarak %15 kabul edilmiştir (TÜİK 2008).



Şekil 6.1 Zonguldak şehir merkezinde araç sayımı yapılan caddelerin uydu görüntüsünde belirtilmesi.

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonları hesaplanabilmesi için araçların yıllık ortalama seyahat mesafelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu mesafe, il genelindeki ve il merkezindeki emisyonların hesaplanmasında ortalama 10000 km/yıl olarak kabul edilmiştir. Şehir merkezinde ise taşıtların kat ettiği mesafe 3 km/gün’dür. Bu da 1095 km/yıl (= 3 km/gün × 365 gün/yıl) mesafesine karşılık gelmektedir.

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan sera gazları emisyon miktarları, araç sayılarının emisyon faktörleri ve seyahat mesafeleri ile çarpılması sonucunda hesaplanmıştır (Denklem 6.1). Aşağıda, il genelindeki benzinli otomobillerden kaynaklanan VOC, NO_x ve CO emisyon miktarlarının hesaplanması gösterilmiştir. İl geneli, il merkezi ve şehir merkezindeki tüm emisyonlar aynı yöntemle hesaplanmış olup il genelindeki emisyon miktarları Çizelge 6.15'te, il merkezindeki emisyon miktarları Çizelge 6.16'da ve şehir merkezindeki emisyon miktarları da Çizelge 6.17'de sunulmuştur.

$$E = \text{Araç Sayısı} \times \text{Seyahat Mesafesi} \times \text{Emisyon Faktörü} \quad (6.1)$$

İl genelindeki benzinli otomobiller için emisyon miktarları:

$$\text{VOC} = 40467 (\text{araç}) \times 10000 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{yıl}} \right) \times 2.02 \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000 \text{ g}} = 817.4 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{NO}_x = 40467 (\text{araç}) \times 10000 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{yıl}} \right) \times 3.25 \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000 \text{ g}} = 1315.2 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{CO} = 40467 (\text{araç}) \times 10000 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{yıl}} \right) \times 8.0 \left(\frac{\text{g}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{1000000 \text{ g}} = 3237.4 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

Çizelge 6.15 Zonguldak il geneli araç sayıları ve emisyon miktarları.

Araç Cinsi	Şubat 2008 Araç Sayıları	Emisyon Miktarları (ton/yıl)			
		VOC	NO _x	CO	PM
Otomobil Benzinli	40467	817.4	1315.2	3237.4	-
Otomobil LPG	10791	116.5	237.4	220.1	-
Otomobil Dizel	2697	1.4	43.2	53.9	6.7
Minibüs Dizel	4615	47.1	314.7	131.5	11.5
Otobüs Dizel	1996	54.9	173.7	375.2	19.0
Kamyonet Dizel	16796	171.3	1145.5	478.7	42.0
Kamyon Dizel	6686	65.5	702.0	174.5	26.7
Motorsiklet	5859	643.3	1.8	1310.1	-
Toplam	90359	1918	3933	5981	106

TUİK istatistiklerine göre Zonguldak ili genelinde trafiğe kayıtlı 90359 araçtan kaynaklanan emisyonlar 1918 ton/yıl VOC, 3933 ton/yıl NO_x, 5981 ton/yıl CO ve 106 ton/yıl PM'dir (Çizelge 6.15). İl genelindeki VOC emisyonlarının dörtte üçü, benzinli otomobillerden ve motorsikletlerden kaynaklanmaktadır. NO_x emisyonlarının yaklaşık üçte biri benzinli

otomobillerden atmosfere salınmaktadır. 1145.5 ton/yıl'lık emisyon miktarı ile dizel kamyonetler diğer önemli NO_x kaynağıdır. CO emisyonlarında ise sırasıyla 3237.4 ton/yıl ve 1310.1 ton/yıl emisyonlarla benzinli otomobiller ve motosikletler başlıca kirleticilerdir. PM emisyonlarında ise başlıca kirleticiler dizel yakıtlı kamyonetler, kamyonlar ve otobüslerdir.

Çizelge 6.16 Zonguldak il merkezi araç sayıları ve emisyon miktarları.

Araç Cinsi	30.09.2007 Araç Sayıları	Emisyon Miktarları (ton/yıl)			
		VOC	NO _x	CO	PM
Otomobil Benzinli	16822	339.8	546.7	1345.8	-
Otomobil LPG	4486	48.4	98.7	91.5	-
Otomobil Dizel	1121	0.6	17.9	22.4	2.8
Minibüs Dizel	2001	20.4	136.5	57.0	5.0
Otobüs Dizel	662	18.2	57.6	124.5	6.3
Kamyonet Dizel	5854	59.7	399.2	166.8	14.6
Kamyon Dizel	2992	29.3	314.2	78.1	12.0
TIR ve Ağır Kamyonlar	5244	44.0	770.3	308.9	83.9
Motorsiklet	2724	299.1	0.8	609.1	-
Toplam	41907	860	2342	2804	125

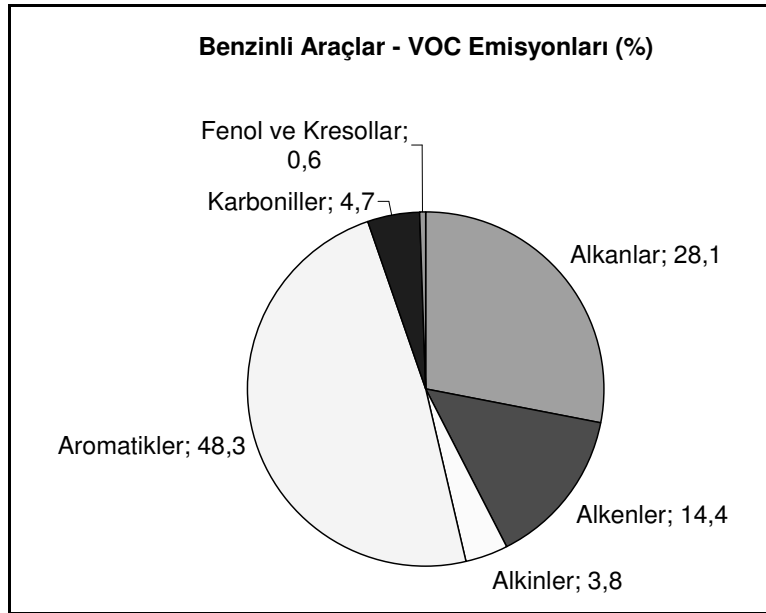
İl merkezindeki araç sayımlarından elde edilen veriler kullanılarak Merkez'deki emisyon miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 6.16'daki verilere göre 860 ton/yıl VOC, 2342 ton/yıl NO_x, 2804 ton/yıl CO ve 125 ton/yıl PM atmosfere salınmaktadır. VOC emisyonlarında en önemli kirleticiler benzinli otomobiller ve motosikletlerdir. NO_x emisyonlarında da otomobiller ilk sırayı alırken, tır ve ağır kamyonlar ikinci önemli NO_x kaynağıdır. CO emisyonlarının yaklaşık yarısı benzinli otomobillerden ve motosikletlerden kaynaklanmaktadır. PM emisyonlarında ise tır ve ağır kamyonlar en önemli kirleticilerdir.

Şehir merkezindeki araç sayımlarından elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan emisyon miktarları Çizelge 6.17'de sunulmuştur. Çizelge 6.17'ye göre 37 ton/yıl VOC, 100 ton/yıl NO_x, 120 ton/yıl CO ve 5 ton/yıl PM Zonguldak şehir merkezinde atmosfere salınmaktadır. VOC emisyonlarında en önemli kirleticiler benzinli otomobiller ve motosikletlerdir. NO_x emisyonlarında da otomobiller ile tır ve ağır kamyonlar başlıca NO_x kaynaklarıdır. CO emisyonlarının yarıdan fazlası benzinli otomobillerden ve motosikletlerden kaynaklanmaktadır. PM emisyonlarında ise tır ve ağır kamyonlar en önemli kirleticilerdir.

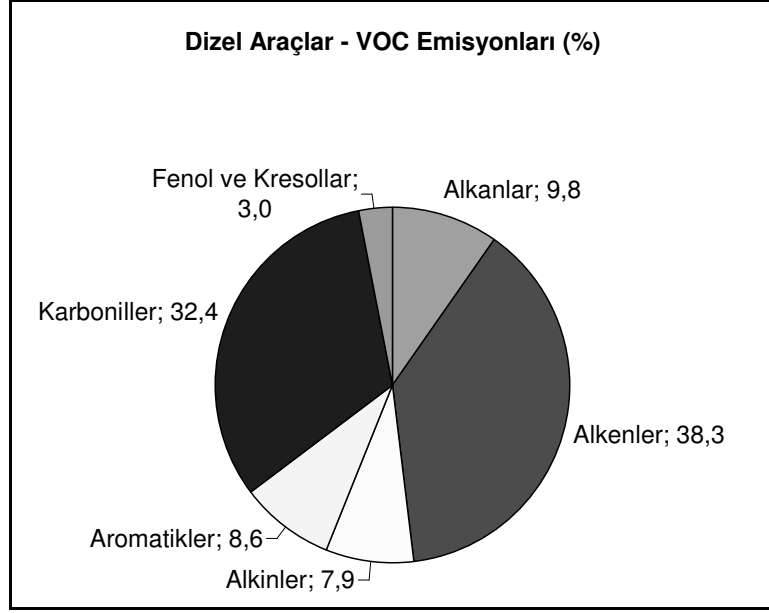
Çizelge 6.17 Zonguldak şehir merkezi araç sayıları ve emisyon miktarları.

Araç Cinsi	Şehir Araç Sayısı/gün	Emisyon Miktarları (ton/yıl)			
		VOC	NO _x	CO	PM
Otomobil Benzinli	6553	14.49	23.32	57.40	-
Otomobil LPG	1748	2.07	4.21	3.90	-
Otomobil Dizel	437	0.03	0.77	0.96	0.12
Minibüs Dizel	780	0.87	5.82	2.43	0.21
Otobüs Dizel	258	0.78	2.46	5.31	0.27
Kamyonet Dizel	2280	2.55	17.03	7.12	0.62
Kamyon Dizel	1165	1.25	13.39	3.33	0.51
TIR ve Ağır Kamyonlar	2043	1.88	32.86	13.18	3.58
Motorsiklet	1061	12.76	0.03	25.98	-
Toplam	16325	37	100	120	5

Schmitz et al. (2000) “Federal Test Presedürü”nü kullanarak yaptıkları çalışmada benzinli ve dizel otomobillerdeki VOC emisyonlarının miktarlarını ve VOC sınıflarını belirlemişlerdir. Benzinli ve dizel araçların VOC türleri % oranları Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen emisyon faktörleri ve Denklem 6.1 kullanılarak Zonguldak şehir merkezindeki VOC türlerinin miktarları hesaplanmıştır. Aşağıda, Zonguldak şehir merkezindeki benzinli otomobiller için VOC türleri miktarlarının hesapları örnek olarak gösterilmiştir. Dizel otomobillerden kaynaklanan emisyonların hesaplamaları da benzer şekilde yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6.18’de sunulmuştur.



Şekil 6.2 Benzinli araçların emisyonlarından kaynaklanan VOC türleri (Schmitz et al. 2000).



Şekil 6.3 Dizel araçların emisyonlarından kaynaklanan VOC türleri (Schmitz et al. 2000).

$$E_{\text{Alkan}} = 6553 (\text{araç}) \times 3 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{gün}} \right) \times 567.6 \left(\frac{\text{mg}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{10^9 \text{ mg}} \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} = 4.07 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$E_{\text{Alken}} = 6553 (\text{araç}) \times 3 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{gün}} \right) \times 291.7 \left(\frac{\text{mg}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{10^9 \text{ mg}} \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} = 2.09 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$E_{\text{Alkin}} = 6553 (\text{araç}) \times 3 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{gün}} \right) \times 77.3 \left(\frac{\text{mg}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{10^9 \text{ mg}} \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} = 0.55 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$E_{\text{Aromatik}} = 6553 (\text{araç}) \times 3 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{gün}} \right) \times 975.6 \left(\frac{\text{mg}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{10^9 \text{ mg}} \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} = 7.00 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$E_{\text{Karbonil}} = 6553 (\text{araç}) \times 3 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{gün}} \right) \times 95.1 \left(\frac{\text{mg}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{10^9 \text{ mg}} \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} = 0.68 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

$$E_{\text{Fenol ve Kresol}} = 6553 (\text{araç}) \times 3 \left(\frac{\text{km}}{\text{araç} \times \text{gün}} \right) \times 11.5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{km}} \right) \times \frac{1 \text{ ton}}{10^9 \text{ mg}} \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} = 0.08 \left(\frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \right)$$

Çizelge 6.18 Zonguldak şehir merkezindeki benzinli ve dizel otomobillerden kaynaklanan VOC emisyon miktarları.

Uçucu Organik Bileşikler	Benzinli Otomobiller		Dizel Otomobiller	
	Emisyon (ton/yıl)	%	Emisyon (ton/yıl)	%
Alkanlar	4.07	28.12	0.002	9.78
Alkenler	2.09	14.45	0.010	38.34
Alkinler	0.55	3.83	0.002	7.87
Aromatikler	7.00	48.33	0.002	8.64
Karboniller	0.68	4.71	0.008	32.35
Fenol ve Kresollar	0.08	0.57	0.001	3.01
Toplam VOC	14.49	100	0.025	100

Çizelge 6.18'e göre Zonguldak şehir merkezinde (şehir merkezi araç sayımına göre) benzinli otomobillerden kaynaklanan VOC emisyon miktarlarını 4.07 ton/yıl alkan bileşikler, 2.09 ton/yıl alken bileşikler, 0.55 ton/yıl alkin bileşikler, 7.00 ton/yıl aromatik bileşikler, 0.68 ton/yıl karbonil bileşikler ile 0.08 ton/yıl fenol ve kresol bileşikler oluşturmaktadır. Dizel yakıtlı otomobillerden kaynaklanan VOC emisyon miktarları ise 0.002 ton/yıl alkan bileşikler, 0.010 ton/yıl alken bileşikler, 0.002 ton/yıl alkin bileşikler, 0.002 ton/yıl aromatik bileşikler, 0.008 ton/yıl karbonil bileşikler ile 0.001 ton/yıl fenol ve kresol bileşiklerinden oluşmaktadır. Benzinli otomobillerde aromatikler, alkanlar ve alkenler en önemli 3 kirlletici VOC'lar olurken, dizel otomobillerde ise alkenler, karboniller ve alkanlar önemli kirlletici VOC'lardır. Atmosferik ömrü kısa olan ve yüksek reaktiviteye sahip aromatikler ve alkenler uzak mesafelere taşınamamakta ve yerel kirliliğe neden olmaktadır. Atmosferik ömrü uzun olan ve reaktivitesi düşük olan alkanların meteorolojik koşullara göre uzak mesafelere taşınmaları mümkündür (Xiao and Zhu 2003).

6.4 VOC/NOX ORANLARININ BELİRLENMESİ

Ozon oluşum fotokimyasal reaksiyonlarında organik bileşiklerin hangisinin etkili olduğunu bilmek için VOC/NOx oranından faydalanılır. Hesaplanan VOC/NOx oranına göre tepkimelerin VOC limitli veya NOx limitli tepkimeler olduğu söylenebilir. Bu sayede de ozon seviyelerini kontrol altında tutabilmek için hangi öncü gazların emisyonlarının kontrol edileceğine karar verilir. VOC/NOx oranı bir çok ülkede yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. NMVOC/NOx oranı Çin'in Guangzhou şehri için 30, Stuttgart için 3.9 ve Almanya'daki şehirleri için 3.5 ile 7.4 arasında hesaplanmıştır (Fenger et al. 1999, Xiao and Zhu 2003 Niedojadlo 2005).

Çalışma alanındaki evsel ısınmadan, enerji sektöründen (termik santral) ve trafikten kaynaklanan emisyonlar için VOC/NO_x oranları Çizelge 6.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.19’a göre çalışma alanındaki VOC/NO_x oranları tüm kirletici kaynakları için VOC limitli bölgede çıkmıştır. VOC/NO_x oranının 10’dan küçük olduğu durumlarda ozon oluşumunu kontrol altında tutabilmek için VOC emisyonlarının azaltılması etkili olacaktır (URL–1 2008). Fotokimyasal tepkimeler VOC limitli olduğu için NO_x emisyonlarında meydana gelecek azalma ise ozon konsantrasyonlarında artış ile sonuçlanacaktır.

Çizelge 6.19 Çalışma alanındaki VOC/NO_x oranları.

Kirletici Kaynağı	VOC	NO_x	VOC/NO_x	Fotokimya
Evsel Isınma (USEPA)	686.7	624.9	1.099	VOC limitli
ÇATES (CORINAIR)	34.06	2849.20	0.012	VOC limitli
ÇATES (USEPA)	44.25	10962.94	0.004	VOC limitli
Trafik İl Geneli	1918	3933	0.488	VOC limitli
Trafik İl Merkezi	860	2342	0.367	VOC limitli
Trafik Şehir Merkezi	37	100	0.370	VOC limitli

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sera gazı emisyonlarının doğrudan ölçülemediği durumlarda emisyon miktarlarını belirlemek için emisyon envanterleri sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Sera etkisi son zamanlarda daha iyi anlaşılan troposferik ozon, atmosferde ikincil kirletici olarak oluştuğu için öncü gazları olan azot oksitlerin ve uçucu organik bileşiklerin emisyonlarının da envanter çalışmalarına dolaylı sera gazları olarak dahil edilmesi gereklidir.

Bu çalışmada, Zonguldak Bölgesindeki evsel ısınmadan, enerji sektöründen (Çatalağzı Termik Santrali) ve trafikten kaynaklanan sera gazlarının emisyon envanteri hazırlanmıştır ve oluşacak ozon miktarlarının VOC ya da NO_x limitli olduğu irdelenmiştir.

Yapılan anket sonuçlarına göre Zonguldak Bölgesi'nde (19 mahalle dahil) sobalı evlerde ortalama kömür tüketiminin 3.37 ton/konut.mevsim iken bu değer kaloriferli evler için 4.30 ton/konut.mevsim olarak bulunmuştur. İl genelinde ısınma amaçlı kullanılan kömürlerin %26'sı lavvarlanmış, %74'ü lavvarlanmamış kömürler olarak tespit edilmiştir.

Zonguldak ilindeki 19 mahallede yer alan toplam 39494 konutun kış sezonu boyunca tükettiği toplam kömür miktarı 151262 ton olarak bulunmuştur. USEPA ve IPCC emisyon faktörleri kullanılarak evsel ısınmadan kaynaklanan sera gazları emisyonları hesaplanmıştır. USEPA emisyon faktörleri kullanıldığında atmosfere salınan toplam emisyon miktarları 1703.1 ton/yıl SO₂, 624.9 ton/yıl NO_x, 686.7 ton/yıl NMVOC, 343.4 ton/yıl CH₄, 18885.1 ton/yıl CO, 2.84×10^5 ton/yıl CO₂, 2.7 ton/yıl N₂O, 1030.1 ton/yıl filtrelenebilir PM ve 425.8 ton/yıl PM₁₀ olarak hesaplanmıştır. IPCC'de sera gazları olarak sadece CO₂, CH₄ ve N₂O dikkate alındığından bu bileşiklerin emisyon faktörleri kullanıldığında ise emisyon miktarları 3.048×10^5 ton/yıl CO₂, 966.71 ton/yıl CH₄ ve 4.83 ton/yıl N₂O olarak hesaplanmıştır. Kirlilik yükünün en yüksek olduğu iki mahalle ise Bahçelievler ve Meşrutiyet mahalleleri olarak tespit edilmiştir.

Enerji sektöründen (ÇATES) kaynaklanan emisyon miktarlarının hesaplanmasında CORINAIR, USEPA ve IPCC emisyon faktörü veritabanları ayrı ayrı kullanılmıştır. CORINAIR emisyon faktörlerinin kullanılmasıyla ÇATES'den atmosfere salınan toplam emisyon miktarları 989.39 ton/yıl SO₂, 2849.20 ton/yıl NO_x, 34.06 ton/yıl NMVOC, 34.06 ton/yıl CH₄, 225.71 ton/yıl CO, 2.12×10⁶ ton/yıl CO₂, 18.31 ton/yıl N₂O, 67.29 ton/yıl toplam katı partikül, 58.44 ton/yıl PM₁₀ ve 47.25 ton/yıl PM_{2.5} olarak hesaplanmıştır. USEPA emisyon faktörleri kullanıldığında ise hesaplanan emisyon miktarları 22470.17 ton/yıl SO₂, 10962.94 ton/yıl NO_x, 44.25 ton/yıl NMVOC, 29.30 ton/yıl CH₄, 375.89 ton/yıl CO, 1.87×10⁶ ton/yıl CO₂, 58.11 ton/yıl N₂O, 3.27×10⁵ ton/yıl filtrelenebilir PM, 75185 ton/yıl PM₁₀ ve 76.72 ton/yıl TOC'dir. IPCC emisyon faktörleri ile hesaplanan emisyon miktarlarına göre ÇATES'den yılda atmosfere 2.12×10⁶ ton CO₂, 23.04 ton CH₄ ve 33.34 ton N₂O salınmaktadır. Bu sonuçlara göre bazı sera gazları emisyonları kullanılan yöntemle göre değişiklik göstermektedir.

Trafikten kaynaklanan sera gazları emisyonlarının miktarlarını hesaplanmada kullanılacak emisyon faktörlerini belirlemek için, oldukça geniş kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve emisyon faktörleri ülkemizin şartlarına uygun olarak derlenmiştir. Resmi istatistikler kullanılarak Zonguldak'taki dizel yakıtlı otomobil sayısı toplam otomobil sayısının %5'i ve LPG'li yakıt kullanan otomobil sayısı da toplam otomobil sayısının %15'i olarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Trafikten kaynaklanan emisyonlarda il geneli (ilçeler dahil), il merkezi (Merkez ilçe) ve insan faaliyetlerinin en yoğun olduğu şehir merkezi için ayrı ayrı hesap yapılmıştır. Zonguldak ili genelinde trafiğe kayıtlı 90359 araçtan kaynaklanan emisyon miktarları 1918 ton/yıl VOC, 3933 ton/yıl NO_x, 5981 ton/yıl CO ve 106 ton/yıl PM olarak hesaplanmıştır. İl merkezindeki araç sayımları kullanılarak hesaplanan emisyon miktarları ise 860 ton/yıl VOC, 2342 ton/yıl NO_x, 2804 ton/yıl CO ve 125 ton/yıl PM'dir. Zonguldak şehir merkezinde ise yılda 37 ton VOC, 100 ton NO_x, 120 ton CO ve 5 ton PM atmosfere salınmaktadır.

Troposferik ozon oluşumunda etkili olan VOC/NO_x oranları hesaplandığında fotokimyasal denklemlerin VOC limitli fazda gerçekleştiği belirlenmiştir. Ancak, bu çalışmada biyogenik kaynaklı VOC emisyonları hesaplanmadığı için VOC/NO_x oranlarının gerçekte daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Bu tez çalışması sırasında karşılaşılan en önemli zorluklar aktivite istatistiklerinin elde edilmesi sırasında yaşanmıştır. Bu konularda devlet kurumlarına bazı görevler düşmektedir. Örneğin TUİK Ulaştırma İstatistikleri'ndeki otomobil sayılarının benzinli otomobil, dizel otomobil ve LPG'li otomobil şeklinde ayrı ayrı verilmesi gerekir. Benzer şekilde kamyon sayıları, kamyon ve tır olarak ayrı ayrı verilmelidir. Ayrıca, ülkemiz şartlarına uygun emisyon faktörü veritabanının bulunmaması da diğer bir sorundur. Bu çalışmadaki hesapların yapılmasında USEPA, CORINAIR ve IPCC emisyon faktörleri ayrı ayrı kullanılmıştır fakat, elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar görülmektedir. Bu nedenle “ulusal emisyon envanteri veritabanı” bir an önce Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanmalı ve kullanılmaya başlanmalıdır.

Emisyon envanterinde hesaplanan emisyon miktarlarının geçerliği ancak dış ortamda yapılacak ölçümler (emisyon) ile mümkündür. Ancak, Ulusal Hava Kalitesi İzleme izleme ölçüm istasyonlarında sadece SO₂ ve PM ölçümleri yapılmaktadır. Sera etkisi, halk sağlığı ve ekosistemler üzerine olumsuz etkileri de düşünüldüğünde, yer seviyesi ozonu konsantrasyonunun diğer gelişmiş ülkelerde olduğu gibi sürekli ve düzenli olarak ölçülmesi gerekmektedir.

Hazırlanan bu emisyon envanterinin güncel olarak kalabilmesi için de sürekli yeni verilerin envantere eklenmesi gereklidir. Ayrıca, envanteri geliştirebilmek için Zonguldak'ta yer alan diğer ilçelerdeki ısınma faaliyetleri, sanayi tesisleri ve biyogenik kaynaklı emisyonlar da envantere dahil edilmelidir.

Emisyon envanterleri, hava kalitesi modelleri ile birlikte kullanıldıklarında daha da değer kazanırlar. Fotokimyasal modellerin girdi verilerini oluşturan envanter verileri sayesinde yer seviyesindeki ozon miktarlarını belirlemek mümkün olabilecektir. Fotokimyasal modeller kullanılarak, özellikle sıcak güneşli günlerde, yer seviyesi ozonunun yüksek konsantrasyonlara ulaşması önceden tahmin edilebileceği ve halk sağlığı açısından yerel yönetimlerin gerekli tedbirleri alabileceği erken uyarı sistemi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ağaçayak T** (2007) Kişisel görüşme, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, Kocaeli
- Ahrens C D** (2000) *Essentials of Meteorology An Invitation to the Atmosphere*, 3rd Ed., Brook/Cole Publishing Company, U.S.A., 454 s.
- Altwicker E R, Canter LW, Cha S C, Chaung K T, Liu D H F, Ramachandran G, Rauffer R K, Reist P C, Sanger AR, Turk A and Wagner C P** (1999) Pollutants: Sources, Effects, and Dispersion Modelling, *Environmental Engineer's Handbook*, Eds D.H.F. Liu, B.G. Liptak, CRC Press LLC, U.S.A., 1431 s.
- Apak G ve Ubay B** (2007) *Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirim Raporu*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 274 s.
- Atkinson R** (2000) Atmospheric chemistry of VOCs and NO_x, *Atmospheric Environment*, 34: 2063–2101
- Avcı S** (2005) Türkiye’de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 13: 1–26
- Bell M L, Goldberg R, Hogrefe C, Kinney P L, Knowlton K, Lynn B, Rosenthal J, Rosenweig C and Patz J A** (2007) Climate change, ambient ozone, and health in 50 US Cities, *Climatic Change*, 82: 61–76
- Bellasio R, Bianconi R, Corda G and Cucca P** (2007) Emission inventory for the road transport sector in Sardinia (Italy), *Atmospheric Environment*, 41: 677–691
- Borrego C, Tchepel O, Barros N and Miranda A I** (2000) Impact of road traffic emissions on air quality of the Lisbon region, *Atmospheric Environment*, 34: 4683–4690
- Boubel R W, Fox D L, Turner D B and Stern A C** (1994) *Fundamentals of Air Pollution*, 3rd Ed., Academic Press, U.S.A., 574 s.
- Chen C M** (2004) The emission inventory of PCDD/PCDF in Taiwan, *Chemosphere*, 54: 1413–1420
- Colls J** (1997) *Air Pollution – An Introduction*, E. & FN Spon, London, 342 s.
- Colls J** (2002) *Air Pollution*, 2nd Ed., Taylor & Francis, U.S.A., 360 s.
- CORINAIR** (2007) EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2007, <http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR5/en/page002.html>, (30.06.2008)

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Çebi N** (2008) Kişisel görüşme, Türkiye Taşkömürü Kurumu, Zonguldak
- Çetin Ş, Ayberk S ve Karademir A** (2004) Kocaeli İli'nde konutlardan kaynaklanan NO_x emisyon envanteri, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (3): 113–123
- Çetin Ş, Karademir A, Pekey B and Ayberk S** (2007) Inventory of emissions of primary air pollutants in the city of Kocaeli, Turkey, *Environ Monit Assess*, 128: 165–175
- Çınar H** (2003) Eskişehir için Hava Kirliliği Envanterinin ve CBS Destekli Hava Kirliliği Haritalarının Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 112 s.
- De Nevers N** (1995) *Air Pollution Control Engineering*, McGraw-Hill, Inc., U.S.A., 506 s.
- Demircioğlu H** (1998) Determination of emission loads of air pollutants due to vehicles, Yüksek Lisans Tezi (unpublished), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 117 s.
- Derwent R G, Jenkin M E, Saunders S M and Pilling M J** (1998) Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in Northwest Europa calculated with a master chemical mechanism, *Atmospheric Environment*, 32: 2429–2441
- DMİ** (2008) İl ve İlçelerimizde Hava / Zonguldak, <http://www.meteoroloji.gov.tr/2006/tahmin/tahmin-iller.aspx?m=ZONGULDAK>, (20.05.2008)
- Durgun D** (2008) Kömür kalitesine bağlı olarak Çatalağzı Termik Santralinde katı atık miktarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı, Zonguldak, 55 s.
- Ekinci E** (1993) Yakıt, yanma ve hava kirliliği. *Hava kirliliği kaynakları ve kontrolü*, ed. M. Tırıs, E. Kalafatoğlu, H. Okutan, Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi Matbaası, Kocaeli, s 42–77.
- Ekinci E, Munlafaloğlu İ, Tırıs M and Pekin A V** (1998) Characterization of cement plant emissions in Turkey, *Water, Air, and Soil Pollution*, 106: 83–95
- Ekmekçi M**, (2008) Jeolojik Geçmişten Günümüze İklim Değişiklikleri, *TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, s. 7–26
- Elbir T** (1997) Preparation of Emission Inventories for Use in Determination of Air Quality at Different Scales, Yüksek Lisans Tezi (unpublished), Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı, İzmir, 68 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Elbir T** (2004) A GIS based desicion support system for estimation, visualization and analysis of air pollution for large Turkish cities, *Atmospheric Environment*, 38: 4509–4517
- Elbir T and Müezzinoğlu A** (2004) Estimation of emission strengths of primary air pollutants in the city of İzmir, Turkey, *Atmospheric Environment*, 38: 1851–1857
- Elbir T, Müezzinoğlu A, Bayram A, Seyfioğlu R ve Demircioğlu H** (2001) Ege Bölgesi hava kirletici emisyon envanteri, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3 (2): 21–27.
- El-Fadel M and Bou-Zeid E** (1999) Transportation GHG emissions in developing countries. The case of Lebanon, *Transportation Research Part D*, 4: 251–264
- Erdoğan Z, Zeydan Ö ve Sert H** (2008) İklim Değişikliği ve Sağlık Üzerine Etkileri, *İ.Ü.F.N. Hem. Derg.*, 16 (61): 71–76
- Fenger J, Hertel O and Palmgren F** (1999) *Urban air pollution: European Aspects*, Springer, 492 s.
- Gökmen Sözak G** (2004) Bilecik İlinin Hava Kirliliği Envanteri ve Hava Kalitesi Modellemesi, Yüksekisans Tezi (yayımlanmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 74s.
- Griffin R D** (2007) *Principles of Air Quality Management*, 2nd Ed. Taylor & Francis Group, LCC, U.S.A., 329 s.
- Güllü G, Doğan G and Tuncel G** (2005) Atmospheric trace element and major ion concentrations over the eastern Mediterranean Sea: Identification of anthropogenic source regions, *Atmospheric Environment*, 39: 6376–6387.
- Hester R E and Harrison R M** (2002) *Global Environmental Change*, The Royal Soccity of Chemistry, U.K., 197 s.
- HGK** (2008) Türkiye Haritası, Harita Genel Komutanlığı, <http://www.hgk.mil.tr/hgk/uygulamalar/haritaugulama/default.asp> (22.05.2008)
- Holman C** (1999) Sources of Air Pollution, *Air Pollution and Health*, Ed. S.T. Holgate, J.M. Samet, H.S. Koren, R.L. Maynard, Academic Pres, U.S.A., 1065 s.
- Hutchinson D** (2003) Emission Inventories, *Handbook of Atmospheric Science*, Ed. C.N. Hewitt, A.V. Jackson, Blackwell Publishing, U.K., 637 s.
- IPCC** (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis, (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC), Edited by Solomon, S. Qin, D. Manning, M. Marquis, M. Averyt, K. Tignor, M.M.B. Miller, H.L.Jr. Chen, Z., Cambridge University Pres, Cambridge

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- IPCC** (2008) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, (30.06.2008)
- İncecik S** (2007) İnsan kaynaklı iklim değişimi ve Türkiye, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi TİKDEK 2007*, 11–13 Nisan, İTÜ, İstanbul
- Jain A K and Hayhoe K A S** (2003) Global Air Pollution Problems, *Handbook of Atmospheric Science*, Ed. C.N. Hewitt, A.V. Jackson, Blackwell Publishing, U.K., 637 s.
- Keller J, Andreani-Aksoyoglu S, Tinguely M, Flemming J, Heldstab J, Keller M, Zbinden R and Prevot A S H** (2008) The impact of reducing the maximum speed limit on motorways in Switzerland to 80 km h⁻¹ on emissions and peak ozone, *Environmental Modelling & Software*, 23: 322-332
- Kindap T, Unal A, Chenc S H, Hub Y, Odmanb M T and Karaca M** (2006) Long-range aerosol transport from Europe to Istanbul, Turkey, *Atmospheric Environment*, 40: 3536–3547.
- Kopaç M and Hilalci A** (2007) Effect of ambient temperature on the efficiency of the regenerative and reheat Çatalağzı Power Plant in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 27: 1377–1385
- Kreider J F, Cohen R R H, Cook N E, Curtiss P S, Illangasekare T, Kreith F, Rabl A and Zannetti P** (1999) Environmental Engineering, *Mechanical Engineering Handbook*, Ed. F. Kreith, CRC Press LLC, U.S.A., 2688 s.
- Lindley S J, Conlanb D E, Raper D W and Watsona A F R** (1999) Estimation of spatially resolved road transport emissions for air quality management applications in the North West region of England, *The Science of the Total Environment*, 235: 119–132
- Monks P S** (2003) Tropospheric Chemistry, *Handbook of Atmospheric Science*, Ed. C.N. Hewitt, A.V. Jackson, Blackwell Publishing, U.K., 637 s.
- Nathanson J A** (1999) *Basic Environmental Technology*, Prentice Hall, U.S.A., 496 s.
- National Research Council** (1992) *Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution*, National Academy Press, U.S.A., 500 s.
- Niedojadlo A** (2005) The Impact of NMVOC Emissions from Traffic and Solvent Use on Urban Air in Wuppertal - An Experimental Study, Doktora Tezi (yayımlanmamış), University of Wuppertal, Germany
- NOAA** (2008) Frequently Asked Questions About Ozone, <http://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/1998/faq.html>, (12.07.2008)
- ODD** (2008) Otomotiv Distribütörleri Derneği, <http://www.odd.org.tr/frontside1/index.aspx>, (30.06.2008)

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ohara T, Akimoto H, Kurokawa J, Horii N, Yamaji K, Yan X and Hayasaka T** (2007) An Asian emission inventory of antropogenic emission sources for the period 1980–2020, *Atmos. Chem. Phys.*, 7: 4419–4444
- Özkan A** (2002) Çorlu İlçesinde Emisyon Envanteri ve Hava Kalitesi Modellemesi, Yüksek lisans Tezi (yayımlanmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 119 s.
- Passant N R** (1995) Source Inventories and Control Strategies for VOCs, *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere*, Ed. R.E. Hester, R.M. Harrison, The Royal Society of Chemistry, Bath Press, Great Britain, 140 s.
- Pham T B T, Manomaiphiboon K and Vongmahadlek C** (2008) Development of an inventory and temporal allocation profiles of emissions from power plants and industrial facilities in Thailand, *Science of The Total Environment*, 397: 103–118
- Pierce J J, Vesilind P A and Weiner R F** (1997) *Environmental Pollution and Control*, 4th Ed., Elsevier Science & Technology Books, 392 s.
- Placet M, Mann C O, Gilbert R O and Niefer M J** (2000) Emissions of ozone precursors from stationary sources: a critical review, *Atmospheric Environment*, 34: 2183–2204
- Quaß U, Ferman M W and Bröker G** (2000) Steps towards a European dioxin emission inventory, *Chemosphere*, 40: 1125–1129
- Reis S** (2005) *Costs of Air Pollution Control Analyses of Emission Control Options for Ozone Abatement Strategies*, Springer, Germany, 203 s.
- Salt J E and Moran A** (1997) International greenhouse gas inventory systems: A comparison between CORINAIR and IPCC methodologies in the EU, *Global Environmental Change*, 7 (4): 317–336
- Sanyel D** (1994) Küresel Isınma, *Bilim ve Teknik*, 321: 64–70
- Schmitz T, Hassel D and Weber F J** (2000) Determination of VOC-components in the exhaust of gasoline and diesel passenger cars, *Atmospheric Environment*, 34: 4639–4647
- Scnelle K K Jr and Brown C A** (2002) *Air Pollution Control Technology Handbook*, CRC Press LLC, U.S.A., 408 s.
- Sienfield J H and Pandis S N** (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, Wiley-Interscience Publication, New York, U.S.A., 1307 s.
- Sillman S** (1999) The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments, *Atmospheric Environment*, 33: 1821–1845

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Singer B C and Harley R A** (1997) A fuel-based inventory of motor vehicle exhaust emissions in the Los Angeles area during summer 1997, *Atmospheric Environment*, 34: 1783–1795
- Soylu Ş** (2007) Estimation of Turkish road transport emissions, *Energy Policy*, 35: 4088–4094
- Syri S, Aman M, Schöpp W and Heyes C** (2001) Estimating long-term population exposure to ozone in urban areas of Europe, *Environmental Pollution*, 113: 59–69
- TCÇOB** (2004) Türkiye Çevre Atlası, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, <http://www.cedgm.gov.tr/cevreatlasi.htm>, (21.03.2008)
- TCÇOB** (2006) Zonguldak-Bartın-Karabük Planlama Bölgesi 1/100000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı Araştırma Raporu, Jeo-Tek & Utta İş Ortaklığı, Ankara
- TÜİK/ADNKS** (2007) TÜİK / ADNKS – İl Sonuçları, http://www.tuik.gov.tr/jsp/duyuru/upload/adnks_Harita_TR/HaritaTR.html, (20.05.2008)
- TÜİK** (2008) TÜİK Ulaştırma İstatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr/>, (30.06.2008)
- Türkeş M,** (2007) Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK 2007*, 11 – 13 Nisan, 2007, İTÜ, İstanbul
- USEPA** (2006) Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases, EPA 430-R-06-005, <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html>, (25.03.2008)
- USEPA** (2007) Air Pollution Control Orientation Course, United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/course422/ap1.html>, (21.03.2008)
- USEPA** (2008a) Ozone, United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/ozone/>, (25.03.2008)
- USEPA** (2008b) Emission Factors & AP 42, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>, (18.06.2008)
- Vivanco M G and Andrade M F** (2006) Validation of the emission inventory in the Sao Paulo Metropolitan Area of Brazil, based on ambient concentrations ratios of CO, NMOG and NOx and on a photochemical model, *Atmospheric Environment*, 40: 1189–1198
- Vlieger I D** (1997) On-board emission and fuel consumption measurement campaign on petrol-driven passenger cars, *Atmospheric Environment*, 31 (22): 1753-1761

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Vlieger I D, Keukeleere D D and Kretzschmar J G** (2000) Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars, *Atmospheric Environment*, 34: 4649–4655
- Wang H, Chen C, Huang C and Fu L** (2008) On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China, *Science of The Total Environment*, doi:10.1016/j.scitotenv.2008.01.038
- Winther H** (1998) Petrol passenger car emissions calculated with different emission models, *The Science of the Total Environment*, 224: 149–160
- Xiao H and Zhu B** (2003) Modeling study of photochemical ozone creation potential of non-methane hydrocarbon, *Water, Air and Soil Pollution*, 145: 3–16
- Yıldırım Y** (2004) Zonguldak Bölgesinde Hava Kalitesi Modellemesi, ZKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No: 2002-45-10-16, Zonguldak
- Yıldırım Y** (2007) Zonguldak Şehir Atmosferinde Uçucu Organik Bileşiklerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin İncelenmesi, TÜBİTAK Projesi, ÇAYDAG- 104I097, No:104I097, 2005–2007
- Yıldırım Y ve Uzun N** (2000) Isıtma amaçlı yakma sistemlerinde yanma olayının incelenmesi: Zonguldak örneği, *Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V. Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Elazığ, s. 13–20
- Yılmaz E** (2005) İklim Geleceğimiz, *Bilim ve Teknik*, 451, 38–48
- Yi H, Hao J, Duan L, Tang X, Ning P and Li X** (2008) Fine particle and trace element emissions from an anthracite coal-fired power plant equipped with a bag-house in China, *Fuel*, 87: 2050–2057
- ZEM** (2007) Zonguldak Emniyet Müdürlüğü, Araç Sayımları, Zonguldak
- Zeydan Ö ve Yıldırım Y** (2007a) Küresel ısınmada etken olan hava kirleticileri ve ülkemiz emisyonları, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi TİKDEK 2007*, 11–13 Nisan, İTÜ, İstanbul
- Zeydan Ö ve Yıldırım Y** (2007b) Zonguldak Bölgesinde çevre sorunlarının nedenleri ve çözüm önerileri, *I. Karadeniz'de Sanayileşme ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Trabzon, s. 329–342
- Zeydan Ö ve Yıldırım Y** (2008) Zonguldak Bölgesi sera gazı emisyon çalışmaları ve yer seviyesi ozonu oluşumu, *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu*, 29–30 Mayıs, Konya
- URL–1** (2008) <http://www.shodor.org/ekma/model/step2.html>, Implementing EKMA: Step 2, 02.07.2008

KAYNAKLAR (devam ediyor)

URL-2 (2008) <http://www.catestermik.com/index/cates.html>, Çatalağzı Termik Santrali, 29.04.2008

URL-3 (2008) http://www.yasam.com.tr/liste_goster.asp?id=37, Yakıtların Isıl Değerleri, 12.06.2008

URL-4 (2007) http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Miljoe-tilstand/3_luft/4_adaei/Emission_factors_en.asp, Emission Factors, 29.04.2008

BİBLİYOGRAFYA

Derwent R G and Jenkin M E (1991) Hydrocarbons and the long range transport of ozone and PAN across Europe, *Atmospheric Environment*, 25A: 1661–1674

Finlayson-Pitts B J and Pitts Jnr J N (1993) Atmospheric chemistry of tropospheric ozone formation: scientific and regulatory implications, *J Air and Waste Management Assoc*, 43: 1091 – 1100

Strauss W and Mainwaring S J (1984) *Air Pollution*, Edward Arnold, London, UK. Report, European Communities, Luxembourg

Winer A M (1986) Air pollution chemistry. *Handbook of Air Pollution Analysis*, eds. R. M. Harrison and R. Perry, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands

EK AÇIKLAMALAR A

KÖMÜR TÜKETİM ANKETİ TANIMLAYICI İSTATİSTİKLERİ

Çizelge A.1 Kömür tüketim anketi tanımlayıcı istatistikleri.

	Kömür Tüketimi (ton/yıl)	Soba	Kalorifer	Lavvarlanmış Kömür	Lavvarlanmamış Kömür
Örneklem Boyutu	220	111	109	57	163
Ortalama	3,83	3,37	4,30	3,57	3,93
Standart Hata	0,08	0,09	0,11	0,12	0,09
Ortanca	4	3	4	3,6	4
Kip	4	3	4	3	4
Standart Sapma	1,12	0,93	1,11	0,90	1,18
Örnek Varyans	1,26	0,87	1,22	0,81	1,39
Basıklık	1,41	1,30	1,32	0,15	1,26
Çarpıklık	0,87	0,70	1,06	0,48	0,85
Aralık	6,25	5,25	6,25	4,25	6,25
En Küçük	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
En Büyük	8	7	8	6	8
Güvenirlilik Düzeyi(99,0%)	0,20	0,23	0,28	0,32	0,24

EK AÇIKLAMALAR B

DİZEL YAKITLI OTOMOBİL SAYISININ HESAPLANMASI

Çizelge B.1 Dizel yakıtlı otomobil oranının hesaplanması.

Tarih	Otomobil	Artış (önceki dönem)	Dizel oranı	Dizel sayısı
Aralık 05	48937		38	
Ocak 06	49229	292	39	114
Şubat 06	49321	92	40	37
Mart 06	49551	230	41	94
Nisan 06	49792	241	42	100
Mayıs 06	50137	345	43	147
Haziran 06	50342	205	44	89
Temmuz 06	50462	120	44	53
Ağustos 06	50612	150	45	68
Eylül 06	50789	177	46	82
Ekim 06	50973	184	47	87
Kasım 06	51168	195	48	94
Aralık 06	51294	126	49	62
Ocak 07	51508	214	49	105
Şubat 07	51785	277	50	137
Mart 07	51885	100	50	50
Nisan 07	52056	171	50	86
Mayıs 07	52224	168	50	85
Haziran 07	52457	233	51	118
Temmuz 07	52721	264	51	135
Ağustos 07	52936	215	52	111
Eylül 07	53107	171	52	89
Ekim 07	53289	182	52	95
Kasım 07	53487	198	53	104
Aralık 07	53657	170	53	90
Toplam Dizel				2230

$$\text{Dizel Araçların Oranı} = \frac{\text{Dizel Araçlar}}{\text{Toplam Araçlar}} \times 100 = \frac{2230}{53657} \times 100 = \% 4.16$$

EK AÇIKLAMALAR C

LİTERATÜRDEKİ MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN EMİSYON MİKTARLARININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN EMİSYON FAKTÖRLERİ

Çizelge C.1 Motorlu taşıtlar için emisyon faktörleri (Keller et al. 2008).

	Yol Türü		Vort (km/sa)	Emisyon Faktörü (g/km)				
	Tür	Vmak (km/sa)		NO _x	CO	NMVOC	CO ₂	PM
Otomobil (Benzinli)	AB_120	120	115.9	0.67	1.81	0.097	228	0.0085
	AB_100	100	102.9	0.55	1.35	0.085	208	0.0065
	AB_80	80	86.6	0.41	1.02	0.079	187	0.0041
	AO_HVS1	80	77.0	0.30	0.72	0.072	162	0.0035
	AO_N	kırsal yan yol	62.6	0.33	1.19	0.106	175	0.0055
	IO_HVS1	kentsel ana yol	53.1	0.24	0.80	0.084	161	0.0046
	IO_N	kentsel yan yol	31.1	0.33	1.74	0.163	227	0.0050
	IO_K	şehir merkezi	20.7	0.33	1.91	0.195	258	0.0051
	IO_SG	dur-kalk	5.3	0.41	9.60	1.000	652	0.0142
Kanyon (Dizel)	AB_120	120	86.2	7.67	1.14	0.441	622	0.196
	AB_100	100	86.2	7.67	1.14	0.441	622	0.196
	AB_80	80	82.7	7.56	1.24	0.438	605	0.204
	AO_HVS1	80	72.7	7.52	1.39	0.443	583	0.217
	AO_N	kırsal yan yol	59.8	7.88	1.56	0.505	611	0.234
	IO_HVS1	kentsel ana yol	47.0	8.46	1.79	0.625	667	0.262
	IO_N	kentsel yan yol	18.4	13.33	3.75	1.476	1112	0.583
	IO_K	şehir merkezi	15.5	13.37	4.08	1.676	1121	0.644
	IO_SG	dur-kalk	6.3	20.88	8.91	3.793	1778	1.463

Vmak: maksimum hız, Vort: ortalama hız

Çizelge C.2 Motorlu taşıtlar için emisyon faktörleri (Borrego et al. 2000).

		Yol Türü	Vort (km/sa)	Çift Darbeli motosiklet	Otomobil benzinli	Otomobil dizel	Ağır vasıta dizel
Emisyon Faktörü (g/km)	CO	Kentsel	30	22.36	30.00	2.00	18.80
		Kırsal	70	25.49	15.00	0.80	7.30
		Otoyol	120	28.21	12.00	0.60	4.20
	NO _x	Kentsel	30	0.03	3.00	1.60	2.75
		Kırsal	70	0.09	2.70	1.20	0.37
		Otoyol	120	0.14	3.20	1.25	0.60
	VOC	Kentsel	30	10.98	3.60	0.40	8.70
		Kırsal	70	8.40	1.70	0.25	7.40
		Otoyol	120	8.47	1.00	0.13	6.00

Vort: ortalama hız

Çizelge C.3 Motorlu taşıtlar için emisyon faktörleri (Schmitz et al. 2000).

Araç Tipi	Yol Türü	Vort (km/sa)	CO (g/km)	NOx (g/km)	VOC (g/km)
Otomobil Benzinli	US FTP 75	41	8.0	5.45	1.78
Otomobil Benzinli (üç yollu katalizör)	US FTP 75	41	0.6	0.4	0.22
Otomobil Dizel	US FTP 75	41	0.3	1.04	0.04

Vort: ortalama hız

Çizelge C.4 Dizel araçlar için emisyon faktörleri (Colls 1997).

Veri Kaynağı	Araç Tipi	Yol Tipi	Emisyon Miktarı (g/km)		
			CO	NOx	VOC
CORINAIR	3.5 – 16 t	Kentsel	18.8	8.7	2.75
		Kırsal	7.3	7.4	0.76
		Otoyol	4.2	6.0	0.6
	> 16t	Kentsel	18.8	16.2	5.8
		Kırsal	7.3	14.8	2.6
		Otoyol	4.2	13.5	2.3
	Otobüs	Kentsel	17.0	16.2	5.8
		Kırsal	6.2	18.2	2.2
		Otoyol	3.0	13.9	1.7
TRL (UK Transport Research Laboratory)	3.5 – 7.5 t	Kentsel	2.85	6.82	1.02
		Kırsal	2.07	6.62	0.41
		Otoyol	1.43	7.51	0.26
	7.5 – 17.0 t	Kentsel	4.92	9.58	0.74
		Kırsal	3.79	9.97	0.41
		Otoyol	1.84	7.96	0.26
	> 17.0 t	Kentsel	5.89	14.69	0.84
		Kırsal	3.75	13.86	0.31
		Otoyol	1.76	10.20	0.13
	Otobüs	Kentsel	18.8	16.2	5.8
		Kırsal	3.75	13.9	0.31
		Otoyol	1.76	10.2	0.13

Çizelge C.5 Benzin araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık < 3.5 ton) (Demircioğlu 1998).

Yol Türü	CO	NOx	VOC	Yakıt Tüketimi (g/km)
Kentsel	30	3.0	3.6	120
Kırsal	15	2.7	1.7	67.5
Otoyol	12	3.2	1.0	63.8

Çizelge C.6 Benzin araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık > 3.5 ton) (Demircioğlu 1998).

Yol Türü	CO	NOx	VOC	Yakıt Tüketimi (g/km)
Kentsel	70	4.5	7.0	225
Kırsal	55	7.5	5.5	150
Otoyol	55	7.5	3.5	165

Çizelge C.7 Dizel araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık < 3.5 ton) (Demircioğlu 1998).

Yol Türü	CO	NOx	VOC	PM	Yakıt Tüketimi (g/km)
Kentsel	2.0	1.60	0.40	0.25	106.3
Kırsal	0.8	1.20	0.25	0.25	68.0
Otoyol	0.6	1.25	0.13	0.16	63.8

Çizelge C.8 Dizel araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık 3.5 - 16 ton arası) (Demircioğlu 1998).

Yol Türü	CO	NOx	VOC	PM	Yakıt Tüketimi (g/km)
Kentsel	18.8	8.7	2.75	0.95	227
Kırsal	7.30	7.4	0.76	0.82	189
Otoyol	4.20	6.0	0.6	0.66	154

Çizelge C.9 Dizel araçlar için emisyon faktörleri (ağırlık > 16 ton) (Demircioğlu 1998).

Yol Türü	CO	NOx	VOC	PM	Yakıt Tüketimi (g/km)
Kentsel	18.8	16.2	5.8	1.6	366
Kırsal	7.3	14.8	2.6	1.4	328
Otoyol	4.2	13.5	2.3	1.25	294

ÖZGEÇMİŞ

Özgür ZEYDAN 1979'da Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. Ankara Atatürk Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1997 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2002 yılında mezun oldu. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Enformatik Bölümü'nde öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Küresel ısınma ve iklim değişikliği konularında çeşitli sempozyum ve kongrelere katılan Özgür ZEYDAN'ın iklim değişikliği konusunda 1 tane ulusal hakemli dergilerde yayınlanmış makalesi ve 5 tane de ulusal bildirisi bulunmaktadır. Halen 2006 yılında girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Bahçelievler Mah. Lale Sok. No: 25/3
67100 ZONGULDAK
Tel : (505) 274 83 98
E-posta: ozgurzeydan@yahoo.com
Web : http://w3.karaelmas.edu.tr/linkler/enfo_web/zeydan/index.html