

154594

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

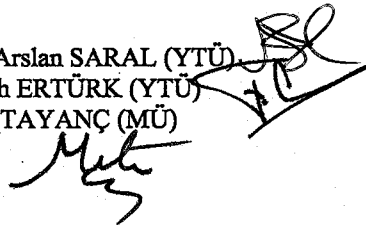
**BİLECİK İLİNİN HAVA KİRLİLİĞİ ENVANTERİ VE
HAVA KALİTESİ MODELLEMESİ**

Çevre Müh. Gamze GÖKMEN SÖZAK

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 26 Şubat 2004
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Arslan SARAL (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK (YTÜ)
: Prof. Dr. Mete TAYANÇ (MÜ)



İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Hava Kirliliğinin Tanımı	1
1.2 Hava Kirlleticilerinin Sınıflandırılması	1
1.3 Kirleticilerin Emisyon Kaynakları	3
1.4 Yakıtlar	4
1.5 Yanma	6
2. EMİSYON ENVANTERİ	8
2.1 Emisyon Envanterinin Tanımı.....	8
2.2 Emisyon Envanterinin Çeşitleri.....	9
2.3 Emisyon Envanteri Hazırlama Aşamaları	9
2.3.1 Planlama	10
2.3.2 Veri Toplama.....	10
2.3.3 Veri Analizi ve Emisyon Tahmini.....	10
2.3.4 Rapor Hazırlama.....	11
2.4 Emisyon Tahmini	11
2.5 Emisyon Faktörleri	11
2.6 Emisyon Faktörü Veri Tabanları	12
2.7 Literatürdeki Emisyon Envanteri İle İlgili Çalışmalar	12
3. MODELLEME	16
3.1 Matematik Modellemenin Tanımı ve Uygulama Prensipleri	16
3.2 Meteorolojinin Matematik Modele Etkisi	16
3.3 Emisyon Envanterinin Matematik Modele Etkisi	18
3.4 Modellemede Kirleticiler Kaynakların Tanımı	18
3.5 Gauss Dispersiyon Modeli	18
3.6 ATDL Kutu Modeli.....	26
4. ÇALIŞMA BÖLGESİ ve VERİ TABANI.....	29
4.1 Bölgenin Coğrafi Yapısı	29

4.2	Bölgenin Meteorolojisi.....	29
4.3	Bölgenin Hava Kalitesi	31
4.4	Bölgenin Sanayi Durumu	31
4.5	Bölgenin Demografisi	35
4.6	Bölgede Yakıt Tüketim Miktarları	38
5.	BULGULAR	41
5.1	Bilecik İlının Emisyon Envanteri	41
5.1.1	Bilecik İlının Sanayiden Kaynaklanan Emisyon Envanteri	41
5.1.2	Bilecik İlının Yerleşim Bölgesinden Kaynaklanan Emisyon Envanteri	42
5.1.3	Bilecik İlının Trafikten Kaynaklanan Emisyon Envanteri	46
5.1.4	Bilecik İlının Toplam Emisyon Envanteri.....	48
5.2	Bilecik Sanayisine Gauss Dispersiyon Modelinin Uygulanması	50
5.3	Bilecik İline ATDL Modelinin Uygulanması	54
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	66
6.1	Sonuçlar.....	66
6.2	Öneriler.....	70
	KAYNAKLAR.....	71
	EKLER	73
Ek.1	Kritik t Değerleri Tablosu	73
	ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGE LİSTESİ

A	Kömürdeki kül yüzdesi, %
b	Şehre giren havadaki kirletici konsantrasyonu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
c	ATDL formülünde kullanılan şehir içi konsantrasyonu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
C_i	i kirleticisinin konsantrasyonu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
d	Baca çapı, m
D_x	x yönündeki kütleli difüzyon hızı, m^2/s
D_y	y yönündeki kütleli difüzyon hızı, m^2/s
D_z	z yönündeki kütleli difüzyon hızı, m^2/s
F	Kaldırma akış parametresi, m^4/s^3
g	Yerçekimi ivmesi, $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$
h	Geometrik baca yüksekliği, m
H	Karışım yüksekliği, m
L	ATDL kutu modelinin kuzey-güney yönündeki uzunluğu, m
p	Atmosferik çözünürlüğe ve pürüzlülüğe bağlı bir katsayı
Q	Kütleli debi, $\mu\text{g}/\text{s}$
q	Emisyon hızı, $\text{g}/\text{s}-\text{m}^2$
R	Korrelasyon katsayısı
S	Yakıttaki kükürt yüzdesi, %
s	Baca kesit alanı, m^2
$T_{\max}$	Maksimum ortam sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$
$T_{\min}$	Minimum ortam sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$
T_g	Baca gazı sıcaklığı, $^{\circ}\text{K}$
T_a	Ortam sıcaklığı, $^{\circ}\text{K}$
u	x yönündeki ortalama rüzgar hızı, m/s
u_H	Baca yüksekliğindeki rüzgar hızı, m/s
u_a	10m'deki rüzgar hızı, m/s
V_g	Baca gazı çıkış hızı, m/s
W	ATDL kutu modelinin doğu-batı yönündeki uzunluğu, m
x	Rüzgar yönü mesafesi, m
y	Kaynak ile ölçüm yapılan nokta arasında rüzgar yönüne dik mesafe, m
z	Ortamda ölçümün yapıldığı yükseklik, m
Φ_i	Kirletici maddenin oluşumu veya giderimi ile ilgili terim, $\mu\text{g}/\text{s}$
σ_y	Dispersiyon katsayısı, m
σ_z	Dispersiyon katsayısı, m
α	t-testinde güven seviyesi
Δh	Hüzme yüksekliği, m

KISALTMA LİSTESİ

ATDL	Atmospheric Turbulance and Diffusion Laboratory
CEC	Comission of European Communities (Avrupa Topluluğu Komisyonu)
CORINAIR	COOrdination INformation AIR (Hava Bilgi Koordinasyonu)
DG-XI	European Commission Directorate for Environment Nuclear Safety and Civil Protection (Avrupa Komisyonu Nükleer Güvenlik ve Sivil Koruma Müdürlüğü)
ECE	Economic Comission for Europe (Avrupa Ekonomi Komisyonu)
EF	Emisyon Faktörü
EMEP	The European Monitoring and Evaluation Programme (Avrupa İzleme ve Değerlendirme Komisyonu)
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Örgütü)
EUROTRAC	European Experiment for Transporting and Transforming Environmentally Relevant Trace Construction in the Troposphere
GENEMIS	Generation and evaluation of Emission data (Emisyon Veri Değerlendirmesi ve Gelişimi)
H	Halk sağlığı laboratuvarı
HC	Hidrokarbon
HKKY	Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Devletlerarası İklim Değişimi Paneli)
K	Kaynak
KVS	Kısa Vadeli Sınır Değer
N	Kuzey yönü
NE	Kuzeydoğu yönü
NNE	Kuzey-kuzeydoğu yönü
NNW	Kuzey-kuzeybatı yönü
NW	Kuzeybatı yönü
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Gelişim Organizasyonu)
PAN	Peroksiasetilnitrat
PHOXA	Photochemical Oxidant and Acid deposition model application (Fotokimyasal Oksitleyici ve Asit Birikim Modeli)
PM	Partikül Madde
PM _{2,5}	Aerodinamik çapı 2,5 mikrometreden küçük olan partikül madde
RMSE	Root of the mean square error (Ana hata kaynağı)
SSW	Güney-güneybatı yönü
UV	Ultraviolet (mor ötesi ışınlar)
UVS	Uzun Vadeli Sınır Değer
VOC	Volatile Organic Compound (uçucu organik madde)
WNW	Batı-kuzeybatı yönü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Etkin baca yüksekliği H olan bir kaynaktan çıkan hüzmenin dağılımı	17
Şekil 3.2	Nokta kaynaktan çıkan hüzmenin zamana göre dağılımı	18
Şekil 3.3	ATDL kutu modeli	26
Şekil 4.1	Bilecik ili haritası.....	30
Şekil 4.2	Bilecik Halk Sağlığı Laboratuvarı SO ₂ konsantrasyonu 1999-2002 yılları ölçüm sonuçları.....	33
Şekil 4.3	Bilecik Halk Sağlığı Laboratuvarı PM konsantrasyonu 1999-2002 yılları ölçüm sonuçları.....	33
Şekil 4.4	Organize sanayi bölgesinin sektörel dağılımı.....	34
Şekil 4.5	1990 yılı Bilecik ilinin ilçelerine göre nüfus dağılımı.....	37
Şekil 4.6	2000 yılı Bilecik ilinin ilçelerine göre nüfus dağılımı.....	37
Şekil 4.7	Bilecik ilinin ilçelerine göre 2000 yılı nüfus yoğunluğu.....	38
Şekil 4.8	Bilecik ilinin 2001-2002 yılları arasında yakıt tüketim miktarı	40
Şekil 5.1	2001-2002 kış dönemi boyunca sıcaklık değişimine karşı kullanılan yakıt miktarı.....	45
Şekil 5.2	Kirletici kaynakların toplam emisyonlara % katkıları.....	49
Şekil 5.3	Bilecik ilinde kullanılan yakıtların toplam emisyonlara % katkısı.....	50
Şekil 5.4	N, NNW, NNE, NW ve NE rüzgar yönlerindeki x ve y değerleri	52
Şekil 5.5	Kuzey yönlü rüzgarların estiği günler için hesaplanan etkin baca yükseklikleri	53
Şekil 5.6	Bilecik iline ATDL modelinin uygulanması	54
Şekil 5.7	Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde Gauss Modeli ile hesaplanan SO ₂ ve PM konsantrasyonları.....	58
Şekil 5.8	Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde evsel ısınmadan kaynaklanan SO ₂ ve PM emisyon hızları	58
Şekil 5.9	N yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek SO ₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması	59
Şekil 5.10	NNW-NNE yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek SO ₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması.....	60
Şekil 5.11	NW-NE yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek SO ₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması.....	61
Şekil 5.12	N yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek PM konsantrasyonlarının kıyaslanması	62
Şekil 5.13	NNW-NNE yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek PM konsantrasyonlarının kıyaslanması.....	63
Şekil 5.14	NW-NE yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek PM konsantrasyonlarının kıyaslanması.....	64
Şekil 5.15	Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde gerçek SO ₂ konsantrasyonları ile her bir kirletici kaynak için model ile hesaplanan SO ₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması	65
Şekil 5.16	Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde gerçek PM konsantrasyonları ile her bir kirletici kaynak için model ile hesaplanan PM konsantrasyonlarının kıyaslanması	65

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 HKKY'deki uzun ve kısa vadeli hava kalitesi sınır değerleri (HKKY, 1986)	2
Çizelge 2.1 Yakıt yanması ile ilgili emisyon faktörleri (EPA, 1985)	13
Çizelge 3.1 Kararlılık sınıflarına göre rüzgar hızı ve p değerinin değişimi	24
Çizelge 3.2 Kararlılık sınıfları (Turner, 1969)	24
Çizelge 3.3 Meteorolojik şartlara bağlı kararlılık sınıfları	25
Çizelge 3.4 Çeşitli kararlılık sınıfları için Martin Denklemi katsayıları	25
Çizelge 4.1 1999, 2000, 2001 ve 2002 yılları Bilecik ili aylık hava kalitesi ortalamaları (Uysal, 2002)	32
Çizelge 4.2 Organize sanayi bölgesinin sektörel dağılımı	34
Çizelge 4.3 Bilecik ilinin ilçelere göre nüfusu ve yıllık nüfus artış hızı (DİE, 2002)	36
Çizelge 4.4 Bilecik ilinin ilçelere göre 2000 yılı nüfus yoğunluğu (DİE, 2002)	36
Çizelge 4.5 Sanayi kaynaklı yakıt tüketim miktarı (BÜ Emisyon Raporları, 2002)	38
Çizelge 4.6 Sanayide kullanılan toplam yakıt tüketim miktarı	39
Çizelge 4.7 Evsel kaynaklı yakıt tüketim miktarı	39
Çizelge 4.8 Trafik kaynaklı yakıt tüketim miktarı	39
Çizelge 4.9 2001-2002 yılları arasında Bilecik ilinin yakıt tüketim miktarları	40
Çizelge 5.1 Bilecik sanayisinden gelen toplam emisyon değerleri	41
Çizelge 5.2 Evsel emisyonları hesaplamak için kullanılan emisyon faktörleri (EPA, 1985) ..	42
Çizelge 5.3 Yakıt numunesi analiz raporu	43
Çizelge 5.4 Evsel ısınma kaynaklı toplam kirletici emisyonu	44
Çizelge 5.5 Bilecik ili motorlu kara taşıtları sayısı (DİE, 2003)	46
Çizelge 5.6 Trafik emisyonlarını hesaplamak için kullanılan emisyon faktörleri (EPA, 1985) ..	46
Çizelge 5.7 Trafik kaynaklı toplam kirletici emisyonu	48
Çizelge 5.8 Bilecik ili toplam kirletici emisyonları	48
Çizelge 5.9 Bilecik ilinde kullanılan yakıtlardan kaynaklanan emisyon miktarları	49
Çizelge 5.10 Dispersiyon katsayıları	51
Çizelge 5.11 N yönü, SO ₂ konsantrasyonu için t-test sonuçları	59
Çizelge 5.12 NNW-NNE yönleri, SO ₂ konsantrasyonu için t-test sonuçları	60
Çizelge 5.13 NW-NE yönleri, SO ₂ konsantrasyonu için t-test sonuçları	61
Çizelge 5.14 N yönü, PM konsantrasyonu için t-test sonuçları	62
Çizelge 5.15 NNW-NNE yönleri, PM konsantrasyonu için t-test sonuçları	63
Çizelge 5.16 NW-NE yönleri, PM konsantrasyonu için t-test sonuçları	64

ÖNSÖZ

İnsan sağlığının yanı sıra diğer canlıları, eşyaları ve doğal dengeyi tehdit etme kapasitesi nedeniyle, hava kirliliğinin önlenmesi veya mevcut kirliliğin azaltılması çevre açısından önemli bir konudur. Kirliliğin önlenmesi veya azaltılması için gerçeğe olabildiğince yakın emisyon envanterleri ve modellemeler yapılması gerekmektedir. Bilecik ili için hava kirlleticileri envanteri ve modellemesi ile ilgili ilk defa yapılan bir çalışma olması ve emisyon envanterinin sürekli güncelleştirilmesi gerekliliğinden dolayı, bu çalışma ileride yapılacak daha ayrıntılı çalışmalara bir temel teşkil etmektedir.

Bu tez çalışmasında bilgisi ve desteği ile her zaman yanımda olan tez hocam Yrd. Doç. Dr. Arslan Saral'a teşekkür ederim. Yine tez ile ilgili yardımlarını esirgemeyen Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ferruh Ertürk'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca verdiği izin ve desteğinden ötürü Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Orhan Yenigün'e; Bilecik Organize Sanayi Bölgesi'ndeki ölçümlerde birlikte çalıştığımız Uzman Göksel Gök'e, Arş. Gör. Ulaş İm'e, Turgay Kazar'a; bana moral kaynağı olan arkadaşlarım Çevre Müh. Ümmihan Tekçe'ye, Arş. Gör. Suna Erses'e ve Serap Akyüz'e

İstatistik bilgilerini benimle paylaşan Arş. Gör. Birsen Erdoğan ve Arş. Gör. Nilgün Ayman'a

Yardımlarından dolayı Bilecik Organize Sanayi Çevre Mühendisi Esra Oruç'a

Ve daima bana destek olan eşime ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı Bilecik ilinde hava kalitesine etkisi olan tüm kirletici kaynakların belirlenmesi ve bunların etkilerine dayanarak bir emisyon envanteri ve modelleme çalışmasının hazırlanmasıdır.

Bu tez kapsamında, Bilecik ilinin hava kirliliği envanteri kükürt dioksit, partikül madde, karbon monoksit, azotoksitler ve hidrokarbonlar için çıkarılmış ve Gauss Dispersiyon modeli ve ATDL (Atmospheric Turbulance and Diffusion Laboratory) dispersiyon-modelleme yöntemi kullanılarak Bilecik ilindeki kükürt dioksit ve partikül madde konsantrasyon dağılımları tespit edilmiştir.

Günümüze kadar yapılmış mevcut hava kalitesi seviyeleri hakkında bilgiler toplanmış ve bunların kaynakları araştırılmıştır. Sanayi bölgesinden, evsel ısınmadan ve trafikten kaynaklanan kirletici emisyon miktarları, sanayi tesislerinin emisyon raporları ve Amerikan EPA emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Bilecik ilinde kükürt dioksit emisyonlarının %47,5'i sanayiden, %50,4'ü evsel ısınmadan ve %2,1'i trafikten, partikül madde emisyonlarının %5,8'i sanayiden, %89,5'i evsel ısınmadan ve %4,7'si trafikten, karbon monoksit emisyonlarının %4,6'sı sanayiden, %64'ü evsel ısınmadan ve %31,4'ü trafikten, azot oksit emisyonlarının %19,9'u sanayiden, %53,5'i evsel ısınmadan ve %26,6'sı trafikten, hidrokarbon emisyonlarının %0,4'ü sanayiden, %13,3'ü evsel ısınmadan ve %86,3'ü trafikten kaynaklanmaktadır.

Bilecik ili 2*2 km'lik grid ve yüksekliği 1000 m olan bir kutu olarak düşünülmüş, buradan bulunan kükürt dioksit ve partikül madde emisyon yükleri ve meteorolojik veriler kullanılarak bölgede modelleme çalışması yapılmıştır. Model kullanılarak elde edilen değerler ve gerçek ölçümler kıyaslandığında yüksek korelasyon sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Emisyon envanteri, Gauss Dispersiyon Modeli, ATDL, SO₂, PM.

ABSTRACT

The main objects of this study are to determine all the pollution sources which affect air quality in Bilecik and to prepare emission inventory and modeling as regarding of the results.

In this study, emission inventory of Bilecik was created for criteria pollutants including sulfur dioxide (SO₂), particulate matter (PM), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and hydrocarbons (HC). Also distribution of sulfur dioxide and particulate matter concentrations were determined using Gaussian Dispersion Model and Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory (ATDL) Model in Bilecik.

Up to date information about existing air quality levels in Bilecik was collected and contaminative sources were searched. The amounts of emissions originated from industrial region, domestic fuel burning and traffic were calculated using the emission reports of the industrial plants and emission factors of the US EPA. According to these calculations, 47,5% of total sulfur dioxide emissions came from industry, 50,4% from combustion for domestic heating, and 2,1% from traffic; 5,8% of total particulate matter emissions came from industry, 89,5% from combustion for domestic heating, and 4,7% from traffic; 4,6% of total carbon monoxide emissions came from industry, 64% from combustion for domestic heating, and 31,4% from traffic; 19,9% of total nitrogen oxides emissions came from industry, 53,5% from combustion for domestic heating, and 26,6% from traffic; 0,4% of total hydrocarbon emissions came from industry, 13,3% from combustion for domestic heating, and 86,3% from traffic;

Bilecik's atmosphere is considered to be a 1000 m height box on the surface of 2*2 km grid. Modeling study was done for sulfur dioxide and particulate matter emissions obtained by using the box model with the aid of meteorological data. As a result, high correlations between the values obtained from modeling and real measurement were found.

Keywords: Emission inventory, Gaussian Dispersion Model, ATDL, SO₂, PM

1. GİRİŞ

1.1 Hava Kirliliğinin Tanımı

Hava kirliliğinin en genel tanımı; havanın doğal yapısında bulunmayan maddelerin atmosferde hava bileşimi içinde yer alması, havanın doğal yapısında bulunan maddelerin de çevreye zarar verecek konsantrasyonlara ulaşmasıdır. Kirliliğe neden olan bu maddeler katı, sıvı ve gaz halde bulunabilirler (Ölmez,1998). Bir başka tanım; insan, hayvan, bitki veya eşyalara zarar verebilecek miktarlarda, toz, gaz sis, koku, duman veya buhar gibi dış atmosferde bulunan bir veya daha fazla kirleticisi hava kirlenmesini oluşturmaktadır (Gümüş, 1991).

Hava kalitesi, insan ve çevresi üzerine etki eden hava kirliliğinin göstergesi olan, çevre havasında mevcut hava kirlleticilerin artan miktarlarıyla azalan kalitelerdir. Bu kalitelerin belirlenmesindeki amaç, insan ve diğer canlıların sağlığını korumak ve atmosferin doğal yapısının bozulmasını önlemektir. Bu amaçla, korunması hedeflenen varlıklara göre farklı hava kalitesi sınırlamaları yapılmakta, bunlar ülkeden ülkeye, hatta aynı ülkede bölgeler arasında değişmektedir (Ölmez, 1998).

Ülkemizde 2872 sayılı Çevre Kanunu'na dayanarak 2 Kasım 1986 tarihinde yürürlüğe girmiş olan Hava Kalitesi Kontrol Yönetmeliği'nde değişik hava kalitesi sınırlamaları bulunmaktadır. Bunlardan kirleticisi parametreler ve uygulama alanları açısından en geniş kapsamlı olanlar Uzun Vadeli Sınır (UVS) ve Kısa Vadeli Sınır (KVS) değerleridir. UVS, aşılmaması gereken bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerlerdir. KVS ise maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerleri büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının %95'ini aşmaması gereken değerlerdir. Bu sınır değerler çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

1.2 Hava Kirleticilerinin Sınıflandırılması

Hava kirleticileri fiziksel hallerine göre, gaz ve partikül halindeki kirleticiler olmak üzere iki ana sınıfta toplanabilirler. Ayrıca hava kirleticilerini oluşumlarına göre primer ve sekonder olmak üzere iki grupta toplamak da mümkündür.

Çizelge1.1 HKKY'deki uzun ve kısa vadeli hava kalitesi sınır değerleri (HKKY, 1986)

Kirletici	Birim	UVS	KVS
Kükürt dioksit			
- Genel	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150	400 (900)
- Endüstri bölgeleri	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	250	400 (900)
Karbonmonoksit	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10.000	30.000
Azot dioksit	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	300
Azotmonoksit	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200	600
Klor	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	300
Klorlu hidrojen ve gaz halde klorürler	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	300
Florlu hidrojen ve gaz halde florürler	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	---	10 (30)
Ozon	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	---	(240)
Hidrokarbonlar	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	---	140 (280)
Hidrojen sülfür	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	---	40 (100)
Havada asılı partiküler maddeler			
- Genel	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150	300
- Endüstri bölgeleri	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200	400
PM içindeki kurşun ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2	---
PM içindeki kadmiyum ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,04	---
Çöken tozlar			
- Genel	$\text{mg}/\text{m}^2.\text{gün}$	350	650
- Endüstri bölgeleri	$\text{mg}/\text{m}^2.\text{gün}$	450	800
Çöken tozlarda kurşun ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$	500	---
Çöken tozlarda kadmiyum ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$	7,5	---
Çöken tozlarda talyum ve bileşikleri	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$	10	---

Not: Parantez içindeki değerler referans maksimum saatlik konsantrasyonlardır.

Gaz Halindeki Kirleticiler

Gaz halindeki kirleticilerin kaynakları yanma, sanayi tesisleri ve doğal kaynaklar olarak üç kategoride toplanabilir. Gaz halindeki primer kirleticiler içinde en önemlilerini kükürtlü bileşikler (SO_2 , H_2S gibi), azotlu bileşikler (NO , NH_3 gibi), karbonlu bileşikler (CO ,

hidrokarbonlar-HC) ve halojen bileşikler (florür, klorür. Bromür gibi) oluşturur. Sekonder kirleticiler içinde ise SO_3 , H_2SO_4 , NO_2 ve NO_3 gibi bileşikler gelmektedir.

Partiküller Halindeki Kirleticiler

Partikül halindeki kirletici kaynakları da yanma, sanayi tesisleri ve doğal kaynaklardır. Partiküller katı ya da sıvı halde bulunabilirler.

Primer ve Sekonder Kirleticiler

Primer kirleticiler, kaynaktan doğrudan atmosfere verilenler, sekonder kirleticiler ise primer kirleticiler ile atmosferde bulunan bir takım kimyasal maddelerin reaksiyonu neticesinde ortaya çıkanlardır. Örneğin fotokimyasal oksidantlar (ozon, peroksiasetilnitrat-PAN, NO_2), atmosferde solar radyasyon (UV ışını) ile birtakım bileşiklerin (NO_2 , HC gibi) zincirleme reaksiyonları neticesinde meydana geldikleri için sekonder kirletici grubuna girerler.

1.3 Kirleticilerin Emisyon Kaynakları

Atmofere karışan gerek gaz, gerekse partikül halindeki kirleticilerin olduğu yerlere **kaynak** adı verilir. Genel olarak hava kirletici kaynaklar “doğal kaynaklar” ve “yapay (antropojen) kaynaklar” olarak sınıflandırılabilirler.

Doğal kaynaklara örnek olarak volkan faaliyetlerini, orman yangınlarını veya açık arazide yakmayı verebiliriz.

Hava kirlenmesi kontrolü bakımından asıl önemli olan antropojenik kaynaklardır. Bunlar kendi içinde farklı şekillerde sınıflandırılabilirler. Kaynağın konumunun fiziksel olarak zamana bağlı değişip değişmemesine göre sabit kaynaklar ve hareketli kaynaklar şeklinde iki sınıfta ele alınabilirler.

Sabit Kaynaklar

Eğer kirletici kaynağın yeri sabitse ve zamanla değişmiyorsa bunlara sabit kaynaklar denir. Evsel ısınma tesisleri, termik santraller ve fabrikalar bu tür kaynaklardır. Bunlar da kirliliği yayma şekline göre nokta ve alan kaynak olarak ikiye ayrılırlar.

- Nokta kaynaklar; bir üretim faaliyeti sonucunda oluşan hava kirleticilerin tek bir noktadan atmosfere verildiği kaynaklardır.

- Alan kaynaklar; kirleticilerin geniş bir alanın tamamından atmosfere yayıldığı kaynaklardır. Ayrıca doğal kaynakların büyük bir çoğunluğu da alan kaynak sınıfına girmektedir.

Hareketli Kaynaklar

Eğer hava kirliliğine neden olan kaynağın yeri zamanla değişiyorsa bu tür kaynaklar hareketli kaynaklar olarak isimlendirilir. Örneğin taşıtlar hareket halinde iken kirletici oluşturdıklarından hareketli kaynaklardır. Duman davranışı açısından bunlar “çizgisel kaynak” olarak da tanımlanabilmektedir. Çünkü bu kaynaklardan çıkan kirleticiler bir hat şeklinde atmosfere (otoyollar) atılmaktadır.

1.4 Yakıtlar

Genel anlamda yandığı zaman ısı açığa çıkaran maddelere yakıt denir. Doğal haliyle yakıt olarak kullanılabilen yakıtlara (taşkömürü, linyit vb.) birincil yakıtlar, bazı işlemler sonucunda özellikleri değiştirilerek kullanılan yakıtlara (kok, mangal kömürü vb.) ise ikincil yakıtlar denilmektedir. Yakıtları fiziksel halleri açısından katı, sıvı ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırmak mümkündür.

Ülkemizde yakıt kullanımı incelendiğinde katı yakıtların birincil, petrol kökenli yakıtların da ikincil yakıt olarak kullanıldığı görülmektedir. Yakıtları temelde üç grup halinde incelemek mümkündür:

Katı yakıtlar

Kömür bünyesinde bulunan karbon ve hidrojen çok karmaşık ve büyük molekül yapılarında bulunur ve C/H oranı yüksektir. Isıl değeri azaldıkça kömürün nem ve yabancı madde oranı artar. Bu yabancı maddeler bazen karışım halinde bazen de molekül yapısında C- ve H-bağlarına tutunmuş olarak yer alır. Nem ise yer altından gelen kömüre fiziksel olarak bağlı sudan veya bünyede bulunan H- atomları yandığında oluşan su buharından ileri gelir. Birincisi fiziksel nem, ikincisi ise kimyasal nem olarak adlandırılır. Kurutulmamış kömürdeki fiziksel bağlı nem, hem yakıtın nakliye masrafını artırır, hem de yanma sırasında elde edilen enerjinin bir kısmı bu nemi buharlaştırmaya gideceği için yakıtın ısıl değerini azaltır.

Kül, yanmayan maddelerden meydana gelir; toz, toprak, kum, demirli, silikatlı, alüminatlı, kireçli ve magnezyumlu bileşenler bunlar arasında sayılabilir. Kül içeriğinin fazla olması, nemin fazlalığına benzer şekilde yakıtın ısıl değerini düşürür. Ayrıca kül içeriğinde

bulunabilen ergime noktası düşük bileşenler, yanma sırasında ergiyerek camlaşır ve bu sırada yakıtın da bir kısmını örterek yanmayı engelleyebilir. Kül yapısındaki kireç taşı, dolomit gibi karbonatlı maddeler ise yüksek sıcaklıklarda kalsine olur, yani karbon dioksit çıkışı ile kalsiyum ve magnezyum oksitlere dönüşebilirler. Bu durumda ısı çıkışı yine etkilenir ve azalır. Buna karşılık bu alkali oksitlerin atık gaz içerisindeki kükürt oksitleri tutarak uzaklaştırmaya yardımcı oldukları belirlenmiştir.

İçeriğinde bulunan yanabilir nitelikteki ağır molekül yapısındaki organik madde (bitüm), kömüre parlak yağlı bir görünüm verir. Bu madde yakıtın ısı değerini artırır, kirletici özelliklerini de belirler. Bitümsüz ve çok miktardaki yabancı maddelerle karışık bir tür olan linyitler ülkemizde çok büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu kalitesiz kömür varlığı ülkemizin tonaj bakımından en önemli enerji kaynaklarından başta gelenidir. (Müezzinoğlu A., 2000)

Sıvı yakıtlar

Sıvı yakıtlardan endüstriyel amaçlarla veya büyük bina ısıtmasında kullanılan türler ağır residüel yağlar sınıfındaki fuel oillerdir. Bunlar ham petrol damıtılmasından artakalan zift grubundan hemen önceki ağır yağlar sınıfıdır. Petrolün yapısına bağlı olarak bu fraksiyonlarda kükürt ve diğer yabancı maddelerin en büyük kısmı kalır. Eğer özel bir desülfürizasyon yöntemi uygulanmazsa, bu yakıtlar önemli ölçüde kükürt içerir. Bu gibi fueloil desülfürize edebilen sistemler Türkiye'deki rafinerilerde henüz yoktur. Bu nedenle de fuel oillerde yüksek oranda kükürt vardır ve bunlar yandığında bacalardan büyük miktarda kükürt dioksit emisyonu çıkmaktadır. Çoğunlukla rafineri çıkışında fuel oil analizlerinde kükürt oranı verilmemekte, ancak bu oranın 6 numaralı fuel oil için %3,5 dolaylarında olduğu ifade edilmektedir. Analizlerde kükürt oranı verilmemesi normaldir çünkü ham petrolün kükürt içeriğine bağlı olarak değişken oranlar söz konusudur. Bu nedenle birçok kez %3,5'tan daha fazla kükürt içeren fuel oillerin piyasaya çıktığı görülmektedir. Hatta 4 numara adıyla piyasaya verilen yakıtın bile kükürt yüzdesi %2-2,4 civarında olmaktadır ki bu gibi kükürt yüzdeleriyle atık gazların Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğince öngörülen emisyon sınırlarına uyması mümkün değildir. Sadece fuel oilleri motorin ile inceltmek suretiyle yapılacak karışımların yasal sınırlara uygun sıvı yakıtlar oluşturması mümkün olmaktadır. (Müezzinoğlu A., 2000)

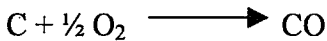
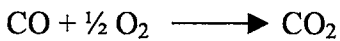
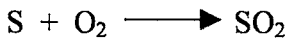
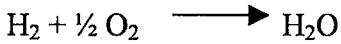
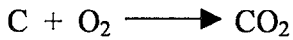
Gaz yakıtlar

Ülkemize yakın geçmişte giren Sibiry kökenli doğal gaz, İstanbul-Kocaeli-Bursa-Eskişehir-Ankara hattında kentlerde ve sanayilerde bir ölçüde hava kirlenmesi sorununa acil çözüm getirmektedir. Bunun dışında bütan ve propan karışımı sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ile çalışan kazanlar ve elektrik üretiminde yaygınlaşan kojenerasyon sistemleri basınçlı hale getirilerek sıvı şekilde nakledilip depolanan gazlarla, sobalar ise tüp gazla çalıştırılabilmektedir.

Gaz yakıtlarda hem yanma daha iyi ve kolaydır, hem de kül ve kükürtlü atıklar pek az olduğundan çevre kirletici etkileri minimum düzeydedir. Ancak yüksek yanma sıcaklıklarında çalışıldığından azot oksit oluşumlarının özel tasarlanmış sistemler kullanılmak suretiyle kontrol edilmesi şarttır. (Müezzinoğlu A., 2000)

1.5 Yanma

Yanma yakıt içerisindeki yanabilir elemanların havanın oksijeni ile hızlı kimyasal bileşmeleri olayı şeklinde tarif edilebilir. Yakıt içerisindeki temel yanabilir elemanlar karbon (C), hidrojen (H), kükürt (S) ve bunların bileşikleridir. Yanma işleminde bu elemanlardan karbon karbondioksit, hidrojen su buharına ve kükürt de kükürt dioksit dönüşürken yanma ısısı adı altında enerji verirler. Yanabilen elemanlarla oksijenin birleşmesi tutuşma için yeteri kadar yüksek sıcaklığa, çok iyi bir karışma veya türbülansa ve yanmanın tamamlanması için yeterli bir zamana ihtiyaç gösterir. Temel yanıcı elemanların yanma reaksiyonları aşağıda verilmiştir.



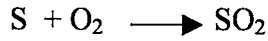
Fosil yakıt adını verdiğimiz kömür veya petrolün yakılması ile oluşan CO₂ ve bu yakıtların içinde bulunan hidrojenin yanması ile açığa çıkan su buharı hava kirletici sayılmaz. Ancak yakıt içeriğinde bulunan safsızlıklarla, hava (oksijen) veriliş oranı ve şekline, yanma sıcaklığının gereğinden az veya çok oluşuna bağlı nedenlerle bu iki reaksiyonun tam olarak meydana gelmeyişi nedeniyle oluşan başka gaz ve buharlar kirletici sayılırlar. Örneğin yakıt

içindeki karbon, oksijen ile birleşerek karbondioksit oluşturduğu gibi bazen tam yanmama sonucu karbon monoksit oluşur.

Yüksek yanma sıcaklıklarında (800°C ve üstü) havanın azotu ile oksijen birleşerek aşağıdaki reaksiyonları meydana getirir.



Yakıtın bileşimindeki kükürt:



reaksiyonu gereğince SO₂ olarak ortaya çıkar. Yakıtın kül yüzdesine ve yakma sisteminin türüne göre toz emisyon oluşur. Ayrıca, tam yanmama nedeniyle yakıtın yanmayan kısmı yanmamış hidrokarbonlar olarak ortaya çıkar. Bunların yanı sıra, sanayi kuruluşlarından üretim artığı pek çok türde toz, gaz ve buhar; açıkta bırakılan hammadde, yarı ürün veya üründen dolayı yaygın olarak bacalardan atmosfere verilmektedir.

2. EMİSYON ENVANTERİ

2.1 Emisyon Envanterinin Tanımı

Hava kirliliğinin belirlenmesi ve kontrolünde, kirletici türlerinin ve bunların emisyonlarının bilinmesi gereklidir. Kirletici kaynakların atmosfere birim zamanda verdiği kirletici miktarı olarak tanımlanan **emisyon**, atmosferdeki kimyasal reaksiyonlardan, meteorolojik ve topografik koşullara kadar çeşitli faktörlerden etkilenir. Söz konusu bu emisyonların bir bölgede sistematik olarak toplanması ve değerlendirilmesine ise **emisyon envanteri** adı verilir. Emisyon envanterinin yapısını kirletici kaynaklar ve bunların neden olduğu kirlilik miktarı oluşturur. Kirlilik miktarları belirlenirken kirletici kaynağa ait pek çok bilgiden yararlanılır. Bunlar kirletici kaynakların sayısı, proses türü, yakıt sarfıyatı gibi bilgiler olabilir.

Diğer bir tanımla emisyon envanteri, incelenecek bir bölgede belirli bir zaman diliminde, hava kirletici kaynaklardan atmosfere verilen kirleticilerin listesidir. Kısa veya uzun vadede hava kalitesi tahmini ve değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan dispersiyon modellerinde en önemli girdidir (Kemerdere, 1996).

Emisyon envanterleri sürekli güncel tutulan çalışmalardır. Yeni veriler elde edildikçe, mevcut envantere hemen ilave edilir ve envanter bu son değişikliğe göre güncel tutulur. Aksi takdirde envanter, kısa bir süre içinde geçerliliğini kaybeder.

Emisyon envanterleri değişik amaçlarla yapılabilir. Bu amaçlardan başlıcaları şu şekilde verilebilir:

1. Emisyonların azaltılmasına yönelik faaliyetlerin yönlendirilmesi,
2. İzleme istasyonlarının ve erken uyarı şebekesinin konumlandırılmasına katkıda bulunması,
3. Hava kirletici yüklerin coğrafi ve mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi,
4. Uygulanılacak stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olunması,
5. Hava kalitesi problemlerinin önceliklerinin belirlenmesi,
6. Bölgesel planlama yapılabilmesi,
7. Gelecekteki hava kalitesi eğilimlerinin tahmin edilmesi,
8. Hava kirliliğinde fayda-maliyet ilişkisinin belirlenmesi,

9. Toplumun eğitimi ve bilgilendirilmesine yönelik programların oluşturulması (Tünay ve Alp, 1996).

2.2 Emisyon Envanteri Çeşitleri

Günümüzde, gerek Avrupa'da gerekse ülkemizde farklı amaçlarla hazırlanmış ve halen hazırlanmakta olan çok sayıda emisyon envanteri mevcuttur. Genellikle Avrupa'da faaliyet gösteren büyük çevresel organizasyonlar ve araştırma grupları tarafından hazırlanan bu envanterlerden belli başlıları şunlardır:

- ECE-EMEP (Economic Commission for Europe)-(The European Monitoring and Evaluation Programme, Avrupa'da hava kirleticilerin uzun mesafeli taşınımının izlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla düzenlenen program)
- CEC-CORINAIR (Commission of European Communities, Avrupa Topluluğu Komisyonu)-(COordination INformation AIR, Topluluğa üye ülkeler arasındaki çevresel sorunların çözümleri ile ilgili proje)
- CEC-DG-XI (Commission of European Communities, Avrupa Topluluğu Komisyonu)-(European Commission Directorate for Environment Nuclear Safety and Civil Protection)
- PHOXA (Photochemical Oxidant and Acid deposition model application)
- OECD-IPCC (Organization for Economic Co-operation and Development)-(Intergovernmental Panel on Climate Change)
- EUROTRAC/GENEMIS (European Experiment for Transporting and Transforming Environmentally Relevant Trace Construction in the Troposphere, Avrupa üzerindeki troposfer tabakasının insan faaliyetlerinden nasıl etkilendiğini inceler)/(Generation and evaluation of Emission data, Avrupa'da bir emisyon envanteri veri bankası oluşturulması ve bu bankada toplanacak verilerin EUROTRAC'ın diğer bir alt projesinde kullanılan hava dağılım modeline girdi olarak hazırlanması projesi)
- OECD-MAP (Organization for Economic Co-operation and Development) emisyon envanterleridir.

2.3 Emisyon Envanteri Hazırlama Aşamaları

Emisyon envanterleri kapsadıkları alana göre global ölçek, bölgesel ölçek ve yerel ölçek olmak üzere genelde üç ölçekte gerçekleştirilir. Literatürde, hangi ölçekte olursa olsun bir emisyon envanterinin dört ana aşamada hazırlandığı ifade edilmektedir. Bunlar sırasıyla:

- Planlama
- Veri toplama
- Veri analizi ve emisyon tahmini
- Raporlama

2.3.1 Planlama

Tüm planlama işlemlerinin gerçekleştiği bu aşamada, çalışmayı gerçekleştirecek olan araştırmacı kurum veya kişi öncelikle envanteri hangi amaçla hazırlayacağına karar verir. Karardan sonra çalışmanın amacına bağlı olarak envanterin kapsayacağı coğrafi alan, içereceği kirletici ve kirletici kaynak türleri belirlenir. Elde edilen sonuçların nasıl kullanılacağı ve hangi düzende sunulacağı bu aşamada planlanır.

2.3.2 Veri Toplama

Emisyon envanterlerinin kalitesi, kirletici kaynaklar hakkında toplanan bilgilerin miktarı ile doğru orantılıdır. Bu yüzden, envanter çalışmalarında kirletici kaynaklar hakkında mümkün olduğunca çok ve detaylı bilgi toplanmalıdır. Emisyon envanterlerinde genelde kirletici kaynaklar üç grupta toplanırlar. Bunlar:

- Nokta kaynaklar (genellikle sanayi tesisleri)
- Alan kaynaklar (genellikle evsel ısınma)
- Çizgi kaynaklar (trafik)

Her kirletici kaynak türünün kendine has farklı bilgi çeşidi vardır. Örneğin nokta kaynaklar için yakıt tüketimi, üretim türü, çalışma süresi, baca yüksekliği vb. bilgiler önemliyken, diğer bir kirletici kaynak türü olan çizgi kaynaklar için yakıt sarfiyatları, seyahat mesafeleri, kullandıkları teknoloji vb. gibi bilgiler önemlidir.

2.3.3 Veri Analizi ve Emisyon Tahmini

Bir önceki aşamada elde edilen ham veriler bu aşamada iyice analiz edilerek emisyonların tahmininde kullanılacak bilgilere dönüştürülür ve daha sonra ifade edilecek metotlardan biri kullanılarak emisyon tahmini yapılır. Emisyon tahmini için kullanılan en yaygın metot, emisyon faktörlerinin kullanılmasıdır. Emisyon faktörü üretmek zor bir iş olduğundan genellikle hazır veri tabanlarının kullanılması yoluna gidilmektedir. Böyle bir hazır veri

tabanı kullanılırken dikkat edilecek husus, bu veri bankasından temin edilen emisyon faktörlerinin güvenilirliğinin ve çalışmanın hazırlandığı bölge karakteristiklerini temsil edip etmediğinin tespit edilmesidir. Bu veri tabanının sürekli güncelleştiriliyor olması da aranan diğer bir özelliktir.

2.3.4 Rapor Hazırlama

Bu aşamada, elde edilen sonuçlar, planlama aşamasında belirlenen hedefler doğrultusunda sunulur. Envanter sonuçları yeterince açık ve çarpıcı olmalıdır.

2.4 Emisyon Tahmini

Emisyon envanterlerinde emisyonların tespiti üç yöntem ile yapılır.

- Yerinde ölçüm
- Kütle dengesi
- Emisyon faktörü kullanımı

Yerinde ölçüm metodu, gelişmiş ekipman ve yüksek maliyet gerektirdiğinden pratikte her zaman mümkün olmayabilir. Özellikle ülkemizdeki ekipman ve deneyimli eleman sayısı dikkate alındığında, her kirletici kaynakta bire bir ölçüm yapmak çok zordur. Bu durumlarda kullanılacak en iyi yöntem emisyon faktörleridir. Kirletici kaynağın birim faaliyeti başına havaya verdiği kirletici miktarı olarak anılan *emisyon faktörü*, her ne kadar madde dengesi yöntemini esas alsada bir takım hazır rakamlardan ibaret olması kullanımını diğer yöntemlere oranla üstün ve kolay kılar. Emisyon faktörü üretmek çok zor ve zahmetli bir çalışma olduğu kadar ileri teknoloji de gerektiren bir çalışmadır. Bu yüzden günümüzdeki çoğu emisyon envanteri hazırlama çalışmasında hazır emisyon faktörü veri tabanlarının kullanılması yoluna gidilmektedir.

2.5 Emisyon Faktörleri

Emisyon faktörü, bir kirletici kaynağın birim faaliyeti başına atmosfere vermiş olduğu kirletici miktarı olarak tanımlanabilir. Emisyon faktörlerinin en yaygın kullanış biçimleri, atmosfere yayılan kirlilik miktarının, kaynak tarafından tüketilen birim yakıt miktarına kütleli oranı ya da birim zamanda endüstriyel kaynaktan çıkan birim ürün miktarına oranı şeklindedir. Aşağıda birkaç farklı emisyon faktörü birimi örnek olarak verilmiştir:

- kg SO_x / ton kömür
- kg NO_x / saat
- kg NO_x / km araç

Temelde kütleli emisyonları, kaynaktaki birim üretim ile veya kaynaktaki birim yakıt tüketimi ile ilgilendirmek gereklidir. Özellikle yakıt tüketimi ile ilişki kurulduğunda kaynaktaki yakma teknolojisine de aynı oranda dikkat etmek gereklidir. Zira aynı yakıtı kullanan fakat farklı yakma teknikleri kullanan kaynaklarda ölçme yoluyla belirlenen emisyonlar arasında büyük farklar görülebilmektedir.

2.6 Emisyon Faktörü Veri Tabanları

Günümüzde, özellikle Avrupa'da pek çok emisyon faktörü veri tabanı bulunmaktadır. Bunların içinde en kapsamlı olanı CORINAIR emisyon faktörü veri tabanıdır. En az CORINAIR veri tabanı kadar zengin olan diğer bir veri tabanı da Amerika'daki EPA emisyon faktörü veri tabanıdır. Bu çalışmada EPA emisyon faktörü veri tabanı kullanılmıştır ve bu değerler çizelge 2.1'de verilmiştir.

2.7 Literatürdeki Emisyon Envanteri İle İlgili Çalışmalar

Bugüne kadar emisyon envanteri ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde Asya'da, Avrupa'da ve ülkemizde yapılmış bu çalışmalardan bazılarına yer verilmiştir.

Sivacoumar ve arkadaşları (1999) yaptıkları çalışmada Hindistan'ın Jamshedpur şehrinde ölçülen NO_x emisyonunu matematik modeli kullanarak buldukları tahmini emisyon ile kıyaslamışlar ve %68'lik doğruluk elde etmişlerdir. Endüstriyel hava kirliliği kaynakları, endüstrilerin emisyon oranlarından ve karakteristiklerinden toplanmıştır. Taşıtlar kullandıkları yakıtlara göre sınıflandırılmış ve taşıt sayısı resmi kaynaklardan öğrenilmiştir. Evsel kirlilik kaynakları için aile sayısına, kullanılan yakıt tipine ve miktarına göre bilgi toplanmıştır. Meteorolojik veriler, taşınabilir rüzgar monitörü aleti kurularak toplanmıştır. Ortam hava kalitesi ağı 19 izleme istasyonunun 24 saatlik periyotlarla çalışmasıyla bulunmuştur. Model performansı, model doğruluk değerlendirme metodu kullanılarak test edilmiştir. Bu metodun içerdiği kriterler, gözlenen konsantrasyonlardan ve tahmini değerlerden hesaplanabilir.

Çizelge 2.1 Yakıt yanması ile ilgili emisyon faktörleri (EPA, 1985)

Yakıt cinsi	PM	SO_x	CO	HC	NO_x
	kg/ton	kg/ton	kg/ton	kg/ton	kg/ton
KÖMÜR					
Linyit					
Pulverize	3,2 A	13,6 S	0,5	<0,45	6,4
Siklon	2,7 A	13,6 S	0,5	<0,45	7,7
Spreader Stoker	3,2 A	13,6 S	0,5	<0,45	2,7
Bitümlü Kömür					
Pulverize					
- Genel	8 A	19 S	0,5	0,15	9
- Islak	6,5 A	19 S	0,5	0,15	15
- Kuru Taban	8,5 A	19 S	0,5	0,15	9
Siklon	1,0 A	19 S	0,5	0,15	27,5
Spreader Stoker	6,5 A	19 S	1	0,5	7,5
Elle Besleme	10	19 S	45	10	1,5
FUEL-OIL					
Termik Santral	1,26	20,5 S	0,005	0,50	13,02
Sanayi Tesis					
Ağır Fuel-oil	2,9	20,1 S	0,25	0,50	8,96
Hafif Fuel-oil	1,9	20,1 S	0,25	0,50	8,96
Ev ve Ticari İşletmeler	0,1	20,1 S	0,25	0,63	1,46
DOĞAL GAZ	g/m³	g/m³	g/m³	g/m³	g/m³
Termik Santral	0,24	0,01	0,272	0,016	11,1
Sanayi Tesisi	0,24	0,01	0,272	0,048	3,6
Ev ve Ticari İşletmeler	0,24	0,01	0,272	0,128	1,9
BENZİN (kg/m³)	1,4	1,1	275	24	14
DİZEL (kg/m³)	13,2	4,8	7,2	16,3	26,6

Not: S: Yakıttaki kükürt yüzdesi A: Kömürdeki kül yüzdesi

Reddy ve Venkataraman (2001) yaptıkları çalışma Hindistan'daki fosil yakıt tüketimi ile ilgili ilk kapsamlı emisyon envanteri çalışmasıdır. Termik santraller, endüstriyel, ulaşım ve evsel sektörlerde tüketilen kömür, petrol ve doğal gaz yüzdeleri bulunmuştur (kömür %54 ile ilk sıradadır). Hindistan'ın spesifik yakıt karakteristikleri ve yanma/hava kirliliği kontrol

teknolojileri ile ilgili bilgiler kullanılarak SO_2 ve $PM_{2.5}$ için emisyon faktörleri türetilmiştir. Evsel ve ulaşım ile ilgili emisyon faktörleri ise literatürden elde edilmiştir. Burada yapılan envanter işlemi bölgesel ölçeklidir. Fosil yakıt tüketimi ve emisyonlar, endüstriyel kaynaklarda ve 22 şehirde en yüksek noktaya ulaşmıştır.

Saija ve Romano (2002) yaptıkları çalışmada standart CORINAIR top-down yaklaşımı kullanarak İtalya'nın gelişmiş bölgelerinin trafikten kaynaklanan emisyonlarını hesaplamışlardır. Her bir bölgenin NO_x , VOC, CO, CO_2 ve PM emisyonları tahmininde COPERT (Computer Programme to estimate Emission from Road Traffic) metodu uygulanmıştır. Bu metot, geniş veri tabanlı bir matematik modeldir ve her bir aracın ortalama hızı, kilometresi, yakıt tüketimi gibi parametrelerle ilişkilidir. Popülasyon ve otoyol uzunluğu gibi değişkenler yardımıyla top-down yaklaşımı uygulanır. Araştırmalar sayesinde ülkenin bölgesel emisyon envanteri listelenmiştir ve hava kalitesi değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

Ölmez (1998) yaptığı çalışmada Muğla ilinin hava kirliliği açısından değerlendirmesini yapmıştır. Sanayi tesislerinden, evsel ısınma ve trafikten kaynaklanan kirleticiler belirlenmiş ve EPA emisyon faktörü kullanılarak kirletici miktarları belirlenmiştir. Böylece Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallerinden kaynaklanabilecek kirleticiler ve miktarları belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada evsel ısınmada kullanılan kömüre kireç ilave edilmesiyle SO_2 emisyon ölçümündeki düşüş miktarı da gözlenmiştir.

Goncaloğlu (2000) yaptığı çalışmada İstanbul için endüstriyel kaynaklardan atılan esas kirleticiler (CO , NO_x , SO_2 ve toz) için yaklaşık bir emisyon envanteri hazırlamıştır. Esas kirleticilerin yıllık miktarları baca ölçüm değerleri olan tesisler için ölçüm değerleri dikkate alınarak; baca ölçüm sonuçları olmayan sanayi tesisleri için ise düzenlenen bir anketle elde edilen bilgiler yardımıyla üretim, yakma sistemleri ve kullandıkları yakıtlar dikkate alınarak Amerikan EPA ve Avrupa CORINAIR emisyon faktörleri kullanılmak suretiyle yıllık emisyon miktarları hesaplanmıştır. Böylece İstanbul'un sanayi tesisleri tarafından kirletilen ilçeleri ve kirletilme miktarları belirlenmiş, seçilen dört esas kirleticinin İstanbul mücavir alan içerisindeki 26 ilçedeki dağılımı tespit edilmiş ve bu dağılım bir bilgisayar programı vasıtasıyla harita üzerinde gösterilmiştir.

Elbir (2002) yaptığı çalışmada İzmir ilinde endüstriyel ve evsel ısınma kaynaklı kükürt dioksit emisyonunun dispersiyonunu bulmak için CALMET meteorolojik modeli ve CALPUFF duman dispersiyon modelini kullanmıştır. SO_2 konsantrasyonu 4 adet izleme istasyonu ile kabul indeksi (d) ve RMSE (root of the mean square error) metodu kullanılarak bulunmuştur.

Tahmin edilen ve ölçülen SO₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması ile istatistiksel analizler yapılmıştır. 2000 yılı verilerine göre kabul indeksi 0,51 ile 0,77 arasında, RMSE ise 0,36 ile 0,66 arasında değişmektedir. İzleme istasyonları için model performansı %68’lik doğruluk ile iyi bir sonuç vermiştir.



3. MODELLEME

3.1 Matematik Modellemenin Tanımı ve Uygulama Prensipleri

Herhangi bir bölgede hava kirliliğinin kontrolü ve çeşitli kaynakların hava kirliliği etki değerlendirmesi, kirleticilerin atmosferde difüzyonu ve taşınımını ifade eden hava kirliliği simülasyon modelleri ile yapılmaktadır.

Modeller, kirletici kaynak veya kaynaklardan oluşan emisyonların, bu kaynak etrafındaki dağılımlarını, yer seviyesindeki çökelmelerini, yer seviyesinde veya soluma yüksekliğindeki uzun ya da kısa dönemli ortalama konsantrasyonlarını hesaplar.

Matematik modellerin hava kirlenmesi kontrolünde uygulanabilmesi için modelde kullanılacak giriş verilerine ihtiyaç vardır. Bu veriler uygulanacak modele göre farklılık göstermekle birlikte dört ana grupta tanımlanabilir. Bunlar meteoroloji, topografya, emisyon envanteri ve atmosfer kimyasıdır.

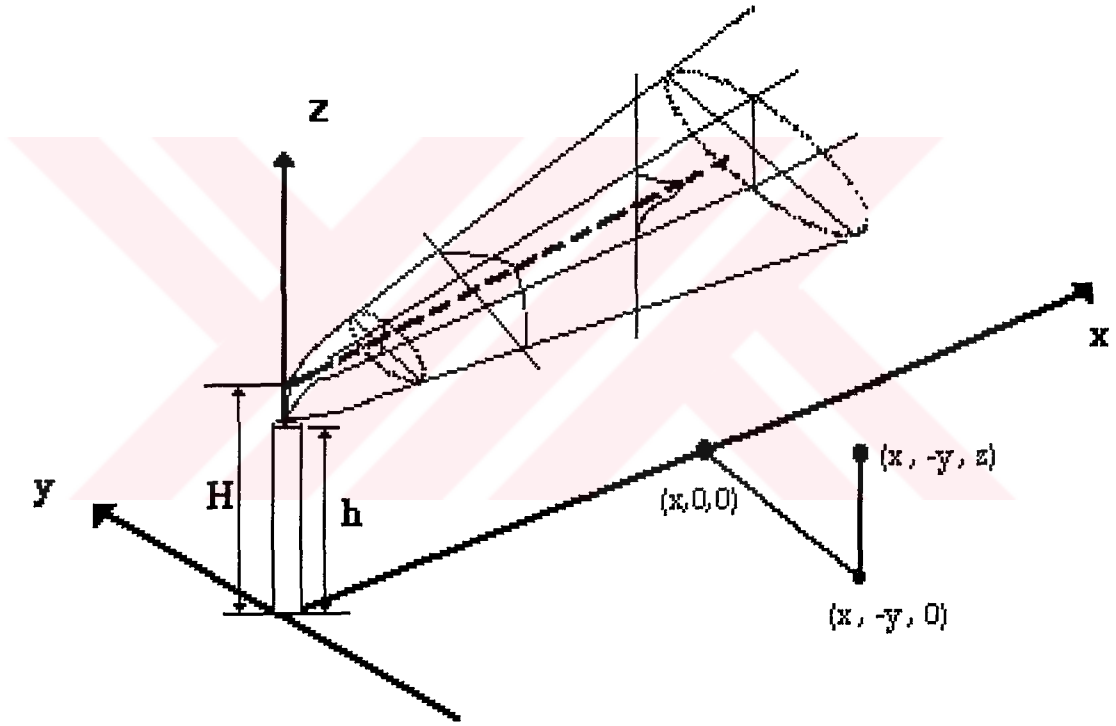
Hava kirliliği modellerinde temel yöntem, koordinatlarda oluşturulan gridlerde, modelin uygulanacağı bölgenin rüzgar esme yön ve frekansı, dış ortam sıcaklığı gibi meteorolojik verileri, baca çapı, emisyon miktarı, baca gazı çıkış hızı ve sıcaklığı gibi kaynak verileri ve topografik özellikleri modelde girdi olarak kullandıktan sonra, matematik ifadelerle kirleticilerin atmosferdeki taşınım ve dispersiyonu veya kimyasal ve fiziksel dönüşümleri ve uzaklaştırma proseslerini simüle etmektir. Modelin çıktısı ise belirli bir zaman aralığı içinde belirli alıcı noktalardaki kirletici konsantrasyonlarıdır.

3.2 Meteorolojinin Matematik Modele Etkisi

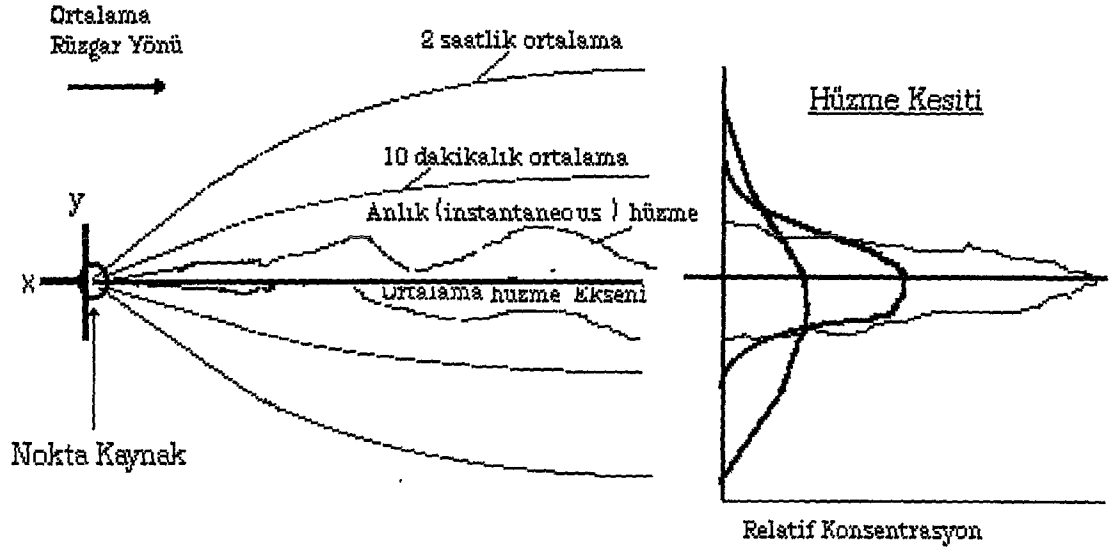
Kirletici kaynaktan çıkan emisyonların atmosferdeki yükselişini etkileyen faktörler şunlardır:

- Rüzgar hızı, esme yönü ve frekansı, dış ortam sıcaklığı
- Türbülans hareketlerinin şiddeti ve dağılımı
- Kaynaktan itibaren hareket süresi
- Bacanın geometrik yapısı
- Baca gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kirletici kaynaktan çıkan emisyonlar rüzgar yönüne dik eksenlerde (y ve z eksenleri) belirli bir süreç içinde Normal veya Gauss tipi bir dağılım gösterebilir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi kaynaktan çıkan hüzme, türbülans (eddy) hareketleri sonunda dağılım göstererek genişler. Kaynağa yakın mesafede etkili olan türbülans hareketleri ile uzak mesafelerdeki türbülans hareketlerinin boyutları farklıdır. Şekil 3.2’de hüzmenin zamana göre dağılımına bakıldığında; hüzme alanı rüzgar yönüne dik olarak genişledikçe, anlık, 10 dakikalık ve 2 saatlik periyotlarda konsantrasyonların seviyesinde düşme olduğu belirlenmiştir. Anlaşılacağı üzere, kirletici kaynaktan çıkan emisyonların dağılımında bölge meteorolojisinin (rüzgar hızı, esme yönü ve frekansları, türbülans hareketleri) önemli etkisi bulunmaktadır.



Şekil 3.1 Etkin baca yüksekliği H olan bir kaynaktan çıkan hüzmenin dağılımı (Ertürk, 2003)



Şekil 3.2 Nokta kaynaktan çıkan hüzmenin zamana göre dağılımı (Ertürk, 2003)

3.3 Emisyon Envanterinin Matematik Modele Etkisi

İncelenecek bölgenin kısa ve uzun vadede hava kalitesi tahmini ve değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan dispersiyon modellerinde emisyon envanteri sonuçları en önemli veridir. Bölgede belirli bir zaman diliminde, tüm kirletici kaynaklardan atmosfere verilen kirleticilerin listesidir. Modelleme yapılacak bölgede öncelikle emisyon envanterinin hazırlanması gerekmektedir.

3.4 Modellemede Kirletici Kaynakların Tanımı

Kirletici kaynaklar, atmosfere verdikleri emisyon miktarına ve bölgede yerleşim durumlarına göre üç ana grupta (alan kaynak, nokta kaynak ve çizgi kaynak) incelenmektedir.

3.5 Gauss Dispersiyon Modeli

Gauss dispersiyon modeli, herhangi bir nokta kaynaktan çıkan hüzmenin rüzgar yönüne dik olan eksenlerde (y ve z eksenleri) belirli bir süreç içerisinde “Normal” veya “Gauss” tipi bir dağılım gösterdiği esasına dayanmaktadır.

Bir nokta kaynaktan çıkan hüzme, türbülans (eddy) hareketleri sonunda dağılım göstererek genişleyecektir. Herhangi bir konumdaki kirletici konsantrasyonu örnekleme süresine bağlı

olup, “anlılık” hüzme dar bir alanda çok yüksek konsantrasyonlara sahip olabilmektedir. Buna karşı, 10 dakikalık ortalama bir süre içinde, hüzme daha geniş bir alana yayılmakta, fakat konsantrasyon düşmektedir. Aynı şekilde, 2 saatlik periyotta hüzme rüzgar yönüne dik yönde daha fazla yayılmakta, buna karşılık maksimum konsantrasyon seviyesinde düşme görülmektedir. Görüldüğü gibi, yeterli bir süre alındığında, rüzgar yönüne dik ekseninde konsantrasyon dağılımı “Gauss” veya “Normal Dağılım” göstermektedir.

Hüzmenin zamana göre dağılımına benzer bir şekilde, kaynaktan olan mesafeye bağlı olarak da (rüzgar yönü boyunca) bir yayılma söz konusudur. Hüzme genişledikçe, daha büyük “eddy”ler kirleticilerin dispersiyonunda etkilidir. Kaynağa yakın mesafelerde etkili olan türbülans hareketleri ile uzak mesafelerdeki türbülans hareketlerinin boyutları farklıdır. Dolayısıyla hüzmenin yayılma hızı sadece türbülans hareketlerinin şiddetine ve dağılımına değil aynı zamanda hüzmenin boyutuna, buna bağlı olarak da kaynaktan itibaren hareket süresine bağlıdır.

Hüzmenin fiziksel olarak gösterdiği dağılım özelliği, matematiksel olarak gauss fonksiyonu ile gösterilebilir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi rüzgar yönüne ve dolayısıyla hüzmenin hareketinin meydana geldiği x yönüne dik koordinatlarda, yani y ve z eksenlerinde, gauss veya normal dağılım ile temsil edilebilen iki ayrı difüzyon olayı meydana gelmektedir.

Gauss modeli, temel dispersiyon denkleminde, aşağıdaki varsayımlar yapılmak suretiyle ortaya çıkar:

Temel dispersiyon denklemi:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -u \frac{\partial C_i}{\partial x} - v \frac{\partial C_i}{\partial y} - w \frac{\partial C_i}{\partial z} + D_x \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} + \phi_i \quad (3.1)$$

Burada,

C_i : i kirleticisinin konsantrasyonu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

u : x yönündeki ortalama rüzgar hızı, m/sn

v : y yönündeki ortalama rüzgar hızı, m/sn

w : z yönündeki ortalama rüzgar hızı, m/sn

D_x : x yönündeki kütleli difüzyon katsayısı, m^2/sn

D_y : y yönündeki kütleli difüzyon katsayısı, m^2/sn

D_z : z yönündeki kütleli difüzyon katsayısı, m^2/sn

Φ_i : kirletici maddenin oluşumu veya giderimi ile ilgili terim, $\mu\text{g/sn}$

Varsayımlar:

1. Kirletici konsantrasyonu zamanla değişmiyor ve kaynaktan üniform bir hızla çıkıyor (kararlı durum),

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} = 0$$

2. y ve z yönlerindeki rüzgar hızı sıfır ve x yönündeki rüzgar hızı zamana göre değişmiyor,

$$u_x = \text{sabit} \quad , \quad u_y = u_z = 0$$

3. x yönündeki taşınımın rüzgar ile olduğu kabul ediliyor. Çünkü rüzgar ile taşınım difüzyon ile taşınımına göre çok daha etkin,

$$u \frac{\delta C_i}{\delta x} \gg D_x \frac{\delta^2 C_i}{\delta x^2}$$

4. Kirleticinin atmosferde herhangi bir reaksiyonla oluşumu veya giderimi yok, $\Phi_i = 0$.
Bu durumda temel dispersiyon denklemi aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir:

$$u \frac{\delta C_i}{\delta x} = D_y \frac{\delta^2 C_i}{\delta y^2} + D_z \frac{\delta^2 C_i}{\delta z^2}$$

adveksiyon

dispersiyon

Bu ikinci derece kısmi diferansiyel denklemin genel çözümü,

$$C = \frac{K}{x} \exp \left\{ -\frac{u}{4x} \left[\left(\frac{y^2}{D_y} \right) + \left(\frac{z^2}{D_z} \right) \right] \right\} \quad (3.2)$$

Burada, K sınır şartlarına bağlı olan bir sabittir. Sınır şartlarından biri, kararlı durumda kaynaktan rüzgar yönüne göre gidiş istikametinde herhangi bir dikey kesitte, kirletici transfer

hızının sabit olması ve kaynaktaki emisyon hızına (Q) eşit olmasıdır. Matematiksel olarak bu sınır şartı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$Q = \iint u C d_y . d_z \quad (3.3)$$

Yer seviyesinde bulunan bir nokta kaynak için z yönündeki integrasyon limitleri 0 ile sonsuz alınmaktadır. Bu durumda:

$$Q = \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty u \frac{K}{x} \exp \left\{ -\frac{u}{4x} \left[\left(\frac{y^2}{D_y} \right) + \left(\frac{z^2}{D_z} \right) \right] \right\} d_y . d_z \quad (3.4)$$

Bu ifadenin integrasyonu neticesinde,

$$Q = 2\pi K \sqrt{D_y D_z} \quad (3.5)$$

$$K = \frac{Q}{2\pi \sqrt{D_y D_z}} \quad (3.6)$$

Yer seviyesinden H yüksekliğindeki bir nokta kaynak için, z yönündeki integrasyon limitleri (-) sonsuzdan (+) sonsuza kadar gitmektedir. İntegrasyonun (-) sonsuz limiti, fiziksel olarak yer seviyesinin altında bir “hayali” kaynak ile temsil edilebilir. Bu durumda K sabitinin değeri:

$$K = \frac{Q}{4\pi \sqrt{D_y D_z}} \quad (3.7)$$

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi \sqrt{D_y D_z}} \exp \left\{ -\frac{u}{4x} \left[\left(\frac{y^2}{D_y} \right) + \left(\frac{z^2}{D_z} \right) \right] \right\} \quad (3.8)$$

Aşağıdaki tanımlamalar yapıldığında:

$$\sigma_y \equiv \sqrt{\frac{2xD_y}{u}} \quad (3.9)$$

$$\sigma_z \equiv \sqrt{\frac{2xD_z}{u}} \quad \text{.....(3.10)}$$

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad \text{.....(3.11)}$$

Bir bacadan çıkan gazlar rüzgar yönünde hemen yayılmaya başlamaz, momentum ve sıcaklık nedeniyle baca üstünde bir yükseklik alır, sonra rüzgar yönünde dağılmaya başlar. Dağılımın başladığı yükseklik etkin baca yüksekliği adını alır. Bu durumda dağılımın yerden H (etkin baca yüksekliği) yüksekliğinde bir kaynaktan başladığını düşünürsek Gauss modeli

$$C(x, y, z; H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] : C_1 \quad \text{.....(3.12)}$$

olarak ifade edilir. Diğer taraftan dağılım x boyunca ilerledikçe bir noktada yere temas eder. Bu noktada kirleticilerin ya yere yapışıp kaldığını (bazı partikül maddeler için bu kabul yapılabilir) ya da yerin içine geçtiğini düşünmek gerekir. Ancak gaz kirleticiler için bu ikisi de mümkün değildir. Çünkü gaz kirleticiler yere çarptıklarında yansıyarak hareketlerine devam ederler. Bu oluşumu temsil etmek üzere kaynağın yere simetrik bir imajiner kaynak ile birlikte bulunduğu ve böylece dağılımın yere temas eden noktadan itibaren yansımanın imajiner kaynağın katkısı ile ifade edilebileceği kabul edilir. Bu durumda Gauss modeli:

$$C_2 = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad \text{.....(3.13)}$$

C_1 : yansımanın olmadığı durum konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_2 : yansımanın olduğu durum konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q: kütleli debi ($\mu\text{g}/\text{sn}$)

u: günlük ortalama rüzgar hızı (m/sn)

σ_y ve σ_z : dispersiyon katsayıları (m)

x: rüzgar yönü mesafesi (m)

y: kaynak ile ölçüm yapılan nokta arasında rüzgar yönüne dik mesafe (m)

z: ortamdaki ölçümün yapıldığı yükseklik (Halk Sağlığı Lab. yüksekliği = 2 m)

Bu ifadede (z-H) yer seviyesinin üzerindeki “gerçek” kaynağı, (z+H) ise yer seviyesinin altındaki “hayali” kaynağı temsil etmekte H ise “etkin” baca yüksekliğini temsil etmektedir.

$$H = h + \Delta h \quad \text{.....(3.14)}$$

h: geometrik baca yüksekliği (m)

Δh : bacanın tepesinden sonraki hüzme yüksekliği (m)

Hüzme yüksekliklerini bulmak için Briggs Formülü kullanılmıştır (Wark, Warner ve Davis, 1998).

$$F = \frac{g * d^2 * V_g * (T_g - T_a)}{4T_g} \quad \text{.....(3.15)}$$

$$d = \left(\frac{S}{\pi} \right)^{1/2} \quad \text{.....(3.16)}$$

$F < 55 \text{ m}^4/\text{sn}^3$ ve $(T_g - T_a) \geq 0,0297 * T_g * \frac{V_g^{1/3}}{d^{2/3}}$ ise hüzme yüksekliği formülü:

$$\Delta h = \frac{21,425 * F^{3/4}}{u_H} \quad \text{.....(3.17)}$$

$$u_H = u_a * \left(\frac{h}{10} \right)^p \quad \text{.....(3.18)}$$

F: kaldırma akış parametresi (buoyancy flux parameter), m^4/sn^3

u_H : baca yüksekliğindeki rüzgar hızı, m/sn

T_g : baca gazı sıcaklığı, °K

T_a : ortam sıcaklığı, °K

V_g : baca gazı çıkış hızı, m/sn

g: yerçekimi ivmesi, $9,81 \text{ m}/\text{sn}^2$

d: baca çapı, m

S: baca kesit alanı, m^2

u_a : 10 m'deki rüzgar hızı, 3 m/sn (kabul)

h: fiziksel baca yüksekliği, m

p: atmosferik kararlılığa ve pürüzlülüğe bağlı bir katsayı

Kararlılık sınıflarına göre değişen 10 m'deki rüzgar hızı ve p değerleri çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kararlılık sınıflarına göre rüzgar hızı ve p değerinin değişimi

Kararlılık sınıfı	u_{10} (m/sn)	Kararlılık sınıfı	p
A	<2	A	0,09
A-B	2-3	B	0,20
B	3-5	C	0,25
C	5-6	D	0,37
C	>6	E	0,42
		F	0,50

Dispersiyon katsayıları olan σ_y ve σ_z değerlerini bulabilmek için kararlılık sınıflarının bilinmesi gereklidir. Kararlılık sınıfları tablosu çizelge 3.2'de, bu sınıfların açıklaması ise çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kararlılık sınıfları (Turner,1969)

Yüzey rüzgar hızı (10 m'de) m/sn	Gündüz			Gece	
	Güneş ışığı			Bulut örtüsü	
	Kuvvetli	Orta	Zayıf	Kapalı veya bulutluluk $\geq 4/8$	Açık veya bulutluluk $\leq 3/8$
Kategori	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Not: (1) solar açının 60° 'den büyük olduğu, açık yaz günleri

(2) parçalı bulutlu yaz günü

(3) solar açının 60°'den büyük olduğu açık sonbahar günleri veya parçalı bulutlu (alçak) yaz günleri, veya solar açının 15-35° olduğu açık yaz günleri

(4) kış günü için de kullanılabilir.

Çizelge 3.3 Meteorolojik şartlara bağlı kararlılık sınıfları

Meteorolojik şartlar	Kararlılık
1- aşırı kararsız	A
2- kararsız	B
3- hafif kararsız	C
4- nötr	D
5- kararlı	E
6- orta kararlı	F
7- aşırı kararlı	G

Kararlılık sınıfları bulunduğundan sonra Martin Denklemleri (Formül 3.18 ve 3.19) kullanılarak dispersiyon katsayıları bulunur. Formüllerde geçen x değeri, sanayi kaynağı ile ölçüm noktası (Halk Sağlığı Laboratuvarı) arasındaki kuş bakışı uzaklıktır ve 2,5 km'dir ($x \geq 1$ km). Çeşitli kararlılık sınıfları için Martin Denkleminin katsayıları çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Çeşitli kararlılık sınıfları için Martin Denkleminin katsayıları ($x \geq 1$ km)

stabilite	a	b	c	d	f
A	213	0,894	459,7	2,094	9,6
B	156	0,894	108,2	1,098	2
C	104	0,894	61	0,911	0
D	68	0,894	44,5	0,516	-13
E	50,5	0,894	55,4	0,305	-34
F	34	0,894	62,6	0,18	-48,6

$$\sigma_y = a * x^b \quad \text{.....(3.19)}$$

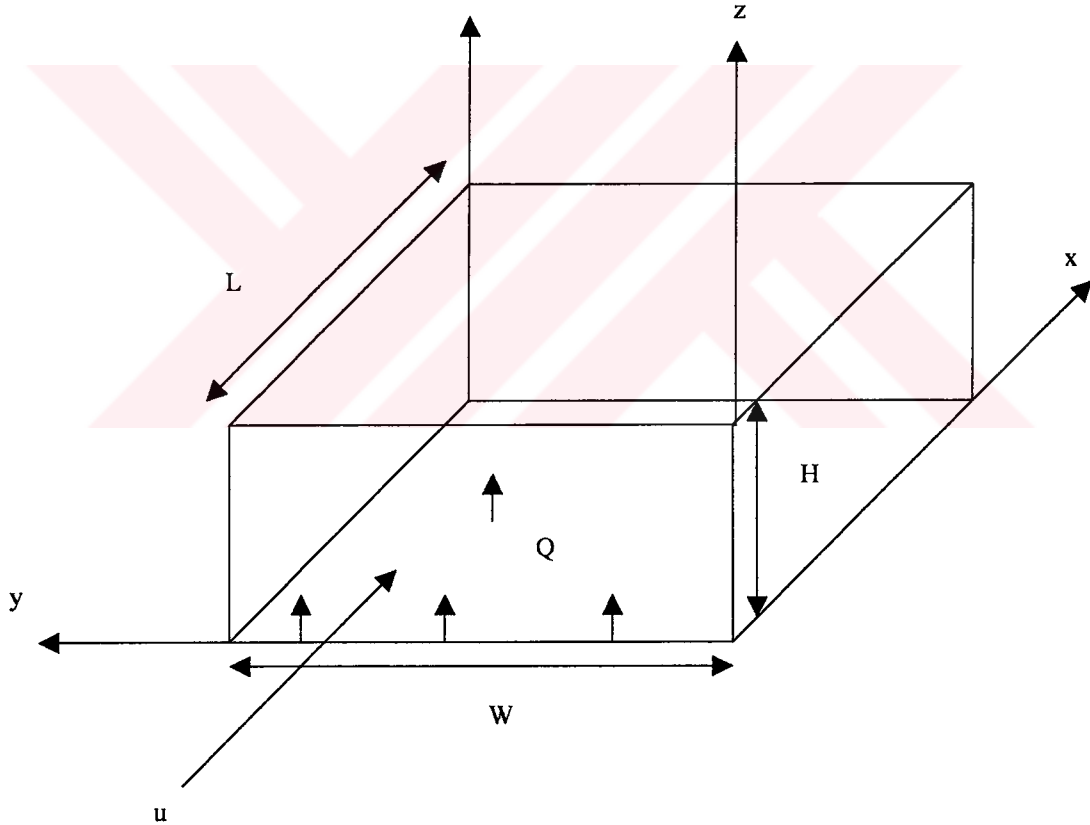
$$\sigma_z = c * x^d + f \quad \text{.....(3.20)}$$

3.6 ATDL Kutu Modeli

ATDL kutu modeli (Atmospheric Turbulance and Diffusion Laboratory), hava kirliliği modellenmesinde kullanılan en basit model olmakla birlikte, kirleticilerin sabit hacimdeki üç boyutlu bir kutu için üniform olarak karıştığı varsayımına dayanmaktadır. Modelin açıklaması şekil 3.3'te görülmektedir. Modelin temel eşitliği:

$$\text{Birikim miktarı} = [\text{tüm içeriye akışlar} - \text{tüm dışarıya akışlar}] + [\text{tüm oluşumlar} - \text{tüm giderimler}]$$

Aşağıdaki kutunun Bilecik ili olduğunu varsayarsak, modelin temel eşitliğini kullanmak için bazı kabuller yapmamız gerekmektedir. Bunlar ;



Şekil 3.3 ATDL kutu modeli

- Bilecik ilinin boyutları L (kuzey-güney) ve W (doğu-batı) 'dir. Rüzgar yönü ve L birbirine paraleldir.
- H, karışım yüksekliğidir. Yani burada atmosferik türbülans tarafından kirleticilerin tam karıştığı farz edilir.

- Kirletici konsantrasyonun üniform dağıldığı kabul edildiği için, konsantrasyon kutu içindeki her noktada aynıdır.
- Rüzgar u hızıyla x yönünden eser ve bu hız zamandan ve yükseklikten bağımsızdır.
- Şehre giren havadaki kirletici konsantrasyonu sabittir ve b (back ground konsantrasyonu)'ye eşittir.
- Şehirde hava kirletici emisyon oranı Q (g/sn)'dur. Bu değerin şehir alanına ($W*L$) bölünmesi ile q (g/sn.m²) elde edilir ve birim alan için emisyon hızı olarak adlandırılır.
- Kutunun üzerinden veya yanlarından hiçbir kirletici girmez ve çıkmaz.
- Kirletici, kutu içindeki atmosferde reaksiyon vermeyecek sürede kalır. Yani oluşum ve gideri hızları sıfırdır (Özkan, 2002)

Bu kabullerin pek çoğu gerçek olaylar ile bağdaşmamaktadır. Örneğin rüzgar hızı hiçbir zaman yükseklikten bağımsız olamaz, yerden yükseklik ile artar. Ya da hiçbir zaman kirletici konsantrasyonu şehrin her noktasında aynı kalmaz. Fakat bu kabuller matematiksel benzetmelerde oldukça kolaylık sağlar.

Sistem (kutu) hacmi $W*L*H$ tır. Tüm bu kabullerde akış ve emisyon hızları zamana bağlı olmadığı için zamanla değişmeyen koşulların olduğu görülür ve bir denge eşitliği uygulaması olan, modelin temel eşitliğinde toplam değer sıfır olur.

Bu kabullerden sonra modelin temel eşitliği aşağıdaki formüle dönüşmüştür.

$$0 = (\text{tüm içeriye akımlar}) - (\text{tüm dışarıya akımlar})$$

İçeriye akımlarda iki kirletici vardır. Şehrin rüzgar üstü kenarına, kirleticinin akım hızı $uWHb$ 'dir ve birimi kütle/zaman 'dır (kütle akış hızı). İkinci içeriye akım, şehir tarafından sistemin daha alçak sınır veya yüzeyine verilen kirleticidir ve qWL ile temsil edilir.

Kabullerde belirtildiği gibi şehir girişindeki konsantrasyon c 'dir ve her noktada sabittir. Kutudan ayrılan kirleticiyi bulmak için rüzgar altı yüzey boyunca oluşan dış akımı bulmak gerekir ve dışarıya akım hızı $uWHc$ ile temsil edilir.

Basit kutu modelinin eşitliği:

$$\text{tüm içeriye akımlar} = \text{tüm dışarıya akımlar}$$

$$(u^*W^*H^*b) + (q^*W^*L) = u^*W^*H^*c \quad \text{.....(3.21)}$$

$$c = b + \frac{q^*L}{u^*H} \quad \text{.....(3.22)}$$

Karışma yüksekliği (H), atmosferin nötr, kararsız ve kararlı atmosferik koşulları için farklı değerler almaktadır. Bu değer nötr atmosfer koşulu için 500 m, kararsız atmosfer koşulu için 1000 m, kararlı atmosfer koşulu için 200 m kabul edilmiştir (Hanna, 1973; Ertürk, 2003).



4. ÇALIŞMA BÖLGESİ ve VERİ TABANI

4.1 Bölgenin Coğrafik Yapısı

Bilecik ili, Marmara Bölgesi'nin güney doğusunda Marmara, Karadeniz, İç Anadolu ve Ege Bölgelerinin kesim noktaları üzerindedir. 39° ve 40° 31' kuzey enlemleri ile 29° 43' ve 30° 41' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Doğudan Bolu ve Eskişehir, güneyden Kütahya, batıdan Bursa ve kuzeyden Sakarya illeri ile çevrilidir.

Bilecik ili 4321 km²'lik alanı ile Türkiye'nin küçük illerinden biridir. Alan sıralaması bakımından 65. sırada yer almaktadır. Merkez ilçenin yüzölçümü 844 km²'dir. Bilecik ilinin haritası şekil 4.1'de verilmiştir.

4.2 Bölgenin Meteorolojisi

Bilecik iklimi İç Anadolu bölgesinin karasal iklimiyle Marmara Bölgesinin denizsel ve liman iklimleri arasında bir geçiş iklimi niteliği taşımaktadır. Bu durum sayısal verilerde de açıkça görülmektedir.

Bilecik meteoroloji istasyonu 1991-2000 yılları verilerine göre; yıllık ortalama sıcaklık 12,4°C olmasına karşın, ortalama yüksek sıcaklık 17,6 °C ve ortalama düşük sıcaklık 7,9 °C'dir. Bugüne kadar en yüksek sıcaklık 41 °C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklık ise -12,1 °C ile Şubat ayında görülmüştür.

Bilecik ilinin iklim açısından geçiş alanı niteliği taşıması yağış rejimlerinde de kendisini göstermektedir. Genel olarak il, yağışlar bakımından Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Ancak bir ölçüde karasal İç Anadolu ikliminin etkilerine açık olduğundan ilde yazlar Akdeniz Bölgesindeki kadar kurak geçmektedir. Bilecik il merkezinde yıllık yağış ortalaması 471,0 mm olarak saptanmıştır. Bu değer İç Anadolu'daki bazı illerden daha yüksektir. Marmara Bölgesindeki bazı merkezlerin ortalama değerlerinden ise daha düşüktür. Günlük en çok yağış miktarı ise 48,4 mm'dir. Bilecik kar yağışlarının oldukça bol görüldüğü bir ilimizdir. İl merkezinde ortalama kar yağışlı günler sayısı 89,3 , en yüksek kar örtüsü kalınlığı ise 25 cm olarak saptanmıştır.



Şekil 4.1 Bilecik ili haritası

Bölgede yıllık ortalama sisli günler sayısı 20,3'tür. Ortalama dolulu günler sayısı ise 0,1'dir.

10 yıllık değerlere göre yıllık en hızlı esen rüzgarın yönü güney-güneybatı (SSW) olup, en hızlı esen rüzgarın hızı ise 31,6 m/s'dir. Ortalama fırtınalı günler sayısı 18,9 , ortalama kuvvetli rüzgarlı günler sayısı 114,0'dır. Hakim rüzgar yönü batı-kuzeybatı (WNW)'dir.

Meteorolojik veriler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı) 40° 09' enleminde, 29° 59' boylamında, 539 m yüksekliğindeki rasat istasyonundan elde edilmiştir.

4.3 Bölgenin Hava Kalitesi

Bilecik ilinde başlıca hava kirliliği kaynakları; trafik, sanayi kuruluşları ve evsel ısıtmadan oluşan kirlilik kaynaklarıdır.

Bilecik ili, Ertuğrul Gazi mahallesinde yapılan hava kirliliği ölçüm sonuçları çizelge 4.1'de verilmiştir. Bilecik Halk Sağlığı Laboratuvarı tarafından 1999-2002 yılları arasında ölçülen SO₂ konsantrasyonu sonuçları şekil 4.2'de ve PM konsantrasyonu sonuçları şekil 4.3'de görülmektedir.

4.4 Bölgenin Sanayi Durumu

Bilecik ili, Türkiye'deki sanayinin kalbi sayılan İstanbul-İzmit-Adapazarı ve Bursa illerine yakın olması, bu illerde sanayinin fazla olması nedeni ile yatırımcılar Bilecik iline yönelmişlerdir. Ayrıca Bilecik ili, yurt dışı pazarına açılmak için uygun olması ve yan sanayi kollarına yakın olması nedeniyle de cazip bir yöre durumundadır.

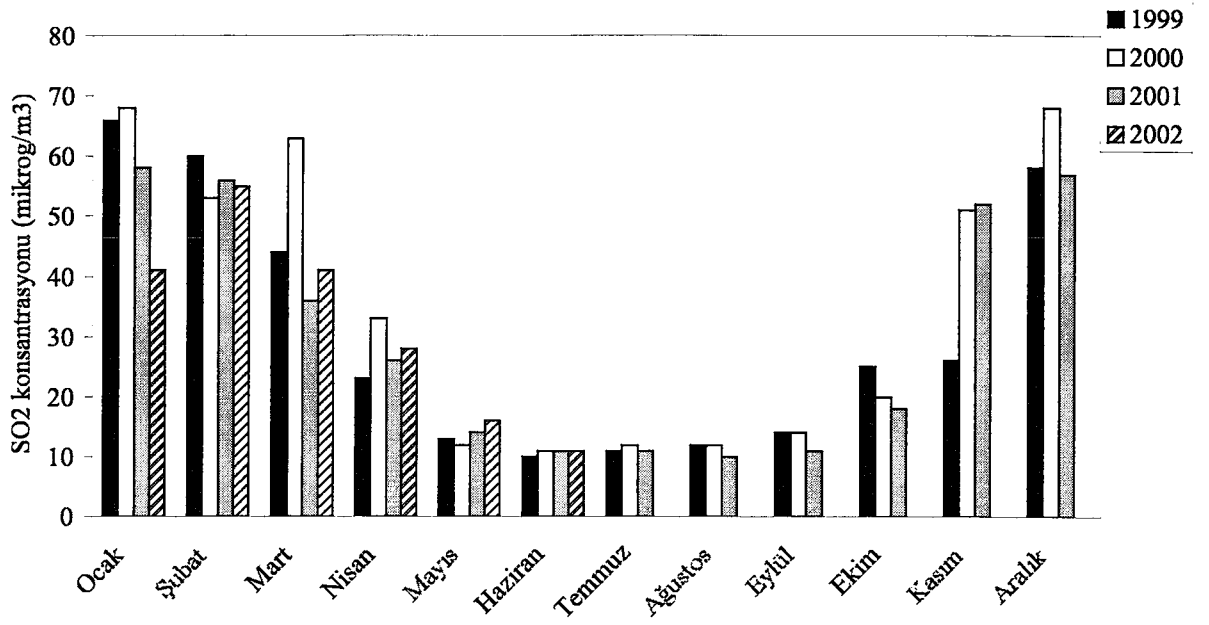
Organize Sanayi Bölgesi ilin kalkınması ve gelişmesinde çok önemli bir işleve sahiptir. Sanayileşme ve buna bağlı olarak milli gelirde görülen artışlar Organize Sanayi Bölgesi'nin il için önemini ortaya koymaktadır.

1.500.000 m²'lik (150 hektar) alan üzerine kurulu bulunan Bilecik 1. Organize Sanayi Bölgesi içinde yollar, yeşil alanlar, park yeri sosyal tesisleri ile su temin terfi merkezi, ana depo gibi yerler ve 43 parsel 1.114.000 m² sanayi alanı bulunmaktadır. Şehir merkezine 3 km'lik bir mesafededir. 1999 yılı itibariyle doluluk oranı %100'dür. 33 parselde üretim yapılmakta olup, 7 parseldeki tesisler ekonomik nedenler ile üretimlerini durdurmuşlardır. 2 parsel üzerinde ise

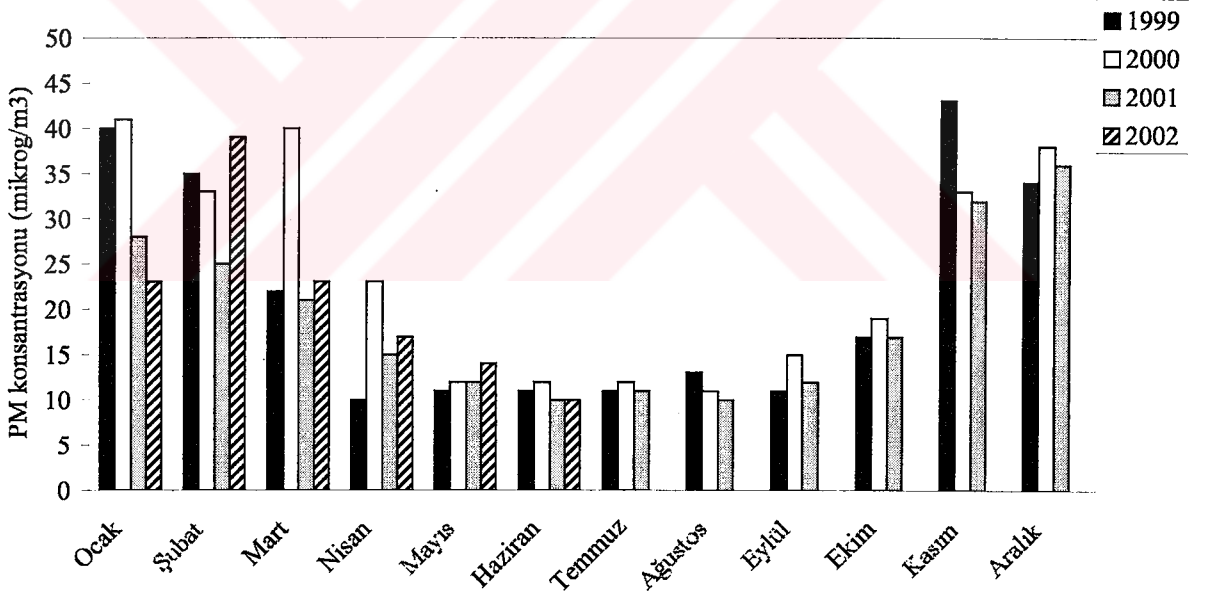
inşaat sürmektedir. Organize sanayi bölgesinin sektörel dağılımı çizelge 4.2’de ve şekil 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.1 1999, 2000, 2001 ve 2002 yılları Bilecik ili aylık hava kalitesi ortalamaları
(Uysal, 2002)

Aylar	1999 Yılı		2000 Yılı	
	Ortalama SO ₂ (µg/m ³)	Ortalama PM (µg/m ³)	Ortalama SO ₂ (µg/m ³)	Ortalama PM (µg/m ³)
Ocak	66	40	68	41
Şubat	60	35	53	33
Mart	44	22	63	40
Nisan	23	10	33	23
Mayıs	13	11	12	12
Haziran	10	11	11	12
Temmuz	11	11	12	12
Ağustos	12	13	12	11
Eylül	14	11	14	15
Ekim	25	17	20	19
Kasım	26	43	51	33
Aralık	58	34	68	38
Aylar	2001 Yılı		2002 Yılı	
	Ortalama SO ₂ (µg/m ³)	Ortalama PM (µg/m ³)	Ortalama SO ₂ (µg/m ³)	Ortalama PM (µg/m ³)
Ocak	58	28	41	23
Şubat	56	25	55	39
Mart	36	21	41	23
Nisan	26	15	28	17
Mayıs	14	12	16	14
Haziran	11	10	11	10
Temmuz	11	11		
Ağustos	10	10		
Eylül	11	12		
Ekim	18	17		
Kasım	52	32		
Aralık	57	36		



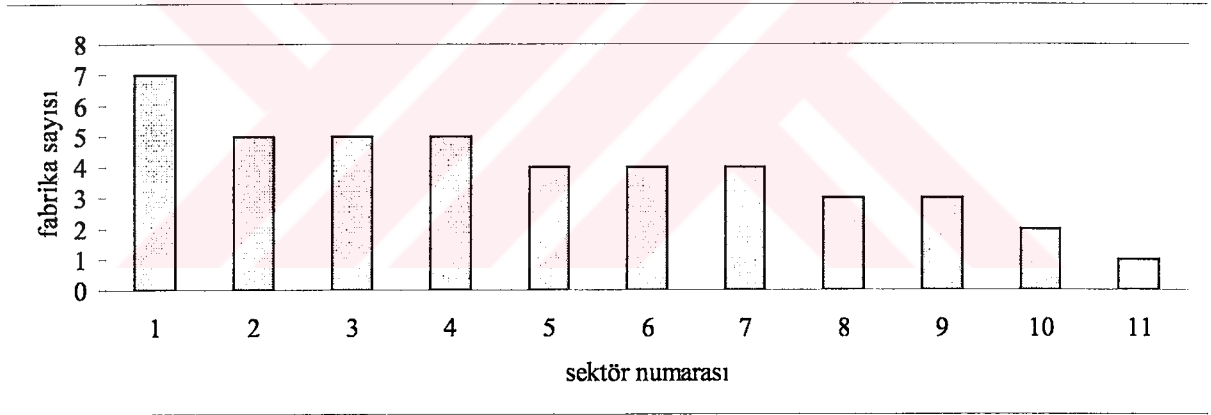
Şekil 4.2 Bilecik Halk Sağlığı Laboratuvarı SO₂ konsantrasyonu 1999-2002 yılları ölçüm sonuçları



Şekil 4.3 Bilecik Halk Sağlığı Laboratuvarı PM konsantrasyonu 1999-2002 yılları ölçüm sonuçları

Çizelge 4.2 Organize sanayi bölgesinin sektörel dağılımı

Organize Sanayi Bölgesinin Sektörel Dağılımı	Adet
1-Aluminyum döküm alaşım	7
2-Plastik lastik, lastik suni deri	5
3-Granit mermer	5
4-Çalışmayan firma sayısı	5
5-Seramik hammadde ve seramik	4
6-Hazır beton ve betonarme	4
7-Vinç iş makineleri metal galvaniz	4
8-Kimya sanayi	3
9-Gıda sanayi	3
10-Elektronik elektrik	2
11-Ağaç işleri	1
TOPLAM	43



Şekil 4.4 Organize sanayi bölgesinin sektörel dağılımı

Organize Sanayi Bölgesinin yanı sıra Bilecik ilinde, Sanayi Bölgesine çok yakın kurulmuş olan porselen, seramik ve tekstil fabrikaları bulunmaktadır.

Bilecik ili yer altı zenginlikleri yönünden de oldukça şanslıdır. Merkez ve diğer ilçelerde mermer ve seramik hammaddeleri potansiyeli oldukça fazladır. Bu nedenle seramik ve mermercilik sektörü yatırımlar yönünden önemli bir yer tutmaktadır. Mermer, kil ve kaolen mermer sanayi ile seramik ve refrakter sanayinin ilde başlıca oluşum sebebidir.

İşletilmesi henüz ekonomik bulunmayan kromit, magnezit ve antinomit yanında önemli rezervlere sahip mermer, kil, kaolen, kuvars kumu, talk ve kum ocakları Bilecik ilinin başlıca maden zenginlikleridir.

Bilecik mermerleri yurt içinde ve yurt dışında oldukça tanınmıştır. İlde çok sayıda mermer ocağı üretimini sürdürmektedir. Çıkarılan mermerler renk faktörü ve fiziksel özelliklere göre üç grupta toplanmaktadır. “Söğüt Beji” Söğüt yöresinde çıkarılmakta olup, geniş bir kullanım alanı vardır. “Bilecik Beji” merkez ilçe yöresinde çıkmakta ve kolay işlenmekte olup, iç piyasaya kolay pazarlanmaktadır. “Gölpazarı Beji” grubu mermerleri Gölpazarı yöresinde çıkarılmakta olup, kolay işlenir, kapsadığı sarı-kırmızı ve bej renkler mermer bloklarında homojen dağılmaz. Bu nedenle ihraç niteliği olduğu gibi iç piyasada da kullanılmaktadır.

4.5 Bölgenin Demografisi

2000 genel nüfus sayımına göre il toplam nüfusu 194.326’dır. Bunun 124.380’i (%64) şehir, 69.946’sı (%36) köy nüfusedir. Merkez nüfusu 34.105’tir.

1990-2000 yılları arasında ortalama yıllık nüfus artış hızı %10,02 olarak gerçekleşmiştir. İl ve ilçe merkezlerinde %31,82 düzeyinde nüfus artışı olurken bucak ve köy nüfusu %19,87 oranında azalmıştır.

1980-1990 yılları arasında iş gücü giderek sanayi alanına kayma göstermiş ve tarım nüfusu 1990 yılında 1980’e göre %11 azalma ile %56’ya düşmüştür. Sanayi kesiminde çalışanların oranı 1980’de %10’dan 1990’da %16’ya yükselmiştir. Bu oran günümüzde daha da artmıştır.

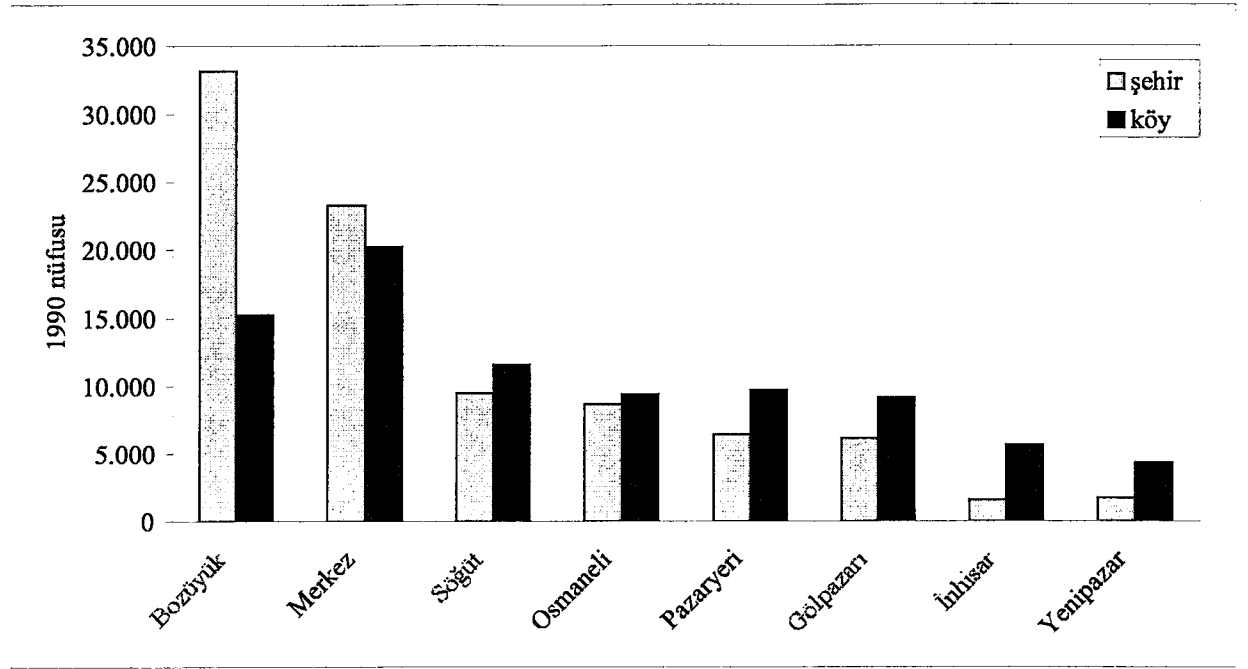
1990 ve 2000 yıllarında Bilecik ilinin ilçelerine göre nüfusu ve yıllık nüfus artış hızı çizelge 4.3’te, şekil 4.5 ve 4.6’da, 2000 yılı nüfus yoğunluğu ise çizelge 4.4’te ve şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Bilecik ilinin ilçelerine göre nüfusu ve yıllık nüfus artış hızı (DİE, 2002)

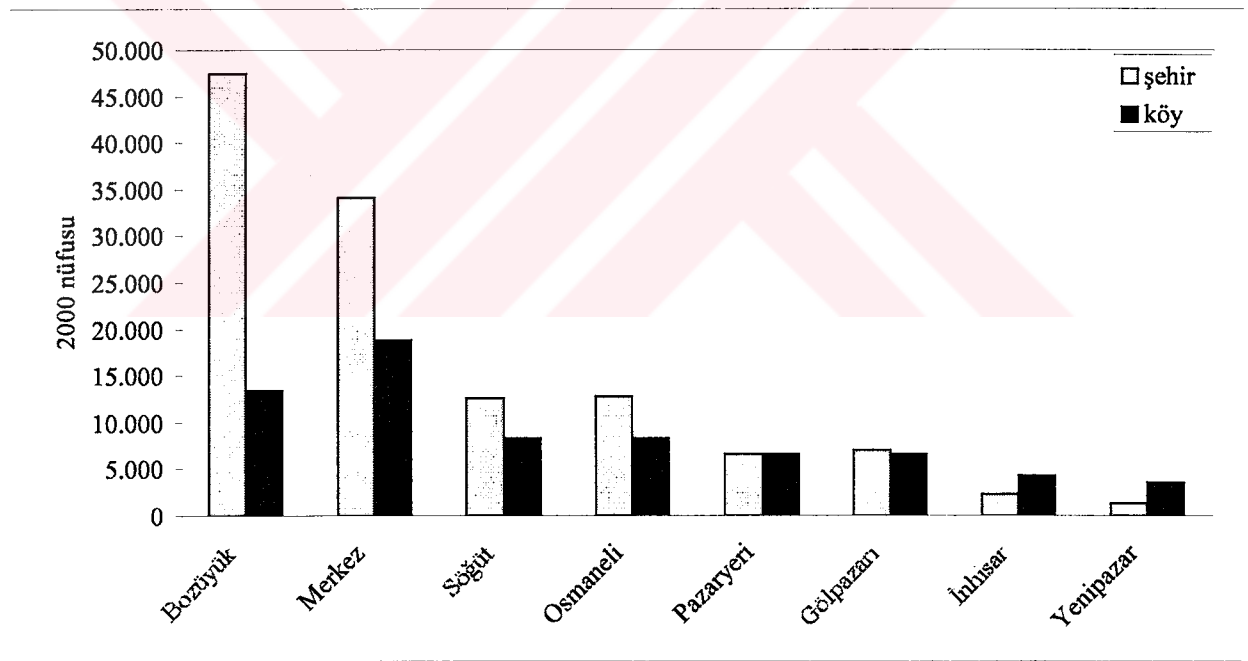
	1990 genel nüfus sayımı			2000 genel nüfus sayımı			Yıllık nüfus artış hızı (%)		
	kesin sonuçları			kesin sonuçları					
BİLECİK	Toplam	Şehir	Köy	Toplam	Şehir	Köy	Toplam	Şehir	Köy
Bozüyük	48.443	33.162	15.281	60.863	47.469	13.394	22,82	35,86	-13,18
Merkez	43.548	23.273	20.275	52.929	34.105	18.824	19,50	38,20	-7,42
Söğüt	21.032	9.470	11.562	20.974	12.644	8.330	-0,28	28,90	-32,78
Osmaneli	18.118	8.704	9.414	21.070	12.814	8.256	15,09	38,66	-13,12
Pazaryeri	16.112	6.410	9.702	13.296	6.659	6.637	-19,20	3,81	-37,96
Gölpazarı	15.230	6.119	9.111	13.617	7.002	6.615	-11,19	13,48	-32,01
İnhisar	7.270	1.626	5.644	6.661	2.318	4.343	-8,75	35,45	-26,20
Yenipazar	6.044	1.707	4.337	4.916	1.369	3.547	-20,65	-22,06	-20,10
TOPLAM	175.797	90.471	85.326	194.326	124.380	69.946	10,02	31,82	-19,87

Çizelge 4.4 Bilecik ilinin ilçelere göre 2000 yılı nüfus yoğunluğu (DİE, 2002)

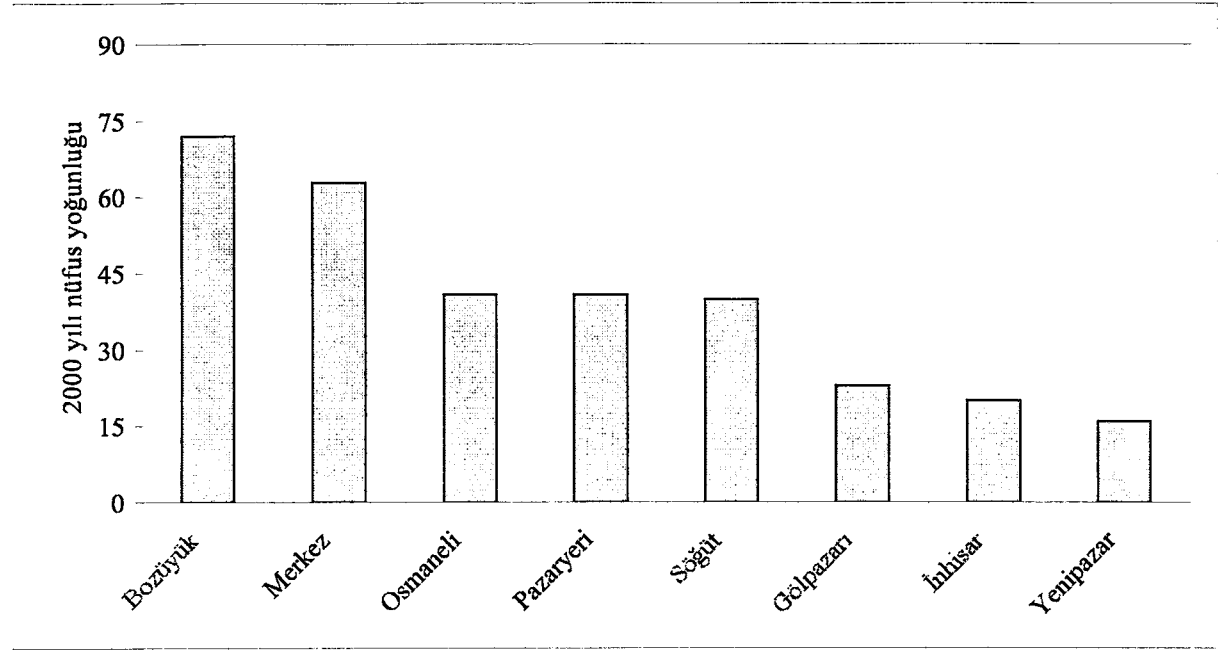
İlçe adı	Nüfus	Yüzölçümü (km ²)	Nüfus yoğunluğu (kişi/km ²)
Bozüyük	60.863	849	72
Merkez	52.929	841	63
Osmaneli	21.070	510	41
Pazaryeri	13.296	326	41
Söğüt	20.974	530	40
Gölpazarı	13.617	592	23
İnhisar	6.661	341	20
Yenipazar	4.916	313	16
TOPLAM	194.326	4.302	45



Şekil 4.5 1990 yılı Bilecik ilinin ilçelerine göre nüfus dağılımı



Şekil 4.6 2000 yılı Bilecik ilinin ilçelerine göre nüfus dağılımı



Şekil 4.7 Bilecik ilinin ilçelere göre 2000 yılı nüfus yoğunluğu

4.6 Bölgede Yakıt Tüketim Miktarları

2001-2002 yılları arasında Bilecik ilinde sanayide kullanılan yakıt miktarları çizelge 4.5'te, bunların toplamaları ise çizelge 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.5 Sanayi kaynaklı yakıt tüketim miktarı (BÜ Emisyon Raporları, 2002)

Fabrika adı	Yakıt cinsi	Yakıt tüketimi (ton/yıl)	Sektör
Gülmer	-	0	Madencilik sanayi
	(Elektrik enerjisi)		
Metko	Kalorifer yakıtı	120	Kimya sanayi
CCS	Kalorifer yakıtı	25	Endüstriyel ürünler sanayi
Aslanoğlu	-	0	Kereste sanayi
	(Elektrik enerjisi)		
Nimeks	Kalorifer yakıtı	700,8	Organik tarım ürünleri sanayi
Doğvit	LPG	3816	Saniteri seramik sanayi
Tek-dök	LPG	2,1	Teknik döküm sanayi
Kaim	Kalorifer yakıtı	350,4	Mühendislik müşavirlik sanayi

Matel	LPG	1445,4	Hammadde sanayi
Seranit	LPG	3800	Granit seramik sanayi
Toprak	LPG	504	Saniteri ve turizm işletmeleri
Granitaş	Kalorifer yakıtı	50	Mermer sanayi
Hepşen	LPG	700	
	Tozsuz kok kömürü	480	
Evren	Elektrik enerjisi	0	Metal sanayi
	Kalorifer yakıtı	2,2	
	Odun	500	
Timaş	-	0	Turizm, inşaat, sağlık hizmetleri sanayi
	(Elektrik enerjisi)		
Porland Porselen	LPG	6245,9	Porselen sanayi
Seramik	LPG	3500	Seramik sanayi

Çizelge 4.6 Sanayide kullanılan toplam yakıt tüketim miktarı

Tüketim (ton/yıl)	Yakıt cinsi			
	LPG	Kal. yakıtı	Kömür	Odun
	20013,4	1248,4	480	500

2001-2002 yılları arasında Bilecik ilindeki evsel kaynaklı yakıt tüketim miktarları çizelge 4.7’de ve trafik kaynaklı yakıt tüketim miktarları çizelge 4.8’de verilmiştir. Bilecik ilinin yakıt tüketim miktarları toplamı çizelge 4.9’da ve şekil 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Evsel kaynaklı yakıt tüketim miktarı

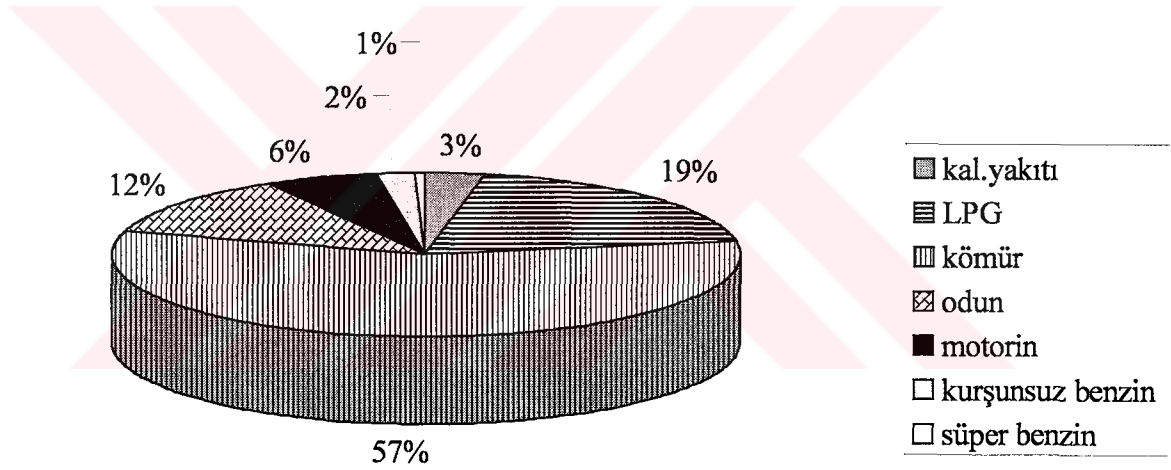
Tüketim (ton/yıl)	Yakıt cinsi		
	Kömür	Kal. yakıtı	Odun
	60.000	2.040	12.000

Çizelge 4.8 Trafik kaynaklı yakıt tüketim miktarı

Tüketim (ton/yıl)	Yakıt cinsi		
	Kurşunsuz benzin	Süper benzin	Motorin
	1950	725	6150

Çizelge 4.9 2001-2002 yılları arasında Bilecik ilinin yakıt tüketim miktarları

Yakıt cinsi	Tüketim miktarı (ton/yıl)
Kalorifer yakıtı	3.289
LPG	20013,4
Kömür	60.480
Odun	12.500
Motorin	6.150
Benzin	2675
- kurşunsuz	- 1950
- süper	- 725



Şekil 4.8 Bilecik ilinin 2001-2002 yılları arasında yakıt tüketim miktarı

5. BULGULAR

5.1 Bilecik İlinin Emisyon Envanteri

5.1.1 Bilecik İlinin Sanayiden Kaynaklanan Emisyon Envanteri

Bilecik ilinde sanayiden kaynaklanan emisyonların envanterini çıkartmak için her bir sanayinin emisyon raporlarından faydalanılmıştır. Bu emisyon raporları Boğaziçi Üniversitesi tarafından hazırlanmıştır. Raporlardan elde edilen SO₂, PM, CO ve NO_x emisyon değerleri çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Bilecik sanayisinden gelen toplam emisyon değerleri

Sanayiler	Toplam Kirletici Emisyonları (mg/sn)				
	SO ₂	PM	CO	NO _x	HC
Gülmer	0	38,3	0	0	0
Metko	328	7	4	133,3	1,9
CCS	61,1	0	1	14,8	0,4
Aslanoğlu	0	13,7	0	0	0
Nimeks	1612	28	41,5	425,8	11,1
Doğvit	63,2	136,3	761	144,5	0
Tek-dök	0	6,8	0	0	0
Kaim	178,7	227,9	322,5	21,3	5,6
Matel	0	177,3	368,8	981,6	0
Seranit	0	384	220,4	100,7	0
Toprak	0	12,7	0	171,8	0
Granitaş	11661	1130	689,3	1546,2	0,8
Hepşen	65,5	25,3	28,3	97,8	5,6
Evren	30	52,6	153,2	17,5	0,1
Porland Porselen	0	135,4	92,5	44,7	0
Seramik	0	2224,6	1317,2	0	0
TOPLAM	14000	4600	4000	3700	25,5

Buradaki HC değeri ise EPA emisyon faktörleri kullanılarak bulunmuştur. Bunun için sanayilerin kullandığı yakıt miktarlarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Örneğin Metko’nun yakıt

cinsi 4 no'lu fuel oil'dir ve yakıt tüketimi 120 ton/yıl' dır. Emisyon faktörü tablosundan (çizelge 2.1) HC için kullanılacak faktör seçilmiştir. HC emisyon değeri, yakıt tüketimi ile emisyon faktörünün çarpımından bulunmuştur.

$$\begin{aligned}\text{HC emisyonu} &= (120 \text{ ton yakıt / yıl}) * (0,50 \text{ kg HC / ton yakıt}) \\ &= 60 \text{ kg HC / yıl} \\ &= 1,9 \text{ mg HC / sn}\end{aligned}$$

5.1.2 Bilecik İlının Yerleşim Bölgesinden Kaynaklanan Emisyon Envanteri

Evsel ısınmadan kaynaklanan kirletici emisyonları hesaplanırken çizelge 5.2'deki emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.2 Evsel emisyonları hesaplamak için kullanılan emisyon faktörleri (EPA, 1985)

Kirletici parametre (kg/ton)	Yakıt Türü		
	Linyit	Fuel-oil	Odun*
SO _x	13,6*S(%)	20,1*S(%)	0,2
PM	3,2*A(%)	0,1	15-21
CO	0,5	0,25	130
NO _x	6,4	1,46	1,4
HC	<0,45	0,63	Yok

Bilecik ilinde Sanayi ve Ticaret Odası'na kayıtlı olan 5 adet kömür satış istasyonu ve 4 adet benzin istasyonu bulunmaktadır. Bu yerlerden alınan değerlere göre 2001-2002 yıllarında kış sezonu boyunca (6 ay = Ekim-Mart) evlerde ısınma amaçlı tüketilen kömür miktarı yaklaşık 60.000 ton, kalorifer yakıtı miktarı 2.040 ton, odun miktarı ise 12.000 tondur. Isınmada kullanılan ithal kömür özellikleri çizelge 5.3'te verilmiştir.

* Neşe Kemerdere'nin "Gebze İlçesinde Emisyon Envanteri ve Hava Kalitesi Modellemesi Raporu"ndan alınmıştır (Temmuz, 1996).

Çizelge 5.3 Yakıt numunesi analiz raporu

	Analiz tipleri	Orijinal numunede	Kuru numunede
	Nem %	3,74	
Kısa	Kül %	7,58	7,88
Analiz	Uçucu madde %	18,37	19,08
	Sabit karbon %	70,31	73,04
	TOPLAM %	100,00	100,00
Kükürtler	Toplam kükürt %	0,90	0,91
Isıl Değeri	Alt ısı değeri Kcal/kg	7311	7616
	Üst ısı değeri Kcal/kg	7528	7816

Emisyon Hesaplamaları:

Kömür Tüketimi: 60.000 ton/yıl

Yakıttaki kükürt yüzdesi S(%): 0,9

Kömürdeki kül yüzdesi A(%): 7,58

$SO_2 = \text{Kömür tüketimi} * EF(\text{kg/ton})$

$$= 60.000 \text{ ton/yıl} * (13,6 * 0,9) \text{ kg/ton} = 734.400 \text{ kg/yıl} = 734,4 \text{ ton } SO_2/\text{yıl}$$

$$PM = 60.000 \text{ ton/yıl} * (3,2 * 7,58) \text{ kg/ton} = 1.455.360 \text{ kg/yıl} = 1455,36 \text{ ton PM/yıl}$$

$$CO = 60.000 \text{ ton/yıl} * 0,5 \text{ kg/ton} = 30.000 \text{ kg/yıl} = 30 \text{ ton CO/yıl}$$

$$NO_x = 60.000 \text{ ton/yıl} * 6,4 \text{ kg/ton} = 384.000 \text{ kg/yıl} = 384 \text{ ton } NO_x/\text{yıl}$$

$$HC = 60.000 \text{ ton/yıl} * 0,4 \text{ kg/ton} = 24.000 \text{ kg/yıl} = 24 \text{ ton HC/yıl}$$

Kalorifer Yakıtı Tüketimi: 2.040 ton/yıl

Yakıttaki kükürt yüzdesi S(%): 1,5

$SO_2 = \text{Yakıt tüketimi} * EF(\text{kg/ton})$

$$= 2.040 \text{ ton/yıl} * (20,1 * 1,5) \text{ kg/ton} = 61.506 \text{ kg/yıl} = 61,5 \text{ ton } SO_2/\text{yıl}$$

$$PM = 2.040 \text{ ton/yıl} * 0,1 \text{ kg/ton} = 204 \text{ kg/yıl} = 0,2 \text{ ton PM/yıl}$$

$$CO = 2.040 \text{ ton/yıl} * 0,25 \text{ kg/ton} = 510 \text{ kg/yıl} = 0,51 \text{ ton CO/yıl}$$

$$NO_x = 2.040 \text{ ton/yıl} * 1,46 \text{ kg/ton} = 2978,4 \text{ kg/yıl} = 3 \text{ ton } NO_x/\text{yıl}$$

$$HC = 2.040 \text{ ton/yıl} * 0,63 \text{ kg/ton} = 1285,2 \text{ kg/yıl} = 1,3 \text{ ton HC/yıl}$$

Odun Tüketimi: 12.000 ton/yıl

$$SO_2 = \text{Yakıt tüketimi} * EF(\text{kg/ton})$$

$$= 12.000 \text{ ton/yıl} * 0,2 \text{ kg/ton} = 2400 \text{ kg/yıl} = 2,4 \text{ ton } SO_2/\text{yıl}$$

$$PM = 12.000 \text{ ton/yıl} * 15 \text{ kg/ton} = 180.000 \text{ kg/yıl} = 180 \text{ ton PM/yıl}$$

$$CO = 12.000 \text{ ton/yıl} * 130 \text{ kg/ton} = 1.560.000 \text{ kg/yıl} = 1.560 \text{ ton CO/yıl}$$

$$NO_x = 12.000 \text{ ton/yıl} * 1,4 \text{ kg/ton} = 16.800 \text{ kg/yıl} = 16,8 \text{ ton } NO_x/\text{yıl}$$

$$HC = 12.000 \text{ ton/yıl} * 0 \text{ kg/ton} = 0 \text{ kg/yıl} = 0 \text{ ton HC/yıl}$$

Emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan evsel ısınma kaynaklı kirletici emisyonlarının sonuçları çizelge 5.4'te verilmiştir.

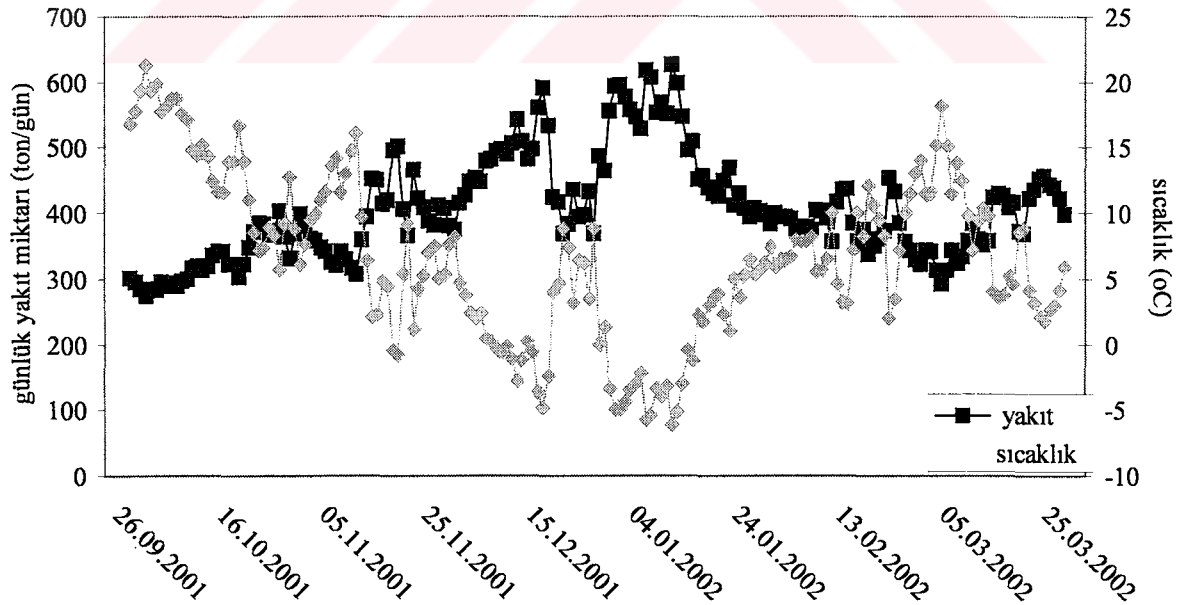
Çizelge 5.4 Evsel ısınma kaynaklı toplam kirletici emisyonu

Yakıt türü	SO ₂	PM	CO	NO _x	HC
Kömür	734,4	1455,36	30	384	24
Kalorifer yakıtı	61,5	0,2	0,51	3	1,3
Odun	2,4	180	1560	16,8	0
Toplam(ton/yıl)	798,3	1635,6	1590,5	403,8	25,3

Bilecik İlinde Günlük Kullanılan Yakıt Miktarının Hesaplanması Yaklaşımı

Bilecik ilinin kış sezonu Ekim-Mart ayları arasında sürmektedir. Hava sıcaklığı ne kadar düşük olursa ısınma maksatlı kullanılan yakıt miktarı o kadar artar. Dolayısıyla hava sıcaklığı ile tüketilen yakıt miktarı ters orantılıdır. Isınma maksatlı yakıt miktarını hesaplarken her gün için bir sıcaklık düzeltmesi yapmak ve dağılım katsayısı bulmak gerekmektedir. 2001-2002 kış dönemi boyunca kullanılan toplam kömür miktarı 60.000 ton/yıl, kalorifer yakıtı miktarı 2040 ton/yıl ve odun miktarı 12.000 ton/yıl'dır. Bu miktarı Ekim-Mart arasında günler bazında dağıtmak için sıcaklığa bağlı bir dağılım katsayısı yaklaşımı uygulanmıştır. Bu katsayıyı bulmak için Formül 5.1 kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre dağılım katsayısı ile her bir yakıt miktarı çarpılır ve günlük kullanılan kömür, kalorifer yakıtı ve odun miktarları bulunur. Dağılım katsayısı yaklaşımı ile kış sezonu içinde günler bazında dağıtılan toplam yakıt miktarı ve aynı günlere ait sıcaklık değerleri şekil 5.1'de gösterilmektedir. Formüldeki T_{max} , kış dönemi boyunca ölçülmüş olan en yüksek sıcaklık, T_{min} , kış dönemi boyunca ölçülmüş olan en düşük sıcaklık, T , günlük ölçülen sıcaklıktır.

$$\text{Dağılım katsayısı} = \frac{\frac{T_{max} - T_{min}}{T + (T_{max} - T_{min})}}{\sum T} \quad \text{.....(5.1)}$$



Şekil 5.1 2001-2002 kış dönemi boyunca sıcaklık değişimine karşı kullanılan yakıt miktarı

5.1.3 Bilecik İlinin Trafikten Kaynaklanan Emisyon Envanteri

Bilecik ilinde 2003 şubat ayı itibariyle trafikte 11.356 adet otomobil, 688 adet minibüs, 585 adet otobüs, 2.567 adet kamyonet ve 1.830 adet kamyon mevcuttur. Toplam motorlu kara taşıtı sayısı ve bunların dağılımı çizelge 5.5’de görülmektedir.

Çizelge 5.5 Bilecik ili motorlu kara taşıtları sayısı (Devlet İstatistik Enstitüsü, 2003)

Araçlar	Adet
Otomobil	11356
Minibüs	688
Otobüs	585
Kamyonet	2567
Kamyon	1830
Motosiklet	2555
Özel amaçlı taşıtlar	187
Yol ve iş makineleri	667
Toplam	20443

Trafik emisyonunu hesaplariken taşıt sayıları kullanılmamıştır. Çünkü araçların % kaçının trafikte olacağı ve günde kaç km yol alacakları bilinmemektedir. Bilecik ilindeki benzin istasyonlarından alınan verilere göre tüm araçların yıllık toplam yakıt tüketimleri yaklaşık 2.500 m³ kurşunsuz benzin, 1.000 m³ süper benzin ve 7.500 m³ motorindir.

Trafikten kaynaklanan kirletici emisyonları hesaplanırken çizelge 5.6’daki emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.6 Trafik emisyonlarını hesaplamak için kullanılan emisyon faktörleri (EPA, 1985)

Yakıt Türü (kg/m ³)	Kirletici Parametreler (kg/ton)				
	SO ₂	PM	CO	NO _x	HC
Benzin	1,1	1,4	275	14	24
Dizel	4,8	13,2	7,2	26,6	16,3

Emisyon Hesaplamaları:

Kurşunsuz benzin tüketim miktarı: 2.500 m³/yıl

$$d = 0,780 \text{ kg/lt}$$

$SO_2 = \text{yakıt tüketimi} * \text{emisyon faktörü}$

$$= (2500 \text{ m}^3/\text{yıl} * 1000 \text{ lt/ m}^3 * 0,780 \text{ kg/lt} * 0,001 \text{ ton/kg}) * 1,1 \text{ kg/ton}$$

$$= 1.950 \text{ ton/yıl} * 1,1 \text{ kg/ton} = 2145 \text{ kg/yıl} = 2,2 \text{ ton } SO_2/\text{yıl}$$

$$PM = 1.950 \text{ ton/yıl} * 1,4 \text{ kg/ton} = 2730 \text{ kg/yıl} = 2,7 \text{ ton PM/yıl}$$

$$CO = 1.950 \text{ ton/yıl} * 275 \text{ kg/ton} = 536.250 \text{ kg/yıl} = 536,3 \text{ ton CO/yıl}$$

$$NO_x = 1.950 \text{ ton/yıl} * 14 \text{ kg/ton} = 27.300 \text{ kg/yıl} = 27,3 \text{ ton } NO_x/\text{yıl}$$

$$HC = 1.950 \text{ ton/yıl} * 24 \text{ kg/ton} = 46.800 \text{ kg/yıl} = 46,8 \text{ ton HC/yıl}$$

Süper benzin tüketim miktarı: $1.000 \text{ m}^3/\text{yıl}$

$$d = 0,725 \text{ kg/lt}$$

$SO_2 = \text{yakıt tüketimi} * \text{emisyon faktörü}$

$$= (1000 \text{ m}^3/\text{yıl} * 1000 \text{ lt/ m}^3 * 0,725 \text{ kg/lt} * 0,001 \text{ ton/kg}) * 1,1 \text{ kg/ton}$$

$$= 725 \text{ ton/yıl} * 1,1 \text{ kg/ton} = 797,5 \text{ kg/yıl} = 0,8 \text{ ton } SO_2/\text{yıl}$$

$$PM = 725 \text{ ton/yıl} * 1,4 \text{ kg/ton} = 1015 \text{ kg/yıl} = 1,0 \text{ ton PM/yıl}$$

$$CO = 725 \text{ ton/yıl} * 275 \text{ kg/ton} = 199.375 \text{ kg/yıl} = 199,4 \text{ ton CO/yıl}$$

$$NO_x = 725 \text{ ton/yıl} * 14 \text{ kg/ton} = 10.150 \text{ kg/yıl} = 10,2 \text{ ton } NO_x/\text{yıl}$$

$$HC = 725 \text{ ton/yıl} * 24 \text{ kg/ton} = 17.400 \text{ kg/yıl} = 17,4 \text{ ton HC/yıl}$$

Motorin tüketim miktarı: $7.500 \text{ m}^3/\text{yıl}$

$$d = 0,820 \text{ kg/lt}$$

$SO_2 = \text{yakıt tüketimi} * \text{emisyon faktörü}$

$$= (7500 \text{ m}^3/\text{yıl} * 1000 \text{ lt/ m}^3 * 0,820 \text{ kg/lt} * 0,001 \text{ ton/kg}) * 4,8 \text{ kg/ton}$$

$$= 6.150 \text{ ton/yıl} * 4,8 \text{ kg/ton} = 29.520 \text{ kg/yıl} = 29,5 \text{ ton } SO_2/\text{yıl}$$

$$PM = 6.150 \text{ ton/yıl} * 13,2 \text{ kg/ton} = 81.180 \text{ kg/yıl} = 81,2 \text{ ton PM/yıl}$$

$$CO = 6.150 \text{ ton/yıl} * 7,2 \text{ kg/ton} = 44.280 \text{ kg/yıl} = 44,3 \text{ ton CO/yıl}$$

$$NO_x = 6.150 \text{ ton/yıl} * 26,6 \text{ kg/ton} = 163.590 \text{ kg/yıl} = 163,6 \text{ ton } NO_x/\text{yıl}$$

$$HC = 6.150 \text{ ton/yıl} * 16,3 \text{ kg/ton} = 100.245 \text{ kg/yıl} = 100,3 \text{ ton HC/yıl}$$

Emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan trafik kaynaklı kirletici emisyonlarının sonuçları çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Trafik kaynaklı toplam kirletici emisyonu

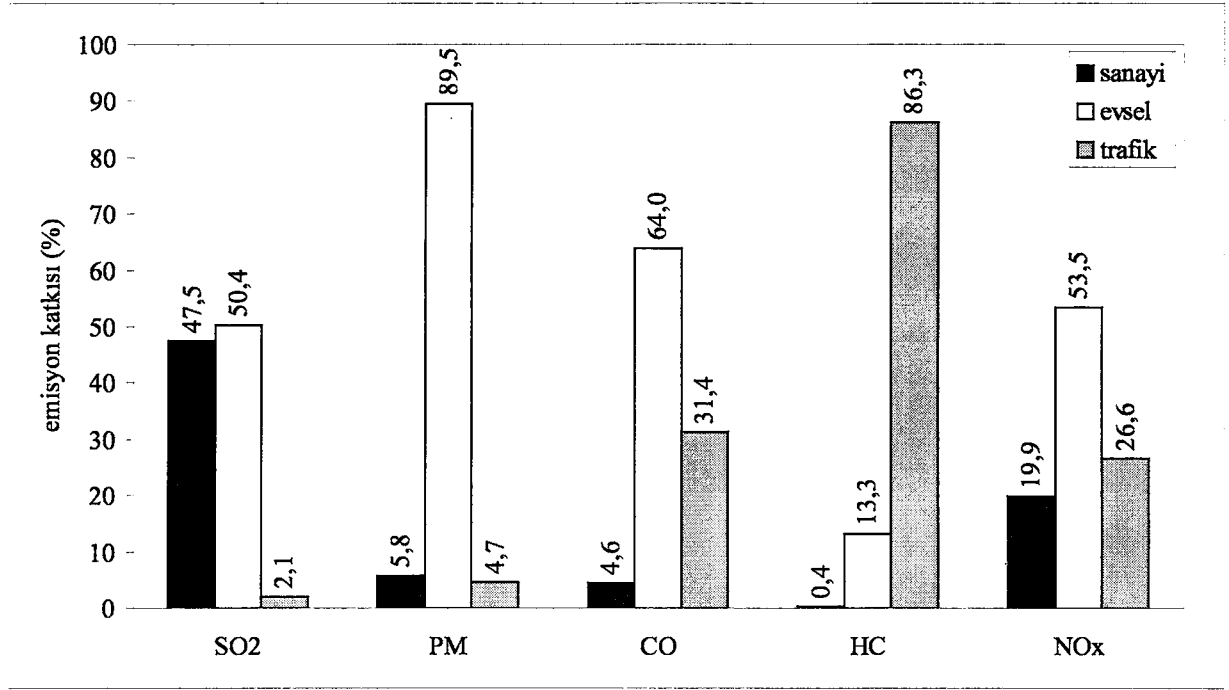
Yakıt cinsi	Emisyonlar (ton/yıl)				
	SO ₂	PM	CO	NO _x	HC
Kurşunsuz benzin	2,2	2,7	536,3	27,3	46,8
Süper benzin	0,8	1,0	199,4	10,2	17,4
Motorin	29,5	81,2	44,3	163,6	100,3
Toplam	32,5	84,9	780,0	201,1	164,5

5.1.4 Bilecik İlinin Toplam Emisyon Envanteri

Sanayi, evsel ısınma ve trafikten gelen emisyon kaynaklarının toplamı bize Bilecik ili için toplam emisyon envanterini verir. Toplam envanter sonuçları çizelge 5.8’de ve emisyon kaynaklarının toplam emisyonu katkıları şekil 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.8 Bilecik ili toplam kirletici emisyonları

Emisyon kaynakları	Kirletici Emisyonları (ton/yıl)				
	SO ₂	PM	CO	HC	NO _x
Sanayi	754	107	115	0,8	150
Evsel	798	1636	1591	25,3	404
Trafik	32,5	84,9	780	165	201
Toplam	1585	1828	2486	191	755

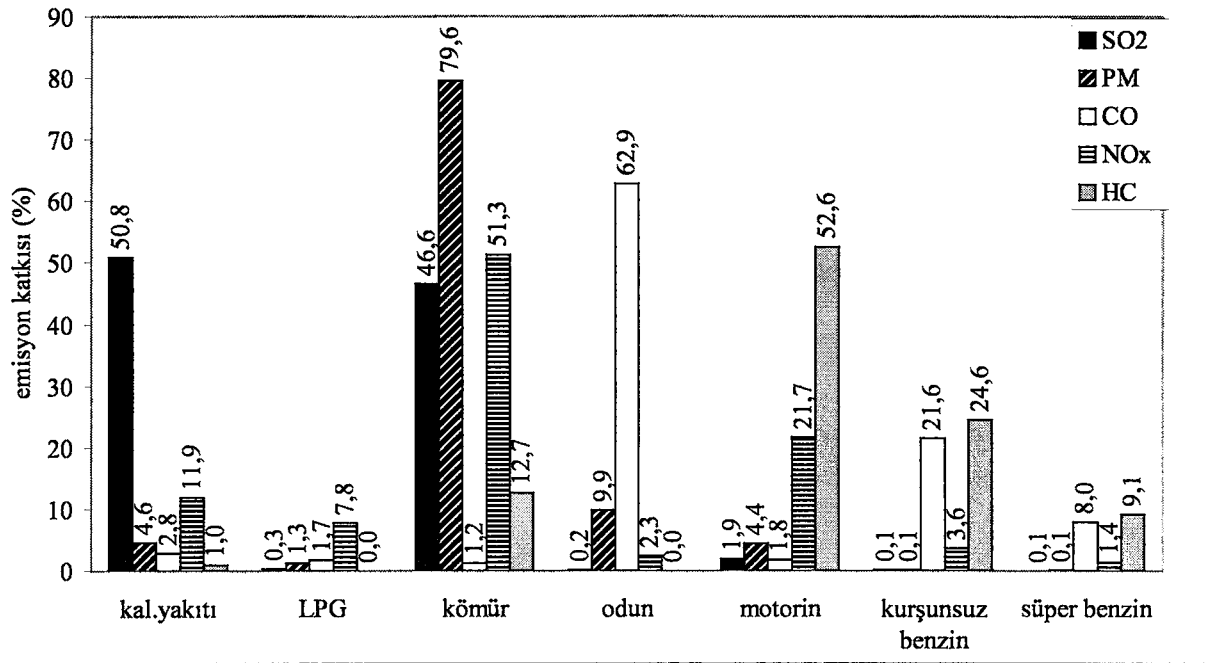


Şekil 5.2 Kirletici kaynakların toplam emisyonlara % katkıları

Bilecik ilinde kullanılan yakıtların toplam emisyon envanterine katkıları çizelge 5.9'da ve şekil 5.3'te verilmektedir.

Çizelge 5.9 Bilecik ilinde kullanılan yakıtlardan kaynaklanan emisyon miktarları

Yakıt cinsi	Emisyon Miktarları (ton/yıl)				
	SO ₂	PM	CO	NO _x	HC
Kalorifer yakıtı	807	83	70	90	2
LPG	4,1	23	42	59	0
Kömür	739	1456	31	388	24,2
Odun	2,4	180	1563	17,2	0,003
Motorin	29,5	81	45	164	100
Kurşunsuz benzin	2,2	2,7	536	27,3	47
Süper benzin	0,8	1	199	10,2	17,4
Toplam	1585	1828	2486	755	191



Şekil 5.3 Bilecik ilinde kullanılan yakıtların toplam emisyonlara % katkısı

5.2 Bilecik Sanayisine Gauss Dispersiyon Modelinin Uygulanması

Bilecik ili sanayisi organize sanayi bölgesi içinde olduğu ve sanayi tesisleri birbirinden uzak olmadığı için organize sanayi bölgesi tek bir nokta kaynak olarak değerlendirilmiştir ve konsantrasyonlar Gauss Dispersiyon Modeli ile hesaplanmıştır.

Bilecik ilinin sanayi bölgesi şehrin kuzeyinde yer almaktadır. Bu nedenle sanayi kaynaklı emisyonların Bilecik şehri üzerindeki etkisini değerlendirmek için, konsantrasyon hesaplarında şehir merkezini etkisi altına alan kuzey yönlü rüzgarların (N, NE, NW, NNE, NNW) getirdiği emisyonlar dikkate alınmalıdır.

Hesaplarda, Bilecik Meteoroloji İstasyonundan alınan meteorolojik verilerde sadece kuzey yönlü rüzgarların (N, NE, NW, NNE, NNW) rüzgar hızları ve yönleri dikkate alınmıştır. Rüzgar hızı ve bulutluluk değerlerine göre rüzgarın kuzeyden estiği her bir gün için Turner kararlılık sınıfları kullanılarak (çizelge 3.2) kararlılık sınıfları bulunmuştur. Buna göre Bilecik ilinin atmosferinin genelde kararsız (A-B-C) olduğu tespit edilmiştir.

Martin Denklemleri kullanılarak kararlılığa göre dispersiyon katsayıları olan σ_y ve σ_z değerleri bulunmuştur. Dispersiyon katsayıları sonuçları çizelge 5.10'da verilmiştir. Buradaki formülde geçen x değeri, sanayi kaynağı ile ölçüm noktası (Halk Sağlığı Laboratuvarı)

arasındaki kuş bakışı uzaklıktır ve 2,5 km'dir (N yönlü rüzgar doğrultusunda). Şekil 5.4'te görüldüğü gibi NNE ve NNW yönleri için x değeri 2,31 km, NE ve NW yönleri için x değeri 1,768 km'dir.

Çizelge 5.10 Dispersiyon katsayıları

Kararlılık sınıfları		σ_y (m)	σ_z (m)
NNE ve NNW yönleri için x = 2,31 km	A	450,24	2663,46
	B	329,76	273,31
	C	219,84	130,79
N yönü için x = 2,5 km	A	483,21	3141,16
	B	353,9	297,91
	C	235,93	140,56
NE ve NW yönleri için x = 1,768 km	A	354,5	1525,6
	B	259,6	204,3
	C	173,1	102,5

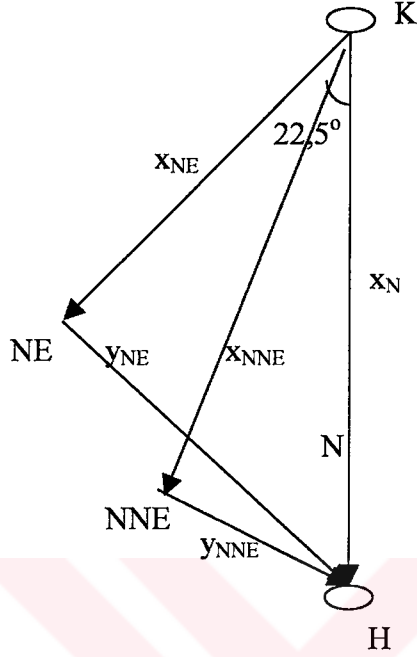
Sanayi kirliliğinden gelen konsantrasyonu hesaplamak için Gauss Dispersiyon modeli kullanılmıştır. Topografyaya bağlı olarak yansımanın olduğu ve olmadığı duruma göre Gauss'un iki ayrı konsantrasyon formülü vardır. Eğer zeminde hiçbir yükselti, girinti-çukıntı yoksa bacadan çıkan emisyon şehrin zemininde yansıma yaparak daha çok kirlilik yapar. Tabii ki bu çok doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü yer yapısının kirletici hüzmesini tamamen yansıtması mümkün değildir. Kirleticilerin bir kısmı yer yüzeyinde adsorbe olabilmektedir. Bu nedenle Bilecik için topografyaya, civardaki bina ve ağaç yoğunluğuna bağlı olarak %30 yansıma olduğu kabul edilmiştir. ($C = 1,3 \cdot C_1$)

$$C_1 = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad \text{.....(3.12)}$$

$$C_2 = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad \text{.....(3.13)}$$

y değerinin bulunması

Kaynak ile ölçüm noktası arasındaki mesafe 2,5 km'dir. N rüzgar yönündeki y değeri sıfırdır.



K: Kaynak (sanayi)

H: Halk sağlığı laboratuvarı

$$|KH| = x_N = 2,5 \text{ km}$$

$$x_{NE} = x_{NW} = 2,5 * \cos 45 = 1768 \text{ m}$$

$$y_{NE} = y_{NW} = 2,5 * \sin 45 = 1768 \text{ m}$$

$$x_{NNE} = x_{NNW} = 2,5 * \cos 22,5 = 2310 \text{ m}$$

$$y_{NNE} = y_{NNW} = 2,5 * \sin 22,5 = 957 \text{ m}$$

Şekil 5.4 N, NNW, NNE, NW ve NE rüzgar yönlerindeki x ve y değerleri

Etkin baca yüksekliğinin (H) bulunması

Her sanayinin emisyon raporundan bacanın fiziksel yüksekliği, baca kesit alanı, baca gazı deşarj hızı, gaz sıcaklığı ve ortam sıcaklığı verileri alınmıştır ve bu veriler ile kuzey rüzgarlı her bir gün için baca yüksekliğindeki rüzgar hızı, hüzmeye yüksekliği ve etkin yükseklik değerleri formüller ile hesaplanmıştır. Her bir bacanın emisyon miktarı ve ağırlığınca ortalama baca yüksekliğinin katkısı dikkate alınarak, tek bir fiziksel baca yüksekliği bulunmuştur ($h_{ort} = 11,73 \text{ m}$). Kaldırma akış parametresi, sanayiden çıkan her bir baca için ayrı ayrı hesaplanmış ve ortalama değer alınmıştır ($F = 0,32 \text{ m}^4/\text{sn}^3$). Bilecik sanayisinin toplam baca sayısı 90 adettir. Kuzey yönlü rüzgarların estiği günler için hesaplanan etkin baca yükseklikleri şekil 5.5'te görülmektedir.

$$H = h + \Delta h$$

h: Bacanın fiziksel yüksekliği, m (Sanayilerin emisyon raporlarında verilmiştir)

Δh : Hüzmeye yüksekliği, m (Briggs Formülü ile bulunmuştur)

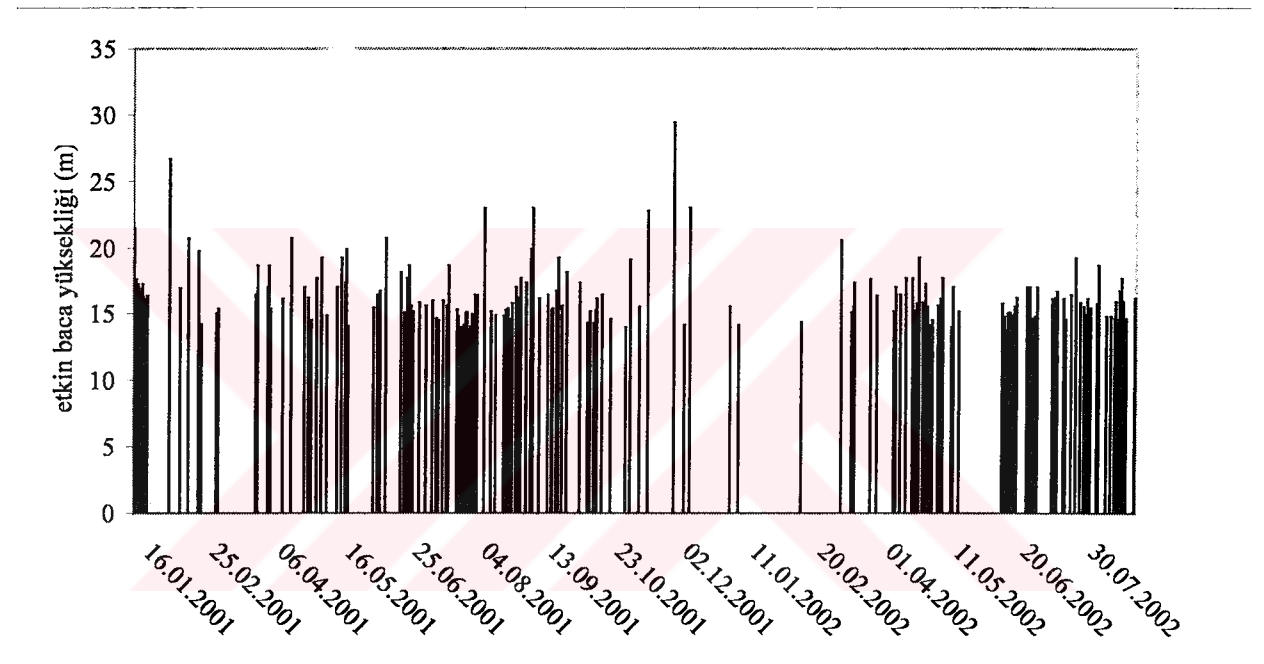
$$h_{\text{ort}} = 11,73 \text{ m}$$

$$u_H = u_a * (1,173)^p$$

$$F_{\text{ort}} = 0,32 \text{ m}^4/\text{sn}^3$$

$$\Delta h = 21,425 * \frac{F^{3/4}}{u} = \frac{9,116}{u}$$

$$\text{Etkin baca yüksekliği: } H = 11,73 + \Delta h$$



Şekil 5.5 Kuzey yönlü rüzgarların estiği günler için hesaplanan etkin baca yükseklikleri

Gauss Dispersiyon Formülü kullanılarak kirlilik konsantrasyonunun bulunması

$$C_1 = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad \text{.....(3.12)}$$

$$Q_{\text{SO}_2} = 14 * 10^6 \text{ } \mu\text{g/sn}$$

$$Q_{\text{PM}} = 4,6 * 10^6 \text{ } \mu\text{g/sn}$$

$$Q_{\text{NO}_x} = 3,7 * 10^6 \text{ } \mu\text{g/sn}$$

$$Q_{\text{CO}} = 4 * 10^6 \text{ } \mu\text{g/sn}$$

$$Q_{\text{HC}} = 25,5 * 10^3 \text{ } \mu\text{g/sn}$$

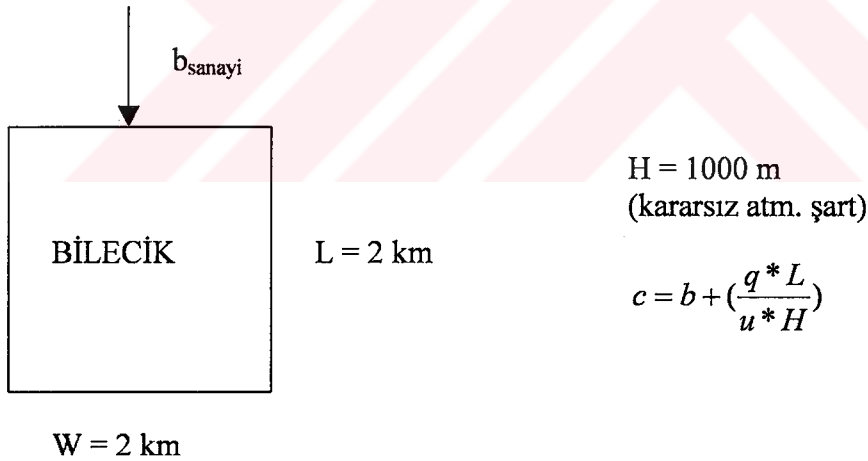
Kuzey rüzgarlı her bir gün için Q , u , σ_y , σ_z , y (NNE ve NNW yönleri için 957 m, NE ve NW yönleri için 1768 m, N yönü için 0), z (=2 m) ve H değerleri formülde yerine konarak C_1 konsantrasyon değeri bulunmuştur. Gerçek konsantrasyon değerini bulmak için %30 yansıma olduğu kabul edilmiştir.

$$C = C_1 + 0,3C_1 = 1,3C_1$$

Bulunan konsantrasyon değerleri sonuç ve öneriler bölümünde irdelenmiştir.

5.3 Bilecik İline ATDL Modelinin Uygulanması

Bilecik ilinde background (arka plan) konsantrasyonu olarak şehrin kuzeyinde kalan sanayiden gelen sanayi konsantrasyonu alınır (b). Şehir sınırlarının içinde kalan alandan ise evsel ve trafik emisyonları gelir (q). Evsel emisyonlar kış sezonunda değişken olup, yaz sezonunda sıfırdır. Trafik emisyonu ise her gün aynı olduğu kabul edilerek sabittir. ATDL modelinin Bilecik iline uygulanması şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Bilecik iline ATDL modelinin uygulanması

q : emisyon hızı

$$q = (\text{evsel} + \text{trafik kaynaklı emisyon}) / A = [\mu\text{g}/\text{sn}\cdot\text{m}^2]$$

A : şehir alanı

$$A = W * L = 2000 \text{ m} * 2000 \text{ m} = 4 * 10^6 \text{ m}^2$$

SO₂ konsantrasyonu için:

$$q_{\text{trafik}} = 32,5 \text{ ton/yıl} = 0,26 \text{ } \mu\text{g/sn-m}^2$$

$$q_T = q_{\text{evsel}} + 0,26$$

$$c_{SO_2} = b_{SO_2} + \frac{(q_{\text{evsel}, SO_2} + 0,26) * 2000}{u * 1000}$$

PM konsantrasyonu için:

$$q_{\text{trafik}} = 84,9 \text{ ton/yıl} = 0,67 \text{ } \mu\text{g/sn-m}^2$$

$$q_T = q_{\text{evsel}} + 0,67$$

$$c_{PM} = b_{PM} + \frac{(q_{\text{evsel}, PM} + 0,67) * 2000}{u * 1000}$$

Değişkenler;

b: Gauss Dispersiyon formülünden bulunan sanayi kaynaklı SO₂ ve PM konsantrasyon değerleri her gün için farklı değerler alır (μg/m³).

q_{evsel}: Kış sezonu için değişkendir ve her gün için farklı değerler alır (μg/sn-m²).

u: Meteorolojik bir veri olan rüzgar hızı değerleri her gün için farklı değerler alır (m/sn).

c: ATDL kutu modeli formülünden bulunan konsantrasyon değeri (μg/m³)

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi sanayiden gelen SO₂ ve PM konsantrasyonları (b) kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde Gauss Modeli yardımıyla hesaplanmıştır. Şekil 5.8’de ise evsel ısınmadan kaynaklanan SO₂ ve PM emisyonları, kış dönemi boyunca kullanılan günlük kömür miktarı ve emisyon faktörleri yardımıyla bulunmuş ve grid boyutuna bölünerek hesaplanmış *q* değerleri görülmektedir.

Sanayi, evsel ısınma ve trafik sektörlerinin Bilecik ili üzerindeki etkisini bulmak için *b* ve *q* değerleri ATDL formülünde yerine konarak kuzey yönlü rüzgarların estiği her bir gün için SO₂ ve PM konsantrasyonları hesaplanmıştır. Şekil 5.9’da N yönünden esen rüzgarlı günlerde ölçülmüş SO₂ konsantrasyonları ile ATDL modeli kullanılarak bulunan SO₂ konsantrasyonlarının karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 5.10’da NNW ve NNE yönlerinden esen rüzgarlı günlerde ölçülmüş SO₂ konsantrasyonları ile ATDL modeli kullanılarak bulunan SO₂ konsantrasyonlarının karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 5.11’de

NW ve NE yönlerinden esen rüzgarlı günlerde ölçülmüş SO_2 konsantrasyonları ile ATDL modeli kullanılarak bulunan SO_2 konsantrasyonlarının karşılaştırılması görülmektedir.

Şekil 5.12’de N yönünden esen rüzgarlı günlerde ölçülmüş PM konsantrasyonları ile ATDL modeli kullanılarak bulunan PM konsantrasyonlarının karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 5.13’de NNW ve NNE yönlerinden esen rüzgarlı günlerde ölçülmüş PM konsantrasyonları ile ATDL modeli kullanılarak bulunan PM konsantrasyonlarının karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 5.14’te NW ve NE yönlerinden esen rüzgarlı günlerde ölçülmüş PM konsantrasyonları ile ATDL modeli kullanılarak bulunan PM konsantrasyonlarının karşılaştırılması görülmektedir.

Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde gerçek SO_2 konsantrasyonları ile her bir kirletici kaynak için ATDL modeli kullanılarak hesaplanan SO_2 konsantrasyonlarının kıyaslanması Şekil 5.15’de görülmektedir. Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde gerçek PM konsantrasyonları ile her bir kirletici kaynak için ATDL modeli kullanılarak hesaplanan PM konsantrasyonlarının kıyaslanması ise Şekil 5.16’da görülmektedir.

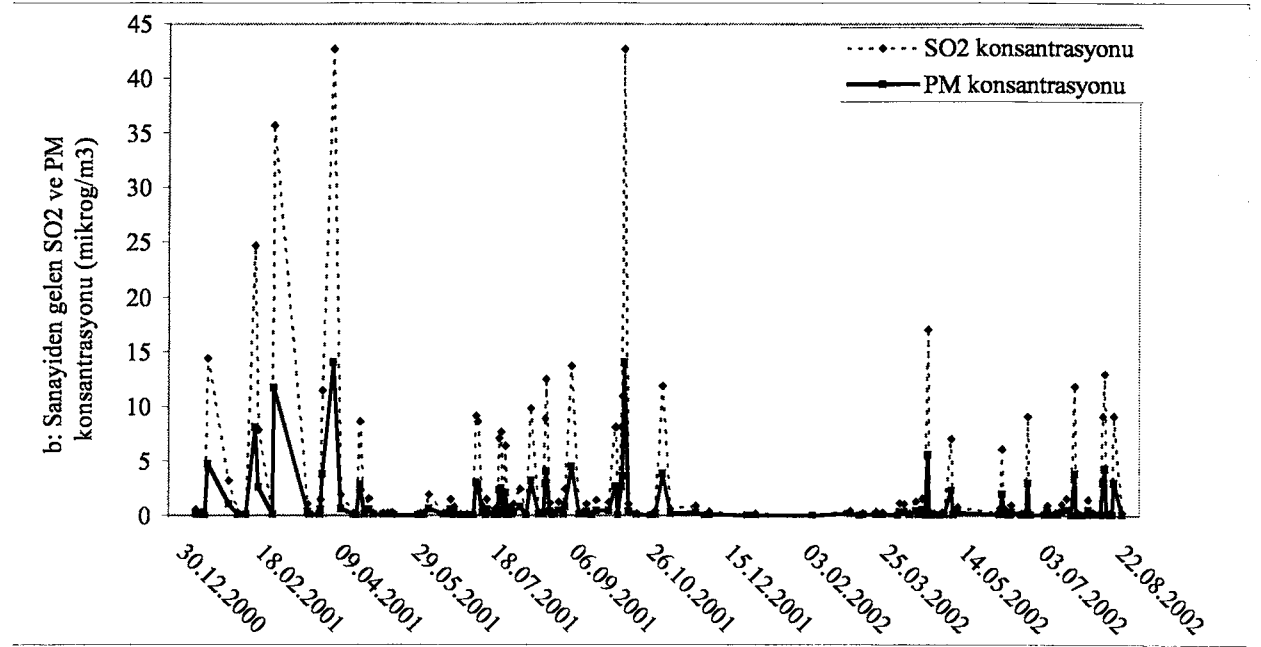
Ayrıca N, NW-NE, NNW-NNE yönlerinden esen rüzgarlı günlerde ölçülmüş konsantrasyonlar ile ATDL modeli kullanılarak hesaplanan konsantrasyonlar için t-testi uygulanmıştır. Bu test, iki grubun (model değerleri ve gerçek değerler) istatistiksel olarak farklı olup olmadığını, grupların ortalamalarını kıyaslayarak değerlendirir. Bunun için bir “güven seviyesi (α)”ne ihtiyaç vardır. Literatürde en çok kullanılan güven seviyeleri 0,01-0,05-0,10’dır. Güven seviyesine göre kritik bölge hesaplanır. α azalırken testin gücü de azalır (Akdeniz, 2002).

Güven seviyesi, istatistik test sonucunu tespit etmek için gereksinilen kesinlik derecesinin bir fonksiyonudur. Örneğin %99’luk güven limiti ($\alpha=0,01$), %95’e ($\alpha=0,05$) göre daha büyüktür. Diğer bir deyişle %99’luk güven limitinde t değerinin kritik bölge dışına düşme beklentisi sadece %1’dir. Teste kesinlik kazandırmak için güven aralığını azaltmak gerekir. Yani 1. tip hatayı (sıfır hipotezini reddetme) azaltmak için $1-\alpha=0,99$ değeri kullanılmalıdır. %99 güven limiti, %95’e göre değişimleri tespit etmekte daha az hassastır. Bu hassasiyet ve güç kaybı, güven aralığının artmasıyla doğru orantılıdır. (McBean ve Rovers, 1998).

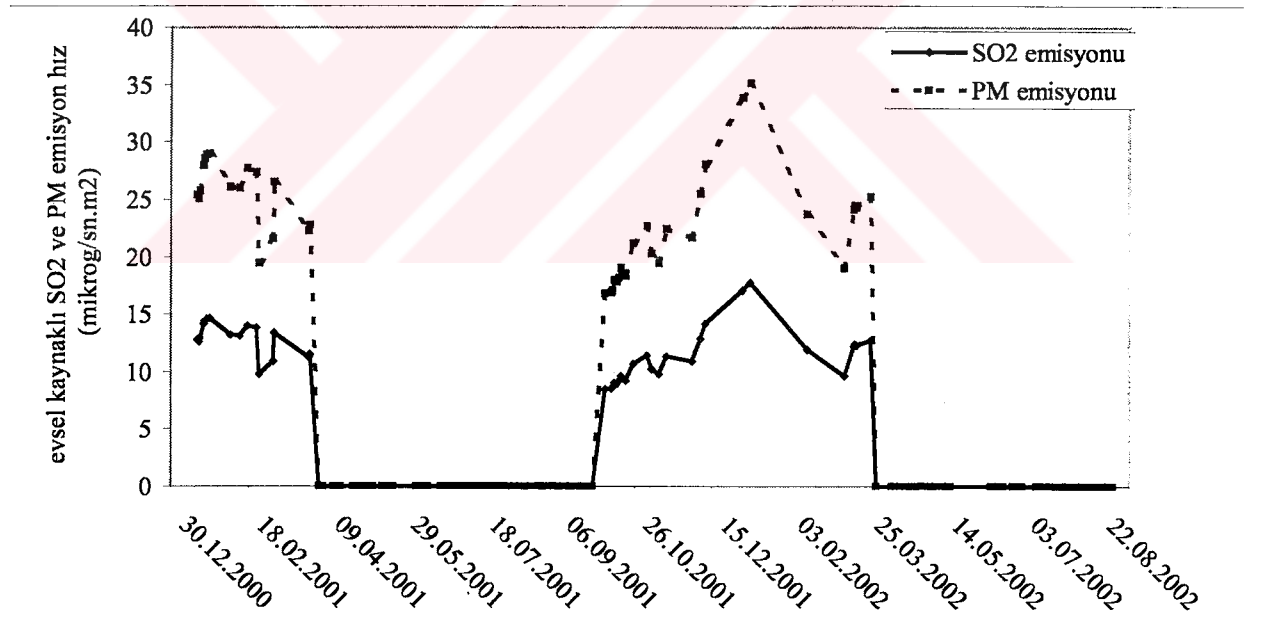
Çizelge 5.11’de N yönündeki SO_2 konsantrasyonları için t-test sonuçları görülmektedir ve %99 güvenilirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin

ortalamasının birbirine eşit kabul edilebileceği bulunmuştur. Çizelge 5.12’de NNW-NNE yönlerindeki SO₂ konsantrasyonları için t-test sonuçları görülmektedir ve %99 güvenirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilemeyeceği bulunmuştur. Çizelge 5.13’de NW-NE yönlerindeki SO₂ konsantrasyonları için t-test sonuçları görülmektedir ve %99 güvenirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilemeyeceği bulunmuştur.

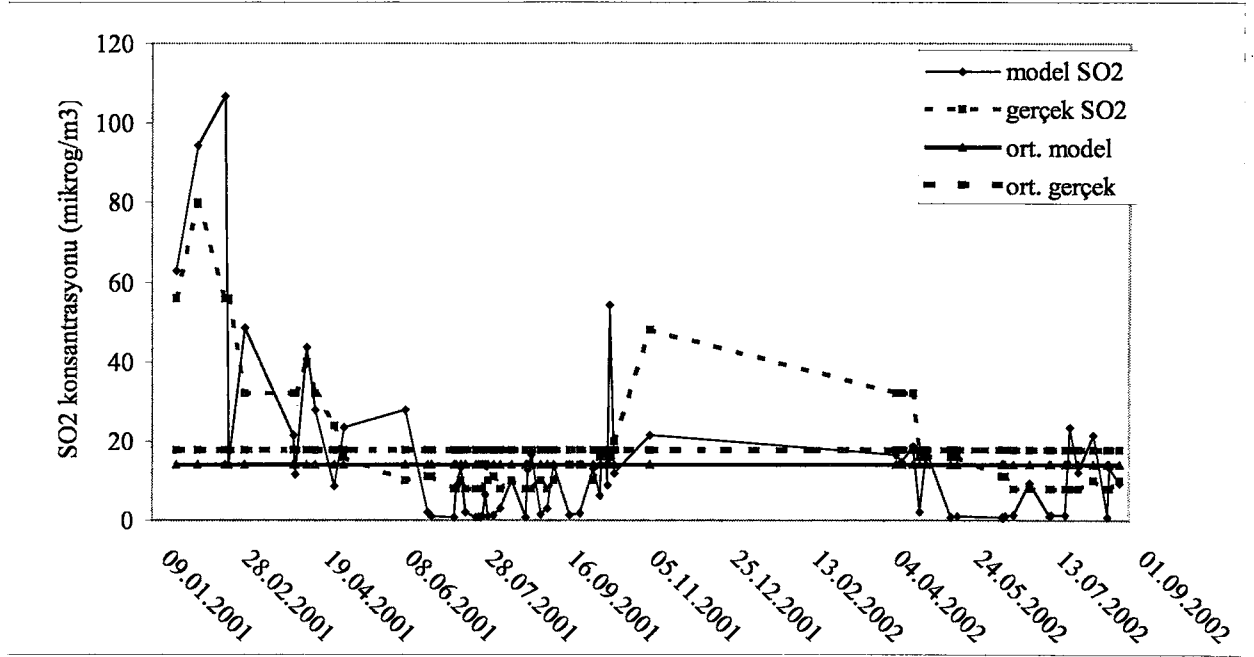
Çizelge 5.14’te N yönündeki PM konsantrasyonları için t-test sonuçları görülmektedir ve %99 güvenirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilebileceği bulunmuştur. Çizelge 5.15’te NNW-NNE yönlerindeki PM konsantrasyonları için t-test sonuçları görülmektedir ve %99.9 güvenirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilebileceği bulunmuştur. Çizelge 5.16’da NW-NE yönlerindeki PM konsantrasyonları için t-test sonuçları görülmektedir ve %99 güvenirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilemeyeceği bulunmuştur.



Şekil 5.7 Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde Gauss Modeli ile hesaplanan SO₂ ve PM konsantrasyonları (µg/m³)



Şekil 5.8 Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde evsel ısınmadan kaynaklanan SO₂ ve PM emisyon hızları (µg/sn.m²)



Şekil 5.9 N yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gercek SO₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması (R=0,76)

Çizelge 5.11 N yönü, SO₂ konsantrasyonu için t-test sonuçları

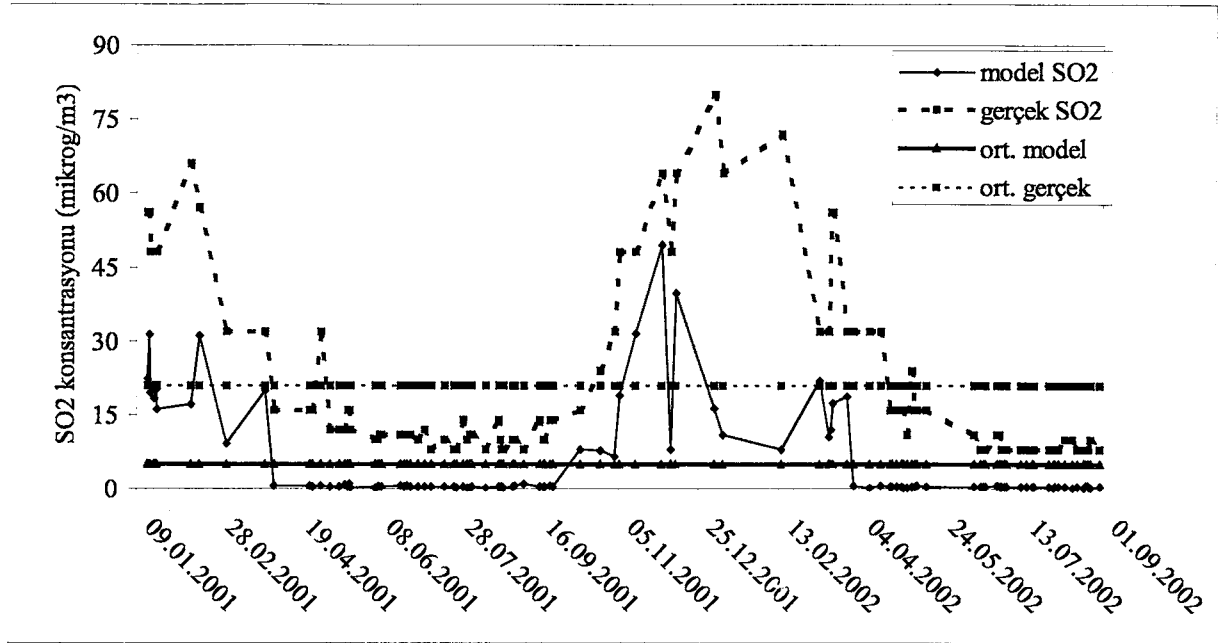
Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	Correlation
Pair 1	Gerçek	17,6563	64	14,9191	1,8649	0,759
	Model	13,7623	64	19,5606	2,4451	

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	99% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Gerçek- Model	3,5000	13,3831	1,6729	0,1570	6,8430	2,092	63	0,040

$\alpha = 0,01$ için $t < t_{\text{tablo}}$ (serbestlik değeri 63 için=2,654) veya $P (=0,04) > \alpha$ ise H_0 kabul (=iki ana kütle birbirinin aynı)



Şekil 5.10 NNW-NNE yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek SO₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması (R=0,81)

Çizelge 5.12 NNW-NNE yönleri, SO₂ konsantrasyonu için t-test sonuçları

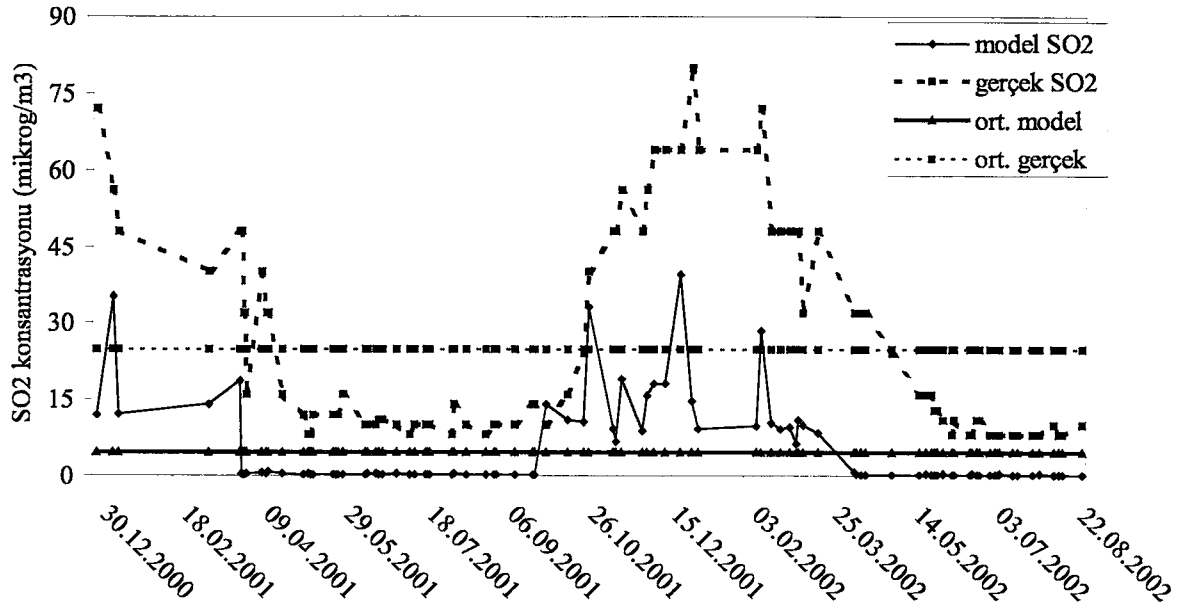
Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	Correlation
Pair 1	Gerçek	21,0094	106	18,1310	1,7610	0,813
	Model	4,9520	106	9,5071	0,9234	

Paired Samples Test

Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	99% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Gerçek- Model	16,0575	11,7848	1,1446	13,0545	19,0604	14,028	105	0,000

$\alpha=0,01$ için $t > t_{\text{tablo}}$ (serbestlik derecesi 105 için 2,626) veya $P (=0,000) < \alpha$ ise H_0 red (=iki ana kütle birbirinin aynı değil)



Şekil 5.11 NW-NE yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek SO₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması (R=0,74)

Çizelge 5.13 NW-NE yönleri, SO₂ konsantrasyonu için t-test sonuçları

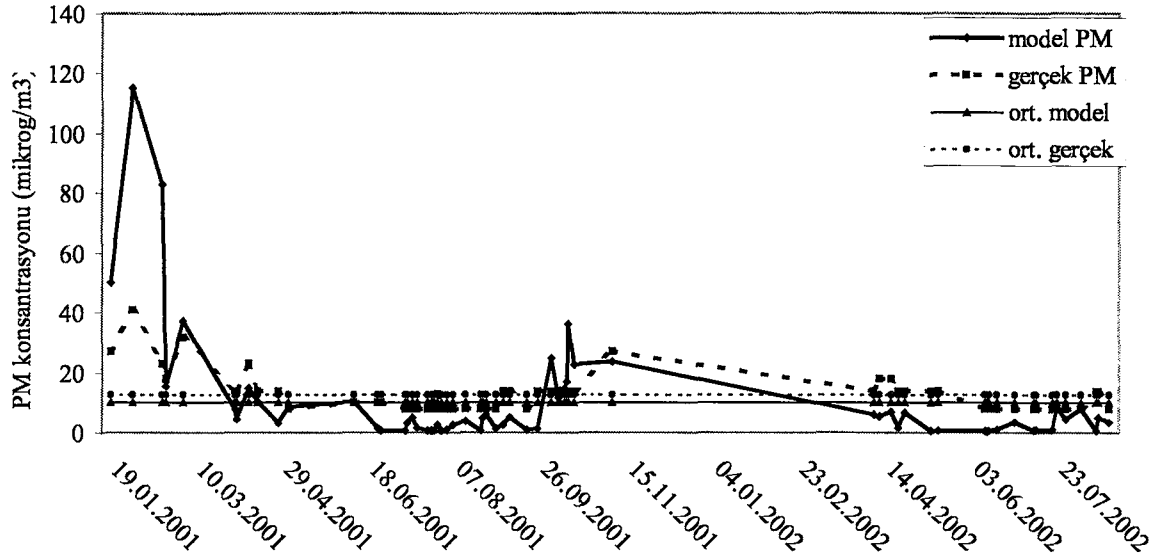
Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	Correlation
Pair 1	Gerçek	24,8947	95	20,0120	2,0532	0,737
	Model	4,6525	95	8,2782	0,8493	

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2- tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	99% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Gerçek- Model	20,2422	14,9989	1,5389	16,1963	24,2881	13,154	94	0,000

$\alpha=0,01$ için $t > t_{\text{tablo}}$ (serbestlik derecesi 94 için 2,629) veya $P (=0,000) < \alpha$ ise H_0 red (=iki ana kütle birbirinin aynı değil)



Şekil 5.12 N yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek PM konsantrasyonlarının kıyaslanması ($R=0,80$)

Çizelge 5.14 N yönü, PM konsantrasyonu için t-test sonuçları

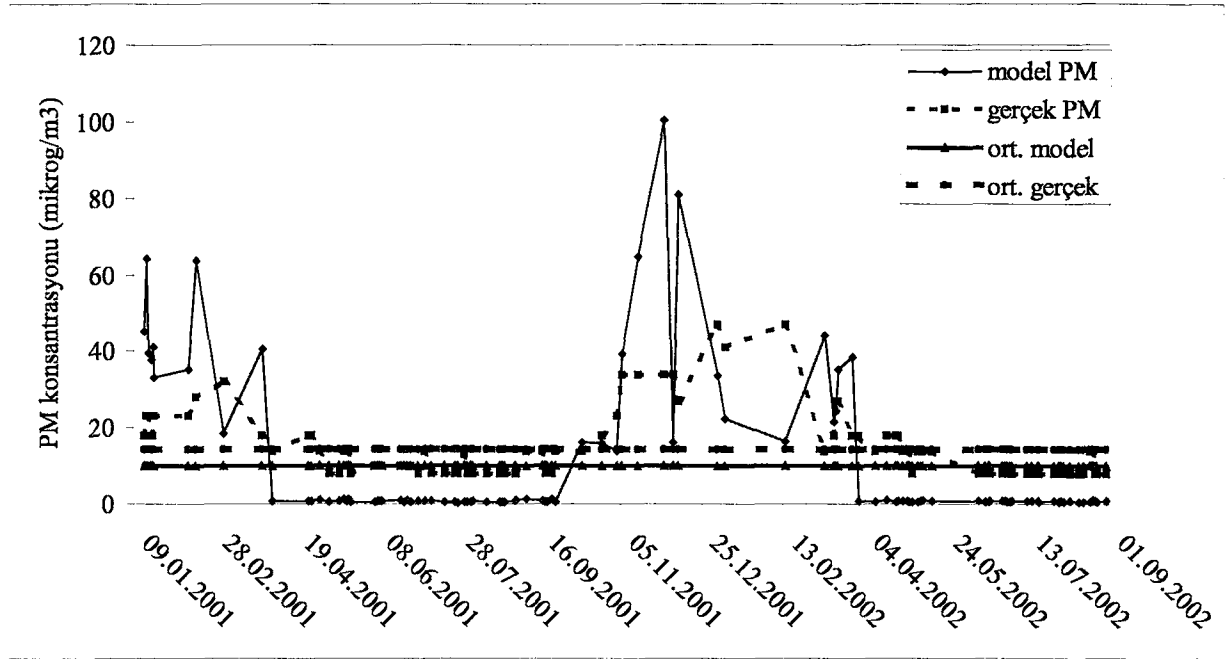
Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	Correlation
Pair 1	Gerçek	12,5625	64	6,4214	0,8027	0,796
	Model	10,0219	64	19,0455	2,3807	

Paired Samples Test

Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	99% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Gerçek- Model	2,5406	14,4624	1,8078	-2,2612	7,3424	1,405	63	0,165

$\alpha=0,01$ için $t < t_{\text{tablo}}$ (serbestlik değeri 63 için=2,654) veya $P (=0,165) > \alpha$ ise H_0 kabul (=iki ana kütle birbirinin aynı)



Şekil 5.13 NNW-NNE yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek PM konsantrasyonlarının kıyaslanması ($R=0,67$)

Çizelge 5.15 NNW-NNE yönleri, PM konsantrasyonu için t-test sonuçları

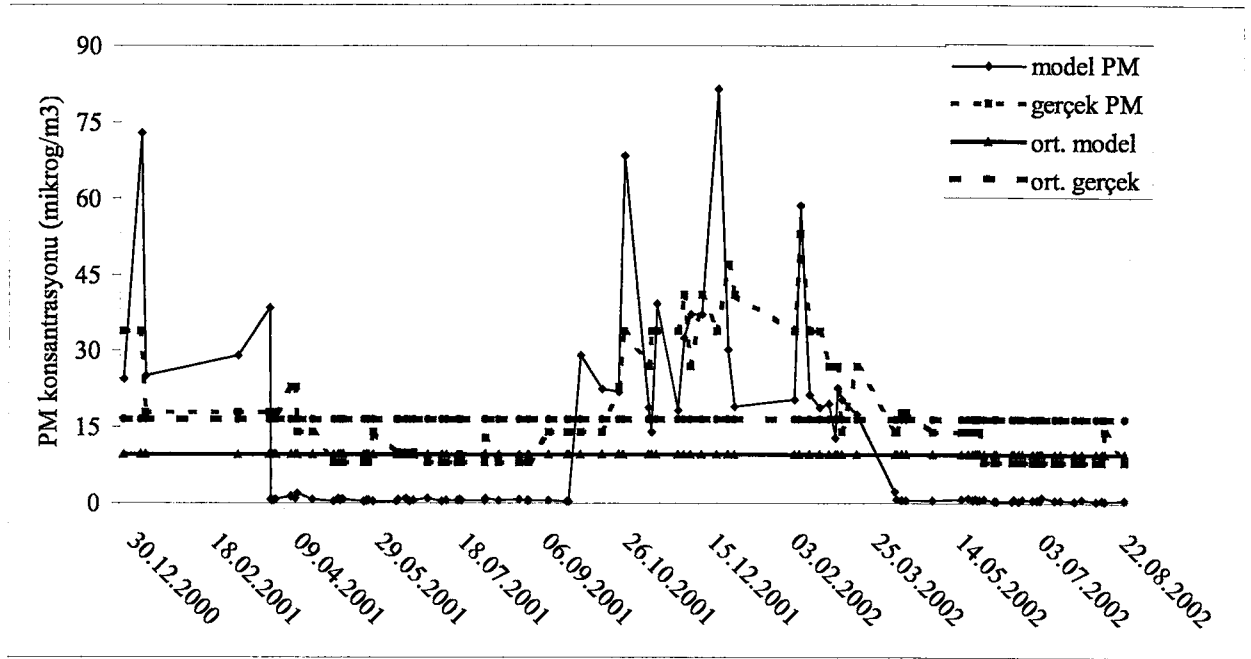
Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	Correlation
Pair 1	Gerçek	14,3585	106	8,6643	0,8416	0,668
	Model	9,9846	106	19,4308	1,8873	

Paired Samples Test

Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	99% Confidence Interval of the Difference				
				Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Gerçek- Model	4,3739	15,0935	1,4660	0,5278	8,2199	2,984	105	0,004

$\alpha=0,001$ için $t < t_{\text{tablo}}$ (serbestlik değeri 105 için=3,390) veya $P (=0,004) > \alpha$ ise H_0 kabul (=iki ana kütle birbirinin aynı)



Şekil 5.14 NW-NE yönünden esen rüzgarlı günlerde model ile gerçek PM konsantrasyonlarının kıyaslanması ($R=0,75$)

Çizelge 5.16 NW-NE yönleri, PM konsantrasyonu için t-test sonuçları

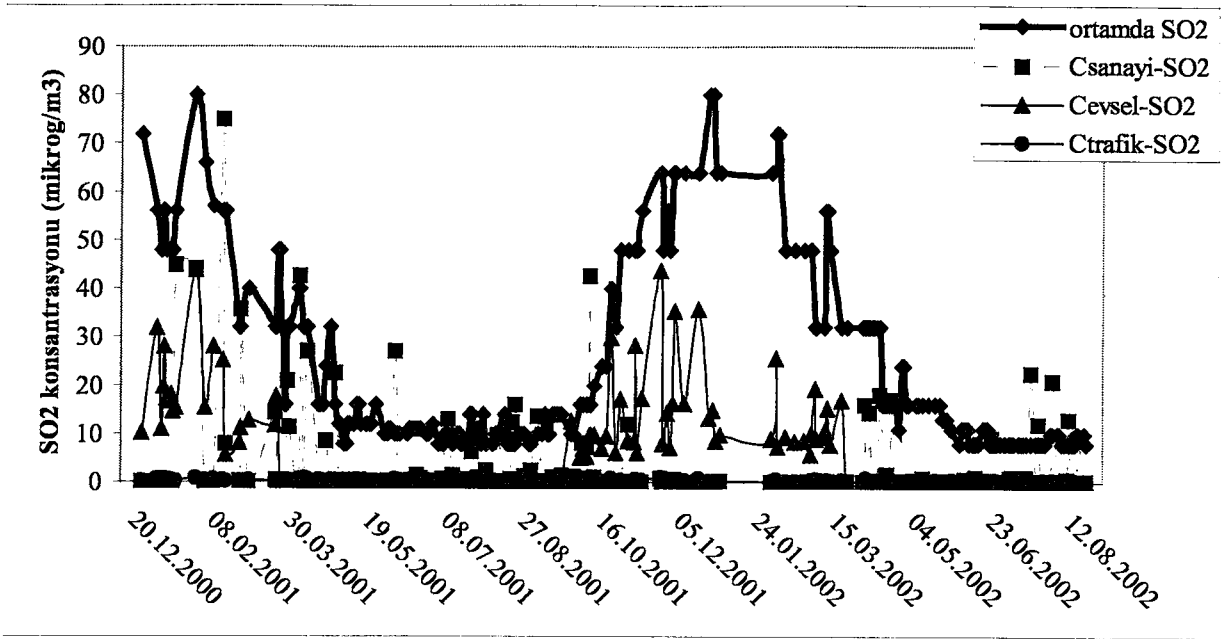
Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	Correlation
Pair 1	Gerçek	16,6421	95	10,7920	1,1072	0,752
	Model	9,6786	95	16,9970	1,7439	

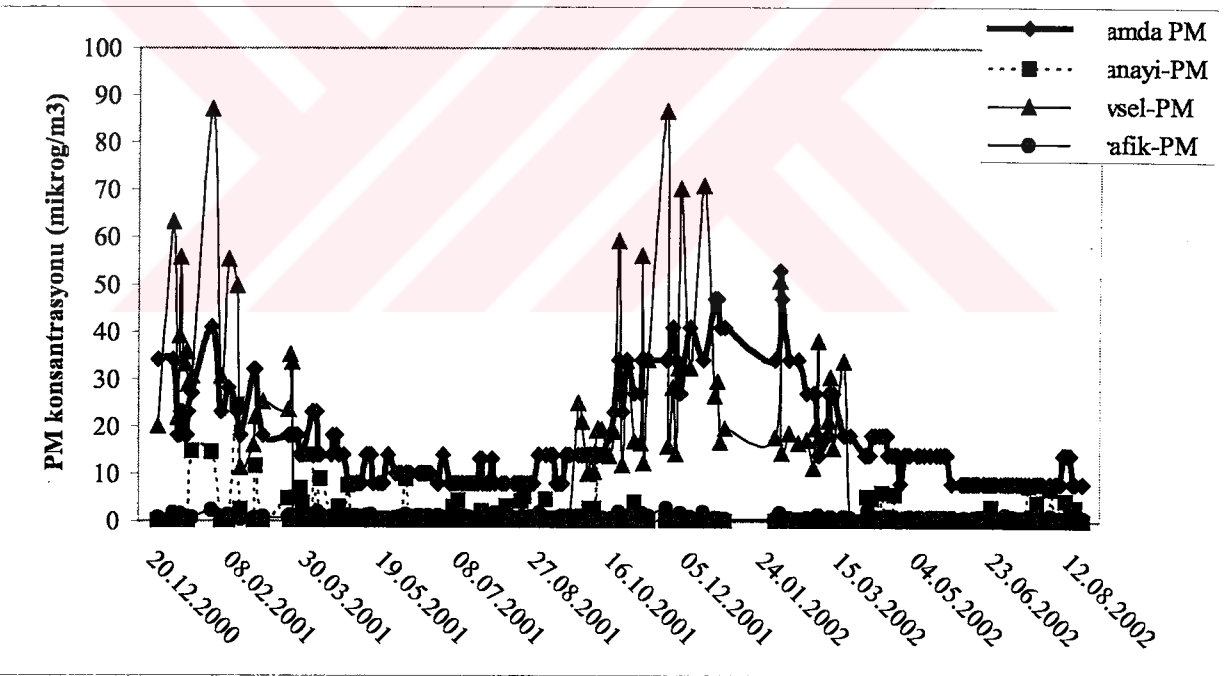
Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	99% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Gerçek- Model	6,9635	11,3768	1,1672	3,8946	10,0323	5,966	94	0,000

$\alpha = 0,01$ için $t > t_{\text{tablo}}$ (serbestlik derecesi 94 için 2,629) veya $P (=0,000) < \alpha$ ise H_0 red (=iki ana kütle birbirinin aynı değil)



Şekil 5.15 Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde gerçek SO₂ konsantrasyonları ile her bir kirlenici kaynak için model ile hesaplanan SO₂ konsantrasyonlarının kıyaslanması



Şekil 5.16 Bütün kuzey yönlü rüzgarların estiği günlerde gerçek PM konsantrasyonları ile her bir kirlenici kaynak için model ile hesaplanan PM konsantrasyonlarının kıyaslanması

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada sanayi faaliyetlerinden, evsel ısınmadan ve trafikten kaynaklanan SO₂, PM, CO, HC ve NO_x kirleticileri için emisyon ölçüm raporları ve emisyon faktörleri kullanılarak Bilecik ili için emisyon envanteri hazırlanmıştır.

Sanayi tesisleri için HC emisyon değerleri hariç diğer kirleticilerin emisyon değerleri emisyon raporlarındaki baca gazı ölçüm değerlerinden alınmıştır. HC emisyonu ise sanayilerin kullandıkları yakıt cinsi ve miktarı dikkate alınarak Amerikan EPA emisyon faktörlerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Sanayide yıllık 20013,4 ton LPG, 1248,4 ton kalorifer yakıtı, 480 ton kömür ve 500 ton odun yakıt olarak kullanılmaktadır. Buna göre sanayiden 50,3 kg/sa SO₂, 16,5 kg/sa PM, 14,4 kg/sa CO, 13,3 kg/sa NO_x ve 0,1 kg/sa HC emisyonları çıkmaktadır. Sanayi kaynaklı SO₂'nin toplam Bilecik emisyonuna katkısı % 47,5, PM'nin katkısı %5,8, CO'nun katkısı %4,6, HC'nin katkısı %0,4 ve NO_x'in katkısı %19,9'dır.

Bilecik ilinde Sanayi ve Ticaret Odasına bağlı 5 adet kömür satış noktası ve 4 adet benzin istasyonu bulunmaktadır. Buralardan elde edilen verilere göre yılda ısınma amaçlı 60.000 ton kömür, 2040 ton kalorifer yakıtı ve 12.000 ton odun tüketilmektedir. Bilecik ilinde en çok kullanılan yakıt %57 ile kömürdür ve bunun ısınma amaçlı kullanılan kısmı %99'dur. Evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonlar, emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre yerleşim bölgelerinden 91,1 kg/sa SO₂, 186,7 kg/sa PM, 181,6 kg/sa CO, 46,1 kg/sa NO_x ve 2,9 kg/sa HC emisyonları oluşmaktadır. Evsel ısınma kaynaklı SO₂'nin toplam emisyona katkısı %50,4, PM'nin katkısı %89,5, CO'nun katkısı %64 HC'nin %13,3 ve NO_x'un katkısı ise %53,5'dur.

Bilecik ilinde 2003 Şubat ayı itibariyle toplam motorlu kara taşıtı sayısı 20.443 adettir. Bu taşıtlar yılda 1950 ton kurşunsuz benzin, 725 ton süper benzin ve 6150 ton motorin tüketmektedir. Trafikten kaynaklanan SO₂ emisyonu 3,7 kg/sa, PM emisyonu 9,7 kg/sa, CO emisyonu 89 kg/sa, NO_x emisyonu 23 kg/sa ve HC emisyonu 18,8 kg/sa'dır. Trafiğin toplam Bilecik emisyonuna SO₂ olarak katkısı %2,1, PM'nin katkısı %4,7, CO'nun katkısı %31,4, HC'nin katkısı %86,3 ve NO_x'un katkısı %26,6'dır.

Bacagazı emisyon ölçüm raporları ve emisyon faktörleri kullanılarak Bilecik ilinin toplam kirletici emisyonu 1585 ton/yıl SO₂, 1828 ton/yıl PM, 2486 ton/yıl CO, 191 ton/yıl HC ve 755 ton/yıl NO_x'dur. Emisyon envanterinden çıkarılan sonuçlara göre Bilecik'te SO₂ emisyonuna en çok katkıda bulunan sektör evsel sektördür. PM, CO ve NO_x emisyonlarında da en baskın sektör evsel sektördür. HC emisyonunda ise trafik sektörü en etkin rol oynar (Şekil 5.2). Yakıt bazında incelersek Bilecik SO₂ emisyonları üzerindeki en yüksek katkı %50,9 ile kalorifer yakıtı ve %46,6 ile kömürdedir. PM emisyonlarındaki en büyük katkı %79,7 ile kömürden gelmektedir. CO emisyonlarında en büyük pay %62,9 ile odunudur. Kömürün NO_x emisyonları üzerindeki katkısı %51,3 ve motorinin HC emisyonları üzerindeki payı %52,6 ile en yüksek değerleri almaktadır (Şekil 5.3).

Sayısal değerlere bakacak olursak Bilecik ilinde emisyon katkısı en büyük olan sektör (SO₂'ye katkısı %50,4 , PM'ye katkısı %89,5 , CO'ya katkısı %64 ve NO_x'a katkısı %53,5 ile en yüksek payları alan sektör) evsel ısınmadır. Görülüyor ki hava kirliliğini arttıran en önemli sebep ısınma amaçlı kullanılan yakıtların cinsi ve kalitesidir.

Bu çalışmada yapılmış olan emisyon envanterinin Bilecik'in gerçek emisyon değerlerine ne kadar yaklaştığını anlamak için Bilecik İl Sağlık Müdürlüğü'nün yapmış olduğu hava kalitesi ölçümleri ile kıyaslamak gereklidir. Müdürlüğün yaptığı ölçümler günlük SO₂ ve PM konsantrasyonlarıdır.

Sanayi kaynaklı emisyonların Bilecik ili üzerindeki etkisi Gauss Dispersiyon modeli ile irdelenmiştir. Bilecik ilinin sanayisi şehrin kuzeyinde bulunduğu için kuzey yönlü rüzgarların estiği günler dikkate alınmıştır. Evsel ve trafik kaynaklı emisyonları konsantrasyon olarak ifade edemediğimiz için Bilecik'teki konsantrasyonu hesaplamak amacıyla ATDL modeli kullanılmıştır. Bunun için Bilecik ili boyutu 2 km * 2 km grid ve yüksekliği 1000 m olan kutu olarak incelenmiştir. Sanayinin kuzeyde olması dolayısıyla N, NE, NW, NNE ve NNW yönleri için ATDL modeli uygulanmıştır.

ATDL Modeli ile hesaplanan sanayi, evsel ısınma ve trafik sektörlerinden gelen SO₂ konsantrasyonlarının Bilecik ili üzerindeki etkisine baktığımızda evsel ısınmadan kaynaklı SO₂'nin toplam SO₂ konsantrasyonuna katkısı %51,8, sanayi kaynaklı SO₂'nin katkısı %44 ve trafik kaynaklı SO₂'nin katkısı %4,2'dir. Bu kirletici kaynaklarından gelen PM konsantrasyonlarının Bilecik ili üzerindeki etkisine baktığımızda ise evsel ısınmadan kaynaklı

PM'nin toplam PM konsantrasyonuna katkısı %80,8, sanayi kaynaklı PM'nin katkısı %11 ve trafik kaynaklı PM'nin katkısı %8,2'dir.

Modelden elde ettiğimiz sonuçlara göre; N yönünden esen rüzgarların şehre getirdiği günlük SO₂ konsantrasyonu hesabı ile gerçek konsantrasyon değerleri arasındaki korelasyon katsayısı (R) 0,76 bulunmuştur. SO₂ konsantrasyonları için model ortalamaları gerçek ortalamalara çok yaklaşmıştır. T-testine göre %99 güvenilirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilebileceği bulunmuştur ve t-testini sağladığı görülmektedir. N yönünden esen rüzgarların şehre getirdiği günlük PM konsantrasyonlarındaki korelasyon katsayısı ise 0,80 bulunmuştur. PM konsantrasyonları için model ortalamaları gerçek ortalamalara çok yaklaşmıştır. T-testine göre %99 güvenilirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilebileceği bulunmuştur ve t-testini sağladığı görülmektedir.

NNW ve NNE yönlerinden esen rüzgarların şehre getirdiği günlük SO₂ konsantrasyonu hesabı ile gerçek konsantrasyon değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,81 bulunmuştur. SO₂ konsantrasyonları için model ortalamaları gerçek ortalamalara yaklaşamamıştır. T-testine göre %99 güvenilirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilemeyeceği bulunmuştur ve t-testini sağlamadığı görülmektedir. NNW ve NNE yönlerinden esen rüzgarların şehre getirdiği günlük PM konsantrasyonlarındaki korelasyon katsayısı ise 0,67 bulunmuştur. PM konsantrasyonları için model ortalamaları gerçek ortalamalara çok yaklaşmıştır. T-testine göre %99,9 güvenilirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilebileceği bulunmuştur ve t-testini sağladığı görülmektedir.

NW ve NE yönlerinden esen rüzgarların şehre getirdiği günlük SO₂ konsantrasyonu hesabı ile gerçek konsantrasyon değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,74 bulunmuştur. SO₂ konsantrasyonları için model ortalamaları gerçek ortalamalara yaklaşamamıştır. T-testine göre %99 güvenilirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilemeyeceği bulunmuştur ve t-testini sağlamadığı görülmektedir. NW ve NE yönlerinden esen rüzgarların şehre getirdiği günlük PM konsantrasyonlarındaki korelasyon katsayısı ise 0,75 bulunmuştur. PM konsantrasyonları için model ortalamaları gerçek ortalamalara yaklaşamamıştır. T-testine göre %99 güvenilirlik seviyesinde modelin tahmin ettiği ortalama değer ile gerçek değerlerin ortalamasının birbirine eşit kabul edilemeyeceği bulunmuştur ve t-testini sağlamadığı görülmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde (Özkan, 2002 ve Elbir, 2002), model kullanılarak elde edilen değerler ile gerçek ölçümler kıyaslandığı zaman genellikle yüksek korelasyonlar sağlandığı görülmüştür. Korelasyonun yüksek olması, iki değişken arasındaki verilerin aynı yönde gittiği anlamına gelir. Yani model verileri gerçek veriler ile aynı doğrultudadır. Bu da kullanılan verilerin ve yapılan kabullerin gerçeğe yakın sonuç verdiği anlamına gelir.



6.2 Öneriler

Bir bölgenin meteorolojik ve topografik özellikleri değiştirilemeyeceği için hava kirliliğinin azaltılmasında en etkin önlem ısınma amaçlı kullanılan yakıtların iyileştirilmesi veya yakıt cinsinin değiştirilmesidir. Çünkü SO₂, PM, CO, HC ve NO_x emisyonlarının en büyük kaynağı fosil yakıtlardır. Bunun için kükürt yüzdesi düşük, ısı değeri yüksek olan daha kaliteli kömür kullanımı sağlanmalıdır. Kömürün şehre girişi kontrollü olarak yapılmalı ve kaçak kömür girişine izin verilmemelidir. Ya da imkanlar doğrultusunda kömür kullanımı yerini doğalgaza bırakmalıdır. Zaten Bilecik ilinde doğalgaz alt yapısı oluşturulmuştur ve 2004 yılında doğalgaz kullanılmaya başlanacaktır.

Binalarda ısı yalıtımına önem verilmeli ve böylece ısı kayıpları önlenerek yakıt sarfiyatından kaçınılmalıdır. Kalorifer kazanları verimli hale getirilmeli, kazancıların eğitimi olmasına özen gösterilmelidir.

Sanayilerde kullanılan yakıtlar da kontrol edilmeli ve bu yakıtlarda iyileştirmeye gidilmelidir. Ayrıca HKKY’de belirtilen tesislerin emisyon raporlarının yapılıp yapılmadığı kontrol edilmeli, eğer yapılmamışsa kanunlar yardımıyla yaptırımı sağlanmalıdır. Bu raporun sonuçlarına göre baca gazında arıtma yapması gerekli görünenlerin takibe alınması sağlanmış olur.

Trafikten kaynaklanan emisyonların azaltılması için benzin ve motorin kalitesi iyileştirilmeli, kurşunsuz benzin kullanımı yaygınlaşmalı ve motorlu taşıtlarda eksoz emisyonlarının denetimi yapılmalıdır.

Emisyon envanterinin yapılması bölgesel hava kalitesinin tespit edilmesi ve bunun sonucunda eğer gerekiyorsa önlem alınması açısından çok önemlidir. Bu nedenle emisyon envanteri her yıl yeni veriler eklenerek güncelleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, F., (2002), Olasılık ve İstatistik, Baki Kitabevi, Adana.
- Bilecik Organize Sanayi Bölgesi Emisyon Raporları, (2002), Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- DİE, (2002), Devlet İstatistik Enstitüsü, İnternet kanalıyla elde edilen genel nüfus verileri (www.die.gov.tr).
- DİE, (2003), Devlet İstatistik Enstitüsü, İnternet kanalıyla Bilecik ili motorlu kara taşıtları sayısı (www.die.gov.tr).
- Elbir, T., (2002), "Comparison of model predictions with the data of an urban air quality monitoring network in Izmir, Turkey", Atmospheric Environment, 37: 2149-2157.
- EPA, (1985), Compilation of Air Pollution Emission Factors Volume I Stationary Point and Area Sources, 4th ed., AP-42, U.S.EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, with updates through September 1991.
- Ertürk, F., (2003), Hava Kirliliği ve Kontrolü Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Goncaloğlu, B.İ., (2000), İstanbul'daki Sanayi Tesislerinden Yanma Sonucu Atmosfere Atılan Hava Kirlleticilerinin Emisyon Envanterinin Çıkarılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gümüş, F.U., (1991), İstanbul Fatih İlçesinde Bazı Hava Kirliliği Parametrelerinin Tespiti ve İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Analitik Kimya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hanna, S.R., (1973), Application of a Simple Dispersion Model to a Rural Industrial Region, Air Resources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- HKKY (Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği), (1986), Resmi Gazete, Sayı: 19269, 2 Kasım, Ankara.
- Kemerdere, N., (1996), Gebze İlçesinde Emisyon Envanteri ve Hava Kalitesi Modellemesi Raporu, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Marmara Araştırma Merkezi, Tübitak, Gebze-Kocaeli.
- McBean, E.A. ve Rovers, F.A., (1998), Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data & Risk Assessment, Prentice Hall PTR Environmental Management & Engineering Series, Volume 3.
- Müezzinoğlu, A., (2000), Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- Ölmez, E., (1998), Muğla İli Hava Kirliliği emisyon Envanteri, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Özkan, A., (2002), Çorlu ilçesinde Emisyon Envanteri ve Hava Kalitesi Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Reddy, M.S. ve Venkataraman C., (2002), "Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India: I-Fossil fuel combustion", Atmospheric Environment, 36: 677-697.

Saija, S. ve Romano, D., (2002), "A methodology for the estimation of road transport air emissions in urban areas of Italy", *Atmospheric Environment*, 36: 5377-5383.

Sivacoumar, R., Bhanarkar, A.D., Goyal, S.K., Gadkari, S.K. ve Aggarwal, A.L., (2001), "Air pollution modeling for an industrial complex and model performance evaluation", *Environmental Pollution*, 111: 471-477.

Turner, D.B., (1969), *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*, Washington D.C., HEW.

Tünay, O.ve Alp, K., (1996), *Hava Kirlenmesi Kontrolü*, İstanbul Ticaret Odası.

Uysal, R., (2002), *Hava Kirletici Parametrelerin 1999-2002 Yılları Arası Aylık Ölçüm Sonuçları*, Bilecik Halk Sağlığı Laboratuvarı.

Wark, K., Warner, C.F. ve Davis, W.T., (1998), *Air Pollution its origin and control*, 3th ed., Addison Wesley Longman, Inc.



EKLER**Ek.1 Kritik t değerleri tablosu**

Serbestlik derecesi	İki yönlü sınamalardaki güven düzeyi					
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	3,0780	6,3138	12,7060	31,8210	63,6570	636,6190
2	1,8860	2,9200	4,3027	6,9650	9,9248	31,5980
3	1,6380	2,3534	3,1825	4,5410	5,8409	12,9240
4	1,5330	2,1318	2,7764	3,7470	4,6041	8,6100
5	1,4760	2,0150	2,5706	3,3650	4,0321	6,8690
6	1,4400	1,9432	2,4469	3,1430	3,7074	5,9590
7	1,4150	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4080
8	1,3970	1,8595	2,3060	2,8960	3,3554	5,0410
9	1,3830	1,8331	2,2622	2,8210	3,2498	4,7810
10	1,3720	1,8125	2,2281	2,7640	3,1693	4,5870
11	1,3630	1,7939	2,2010	2,7180	3,1058	4,4370
12	1,3560	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	4,3180
13	1,3500	1,7709	2,1604	2,6500	3,0123	4,2210
14	1,3450	1,7613	2,1448	2,6240	2,9768	4,1400
15	1,3410	1,7530	2,1315	2,6020	2,9467	4,0730
16	1,3370	1,7459	2,1199	2,5830	2,9208	4,0150
17	1,3330	1,7396	2,1098	2,5670	2,8992	3,9650
18	1,3300	1,7341	2,1009	2,5520	2,8784	3,9220
19	1,3280	1,7291	2,0930	2,5390	2,8609	3,8830
20	1,3250	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,8500
21	1,3230	1,7207	2,0796	2,5180	2,8314	3,8190
22	1,3210	1,7171	2,0739	2,4686	2,8188	3,7920
23	1,3190	1,7139	2,0687	2,4750	2,9073	3,7670
24	1,3180	1,7109	2,0639	2,4803	2,7969	3,7450
25	1,3160	1,7081	2,0595	2,4846	2,7874	3,7250
26	1,3150	1,7056	2,0555	2,4881	2,7787	3,7070
27	1,3140	1,7033	2,0518	2,4909	2,7707	3,6900
28	1,3130	1,7011	2,0484	2,4931	2,7633	3,6740
29	1,3110	1,6991	2,0452	2,4948	2,7564	3,6590
30	1,3100	1,6973	2,0423	2,4961	2,7500	3,6160
35	1,3062	1,6896	2,0301	2,4971	2,7239	3,5919
40	1,3031	1,6839	2,0211	2,4979	2,7045	3,5511
45	1,3007	1,6794	2,0141	2,4985	2,6896	3,5207
50	1,2987	1,6759	2,0086	2,4989	2,6778	3,4965
60	1,2959	1,6707	2,0003	2,4992	2,6603	3,4606
70	1,2938	1,6669	1,9945	2,4994	2,6480	3,4355
80	1,2922	1,6641	1,9901	2,4996	2,6388	3,4169
90	1,2910	1,6620	1,9867	2,4997	2,6316	3,4022
100	1,2901	1,6602	1,9840	2,3640	2,6260	3,3909
120	1,2887	1,6577	1,9799	2,3580	2,6175	3,3736
140	1,2876	1,6558	1,9771	2,3530	2,6114	3,3615
160	1,2869	1,6545	1,9749	2,3500	2,6070	3,3527
180	1,2863	1,6534	1,9733	2,3470	2,6035	3,3456
200	1,2858	1,6525	1,9719	2,3450	2,6006	3,3400
Sonsuz	1,2816	1,6449	1,9600	2,3260	2,5758	3,2905

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 07.02.78

Doğum yeri Çanakkale

Lise 1990-1993 Ankara Tınaztepe Lisesi

Lisans 1995-1999 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2002 Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Müh. Anabilim Dalı, Çevre Müh. Programı

2002-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Müh. Anabilim Dalı, Çevre Müh. Programı

Çalıştığı kurum

2001-Devam ediyor Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü
Laboratuvar Sorumlusu

