

1682d4



**T.C.**  
**ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURSA ATMOSFERİNDEKİ KLASİK HAVA KİRLİTİCİ KONSANTRASYON  
SEVİYELERİ VE BİRBİRLERİ İLE İLİŞKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**U1002096 Tuncay ERBAŞLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BURSA - 2005**

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURSA ATMOSFERİNDEKİ KLASİK HAVA KİRLLETİCİ KONSANTRASYON  
SEVİYELERİ VE BİRBİRLERİ İLE İLİŞKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

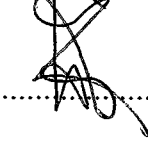
U1002096 Tuncay ERBAŞLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 14.01.2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Yücel TAŞDEMİR

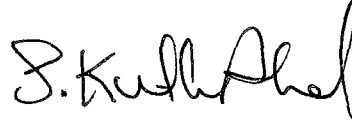
(Danışman)



Doç.Dr. Cevdet DEMİR



Yrd.Doç.Dr. Seval K. AKAL SOLMAZ



## ÖZET

Bu çalışma kapsamında, Bursa atmosferindeki klasik hava kirleticilerin seviyeleri, mekana ve zamana bağlı değişimleri, meteorolojik parametrelerle ilişkileri ve birbirleri ile olan etkileşimleri incelenmiş ve karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

İl Sağlık Müdürlüğü tarafından 7 semtte (Çekirge, Karaman, Küçük Balıklı, Eğitim, Arabayatağı, Santral Garaj, Tophane) ölçülen Ocak 1988-Aralık 2003 periyotları arasındaki günlük partikül madde (PM) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) değerleri ile 2001 ve 2003 yılları arasında Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından 2 ölçüm istasyonunda (Heykel ve Duaçınarı) yarım saatlik olarak toplanan SO<sub>2</sub>, PM, karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HK), ozon (O<sub>3</sub>) ve azot oksitler (NO<sub>x</sub>) konsantrasyonları değerlendirilmiştir.

Heykel'in şehrin işlek caddelerinden biri olması sebebiyle araç trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin (Özellikle NO<sub>x</sub>, CO, PM ve SO<sub>2</sub>) toplam kirlilikteki oranının yüksek olduğu hesaplanmıştır. Yüksek konsantrasyon seviyelerinin en önemli sebepleri, trafiğin yoğun olması ile birlikte bölgedeki yüksek binaların ve düşük rüzgar hızlarının kirleticilerin seyrelmesini engellemesidir.

SO<sub>2</sub> kirleticisinin 1988-2003 yılları arasındaki kış ayları konsantrasyonlarının ortalaması (197,2±150,6 µg/m<sup>3</sup>) yaz ayları ortalamasının (44,5±20,9 µg/m<sup>3</sup>) yaklaşık 5 katıdır. Aynı şekilde, PM kirleticisinin bu zaman aralığındaki kış ayları konsantrasyon ortalaması (90,6±40,71 µg/m<sup>3</sup>) yaz ayları ortalamasının (18,9±10,63 µg/m<sup>3</sup>) yaklaşık 5 katıdır. Bu sonuçlar, Bursa'da gözlenen SO<sub>2</sub> ve PM kirliliklerinin büyük oranda ısınma amaçlı yakmalardan kaynaklandığını göstermektedir.

Ölçüm periyodunda (1988-2003) en yüksek ortalama SO<sub>2</sub> (102,16 µg/m<sup>3</sup>) ve ortalama PM (67,78 µg/m<sup>3</sup>) değerleri Arabayatağı ve Eğitim'de ve en düşük ortalama SO<sub>2</sub> (61,15 µg/m<sup>3</sup>) ve PM (39,8 µg/m<sup>3</sup>) değerleri de Karaman'da saptanmıştır.

SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler arasında lineer, eksponansiyel, üslü ve logaritmik modeller oluşturulmuştur. Modelleme çalışmaları sonucunda kuvvetli korelasyonlar gözlenmemiştir. Kirletici konsantrasyonlarının sıcaklık ve rüzgar hızı ile ters, basınç ve nem ile doğru orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Duaçınarı ve Heykel Semtleri'nde yapılan ölçümlerde CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM, O<sub>3</sub> ve HK konsantrasyon değerleri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmış ve bu değerler Duaçınarı'nda 0,01 ile 0,97 arasında, Heykel'de 0 ile 0,96 arasında değişmiştir. Her iki semtte konsantrasyonlar arasındaki en yüksek korelasyonlara kış mevsiminde, en düşük korelasyonlara yaz mevsiminde rastlanmıştır.

#### ANAHTAR KELİMELER

Hava kirliliği, Klasik hava kirleticiler, SO<sub>2</sub>, PM, Motorlu taşıt emisyonları, Lineer model, Meteorolojik parametreler, Bursa.

## ABSTRACT

In the scope of this study, the levels of classical air pollutants in Bursa, their spatial and temporal fluctuations, their relationships with meteorological parameters and with each other were investigated and discussed comparatively.

Daily particulate matter (PM) and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) values, measured in seven areas (Çekirge, Karaman, Küçük Balıklı, Eğitim, Arabayatağı, Santral Garaj, Tophane) by Province Health Administration between January 1998 and December 2003 period and half hourly SO<sub>2</sub>, PM, carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HCs), ozone (O<sub>3</sub>) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) concentrations taken from two measurement districts (Heykel and Duaçınarı) by Bursa Metropolitan Municipality between 2001 and 2003 years were evaluated.

Since Heykel is one of the crowded streets of the city, it is calculated that the rate of air pollution (especially NO<sub>x</sub>, CO, PM and SO<sub>2</sub>) originated from vehicular traffic is high in the total pollution. The most important reasons of high concentration levels may be due to dense traffic along with the high buildings and low wind velocities which prevent the dilution of the pollutants.

Average of the winter months concentrations of SO<sub>2</sub> ( $197,2 \pm 150,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) between 1988 and 2003 years is 5 times higher than the average of the summer months concentrations ( $44,5 \pm 20,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Similarly, winter months concentrations of PM ( $90,6 \pm 40,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) is 5 times larger than the the average of the summer months concentrations ( $18,9 \pm 10,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). These results, show that, observed SO<sub>2</sub> and PM pollutions in Bursa are mostly originated from residential heating combustion.

At the measurement period (1988-2003), the highest average SO<sub>2</sub> ( $102,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and PM ( $67,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) values were measured in Arabayatağı and Eğitim and the lowest average SO<sub>2</sub> ( $61,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and PM ( $39,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) values were determined in Karaman.

Linear, exponential, power and logarithmic models were formed between the concentrations of SO<sub>2</sub> and PM and meteorological parameters. Strong correlations were not observed from the modelling studies. It was determined that pollutant concentrations were inversely related to temperature and wind speed, directly proportional with pressure and humidity.

The correlation coefficients between each of the pollutants (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM, O<sub>3</sub> and HC) were estimated in Duaçınarı and Heykel and these values changed between 0,01 and 0,97 in Duaçınarı, 0 and 0,96 in Heykel. The highest correlations in concentrations were seen in winter and the lowest correlations were calculated in summer season in both areas.

#### **KEYWORDS**

Air pollution, Classical air pollutants, SO<sub>2</sub>, PM, Motor vehicle emissions, Linear model, Meteorological parameters, Bursa.

**İÇİNDEKİLER****SAYFA NO**

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1. Kükürt Oksitler (SO <sub>x</sub> )	4
2.2. Partikül Madde (PM)	7
2.3. Azot Oksitler (NO <sub>x</sub> )	10
2.4. Karbon Monoksit (CO)	13
2.5. Hidrokarbonlar (HK)	16
2.6. Ozon (O <sub>3</sub> )	18
2.7. Çizgisel Kaynakların Kirlilik Seviyeleri	20
2.8. Kirletici Seviyelerine Zamanın Etkisi	21
2.9. Kirletici Seviyelerine Mekanın Etkisi	23
2.10. Kirleticilerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkisi	23
2.11. Klasik Hava Kirleticilerin Birbirleri İle Olan İlişkileri	24
3. MATERYAL VE METOD	27
3.1. Ölçüm Yapılan Cihazlar	27
3.1.1. Partikül Madde Ölçüm Cihazı	27
3.1.2. Kükürt Dioksit Ölçüm Cihazı	28
3.1.3. Azot Oksit Ölçüm Cihazı	29
3.1.4. Ozon Ölçüm Cihazı	31
3.1.5. Toplam Hidrokarbon Ölçüm Cihazı	31
3.1.6. Karbon Monoksit Ölçüm Cihazı	32
3.2. Ölçüm Bölgeleri	36

3.3.Hesaplama Yöntemleri	37
3.4.Taşıt Kaynaklı Hava Kirliliği Emisyon Faktörleri	38
3.5.Cadde Kanyon Modeli	39
3.6.Çizgisel Kaynak Şiddetleri	41
3.7.Meteoroloji Verileri	41
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b>	<b>45</b>
4.1.Bursa’da Motorlu Taşıt Emisyonlarından Kaynaklanan Kirleticilerin Seviyeleri ve Hava Kalitesine Etkisinin İncelenmesi	45
4.2.Bursa’da Ölçülen Kükürt Dioksit (SO <sub>2</sub> ) ve Partikül Madde (PM) Seviyelerinin Zamana Bağlı Değişimi	50
4.3.Bursa’da Ölçülen Kükürt Dioksit (SO <sub>2</sub> ) ve Partikül Madde (PM) Seviyelerinin Mekana Bağlı Değişimi	60
4.3.1. Birbirine Yakın Semt İstasyonlarında Ölçülen SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Korelasyonu	69
4.3.2. Heykel ve Duaçınarı İstasyonlarında Görülen Kirleticili Konsantrasyonları	71
4.3.3. Değerlendirme ve Genel Sonuçlar	72
4.4. Kentsel Bir Atmosferdeki Bazı Hava Kirleticilerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkilendirilmesi	74
4.5. Klasik Hava Kirleticilerin Birbirleri İle Olan İlişkileri	87
4.5.1. CO ve NO <sub>x</sub> Kirleticilerinin Birbirleri İle Etkileşimi	87
4.5.2. NO <sub>x</sub> ve NMHK Kirleticilerinin Birbirleri İle Etkileşimi	90
4.5.3. CO/NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> Konsantrasyonlarının Karakterizasyonu	93
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>98</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>107</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>108</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA NO

Şekil 3.1. Kükürt dioksit Ölçüm Cihazı Çalışma Prensibi	28
Şekil 3.2. Hidrojen Alevi İyonize Dedektörünün Çalışma Prensibi	32
Şekil 3.3. NDIR Ölçüm Prensibi	33
Şekil 3.4. Bursa Merkez Hava Kalitesi Ölçüm Haritası	35
Şekil 3.5. Cadde Kanyonun Şematik Gösterimi	40
Şekil 4.1. SO <sub>2</sub> ve PM Kirleticilerinin Yıllara Bağlı Değişimi	51
Şekil 4.2. 1988-2003 Periyodundaki Mevsimsel SO <sub>2</sub> ve PM Ortalama Değerleri	52
Şekil 4.3. SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının İlkbahar Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi	53
Şekil 4.4. SO <sub>2</sub> ve PM Kirleticili Konsantrasyonlarının Yaz Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi	53
Şekil 4.5. SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Sonbahar Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi	54
Şekil 4.6. SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Kış Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi	54
Şekil 4.7. 1988-2003 Yılları Arasındaki Ortalama Aylık SO <sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Değişimi	55
Şekil 4.8. 1988-2003 Yılları Arasındaki Ortalama Aylık PM Konsantrasyonlarının Değişimi	56
Şekil 4.9. Doğalgaz Tüketimi İle PM ve SO <sub>2</sub> Konsantrasyonları Arasındaki Değişim	57
Şekil 4.10. Bazı Semtlerde Ölçülen PM Konsantrasyonlarının Değişimi	66
Şekil 4.11. Duaçınarı'nda Konsantrasyonların Rüzgar Yönlerine Bağlı Değişimi	83
Şekil 4.12. Heykel'de Konsantrasyonların Rüzgar Yönlerine Bağlı Değişimi	84
Şekil 4.13. Duaçınarı Bölgesi İçin Belirlenen CO ve NO <sub>x</sub> Kirleticileri Arasındaki İlişki	88
Şekil 4.14. Heykel Bölgesi İçin Belirlenen CO ve NO <sub>x</sub> Kirleticileri Arasındaki İlişki	88

Şekil 4.15. İki Ayrı Noktada Ölçülen CO ve NO <sub>x</sub> Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması	90
Şekil 4.16. NO <sub>x</sub> ve NMHK Kirleticilerinin Kentsel Yerleşim Bölgelerindeki Mevsimsel Değişimleri	92



## TABLOLAR DİZİNİ

## SAYFA NO

Tablo 2.1. SO <sub>x</sub> Kirleticilerinin Fiziksel Özellikleri	4
Tablo 2.2. Yasal Olarak İzin Verilen Atmosferdeki SO <sub>x</sub> Sınırları	6
Tablo 2.3. Literatürdeki SO <sub>2</sub> Konsantrasyon Sınırları	6
Tablo 2.4. Türkiye ve Dünyanın Bazı Şehirlerinde Ölçülen SO <sub>2</sub> Konsantrasyonları	7
Tablo 2.5. Türkiye ve Dünyanın Bazı Merkezlerinde Ölçülmüş Değerler	8
Tablo 2.6. Partikül Madde İçin Yönetmelikte Belirlenen 1 Yıllık Periyotlarda UVS ve KVS Değerleri	9
Tablo 2.7. Literatürde PM İçin Belirtilen Konsantrasyon Sınırları	9
Tablo 2.8. NO <sub>x</sub> Kirleticilerinin Fiziksel Özellikleri	11
Tablo 2.9. Literatürdeki NO <sub>2</sub> Konsantrasyon Sınırları	12
Tablo 2.10. Yasal Olarak İzin Verilen Dış Hava İçerisindeki NO <sub>x</sub> Sınırları	12
Tablo 2.11. Türkiye ve Dünyanın Bazı Şehirlerinde Ölçülen NO <sub>x</sub> Konsantrasyonları	13
Tablo 2.12. CO Kirleticisinin Fiziksel Özellikleri	13
Tablo 2.13. Literatürdeki CO Konsantrasyon Sınırları	15
Tablo 2.14. Dünyanın Bazı Bölgelerinde Ölçülmüş CO Konsantrasyonları	16
Tablo 2.15. Hidrokarbon Emisyonlarının Kaynak ve Miktarları	17
Tablo 2.16. Literatürdeki Ozon Konsantrasyon Sınırları	18
Tablo 2.17. Bazı Bölgelerde Ölçülmüş O <sub>3</sub> Konsantrasyonları	19
Tablo 2.18. Doğalgazın İçeriği	22
Tablo 2.19. Linyit ve Taşkömür Elementer Analiz Sonuçları	22
Tablo 3.1. AB, ABD ve Japonya'da Geçerli Küçük Binek Aracı Egsoz Sınırları	38
Tablo 3.2. Araç Tiplerine Göre Emisyon Faktörleri	39
Tablo 3.3. Yakıt Türlerine Göre Kirleticili Konsantrasyon Yüzdeleri	39
Tablo 3.4. Türkiye İçin Hesaplanan 1995 Yılına Ait Trafik Kökenli Kirleticili Miktarları	39
Tablo 3.5. 1975-2003 Yılları Arası Aylık Meteorolojik Veri Ortalamaları	42

Tablo 3.6. Duaçınarı Mayıs 2001-Nisan 2003 Dönemi Aylık Meteorolojik Veri Ortalamaları	43
Tablo 3.7. Heykel Mayıs 2001-Nisan 2003 Dönemi Aylık Meteorolojik Veri Ortalamaları	44
Tablo 4.1. Heykel Semtinde Ölçülen Klasik Hava Kirleticiler	45
Tablo 4.2. HKKY Standart Değerleri	46
Tablo 4.3. Heykel'de HKKY'nde Belirtilen Sınır Değerleri Aşan Konsantrasyonların Yüzdeleri	47
Tablo 4.4. Heykel'de Trafik Kaynaklı Dış Hava Konsantrasyonlarının Toplam Konsantrasyon İçindeki Yüzdelik Dilimleri	48
Tablo 4.5. Dünya SO <sub>2</sub> ve PM Sınır Değerleri	52
Tablo 4.6. SO <sub>2</sub> ile PM Konsantrasyonları Arasındaki Regresyon Denklemleri ve r <sup>2</sup> Değerleri	58
Tablo 4.7. Bazı İllerdeki PM ve SO <sub>2</sub> Konsantrasyonları	59
Tablo 4.8. Bursa İl Sağlık Müdürlüğü Ölçüm İstasyonlarında Ölçülen SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonları	62
Tablo 4.9. SO <sub>2</sub> Ölçümü Yapılan Semtler Arasında Hesapla Bulunan T Değerleri	63
Tablo 4.10. PM Ölçümü Yapılan Semtler Arasında Hesapla Bulunan T Değerleri	64
Tablo 4.11. SO <sub>2</sub> Konsantrasyonunun Semtlere ve Aylara Bağlı Değişimi	67
Tablo 4.12. PM Konsantrasyonunun Semtlere ve Aylara Bağlı Değişimi	67
Tablo 4.13. Birbirlerine Yakın Bölgelerde Ölçülen PM Konsantrasyonları Arasında Hesapla Bulunan T Değerleri	68
Tablo 4.14. Çeşitli Semtlerin Regresyon Denklemleri ve r <sup>2</sup> Değerleri	70
Tablo 4.15. Heykel ve Duaçınarı'nda Ölçülen Ortalama Aylık Konsantrasyonlar	71
Tablo 4.16. Duaçınarı ve Heykel'de Ölçülen Kirletici Konsantrasyonları	74
Tablo 4.17. Duaçınarı Ölçüm Noktasında Belirlenen SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle Olan İlişkileri (Mayıs 2001-Nisan 2002 Dönemi)	76

Tablo 4.18. Duaçınarı Ölçüm Noktasında Belirlenen SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle Olan İlişkileri (Mayıs 2002-Nisan 2003 Dönemi)	77
Tablo 4.19. Heykel Ölçüm Noktasında Belirlenen SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle Olan İlişkileri (Mayıs 2001-Nisan 2002 Dönemi)	78
Tablo 4.20. Heykel Ölçüm Noktasında Belirlenen SO <sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle Olan İlişkileri (Mayıs 2002-Nisan 2003 Dönemi)	79
Tablo 4.21. Kirleticiler ile Meteorolojik Parametreler Arasındaki İstatistiksel İlişkiler	80
Tablo 4.22. Heykel ve Duaçınarı Ölçüm İstasyonlarındaki Kirlilik Seviyeleri ile Meteorolojik Veriler Arasındaki Lineer Model Sonuçları (Mayıs 2001-Nisan 2003)	82
Tablo 4.23. Duaçınarı'nda Yönlere Göre Esen Ortalama Rüzgar Yüzdeleri	83
Tablo 4.24. Heykel'de Yönlere Göre Esen Ortalama Rüzgar Yüzdeleri	85
Tablo 4.25. Duaçınarı ve Heykel'de Ölçülen Kirletici Konsantrasyonları İle Meteorolojik Parametrelerin İlişkisi	86
Tablo 4.26. Duaçınarı ve Heykel'de Ölçülen Mevsimsel Kirletici Konsantrasyonları	87
Tablo 4.27. Duaçınarı ve Heykel Semtlerindeki NO <sub>x</sub> ve NMHK Kirleticilerinin Lineer İlişkileri	91
Tablo 4.28. Yakıt Türlerine Göre Emisyon Faktörleri	93
Tablo 4.29. CO ve NO <sub>x</sub> ile SO <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> Arasındaki Lineer Regresyon Modeli	94
Tablo 4.30. CO ile NO, NO <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> Değerleri Arasındaki Lineer Regresyon Modelleri	95
Tablo 4.31. SO <sub>2</sub> ile NO, NO <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> Değerleri Arasındaki Lineer Regresyon Modelleri	96

## 1. GİRİŞ

Türkiye’de hava kirliliğinin önemi ve bu konu üzerindeki çalışmaların azlığı, gelişmiş ülkelerde ulaşılmış üst düzey hava kirliliği bilgi seviyesinden bizi uzak tutmakta ve hava kirliliği probleminin önemi anlaşılammamaktadır (Tayanç ve ark. 1996). Sanayiciye eşit şartlar sunan bir çevre politikasının yanında, bir çevre ahlakının; sanayicimizde çevreyle barışık temiz üretim yapma alışkanlığının ve çevre değerlerinin tahrip edilmesini önleme bedelinin rakamlarla ifade edilemeyeceği anlayışının yerleşmesi, geleceğimiz için önemlidir (Etemoğlu ve Kırbıyık 1996).

Temel varlıklarımızdan biri olan hava da su ve toprak gibi kirlenebilen bir ortamdır. Bunlardan farklı olarak bir insan günlerce aç-susuz yaşayabileceği halde nefes almadan birkaç dakika duramaz. Bu nedenle havanın kirlenme sebepleri ve kirliliğinin önlenme teknikleri ekolojik denge ve canlı sağlığı açısından çok önemlidir. Hava kirliliğinin etki şekli ve derecesi; yaş, dayanıklılık gibi kişisel faktörlere bağlıdır (Tırıs ve ark. 1993). Hava kirlenmesinde kirleticilere maruz kalma süresi oldukça büyük önem taşımaktadır. Bazı kirleticilere düşük derişimlerde çok uzun sürede maruz kalınma ile olumsuz etki oluşurken, diğer bazı kirleticilerin düşük derişimleri, uzun sürede insanlarda ölümcül sonuç doğurabilmektedir.

Havayı kirleten en önemli etken “yanma” olayıdır. Yanma reaksiyonu uyarınca fosil yakıt adını verdiğimiz gaz, petrol veya kömürün yakılmasıyla oluşan CO<sub>2</sub> ve bu yakıtlarda bulunan hidrojenin yanmasıyla açığa çıkan su buharı, gerçekte hava kirletici sayılmazlar. Ancak yakıt içeriğinde bulunan safsızlıklarla; hava verilış oran ve şekline, ayrıca yanma sıcaklığının gereğinden az veya çok oluşuna bağlı nedenlerle yanma reaksiyonlarının tam olarak meydana gelemeyişi nedeniyle oluşan başka gaz ve buharlar kirletici sayılırlar. Karbonmonoksit (CO), kükürt oksit (SO<sub>x</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), uçucu kül ve yanmamış hidrokarbon (HC) kalıntıları bu kirleticilerden bazılarıdır. Ayrıca sanayi kuruluşlarından, üretim artığı pek çok türde toz, gaz ve buhar gerek açıkta bırakılan hammadde, yarı-ürün veya üründen dolayı yaygın olarak, gerekse bacalardan yükselerek atmosfere bırakılmaktadır (Müezzinoğlu 1987).

Bursa şehir merkezinde sanayinin gelişmesi ve buna bağımlı olarak nüfus artışıdaki tırmanma, çevreyi olumsuz yönde etkileyici bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu amaçla Bursa şehrinde yerleşim bölgelerinin konumu, sanayi kesimlerine olan uzaklıklar, meteorolojik parametrelerin tahmini etkinliği ve trafik yoğunluğu gözetilerek önceden belirlenmiş olan hava örneği istasyonlarında ölçülmüş konsantrasyon verileri incelenmiş ve aralarında gerçekleşebilecek kimyasal reaksiyonları belirlenmiştir (Güneş ve ark. 1987).

Bu çalışmanın başlıca amaçları;

- Motorlu taşıtlara ait emisyon faktörlerinden yola çıkarak cadde kanyon modeli yardımıyla Bursa'nın Heykel semtinde trafikten kaynaklanan emisyon miktarlarını belirlemeye çalışmak ve trafik kökenli kirletici konsantrasyonlarının, ölçülmüş olan toplam konsantrasyondaki yüzdelik paylarını belirlemek,
- Bursa'daki SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyon seviyelerinin zaman içindeki salınımlarını ortaya koymak, bu konsantrasyonları Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY) ve diğer bölgelerde ölçülen değerlerle karşılaştırarak tartışmak,
- Bursa'nın çeşitli semtlerinde ölçülmüş olan SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyon seviyelerini ve bunlar arasındaki salınımları ortaya koymak, istatistiksel metotlar yardımıyla aralarındaki ilişkileri açıklamak,
- Mayıs 2001-Nisan 2003 dönemleri arasında Heykel ve Duacıları örnekleme noktalarında ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM kirleticilerinin meteorolojik parametrelerle (Sıcaklık, basınç, nem, rüzgar hızı) olan ilişkilerini çeşitli modeller (Lineer, exponansiyel, üslü ve logaritmik) kullanarak belirlemeye çalışmak, diğer kirleticilerin meteorolojik değişkenlerle olan lineer ilişkilerini belirlemek, her bir kirleticinin sıcaklık, nem, basınç ve rüzgar hızı ile çoklu korelasyonunu yapmak,
- Bursa'da Aralık 2001-Kasım 2002 dönemleri arasında konsantrasyonları ölçülen klasik hava kirleticilerin birbirleri ile etkileşimlerini incelemek ve sonuçları literatürde yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırmalı olarak vermektir.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Hava kirleticilerini fiziksel durumlarına göre gaz kirleticiler ve partikül halindeki kirleticiler olmak üzere 2 gruba ayırabiliriz (Karpuzcu 1996).

Hava kirlenmesine sebep olan gaz kirleticiler, normal sıcaklık ve basınç altında gaz formunda bulunan maddeler ile normal basınç ve sıcaklık altında katı veya sıvı halde bulunan maddelerin buharlarından meydana gelir. Gaz halindeki kirleticilerin en önemlileri: Karbon monoksit (CO), Hidrokarbonlar (HK), Hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), Azot oksitler (NO<sub>x</sub>), Kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>) ve diğer oksitleyicilerdir (Karpuzcu 1996).

Partikül halindeki kirleticiler menşelerine ve dane büyüklüklerine göre 5 grupta toplanır. Bunlar ince tozlar, kimyasal dumanlar, kimyasal buharlar, yanma dumanları ve spraydir. Ancak partikül madde konsantrasyonu hesaplanırken ince tozlar dikkate alınır (Karpuzcu 1996).

Bursa'da hava kirliliği ile ilgili problemler 1970'li yıllarda hissedilmeye başlanmıştır. 1980'li yılların sonunda önemli boyutlara ulaşmış ve halk sağlığını tehdit eder hale gelmiştir. 1988, 1989 ve 1990 yıllarında bazı günlerde havadaki SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 1000 µg/m<sup>3</sup> (sınır değeri 400 µg/m<sup>3</sup>)'ün üstünde ölçülmüştür (Bursa İl Sağlık Müd. 2000). Bunun sonucunda kirliliğin boyutlarının tespit edilip, gerekli önlemlerin alınmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Türkiye'nin orta gelirli bir ülke olmasının sonucu olarak Bursa'da hava kirliliği probleminin boyutlarının ortaya çıkarılabilmesi amacıyla, düzenli bilimsel ölçümlere ancak 1987 yılının Ekim ayında başlanmıştır. Bu ölçümler de sadece SO<sub>2</sub> ve partikül madde (PM) ölçümlerine dayandırılmıştır.

Bursa, sınırları içerisinde yerleşik altı adet sanayi bölgesinin bulunduğu, gıda ürünlerinden tekstile, otomotivden makine ve teçhizat üretimlerinin yapıldığı pek çok endüstriyel kuruluşun faaliyet gösterdiği, nüfus ve araç sayılarının sürekli artmakta olduğu bir sanayi şehri olup, şehrin çevre sorunları arasında meteorolojik ve topoğrafik şartların da etkili olduğu evsel, endüstriyel ve taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği önemli bir yer tutmaktadır (Taşdemir ve ark. 2001, Taşdemir 2001, Etemoğlu ve Kırbıyık 1996, Güneş ve ark. 1999).



## 2.1. Kükürt Oksitler ( $SO_x$ )

Havadaki kükürt oksitler ( $SO_x$ ) içerisinde en önemli pay  $SO_2$  gazına aittir (Tırıs ve ark. 1993). Bu gaz yanmayan, renksiz bir madde olup 0,3-1 ppm derişimlerde ağızda karakteristik bir tad bırakmakta; 3 ppm'in üstünde ise, buğucu bir hisse yol açmaktadır. Atmosferde oldukça hızlı bir oksitlenmeyle  $SO_3$  ve sülfatlara dönüşür.  $SO_3$  ise sülfirik asitin anhidriti olup, yağmur veya yoğunlaşmış nem (sis) damlacaklarıyla birleşerek havada sülfirik asitin oluşmasına yol açar (Tırıs ve ark. 1993).

En önemli  $SO_x$  bileşiklerinin özellikleri Tablo 2.1.'de verilmiştir:

Tablo 2.1.  $SO_x$  Kirleticilerinin Fiziksel Özellikleri (Calvert&Englund 1984)

Özellik	$SO_2$	$SO_3$
Moleküler ağırlık (g)	64,06	80,10
Erime noktası ( $^{\circ}C$ )	-75,5	-
Kaynama noktası ( $^{\circ}C$ )	-10,2	44,8
Kritik sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	-157,12	218,3
Kritik basınç (atm)	77,7	83,8
Yoğunluk (g/ml) sıvı (g/l) gaz	1,46 2,93( $0^{\circ}C$ )	1,992 -
Çözünürlüğü ( $H_2O$ )	10,5 g/100 g ( $20^{\circ}C$ )	$H_2SO_4$ formunda
Bağ uzunluğu ( $^{\circ}A$ )	1,43	1,43
Bağ enerjisi (kcal/mol)	131	-
Buhar basıncı (sıvı)	2,34 atm ( $21^{\circ}C$ )	-
$\Delta H_f^{\circ}$ (kcal/mol)	-70,96	-
Spesifik sıcaklık $C_v$ (cal/derece-mol)	9,51	-
Koku eşik sınırı (ppm)	1000-5000	-
Vizkozite (cP)	0,01242 ( $18^{\circ}C$ )	-

Kükürt dioksit, suda ve dolayısıyla vücut sıvısında (kanda) büyük ölçüde çözünebilen bir gazdır. Bunun en önemli tesiri üst teneffüs yollarının cidarlarını zedeleyerek, neticede hava akışına olan mukavemetini azaltmasıdır. Araştırmalar kükürt dioksitin, sodyum klorür gibi aerosoller (gaz ortamda askı halinde bulunan çok küçük zerrecikler) ile birlikte bulunması halinde çok daha tehlikeli olduğunu göstermiştir (Karpuzcu 1996).

Sülfirik asit aerosolleri, mermer, kireç taşı ve kireç harcı gibi karbonat içeren inşaat materyallerine rahatça etki eder. Aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi, suda çözünür olan sülfatlarla karbonatlar yer değiştirir (Baumbach 1996):



SO<sub>2</sub>, petrol ve kömür gibi fosil yakıtların ve kükürt filizlerinin yakılması, soda, sülfirik asit ve selüloz üretimi sırasında ortaya çıktığı gibi petrol rafineri ile bakır, çinko, kurşun üretim işletmelerinden ve içten patlamalı motorların egzoz gazlarından atmosfere karışmaktadır (Bohm 1992). Bu faaliyetler SO<sub>2</sub> emisyonlarının % 80'den fazlasını oluşturur (Bohm 1992). Yerleşik kaynaklardaki sıvı yakıt yakılması ve endüstriyel süreçler insan faaliyetleri sonucunda SO<sub>2</sub> emisyonunun en önemli kaynağını oluşturmaktadır (Bohm 1992). İstanbul'da yapılan bir araştırmada, 1990-1995 yıllarında yıl başına yaklaşık 2 milyon ton kömür tüketilmektedir ve aynı zamanda 950-1000 araç trafikte seyretmektedir. Bir yılda fosil yakıtlardan İstanbul atmosferine yanma sonucu verilen SO<sub>2</sub> yaklaşık 40000 ton olup, bu vasıtalarından yayılan (yaklaşık 36 ton) SO<sub>2</sub>'nin 1000 katına ulaşmaktadır. Başlıca oluşma sebepleri insan kaynaklı olmakla birlikte doğal sebepler de SO<sub>2</sub> oluşumuna katkıda bulunur. Doğal kaynaklı emisyonlar indirgenmiş kükürt (hidrojen sülfür, dimetil sülfür ve partiküler sülfat) halindedirler (Cullis ve Hirschler 1980, Brown 1982). Yapılan bir araştırma göstermiştir ki, doğal kaynaklı kükürt miktarı oldukça azdır. Örneğin, ABD'nde 1985 yılında yaklaşık 21 Tg/yıl (1 Tg=10<sup>12</sup> g) seviyesinde gerçekleşen antropojenik SO<sub>2</sub>'nin ancak %4'ü doğal kaynaklı kükürttür (Bohm 1992).

Benzinin sülfür miktarı düşük olduğundan (kütlesel olarak % 0,03) ulaştırma nedeni ile oluşan atmosferdeki SO<sub>x</sub> kirlenmesi küçüktür (Karpuzcu 1996). Son zamanlarda SO<sub>2</sub>'nin otomotiv sektöründe katalitik nedenlerle SO<sub>3</sub>'e dönüşmesi endişesi, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarının yüksek tehlikesi ile karşılaştırıldığında önemsizdir.

2 Kasım 1986'da yürürlüğe girmiş olan "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY)" muhtelif ortalama alma süreleri için havada bulunmasına izin verilmiş olan SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> için) sınırlarını Tablo 2.2.'de olduğu üzere vermiştir:

Tablo 2.2. Yasal Olarak İzin Verilen Atmosferdeki SO<sub>x</sub> Sınırları (Anonim 1986)

Ortalama Alma Süresi	Standart ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Geçerli Olduğu Yer	Düşünce
Uzun Vadeli	150	Genel	Uzun vade en az 6
Uzun Vadeli	250	Endüstri Bölgeleri	ayın, kısa tercihen
Kısa Vadeli	400	Genel ve End. Bölg.	bir yılın kısa vade
Bir Saatlik Ortalama	900	Genel ve End. Bölg.	24 saat ortalaması
Ekim-Mart arası kış sezonu boyunca	250	Kentsel Bölge	gibi düşünülebilir.

Yukarıda verilen yasal sınırlar, diğer ülkelerin sınır değerlerine kıyasla çok yüksek tutulmuştur. Ayrıca Dünya Sağlık Örgütü (WHO) üye ülkelere insan sağlığı için yıllık ortalama olarak  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sınırının aşılmasını önermektedir (WHO 2003). Tablo 2.3.'de bazı bölgelerdeki SO<sub>2</sub> konsantrasyon sınırları verilmiştir.

Tablo 2.3. Literatürdeki SO<sub>2</sub> Konsantrasyon Sınırları  
(WHO 2003, Taşdemir 1999, Pitts 1986, Afroz ve ark. 2002)

Ülke	Konsantrasyon	Süre
WHO	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$	10 dakika
	$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 saat
	$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$	24 saat
	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 yıl
EPA	$365 \mu\text{g}/\text{m}^3$	24 saat
	$80 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 yıl
İsveç	0,29 ppm	1 saat
	0,12 ppm	24 saat
Hollanda	0,05 ppm	24 saat
Almanya	0,06 ppm	24 saat
Malezya	$105 \mu\text{g}/\text{m}^3$	24 saat
NAAQS	0,03 ppm	1 yıl
	0,14 ppm	24 saat

Havanın SO<sub>2</sub> kapsamı meteorolojik şartlarla ilişkilidir. Sisli havalarda konsantrasyonun arttığı, buna karşılık yağışlı havalarda azaldığı belirlenmiştir (Müezzinoğlu 1987). Emisyon kaynakları olmayan yerlerde havanın SO<sub>2</sub> konsantrasyonu  $0,01-0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$  arasında bulunur. Endüstri bölgelerinde, özellikle emisyon kaynaklarının yakınlığında  $0,3-10 \text{ mg}/\text{m}^3$  arası konsantrasyonlar ölçülmektedir

(Calvert ve Englund 1984). Türkiye ve dünyanın bazı şehirlerinde ölçülen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları Tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Türkiye ve Dünyanın Bazı Şehirlerinde Ölçülen SO<sub>2</sub> Konsantrasyonları

Şehir	Konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	Kaynak
Bursa, Türkiye	110	Taşdemir ve ark. 1999
İstanbul, Türkiye	86	Bayar 1997
Ankara, Türkiye	40	Bayar 1997
İzmir, Türkiye	74	Elbir ve ark. 2000
Trabzon, Türkiye	34 (Nisan 1995)	Cuhadaroğlu ve Demirci 1997
Kathmandu, Nepal	202	Sharma 1997
Chicago, ABD	23	Elsom 1987
Shenyang, Çin	219	Elsom 1987
Sydney, Australia	40	Bennet ve ark. 1985
Tokyo, Japan	53	Bennet ve ark. 1985
Çek Cumhuriyeti	2-12 (2001)	Hunova ve ark. 2004
Delhi, Hindistan	16-34	Goyal ve Sidhartha 2002
Yeni Delhi, Hindistan	23±7 (1998)	Aneja ve ark. 2001
Hindistan	13	Reddy ve Ruj 2003
Hindistan	120 (Aralık 1994)	Mahadevan ve ark. 1999

## 2.2. Partikül Madde (PM)

Ortalama gaz molekül büyüklüğü 0,0002 µm çaptan iri olan ve havada bir süre askıda kalabilen katı veya sıvı her türlü madde partikül sınıfına girer (Tırıs ve ark. 1993). Bu tanıma göre maddenin yoğunluğuna bağlı olmakla birlikte en iri partikülün 500 µm kadar çapta olması gerekir (Tırıs ve ark. 1993). Çökme eğilimleri yüzünden yaklaşık 40 mikrondan daha iri tozluluk görülmez (Müezzinoğlu 1987). Tozluluğun alt sınırı ise molekül ölçeğidir. 0,1 µm den ince partiküller molekül gibi davranır ve rastgele hareketler (Brown hareketleri) yaparlar. 1-20 µm tanecikler kendilerini taşıyan gaz kütlelerinin hareketine tabii olurlar. 20 µm'den iri partiküller ise yüksek çökme hızları nedeniyle havada askıda durma süreleri çok düşük olan taneciklerdir.

Yüksek konsantrasyonlarda olan süspansiyon halindeki partikül maddeler özellikle solunum yolu hastalıklarına karşı tehlike yaratır. İnsan sağlığına olumsuz etkide bulunan partiküllerin çapı 0,01-0,1 µm arasında değişmektedir (Tırıs ve ark. 1993). 1 mikrondan büyük partiküller solunum yollarındaki tüccükler tarafından tutulur.

Daha küçük çaplı partiküller, akciğerlerdeki hava keseleri içine girip nefes alma zorluğuna neden olurlar.

Partikül madde kaynakları, yapay ve doğal kaynaklar olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Yapay partikül maddeler, antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklardan açığa çıkmaktadır. Bu kaynaklar; Yakma prosesinin gerçekleştirildiği endüstriler, maden çıkarma ve inşaat yapım aktiviteleri, motorlu araçlar ve yüksek sıcaklıkta çöp yakmadır (Taşdemir 2000, Zırhlıoğlu 1999). Atmosferde bulunan partiküllerin büyük kısmı antropojenik olsa da doğal aktiviteler sonucu da partiküller açığa çıkmaktadır. Bu kaynaklar; Volkanlar, orman yangınları, rüzgar fırtınaları, polenler ve okyanuslardan gelen su zerrecileridir (Taşdemir 2000).

Okyanusların açıklarında havadaki partikül oranı  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten düşük, çöllerdeki toz fırtınaları sırasında ise  $10^9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmektedir (Müezzinoğlu 1987). Endüstriyel baca gazlarında  $10^4$ - $10^8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  toz ölçümü normaldir (Müezzinoğlu 1987). Kentlerde ise toz tane iriliklerine göre insan sağlığı açısından en önemli grubu teşkil eden  $1 \mu\text{m}$ 'den ince tozların sayısal değerlerini düşük tutmak önemlidir. Hacimsel (veya kütleli) ppm cinsinden toplam tozluluğun %3-5 ini oluşturmakla beraber, kent atmosferinde mikron-altı partiküllerin kontrolü toplum sağlığı açısından önem taşır.

Tablo 2.5.'de ABD'nde ölçülmüş bazı partikül madde ölçüm değerlerini vermektedir.

Tablo 2.5. Türkiye ve Dünyanın Bazı Merkezlerinde Ölçülmüş Değerler

Şehir	Konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Kaynak
Chicago	47	Godish 1997
Dallas	30	Godish 1997
San Francisco	29	Godish 1997
Philadelphia	34	Godish 1997
Baltimore	35	Godish 1997
Denver	41	Godish 1997
Yeni Delhi, Hindistan	$365 \pm 100$ (1998)	Aneja ve ark. 2001
Hindistan	182-251	Reddy ve Ruj 2003
Hindistan	310 (Aralık 1994)	Mahadevan ve ark. 1999
İstanbul, Türkiye	68 (1996)	Elbir ve ark. 2000
Ankara, Türkiye	62 (1996)	Elbir ve ark. 2000
İzmir, Türkiye	64 (1996)	Elbir ve ark. 2000
Trabzon, Türkiye	49 (Nisan 1997)	Cuhadaroğlu ve Demirci 1997

Türkiye’de PM ile ilgili düzenlemeler HKKY ile belirlenmiştir. Tablo 2.6. HKKY’ndeki PM ile ilgili sınır değerleri özetlemektedir.

Tablo 2.6. Partikül Madde İçin Yönetmelikte Belirlenen 1 Yıllık Periyotlarda UVS ve KVS Değerleri (Anonim 1986)

PM Özelliği	Birim	UVS	KVS
Havada asılı PM(10 µm veya daha küçük)			
a) Genel	µg/m <sup>3</sup>	150	300
b) Endüstri Bölgeleri	µg/m <sup>3</sup>	200	400
PM içinde Pb ve bileşikleri	µg/m <sup>3</sup>	2	-
PM içinde Cd ve bileşikleri	µg/m <sup>3</sup>	0,04	-
Çöken tozlar (10 µm’den büyük partiküller dahil)			
a)Genel	mg/m <sup>2</sup> gün	350	650
b)Endüstri Bölgeleri	mg/m <sup>2</sup> gün	450	800
Çöken tozlarda kurşun ve bileşikleri	mg/m <sup>2</sup> gün	500	-
Çöken tozlarda Cd ve bileşikleri	mg/m <sup>2</sup> gün	7,5	-
Çöken tozlarda talyum ve bileşikleri	mg/m <sup>2</sup> gün	10	-

UVS (Uzun vadeli sınır değerleri): Aşılması gereken, bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalamasıdır.

KVS (Kısa vadeli sınır değerleri): Maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının %95’ini aşmaması gereken değerlerdir. Çöken tozlar için farklı olarak aşılması gereken maksimum aylık ortalama değerdir (Anonim 1986).

Tablo 2.7. Literatürde PM İçin Belirtilen Konsantrasyon Sınırları

(Pitts 1986, WHO 2003, Afroz ve ark. 2002)

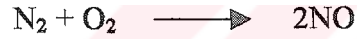
Ülke	Konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	Süre
WHO	400	1 saat
	125	24 saat
	40-60	1 yıl
EPA	150	24 saat
	50	1 yıl
Kanada	120	24 saat
	70	1 yıl
İsveç	260	24 saat
	75	1 yıl
Japonya	200	1 yıl
Malezya	90	1 yıl
	150	24 saat
NAAQS	260	24 saat
	75	1 yıl

### 2.3. Azot Oksitler (NO<sub>x</sub>)

Azot, oksijenle birleşerek çeşitli oksitler oluşturur. Bunlar azot monoksit (NO), azot dioksit (NO<sub>2</sub>), diazot monoksit (N<sub>2</sub>O), diazot tri oksit (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), diazot tetra oksit (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ve diazot penta oksit (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)'tir. Bunlar arasında NO ve NO<sub>2</sub> kirlenme açısından büyük önem taşır. Havadan ağır olan NO<sub>2</sub> aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi nitrat asidi ve diğer nitroz asitleri ya da azot oksidi yapacak şekilde suda çok miktarda çözünür (Baumbach 1996).



NO<sub>2</sub> hava kirliliğinde önemli bir rol oynar. NO, atmosfere NO<sub>2</sub>'den çok daha fazla miktarlarda yayılır. Aşağıda verilen reaksiyonda, uygun olarak atmosferik oksijen ve azot yüksek sıcaklıklı yanma sürecinde oluşur (Baumbach 1996).



NO renksiz ve kokusuz bir bileşiktir. Yüksek sıcaklıkta N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> gazlarının birleşmesi sonucu oluşur. Atmosferde daha da düşük derişimlere sahiptir. Bu nedenle de canlılar üzerinde doğrudan zehirleyici olması mümkün değildir. Ancak atmosferde hemen NO<sub>2</sub>'ye dönüşmesi ve fotokimyasal sis oluşumunda çok önemli rol oynaması sebebiyle önemli bir kirlenici sayılır. NO<sub>2</sub>, ışık etisiyle NO ve O<sub>2</sub>'den kısa sürede oluşur. NO<sub>2</sub> havanın nemiyle HNO<sub>3</sub>'e dönüşür. HNO<sub>3</sub> kuvvetli bir anorganik asit olup, yakıcı ve çözücü etkilere sahiptir (Baumbach 1996).

En önemli NO<sub>x</sub> bileşiklerinin özellikleri Tablo 2.8.'de verilmiştir.

Tablo 2.8. NO<sub>x</sub> Kirleticilerinin Fiziksel Özellikleri (Calvert&Englund 1984)

Özellik	N <sub>2</sub> O	NO	NO <sub>2</sub>
Moleküler ağırlık (g)	44,02	30,01	46,01
Erime noktası (°C)	-90,84	-163,6	-11,3
Kaynama noktası (°C)	-89,5	-157,1	21,15
Kritik sıcaklık (°C)	36,5	-93	158
Kritik basınç (atm)	71,7	64	100
Yoğunluk (g/ml) sıvı	1,23 (b.p.)	1,27 (b.p.)	1,45 (20°C)
(g/l) gaz	3,10 (b.p.)	1,34	3,40 (21°C)
Çözünürlüğü (H <sub>2</sub> O) g/100 g	0,256 (0°C)	0,0098 (0°C)	-
Bağ uzunluğu (°A)	1,19	1,14	1,19
Bağ enerjisi (kcal/mol)	40 (O-N)	150	73
Buhar basıncı (atm)	50,68 (21°C)	1 (-157,7°C)	1 (21°C)
ΔH <sub>f</sub> <sup>o</sup> (kcal/mol)	19,61	21,58	7,91
Spesifik sıcaklık	6,77 (15°C)	4,99 (15°C)	74,5 (Cp)
C <sub>v</sub> (cal/derece-mol)			
Vizkozite (cP)	0,01362 (0°C)	0,0178	-

Çeşitli yanma olayları sonucu havaya karışan SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> ile birlikte NO<sub>x</sub> gazları da yağışla birleşip asit meydana getirebilmekte ve bunların yeryüzüne yağması ile asit yağmurları oluşmaktadır. Bunların yeryüzüne geri dönüşleri kuru ve yaş asit depolanması sonucu olmaktadır (Tünay ve Alp 1996).

Azot oksitlerin doğal ve yapay olmak üzere iki kaynağı vardır. Azotun bazı oksitleri doğal olarak meydana gelirken, bazıları ise insan faaliyetleri sonucu oluşur. Atmosferin üst tabakalarında solar radyasyon yardımıyla üretilen ufak konsantrasyonlardaki NO<sub>x</sub> aşağı doğru difüzyonla atmosferin alt tabakalarına erişir. NO<sub>x</sub>'in az bir miktarı da şimşekler ve orman yangınları sırasında oluşur. Organik maddelerin bakteriyel parçalanması da atmosfere NO<sub>x</sub>'lerin bırakılmasına neden olur. Doğal olarak meydana gelen NO<sub>x</sub>, insan faaliyetleri sonucu oluşan NO<sub>x</sub>'in yaklaşık 10 katıdır. İnsan katkısıyla oluşan NO<sub>x</sub>'in temel çıkış noktası yakma (yerleşik kaynaklarda sıvı yakıtın yakılması, kömür yakan termik santraller) ve ulaşım (taşıt eksozları)dır (Finlayson ve Pitts 1986).



Yanma ortamındaki azot kaynağı, yakıt bünyesindeki azotlu organik bileşikler ve hava azotundan oluşmaktadır. Bu nedenle baca gazında oluşan  $\text{NO}_x$ 'ler, yakıt  $\text{NO}_x$  ve termal  $\text{NO}_x$  olarak adlandırılabilirler. Yakıt  $\text{NO}_x$ 'in baca gazındaki miktarı yakıttaki yanabilen azot miktarına bağlıdır. Termal  $\text{NO}_x$  ise, yalnızca yanma sıcaklığının bir fonksiyonudur. Toplam  $\text{NO}_x$  içindeki termal ve yakıt  $\text{NO}_x$  oranları yakıt cinsine ve yakma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; fuel oil ve kömürün yanması esnasında oluşan toplam  $\text{NO}_x$ 'in % 70-80'i yakıt orjinlidir. Doğal gaz yanması sonucu oluşan toplam  $\text{NO}_x$ 'in %95-100'ü termal  $\text{NO}_x$  orjinlidir (Seinfeld 1986).

WHO ve bazı bölgeler için  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu sınır değerleri Tablo 2.9.'da verilmiştir. Tablo 2.10.'da ise HKKY'nin öngördüğü sınır değerler mevcuttur.

Tablo 2.9. Literatürdeki  $\text{NO}_2$  Konsantrasyon Sınırları  
(WHO 2003, Pitts 1986, Afroz ve ark. 2002)

Ülke	Konsantrasyon	Süre
WHO	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 saat
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 yıl
Japonya	0,04-0,06 ppm	24 saat
Almanya	0,05 ppm	2-12 ay
Malezya	320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 saat
NAAQS	0,05 ppm	1 yıl

Tablo 2.10. Yasal Olarak İzin Verilen Dış Hava İçerisindeki  $\text{NO}_x$  Sınırları  
(Anonim 1986)

Ortalama Alma Süresi	$\text{NO}_2$ Standartı ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO Standartı ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Uzun Vadeli	100	200
Kısa Vadeli	300	600

Yoğun yerleşim yerleri dışında kalan kırsal bölgelerdeki tipik değerler NO için 3,7 ila 5,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2 ila 3 ppb) ve  $\text{NO}_2$  için 7,5 ila 9,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (4 ila 5 ppb) arasındadır. Ancak yerleşim alanlarındaki  $\text{NO}_x$  konsantrasyonları kırsal alanlara göre 1000 defa daha büyük olabilir (Seinfeld 1986). Türkiye ve dünyanın bazı bölgelerinde ölçülen  $\text{NO}_x$  konsantrasyonları Tablo 2.11.'de verilmiştir.

Tablo 2.11. Türkiye ve Dünyanın Bazı Şehirlerinde Ölçülen NO<sub>x</sub> Konsantrasyonları

Kirletici	Şehir	Konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	Kaynak
NO	Bursa, Türkiye	88 (Ocak-Nisan)	Taşdemir ve ark. 1999
	Madrid, İspanya	90-500	Fernandez ve ark. 1994
NO <sub>2</sub>	Bursa, Türkiye	90 (Ocak-Nisan)	Taşdemir ve ark. 1999
	Kathmandu, Nepal	126	Sharma 1997
	Bahreyn	52	Madany ve ark. 1993
	London	65 (34 ppb)	Carslaw ve ark.2001
NO <sub>x</sub>	Lima, Peru	43 (22,4 ppb)	Tashiro ve Taniyama 2002
	Bursa, Türkiye	157	Taşdemir ve ark. 1998
	London	128 (67 ppb)	Carslaw ve ark. 2001
	Çek Cumhuriyeti	2-22 (2001)	Hunova ve ark. 2004
	California	40	Marr ve ark. 2002
	Yeni Delhi, Hindistan	64±22 (1998)	Aneja ve ark. 2001
	Hindistan	57-60	Reddy ve Ruj 2003
	Hindistan	24 (Aralık 1994)	Mahadevan ve ark. 1999

#### 2.4. Karbon Monoksit (CO)

Renksiz, kokusuz ve havanın ortalama mol ağırlığına eşit mol ağırlığında bir gaz olan karbon monoksit, bu yüzden hem kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, hem de varlığı kolay fark edilmeyen zehirli bir gazdır. Atmosferde kolay kolay yok olmaz. Ömrü 2-4 ay kadardır (Tırs ve ark. 1993). Şehir civarında ve içinde en çok rastlanan kirletici gazlardan biri karbon monoksittir (Tırs ve ark. 1993).

CO kirleticisinin temel fiziksel özellikleri Tablo 2.12.'de verilmiştir.

Tablo 2.12. CO Kirleticisinin Fiziksel Özellikleri (Calvert&amp;Englund 1984)

Özellikleri	Karbon monoksit (CO)
Moleküler ağırlık (g)	28,01
Erime noktası (°C)	-205,06 (1 atm)
Kaynama noktası (°C)	-191,50 (1 atm)
Kritik sıcaklık (°C)	-140,21
Kritik basınç (atm)	34,529
Yoğunluk (g/l)	1,25 (0°C, -1 atm)
Çözünürlüğü (H <sub>2</sub> O) g/100 cm <sup>3</sup>	0,4425 (0°C), 0,2675 (25°C)
Bağ uzunluğu (°A)	1,1282
Bağ enerjisi (kcal/mol)	255,8
Buhar basıncı (sıvı) P (kg/cm <sup>2</sup> )	Log <sub>10</sub> P=a-b log <sub>10</sub> T-cT a=13,7179 b=2,893 c=432,8
ΔH <sub>f</sub> <sup>o</sup> (kcal/mol)	-26,4157
Spesifik sıcaklık C <sub>v</sub> (cal/derece-mol)	4,98

İnsan sağlığı bakımından bilinen en eski gaz zehirlenmeleri, tam yanmamış artık gazların solunması dolayısı ile karbon monoksit yüzünden meydana gelmiştir. Bu zehirlenme, kandaki hemoglobinin karbon monoksitle tercihli olarak bir kompleks (COHb=Karboksi hemoglobin) yapıp, dokulara oksijen sevkini engellemesi ile kendini gösterir. CO'in kandaki hemoglobin ile oksijene göre 200 kat daha fazla birleşme kabiliyeti vardır (Tırıs ve ark. 1993).



Bu reaksiyon geri dönüşümlü olduğundan, CO'siz ortamda hemoglobinle birleşen CO, 3-4 saat içinde alveollerden havaya geri verilir. Yani, CO kümülatif bir zehir değildir. Normal bir insanda, dış kaynaklardan (sigara dumanı, eksoz gazları vb.) bağımsız olarak, vücutta meydana gelen çeşitli mekanizmalar sonucu % 0,4 seviyesinde COHb bulunur. Ancak bu seviye, dış kaynaklardan gelen CO ile yükselir. Dolayısıyla sigara içmeyen sağlıklı insanlarda, COHb seviyesi % 2,5 seviyelerindedir. Karboksi hemoglobinin, ayrıca dokulara ulaşabilen oksijenin de hücrelerde serbest hale gelmesini engellediği belirlenmiştir (Tırıs ve ark. 1993).

Karbon monoksidin kaynakları doğal ve yapay olmak üzere iki grupta toplanır. Metanın doğal şartlarda oksidasyonu en büyük karbon monoksit kaynağıdır. Bir yılda atmosfere karışan tüm CO'in %75'i metanın oksidasyonu sonucu meydana gelmektedir. İnsan aktiviteleri sonucunda oluşan CO toplamın ancak %10'u kadardır. Ayrıca diğer bir kaynak da insan metabolizmasıdır. İstirahat eden bir kişinin alıp verdiği nefesi ortalama 1 ppm CO içerir. Bu bütün dünyaya uygulanırsa toplam olarak her gün yaklaşık 30 ton CO üretildiği anlamına gelmektedir. İnsan faaliyetleri sonucu oluşan karbon monoksidin bir diğer kaynağı katı atık düzenlemesi ve diğer kaynaklardır. Bunlar arasına, orman yangınları, bina yangınları, kömür artıkları ve tarımsal kökenli yakma faaliyetleri girmektedir (WHO 2000).

Karbon monoksit konsantrasyonu trafiğin yoğun olduğu ve yolları tıkalı olan kentlerde özellikle yüksektir. Yerleşim bölgelerinde, atmosferde bulunan CO'in %90'ı trafikteki emisyonlardan kaynaklanmaktadır (WHO 2000). Örneğin; Newyork City'de sadece otomobil trafiği nedeniyle günde ortalama 3733 ton CO ve Los Angeles trafiği ise günde ortalama 9090 ton CO üretmektedir. Küçük şehirlerin de trafik nedeni ile CO problemleri olmaktadır (WHO 2000). Yakıtlardan havaya karışan CO miktarı yılda

$2,6 \cdot 10^2$  ton olarak hesaplanmıştır. Bunun büyük bir kısmı oksidasyon ile  $CO_2$ 'e dönüşmektedir.

WHO ve bazı bölgelerce belirlenmiş CO kirleticisine ait konsantrasyon sınır değerleri Tablo 2.13.'de verilmiştir.

Tablo 2.13. Literatürdeki CO Konsantrasyon Sınırları  
(WHO 2003, Pitts 1986, Afroz ve ark. 2002)

Ülke	Konsantrasyon	Süre
WHO	100.000 $\mu g/m^3$	15 dakika
	60.000 $\mu g/m^3$	30 dakika
	30.000 $\mu g/m^3$	1 saat
	10.000 $\mu g/m^3$	8 saat
	500-7000 $\mu g/m^3$	1 yıl
	25 ppm	24 saat
Kanada	13 ppm	8 saat
Japonya	20 ppm	8 saat
Almanya	26 ppm	0,5 saat
Malezya	10.000 $\mu g/m^3$	8 saat
	35.000 $\mu g/m^3$	1 saat
NAAQS	9 ppm	8 saat
	35 ppm	1 saat

26 Kasım 1986 tarihinde çıkan 19269 sayılı Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde CO için hava kalite standartları 8 saatlik maksimum ortalama olarak  $10 \text{ mg/m}^3$  (9 ppm) ve 1 saatlik ortalaması ise  $40 \text{ mg/m}^3$  (35 ppm) olarak belirlenmiştir. Her yıl atmosfere yayılan CO miktarı göz önüne alındığında, atmosferdeki CO konsantrasyonunun her yıl %50 oranında artması beklenir. Aksine, bazı yıllarda azalmalar tesbit edilmektedir. Bu olay şu şekilde açıklanabilir:

İlk akla gelen atmosferdeki karbon monoksidin  $CO + \frac{1}{2} O_2 + \text{ışık} \rightarrow CO_2$  şeklinde dönüşüm reaksiyonudur. Ancak, atmosferik şartlarda bu reaksiyonun atmosfere karışan karbon monoksidin tümünü dönüştürecek hızda olmadığı tesbit edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda toplam karbon monoksidin ancak % 0,1'i  $CO_2$ 'e dönüşebilmektedir.

Literatürde bazı bölgelerde ölçülmüş olan CO konsantrasyonları Tablo 2.14.'de verilmiştir.

Tablo 2.14. Dünyanın Bazı Bölgelerinde Ölçülmüş CO Konsantrasyonları

Şehir	Konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Kaynak
Oki, Japonya	192 (yıllık)	Narita ve ark. 1998
Happo, Japonya	191 (yıllık)	Narita ve ark. 1998
Benoki, Japonya	153 (yıllık)	Narita ve ark. 1998
Guatemala	6,2-10,9 ppm	Shendell ve Naehar 2002
Yeni Delhi, Hindistan	5772±2116 (1998)	Aneja ve ark. 2001

## 2.5. Hidrokarbonlar (HK)

Yapısında yalnız karbon ve hidrojen içeren organik bileşikler hidrokarbonlar olarak adlandırılırlar. Hidrokarbonların kendileri zararlı değildir. Ancak, fotokimyasal reaksiyonlarla kirletici ve zehirli maddelere dönüşerek smog denilen olayı meydana getirirler. Hidrokarbonların, karbon sayısı 1-4 arasında olanlar normal şartlarda gaz, daha yukarı olanlar ise sıvıdır. Atmosfer kirlenmesine, gaz halinde olanlar ile buhar basıncı düşük olup, kolay buharlaşabilen hidrokarbonlar sebep olur (Calvert ve Englund 1984).

Atmosferik koşullarda hidrokarbonların canlılar ve eşyalar üzerinde herhangi bir toksik etkisi doğrudan saptanmamıştır. Ancak hidrokarbon üretilen ve kullanan endüstrilerde yapılan araştırmalarda 25 ppm hidrokarbon bulunan bir hava ortamında herhangi bir etki saptanmazken, 500 ppm benzen bulunan bir çalışma ortamında insanlar ancak bir saat dayanabilmektedir. 600 ppm toluen bulunan bir atmosferde ise insan 8 saatte zehirlenmektedir. 7500 ppm benzen bulunan bir atmosferde insanların 1 saat içinde, 20000 ppm benzen konsantrasyonunda ise 10-15 dakikada öldüğü saptanmıştır. Diğer taraftan hidrokarbonların atmosferde oluşturdukları oksidanlar hem eşyalara, hem de canlılara doğrudan etki etmektedir (Tırıs ve ark. 1993).

Atmosferde bulunan hidrokarbonların kaynakları hem doğal hem de insan faaliyetleri nedeniyle oluşmaktadır. Atmosferdeki metanın dünya genelindeki doğal değeri  $784-980 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1,2-1,5 ppm) arasındadır. Atmosferde bulunan hidrokarbonların büyük miktarı doğal kaynaklıdır. Bu kaynakların en önemlisi mikrobiyal bozunmalarda oluşan biyolojik reaksiyonlardır. Hidrokarbonların az bir kısmı jeotermal alanlardan, kömür yataklarından, petrol tesislerindeki doğal gazlardan ve doğal yangınlardan kaynaklanmaktadır. Doğal hidrokarbonların konsantrasyonu  $1,3-6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,002-0,01 ppm) arasında değişir. Atmosferde en çok bulunan hidrokarbon metandır. Doğal olarak

meydana gelen biyolojik bozunmalardan yılda yaklaşık 250 milyon ton metanın atmosferde yayıldığı hesaplanmıştır. Bu miktar, insanlar tarafından üretilip atmosfere atılan hidrokarbonlardan çok daha büyüktür. ABD’de yapılan bir araştırmada bulunan hidrokarbonların yapay kaynakları ve bu hidrokarbonların atmosfere yayılan miktarları aşağıdaki Tablo 2.15.’de görülmektedir (Finlayson ve Pitts 1986).

Tablo 2.15. Hidrokarbon Emisyonlarının Kaynak ve Miktarları (milyon ton/yıl)

Kaynak	1968	1970	1975	1977	1980
Ulaştırma	16,6	16,8	10,4	11,5	7,8
Sabit kaynaklardaki sıvı yakıt yanması (eneji ve ısınma)	0,7	0,5	1,3	1,5	0,2
Endüstriyel prosesler	4,6	4,8	2,7	10,1	10,8
Katı atık düzenlemesi ve diğerleri	10,1	7,9	14,6	5,2	3,0
Toplam	32,0	30,0	27,0	28,3	21,8

Tabloda gösterildiği gibi, endüstriyel kaynakların (özelikle rafineriler) neden olduğu hidrokarbon emisyonu insan aktiviteleri sonucu meydana getirilen hidrokarbon kaynakları arasında en önemli olanıdır. İnsan aktiviteleri sonucu oluşan hidrokarbonlar, atmosfere yayılan toplam hidrokarbonların yaklaşık %10’u kadardır. Toplamın %55’i transportasyondan, %3’ü yerleşik yakmadan, %15’i endüstriyel faaliyetlerden ve %27’si katı atıklardan kaynaklanmaktadır.

1970’lerde, fotokimyasal oksidant standartlarına erişmek amacıyla hidrokarbon standartları ortaya konmuştur. Bir yerleşim bölgesinde hava kalite verileri, sabah saatlerinde metan olmayan hidrokarbonların konsantrasyonu  $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,3 ppm) ise, bu maksimum saatlik ortalama oksidant konsantrasyonunun  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,1 ppm) olması demektir. EPA bu değerleri, esas alarak bir yerleşim alanı için metan içerikli olmayan hidrokarbonun hava kalitesi standardını maksimum 3 saat için ve yılda bu değeri birden fazla aşmamak kaydıyla  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,24 ppm) olarak saptamıştır. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’nde 1 yıllık kısa vadeli sınır değer  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , maksimum saatlik sınır değer ise  $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür (Anonim 1986).

Marr ve ark. (2002) tarafından yapılmış bir çalışmaya göre Kaliforniya’da NMHK konsantrasyonları hafta sonu ve hafta içi sırasıyla ~100 ve 200 ppb olarak ölçülmüştür.

## 2.6. Ozon (O<sub>3</sub>)

Havanın oksitlenme gücünü gösteren fotokimyasal oksidanlardan biri de ozondur. Ozon tüm oksidanların %90'ını oluşturmaktadır (WHO 2000). Hava kirliliği ile ilişkisi olan diğer fotokimyasal oksidanlar arasında atomal oksijen (O), moleküler oksijen (O<sub>2</sub>), peroksi asetil nitrat (PAN), peroksi propinil nitrat (PPN), peroksi butil nitrat (PBN), azot dioksit (NO<sub>2</sub>), hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ve alkali nitratlar sayılabilir. Ozon, antropojenik kaynaklardan direkt atmosfere verilmez. NO<sub>x</sub> (azot oksitler) ve VOC (uçucu organik bileşikler)'ları içine alan kimyasal reaksiyonlar ve güneş ışığı etkisi ile atmosferdeki formunu alır. Bu reaksiyonların gerçekleşme periyotları saatler ve günler mertebelerinde olabilir (WHO 2000).

Ozon hava kirliliği ile en fazla ilgisi olan fotokimyasal oksidan olup, atmosferin üst katlarında solar radyasyon etkisiyle oluşur ve bu gazın küçük konsantrasyonları bile alt katmanlara doğru difüzyona uğrar. Ozonun küçük konsantrasyonları şimşekler ve orman yangınları sırasında meydana gelir. Geri plandaki ozon konsantrasyonları 39-78 µg/m<sup>3</sup> (0,02-0,04 ppm) arasında değişir. Ancak bazı araştırmalar, geri planda kalan yerlerdeki konsantrasyonların, dış hava kalite standartlarında verilen 235 µg/m<sup>3</sup> (0,12 ppm)'e ulaşabileceğini göstermiştir. Ozon konsantrasyonu, yarı kırsal hatta kırsal alanlarda, kentsel alanlardakine göre daha fazla olmaktadır (Bohm 1992).

Ozonun WHO tarafından belirlenen konsantrasyon değerleri Tablo 2.16.'da verilmiştir.

Tablo 2.16. Literatürdeki Ozon Konsantrasyon Sınırları  
(WHO 2003, Pitts 1986, Afroz ve ark. 2002)

Ülke	Konsantrasyon	Süre
WHO	0,1 ppm	1 saat
	120 µg/m <sup>3</sup>	8 saat
	10-100 µg/m <sup>3</sup>	1 yıl
Malezya	120	8 saat
	200	1 saat
Japonya	0,06 ppm	1 saat
NAAQS	0,12 ppm	1 saat

Los Angeles tipi hava kirlenmesi olarak da bilinen fotokimyasal sisin en kuvvetli göstergesi ozon seviyesinde görülen artıştır. Amerika’da geçerli hava kalitesi standartlarına göre 8 saatlik ortalama  $60 \text{ g/m}^3$ , saatlik ortalamalar da en fazla  $120 \text{ g/m}^3$  olarak sınırlandırılmıştır. Haziran 1978’de, oksidanların kötü etkilerini azaltmak için EPA primer oksidan standartın  $196 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (0,10 ppm) olarak saptamayı önermiştir. Ancak 1979’un başında tıbbi ve bilimsel kanıtların yeniden değerlendirilmeleri ve aynı şekilde halk oturumları sonucunda EPA, oksidan standartlarını ozon ( $\text{O}_3$ ) standardına değiştirmiş ve yeni “günlük bir saatlik en yüksek” standardı  $240 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (0,12 ppm) olarak saptamıştır. Aynı şekilde Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’nde de maksimum saatlik sınır değer  $240 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  olarak verilmiştir. Dışarıdan bir müdahale olmazsa, soluduğumuz havadaki ozon konsantrasyonu 0,1-0,4 ppm arasındadır. Soluduğumuz havadaki ozon konsantrasyonu 0,4 ppm’in üstüne çıktığı zaman canlı organizmaların üzerinde zehirleyici etkisi vardır (Özer ve ark. 2000).

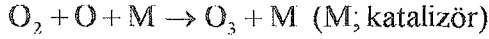
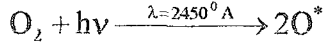
Bazı bölgelerde ölçülmüş olan  $\text{O}_3$  konsantrasyonları Tablo 2.17.’de verilmiştir.

Tablo 2.17. Bazı Bölgelerde Ölçülmüş  $\text{O}_3$  Konsantrasyonları

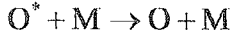
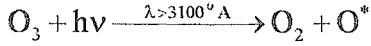
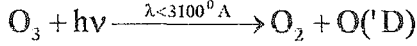
Şehir	Konsantrasyon	Kaynak
Khaldiya, Kuveyt	22,66 ppb (Haziran 1997)	Wahab ve Alawi 2002
Raleigh, Kuzey Caroline	25 ppb (Yaz 1989)	Aneja ve ark. 2000
Zimbabve	33-48 ppb	Jonnalagadda ve ark. 2001
Pennsylvania	23-51 ppb (saatlik)	Yuska ve ark. 2003
California	35-60 ppb	Marr ve ark. 2002

Atmosferdeki oksitleyici maddelerin en önemlisi ozondur. Ozon kirleticilerden atmosfere atılan bir kirleticilerden olmayıp, atmosferde çeşitli kirleticilerin yan etkileriyle güneşin mor ötesi ışınlarının yardımıyla meydana gelen reaksiyonların ürünüdür.





buna göre meydana gelen ozondan,



Yukarıdaki reaksiyonlara göre aktif atomik oksijenler ortaya çıkar. Bu aktif atomlar atmosferde bulunan çeşitli organik veya anorganik kimyasal kirleticileri oksitleyerek tüketilirler (Müezzinoğlu 1987).

## 2.7. Çizgisel Kaynakların Kirlilik Seviyeleri

Motorlu taşıtlar, günümüzde teknolojik gelişmelere ve toplumsal ihtiyaçlara paralel olarak sağladıkları hız, konfor ve emniyet nedeniyle ulaşımda vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Motorlu taşıtların topluma ve çevreye verdikleri bazı olumsuzluklarına rağmen, sağladıkları avantajlar sebebiyle sayıları, gün geçtikçe artış göstermektedir.

İdeal koşullar altında benzinli ve dizel motorlarda kullanılmakta olan hidrokarbon kökenli yakıtların hava ile tam yanması sonucu elde edilen yanma ürünleri arasında CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve N<sub>2</sub> bulunmaktadır. Ancak tam yanmanın gerçekleşmemesi ve parçalanma reaksiyonlarının oluşumu sonucu THK, CO, NO<sub>x</sub>, is ve partiküller de atık gazda bulunabilmektedir (Soruşbay ve Gökten 1993). Türkiye'deki CO, HK ve NO<sub>x</sub> emisyonunda motorlu taşıtların önemli rolü olduğu bilinmektedir. Büyükşehirlerde bu üç önemli bileşenin daha ziyade taşıtların egzozlarından kaynaklandığı tesbit edilmiştir (Borat 1992).

Egzoz gazlarında rastlanan zararlı emisyon bileşenlerinden en önemlileri CO, THK, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, kurşun (Pb) ve PM'dir. Bu emisyonların genel özellikleri şu şekilde tanımlanabilir:

CO renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olup, kandaki oksijen iletimini bloke ederek boğulma yoluyla ölüme sebep olmaktadır (Demirsoy 1986). CO, yanma olayında oksijen miktarının az olması halinde oluşmaktadır. HK'ların, kansere sebep olan çeşitli bileşenleri benzin motorunda meydana gelmektedir. Miktarı oldukça küçük olmakla

beraber, bu bileşenlerin ortak tesiri büyük bir önem taşımaktadır. Atmosferde bulunan HK'ların büyük miktarı doğal kaynaklıdır. Bu kaynakların en önemlisi mikrobiyal bozunmalardan oluşan biyolojik reaksiyonlardır. HK'ların az bir kısmı jeotermal alanlardan, kömür yataklarından, petrol tesislerindeki doğal gazdan ve doğal yangınlardan kaynaklanmaktadır. NO<sub>x</sub>, motorun yanma odasında özellikle yüksek sıcaklıklarda meydana gelmekte ve kuvvetli güneş ışınları ile ozonun oluşmasına sebep olmaktadır (Demirsoy 1986). Ozon konsantrasyonunun da belirli değerleri aşması, görüşü engelleyen fotokimyasal olay olarak isimlendirilen smog olayına sebep olmaktadır. Atmosferdeki NO<sub>x</sub> doğal ve yapay kaynaklı olabilir. Başlıca yapay kaynaklar yakma ve ulaşımdır. Doğal olarak meydana gelen NO<sub>x</sub>, insan faaliyetleri sonucu oluşan NO<sub>x</sub>'in yaklaşık 10 katıdır. SO<sub>2</sub>, özellikle dizel motorların egsoz gazlarında bulunmaktadır. Benzin içinde genel olarak kükürt bulunmaz (Demirsoy 1986). SO<sub>2</sub>'nin atmosferdeki en önemli kaynakları yakma sistemleri ve ulaşım araçlarıdır. Zehirli bir bileşen olan Pb, vurutuyu önlemek amacıyla benzine katılmaktadır. 10 lt kurşunlu benzinin yanmasıyla her km'de ortalama 10 mg Pb atmosfere verilmektedir (Demirsoy 1986). PM'ler tam olmayan yanma nedeniyle kül veya kurum olarak ortaya çıkmaktadır. Benzin motorlarının toplam emisyon miktarı içinde ihmal edilmekle beraber, dizel motorlarındaki is veya kurum oluşumu büyük bir problem olmaktadır (Demirsoy 1986). PM'lerin bir yerleşim yerinin atmosferindeki en büyük kaynakları yakma ve motorlu araçlardır.

## 2.8. Kirlenici Seviyelerine Zamanın Etkisi

Atmosfer değişik kaynaklardan kirlenebilmektedir ve bunların en önemlilerinden birisi yanmadır. Yanma reaksiyonu, fosil yakıt içeriğinde bulunan safsızlıklar, hava yakıt oranı, yanma sıcaklığı ve bekleme süresi gibi çeşitli nedenlerle farklı tür ve miktarlarda hava kirlenici oluşur (Müezzinoğlu 1987, Tırıs ve ark. 1993). Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve partikül madde (PM) bu kirlenicilerden en önemli iki tanesidir (Müezzinoğlu 1987).

Bursa'da SO<sub>2</sub> ve PM'den kaynaklanan hava kirliliği özellikle kış aylarında artış göstermektedir. Kış ayları ısınma amaçlı yakıt kullanımının artmaya başladığı aylardır. Bu sebeple özellikle bu aylarda SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarında yoğun bir artış söz

konusudur. En düşük konsantrasyonlar da yakıt kullanımının çok azaldığı yaz mevsiminde görülmektedir. SO<sub>2</sub> ve PM kirleticilerinin 1988-2003 yılları arasındaki kış ayları konsantrasyonlarının ortalaması yaz ayları ortalamasının yaklaşık 5 katıdır.

Taşıma ve yakma kolaylığı, yüksek ısı değeri, katı içermemesi, safsızlıkların az olması veya kolay arındırılabilir olması gaz yakıtları hava kirliliğini önlemede avantajlı hale getirmektedir (Tırıs ve ark., 1993). Gaz fazında bulunmaları ve safsızlıkların düşük seviyelerde olması nedeniyle karbon monoksit (CO), SO<sub>2</sub> ve PM miktarları, diğer yakıtlara oranla daha küçük değerlerde beklenmektedir (Müezzinoğlu 1987, Tırıs ve ark. 1993, Taşdemir ve ark. 2001). Yaygın olarak kullanılan yakıtlardan doğalgaz ve kömürlerin bazı özellikleri Tablo 2.18. ve Tablo 2.19.'da özetlenmiştir.

Tablo 2.18. Doğalgazın İçeriği

Kimyasal Kompozisyon	Mol Yüzdesi
Metan	≥ % 85
Etan	≤ % 7
Propan	≤ % 3
Bütan	≤ % 2
Pentan vd ağır hidrokarbonlar	≤ % 1
Karbondioksit	≤ % 3
Oksijen	≤ % 0.02
Kükürt bileşikleri	≤ % 1

Tablo 2.19. Linyit ve Taşkömür Elementer Analiz Sonuçları

Kömür Türü	%C	%H	%N	%O	%S	Nem	Kül	Üst Kalorifik Değer
Linyit	76,5 <sup>a</sup>	5,8 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	13,8 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	45 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	4500 <sup>b</sup>
Taşkömür	85,73 <sup>c</sup>	5,49 <sup>c</sup>	7,03 <sup>c</sup>	1,75 <sup>c</sup>	VY <sup>c</sup>	<4 <sup>d</sup>	<10 <sup>d</sup>	7650 <sup>d</sup>

a ve c: (Nakomen 1988)

b ve d: (Tünay ve Alp 1996)

VY: Veri Yok

Bursa'da 1992 yılında doğalgaz kullanımına geçilmiş ve her yıl kademeli olarak bu oran artmıştır (Akkurt 2000, Taşdemir 2001). 1992 yılına kadar ısınma amaçlı kullanılan kömürler yüksek kükürt içeriklerinden dolayı atmosferdeki SO<sub>2</sub>

konsantrasyonlarının kış aylarında HKKY sınır değerlerini aşmasına sebebiyet vermiştir. Nispeten yüksek kül ve kükürt içeriğine sahip yerli kömür kullanımının hava kalitesine olumsuz etkisi yüksek seviyelerde olmuştur.

### 2.9. Kirletici Seviyelerine Mekanın Etkisi

Evsel ısınma, ulaşım ve çeşitli endüstrilerden kaynaklanan hava kirleticiler, insan sağlığı ve çevre kalitesi üzerinde birçok olumsuz etkiye sahiptirler. Özellikle yanma proseslerinden atmosfere yayılan kükürt dioksit ( $SO_2$ ), azot oksitler ( $NO_x$ ), karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HK) ve partikül maddeler (PM) gibi klasik hava kirleticiler hava kirliliğinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadırlar (Taşdemir ve ark. 2001).

Hava kirliliğinin azaltılmasında etkili yöntemler arasında doğalgaz kullanmak, doğalgazın ulaşmadığı bölgelerde ise kalorifik değeri yüksek, PM emisyonu ve kükürt içeriği düşük kömür ve fuel-oil kullanımına öncelik vermek sayılabilir (Payan ve ark. 1999, Payan ve Ertürk 2002). Yakma olaylarının klasik hava kirletici konsantrasyonuna olumsuz etkisinin yanında, Bursa'nın coğrafik konumu da bu kirleticilerin ortamda dağılmasına engel olmaktadır (Payan 1997). Payan ve Ertürk (2002) tarafından yapılan bir çalışmada Bursa'nın Heykel, Yıldırım ve Altıparmak semtlerinde hava kirliliğinin yoğunlaşmasının sebepleri arasında nüfus ve trafik yoğunluğunun yanısıra bölgenin topoğrafik yapısının da etkili olduğu vurgulanmaktadır. Bunun dışında meteorolojik özellikler, bölgenin trafik yükü, gelir seviyesi ve kullanılan yakıtın türü hava kalitesine etkide bulunmaktadır.

### 2.10. Kirleticilerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkisi

Hava kirliliği plansız kentleşmenin yol açtığı önemli bir çevre sorunudur. Sıcaklık, nem, yağış miktarı, dikey ve yatay hava akımları gibi meteorolojik koşulların hava kirliliği üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Eser ve ark. 1999). Bu nedenle yerleşim merkezlerinin planlamasında şehre hakim rüzgarların kesilmemesi amaçlanmalıdır (Eser ve ark. 1999).

Hava kirliliği üzerinde etkili meteorolojik parametrelerin önemlilerinden birisi yeryüzünden ışıma ve yüksek basınç koşulları altında meydana gelen sıcaklık terselmesidir (İnversiyon) (Karadağ 1999). Bu durumda kirletici unsurlar yükselerek dağılamadığından hava kirliliğine yol açarlar (Karadağ 1999). Sıcaklık terselmesi ışımanın arttığı, havanın açık, sakin yada hafif rüzgarlı olduğu yüksek basınç koşulları altında genellikle kış aylarında gerçekleşir (Karadağ 1999).

Endüstrileşmenin ve şehirleşmenin yoğun olduğu Bursa'da, özellikle kış aylarında bazen hissedilir boyutlarda hava kirliliği sorunu yaşanmaktadır. Olumsuz meteorolojik koşullar, plansız kentleşme ve topoğrafik yapı, kirliliğin yoğunlaşması ve etkilerinin artmasında etkili olmaktadır.

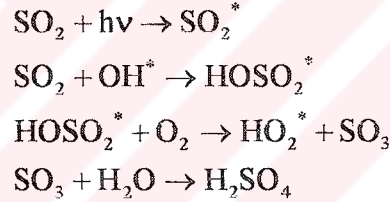
### 2.11. Klasik Hava Kirleticilerin Birbirleri İle Olan İlişkileri

Hava kirliliği çeşitli doğal ve/veya antropojenik (İnsan kaynaklı) emisyon kaynaklarından oluşabilmektedir (Müezzinoğlu 2000, Finlayson Pitts ve Pitts 1986). Klasik hava kirleticiler genellikle antropojenik faaliyetler sonucu atmosfere deşarj edilirler. Başlıca klasik hava kirleticiler, kükürt dioksit ( $SO_2$ ), azot oksitler ( $NO_x$ ), karbon monoksit ( $CO$ ), partikül madde ( $PM$ ), hidrokarbonlar ( $HK$ )'dır. Bunların yanında çok daha küçük konsantrasyonlarda bile insan sağlığı için tehlikeli olabilen toksik hava kirleticiler de diğer önemli hava kirletici grubunu oluşturmaktadır (Finlayson Pitts ve Pitts 1986). Bu kirleticiler atmosfere ulaştıklarında dispersiyon ve taşınmaya maruz kalırlar. Ayrıca bunlardan bazıları kimyasal ve fiziksel dönüşümlere uğrayarak gaz ve partikül formdaki ikincil kirleticileri oluştururlar (Finlayson Pitts ve Pitts 1986).

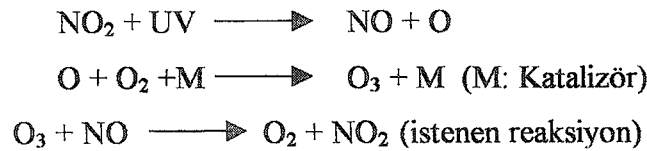
Kükürt oksitlerin ( $SO_x$ ) başlıca kaynakları arasında kükürt içeren fosil yakıtların yakılması, bazı kimyasal tesisler, metal işleme tesisleri ve çöplerin yakılması sayılabilir (Müezzinoğlu 2000, Özer ve ark. 1996, Taşdemir ve ark. 1998). Antropojenik kaynaklarının yanında organik maddelerin bozunması ve yanması, volkanlardan kaynaklanan  $H_2S$  gazının oksitlenmesi gibi doğal şekillerde de  $SO_x$  oluşabilir. Azot oksitlerin ( $NO_x$ ) doğal kaynakları bakteri faaliyetleri, insan kökenli kaynakları ise yanma ve ulaşım başta olmak üzere endüstriyel faaliyetlerdir (Tünay ve Alp 1996). Karbon monoksitin ( $CO$ ) en önemli kaynakları ulaşım ve yakma işlemleridir (Tünay ve

Alp 1996). Partikül madde (PM) kaynakları, yapay ve doğal kaynaklar olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Yapay partikül maddeler, antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklardan açığa çıkmaktadır. Bu kaynaklar; Yakma prosesinin gerçekleştirildiği endüstriler, maden çıkarma ve inşaat yapım aktiviteleri, motorlu araçlar ve yüksek sıcaklıkta çöp yakmadır (Taşdemir 2000, Zırhloğlu 1999). Atmosferde bulunan partiküllerin büyük kısmı antropojenik olsa da doğal aktiviteler sonucu da partiküller açığa çıkmaktadır. Bu kaynaklar; Volkanlar, orman yangınları, rüzgar fırtınaları, polenler ve okyanuslardan gelen su zerrecikleridir (Taşdemir 2000). Hidrokarbonların (HK) önemli doğal kaynakları bulunmaktadır. Bunlar arasında, biyolojik aktiviteler, kömür yatakları, doğalgaz ve petrol çıkarma alanları sayılabilir. İnsan faaliyetine dayalı en önemli kaynak ulaşım olup, bunu endüstriyel faaliyetler izler (Tünay ve Alp 1996).

Fosil yakıtlarda mevcut olan organik bağlı kükürt  $S + O_2 \rightarrow SO_2 + \text{ısı}$  şeklinde oksitlenerek  $SO_2$  açığa çıkar. Atmosferde  $SO_2$  güneş ışığının etkisiyle form değiştirerek uyarılmış molekül haline geçebilir. Daha sonra OH radikalinin etkisiyle önce  $SO_3$ , sonra  $H_2SO_4$  açığa çıkabilir (Baumbach 1996).

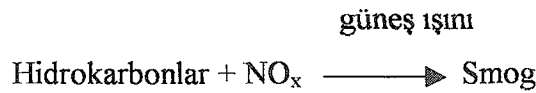


NO ve  $NO_2$ 'nin her ikisi de güneş radyasyonuna, meteorolojik olaylara ve trafik hacmine bağlı olarak gün boyunca değişik konsantrasyonlar alabilmektedir. Günün ışımasından önce NO ve  $NO_2$  oldukça düşük bir konsantrasyon gösterir. Sabah aktivitelerin başlamasıyla birlikte NO konsantrasyonu hızla artar. Daha sonra artan solar aktivite ile aşağıdaki reaksiyonlar oluşmaya başlar (Baumbach 1996):



$NO_2$  konsantrasyonları yükselir ve bir pik değere ulaşır ve sonra fotokimyasal oksidanların (özellikle ozon, peroksi bileşikler ve radikaller) birikmeye başlaması ile azalmaya başlar (Tünay ve Alp 1996). Fotokimyasal oksidanlar öğle sıralarında bir pike erişirler. Birikmiş olan NO ve  $O_3$  atmosferde kolayca reaksiyona girerek tamamen  $O_2$  ve  $NO_2$  ye dönüşür. Her ne kadar öğleden sonraları güneş radyasyonu oksidanları üretmek

için yeterli değilse de, daha önce üretilmiş olan O<sub>3</sub>, akşam trafiği ile yayılan NO ile reaksiyona girer ve bu sıralarda NO<sub>2</sub> miktarında az da olsa bir artma meydana getirir (Tünay ve Alp 1996). Maksimum NO konsantrasyonları çoğunlukla sonbaharın sonlarında ve kış aylarında oluşur. Bu aylar ısınma enerjisinin maksimum ihtiyaç duyulduğu, rüzgar hızlarının düşük olduğu ve solar radyasyonların en az olduğu aylar olarak tanımlanır (Tünay ve Alp 1996, Müezzinoğlu 1987). NO<sub>2</sub>, NO gibi büyük oranlarda mevsimsel değişiklikler göstermez (Tünay ve Alp 1996, Müezzinoğlu 1987). NO<sub>x</sub>, fotokimyasal sisin (Smog) üretilmesi için gerekli iki kimyasal bileşen gruptan biridir. Çok basitleştirilmiş olarak bu olay formu şöyledir (Baumbach 1996):



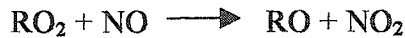
NO<sub>x</sub>'in en önemli fonksiyonunun ışık enerjisini absorbe etmek olduğu bilinmekte olup sis içinde değişik seviyelerde oksidanlar bulunmaktadır. Atmosferde NO<sub>2</sub>'in meydana geldiği temel proses aşağıdaki gibidir (Baumbach 1996):



Hidroperoksit köklerde NO ile reaksiyona girerek NO<sub>2</sub> ve hidroksil kökleri oluşturur (Baumbach 1996).



Ayrıca alkolperoksit kökleri NO'ü okside ederek alkiloksil kökleri ile NO<sub>2</sub> meydana getirir (Baumbach 1996).



Bu şekilde hidrokarbon, NO<sub>x</sub> ve ozon arasında atmosferik şartların etkisiyle zincir reaksiyonları oluşur ve devam eder. Reaksiyonlar çok hızlı olup, NO<sub>2</sub> dönüşümü ani olmaktadır (Baumbach 1996).

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Ölçüm Yapılan Cihazlar

Bursa Büyükşehir Belediyesi hava kalitesi ölçüm istasyonlarında (Heykel, Duaçınarı, Hamitler, Demirtaş) her kirletici için (HK, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve PM) ayrı otomatik ölçüm cihazları bulunmaktadır. Bursa Büyükşehir Belediyesi hava kalitesi ölçüm istasyonlarında kullanılan cihazların ayrıntılı özellikleri aşağıda verilmiştir:

##### 3.1.1. Partikül Madde Ölçüm Cihazı

###### Alt dedeksiyon limiti

Ölçülen değer : 7 µg/m<sup>3</sup>

Yarım saatlik ortalama : 5 µg/m<sup>3</sup>

3 saatlik ortalama : 3 µg/m<sup>3</sup>

24 saatlik ortalama : 1 µg/m<sup>3</sup>

Hesaplama modu : Lineer Regresyon

Zaman Sabiti : 1 saat

Hava akış oranı : 1 m<sup>3</sup>/h

###### Üst Dedeksiyon Limiti

Filtre Üzerinde maksimum toplanabilen toz konsantrasyonu : 1500 µg/m<sup>3</sup>

Filtre tipi : Cam Fiber Filtre (ağır metal konsantrasyonu son derece düşük)

Genişliği : 40 mm

Ayırma derecesi : %99,98

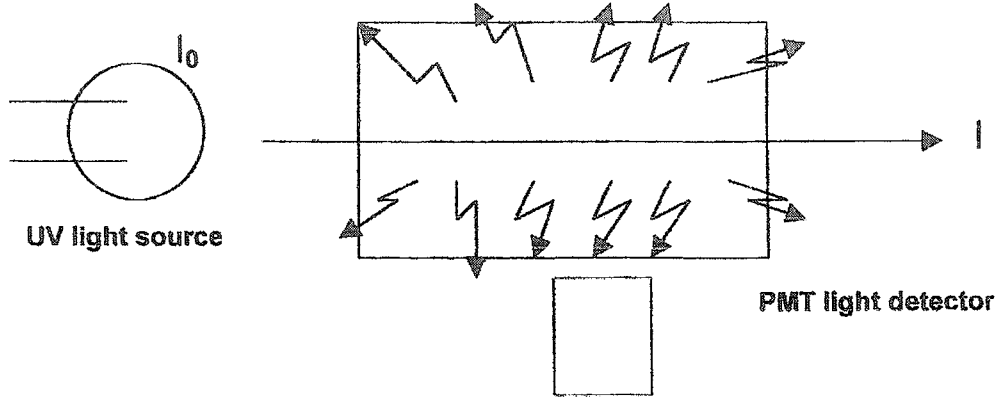
Sarım Boyu : 40 mm

Sıcaklık Aralığı : 140 °C'ye kadar



### 3.1.2. Kükürt Dioksit Ölçüm Cihazı

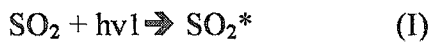
#### Çalışma Prensibi



Şekil 3.1. Kükürt dioksit Ölçüm Cihazı Çalışma Prensibi

UV ışınları (220 nm) numune gazın üzerine düşüldüğünde, SO<sub>2</sub> gazı farklı dalga boylarında ışınlar saçar (peak 320 nm, 240'dan 420 nm'ye). İlki exite edilene karşılık gelirken ikincisi fluorescence ışınımıdır. Konsantrasyonun belirlenmesinde fluorescence ışınımı dikkate alınarak yoğunluğu bulunur. Fluorescence ışını tüm açılarda saçılır. Normal proseste, exite ışından ayrılması için, fluorescence ışığı dik açıyla dedekte edilir.

Işınım aşağıdaki şekilde gerçekleşir:



$$I = I_0 e^{-aLx} \quad (1)$$

I : Hücre içerisinden geçen exite ışığın yoğunluğu

I<sub>0</sub> : Çıkan ışığın yoğunluğu

A : Absorblama katsayısı

L : Hücre boyu

X : SO<sub>2</sub> konsantrasyonu

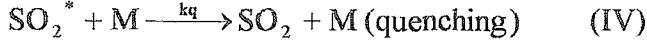
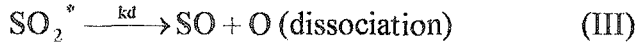
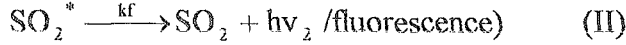
Yukarıdaki denklemden, ΔI miktarı aşağıdaki şekildedir:

$$\Delta I = I_0 - I = I_0(1 - e^{-aLx}) \quad (2)$$

(1) denklemdeki exite olan SO<sub>2</sub>\* miktarı yukarıdaki I ile orantılıdır.

$$[\text{SO}_2^*] = \Delta I / h\nu \quad (3)$$

prosesi (I)'de oluşan  $SO_2^*$  aşağıdaki şekilde enerji kaybeder.



(II) fluorescence in açığa çıktığı işlemdir

(III) Dissociation reaksiyonu

(IV) quenching reaksiyonu, enerji çarpışmalarla yok olmaktadır.

Fluorescence üreten  $SO_2$  sayısı aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır:

$$\frac{kf}{kf + kd + kq[M]} [SO_2^*]$$

Fluorescence yoğunluğu aşağıdaki denklem sayesinde hesaplanmaktadır.

$$I_f = G * \frac{kf}{kf + kd + kq[M]} [SO_2^*]$$

$$= G * \frac{I_0}{hv_1} * \frac{kf}{kf + kd + kq[M]} * (1 - e^{-aLx}) \quad (4)$$

$$I_f = G * \frac{I_0}{hv_1} * \frac{kf}{kf + kd + kq[M]} * aLx \quad (5)$$

### Özellikler ve Standartlar

Model : APSA-360A

Çalışma Metodu : UV fluorescence metodu

Çalışma Aralığı : Standart: 0 dan 0.05, 0.1, 0.2 ya da 0.5 ppm

Otomatik ayarlama, uzaktan kontrol. Min aralık: 0,05 ppm

Seçmeli: 0 ve 10 ppm arasında 4 aralık.

### **3.1.3. Azot Oksit Ölçüm Cihazı**

#### Ölçüm Prensibi

Eğer numune gazı içerisinde bulunan NO ozon ile reaksiyona girerse bir kısmı oksitlenerek  $NO_2$  oluşturur. Oluşan  $NO_2$  uyarılır ve daha sonra kararlı haline dönerken ışık saçar. Bu olay Kemilüminesans olarak bilinir.





Bu reaksiyon son derece hızlı gerçekleşir ve sadece NO için geçerlidir. NO konsantrasyonunun az olması durumunda Lüminesans da azdır. Bu reaksiyon ile NO miktarının tayin edilmesi metoduna Kemilüminesans Metod denir (CLD). Numune APNA-360 içerisinde ikiye ayrılır. Bunlardan birinde, NO<sub>x</sub> konverteri ile NO<sub>2</sub> indirgenir ve daha sonra NO<sub>x</sub> ölçümlerinde numune gazı olarak kullanılır. Diğer kısımda ise NO gazı olduğu gibi kalır. Seolenoid valf her 5 saniyede bir olmak üzere NO<sub>x</sub>, NO ve referans gazını reaksiyon çemberi içerisine verir. Bu arada numune sürekli olarak emilerek sisteme alınır ve silika-jel içerisinden geçirilerek kurutulur. Ozon jeneratöründen ise Ozon gelmektedir. Reaksiyon çemberinde numune ile Ozon reaksiyona girer ve açığa çıkan ışığa hassas foto-diodlarla tayin edilir. Diodlardan elde edilen veriler NO ve NO<sub>x</sub> değerleri ile orantılıdır. Ancak sonuçta cihazın ürettiği değer tüm gazlar NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> içindir.

#### Kurutma Ünitesi

Kurutma ünitesi silika-jel kullanarak Ozon Üretiminde kullanılan gazı kurutmak amacıyla kullanılır. Kurutma ünitesi iki kurutma silindirine sahiptir. Bunlardan birisi kullanılırken diğer silindirdeki silika-jel reaktiftir. Silika jeli tekrar aktif hale getirmek için 160 °C'de 135 dk süreyle tutulur ve 45 dk da oda sıcaklığında soğutulur. Silindirler arasındaki görev her 180 dakikada bir değişmektedir.

#### Özellikler - Standartlar

Model	: APNA-360
Çalışma Metodu	: Çapraz akış modülasyonlu Kemilüminesans Metodu Çapraz Akış Modülasyonlu seçici tür yakma metodu ve hidrojen iyonizasyon dedeksiyon metodu
Çalışma Aralığı	: Standart: 0 dan 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 ppm veya Otomatik ayarlama, uzaktan kontrol Seçmeli: 0 ve 10 ppm arasında 4 aralık. max. aralık genişlemesi: 10 kez min. range: 0.1 ppm

### 3.1.4. Ozon Ölçüm Cihazı

#### Ölçüm Prensibi

Ultraviyole absorbe metoduyla ultraviyole ışınlarının engellenmesi ile ozonun karakteristik dalga boyu bulunur. Bu analiz metodunda örnek gaz filtrenin içinden geçerek 2 akış yönüne ayrılır. 1. bölümde örnek gazdan ayrılan ozon çürür, elenir ve hücreye yollanır (Referans gaz). Diğer bölümde ise sample gaz selenoid valf yardımı ile direkt değiştirilerek hücreye yollanır (Örnek gaz). Ölçüm hücresi açıkken direkt radyasyon civa lambasıyla düşük basınçta uygulanırsa merkezde meydana gelen ultraviyole ışınlarının dalga boyu 253,7 nm UV ışınlarının engellenmesiyle dedektörde ozon ölçülür. Bu ölçümde fotodiyot ve seri elektrik devrelerinden gelen elektrik sinyalleri karışır. Değişimler dedektör çıkışı yanında referans gaz ve örnek gazda bulunan UV ışınları ozonda engellenir. Örnek gaz ve referans gaz değişimleri solenoid valf ile 1 Hz sıra ile hücreye yollanır.

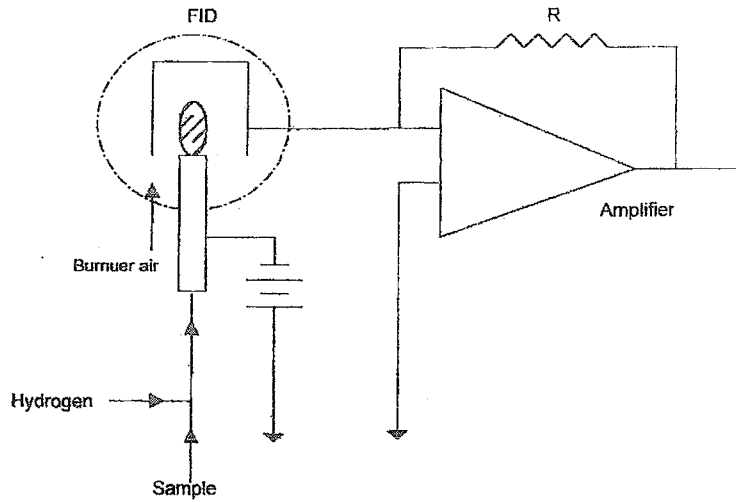
#### Özellikler – Standartlar

Model	: APOA-360
Çalışma Metodu	: Çapraz Akış Modülasyonlu seçici tür yakma metodu ve hidrojen iyonizasyon dedeksiyon metodu
Çalışma Aralığı	: Standart 0'dan 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 ppm Otomatik ayarlama, uzaktan kontrol
Seçmeli	: 0 ve 10 ppm arasında 4 aralık.
Minimum aralık	: 0.1 ppm

### 3.1.5. Toplam Hidrokarbon Ölçüm Cihazı

#### Ölçüm Prensibi

Hidrojen alevine giren  $CH_4$ , yüksek sıcaklık nedeniyle bileşenlerine iyonize olur. Alev içerisinde birbirine karşılıklı duran iki adet elektrot vardır. Aralarından,  $CH_4$  içerisindeki karbon sayısına bağlı olarak, doğru akım geçer. Bu akım  $CH_4$  okumaları için, yüksek resistansla voltaja çevrilir.



Şekil 3.2. Hidrojen Alevi İyonize Dedektörünün Çalışma Prensibi

APHA-360'da numune gazı ikiye bölünür. Bunlardan birinin yolu üzerinde HK tutucuları vardır. Bu tutucular  $CH_4$  dışında kalan hidro-karbonları tutarlar. Diğeri ise toplam hidro karbon (THK) dır. NMHK'lar ise toplam hidrokarbonlar ile metan konsantrasyonları arasındaki farktır.

#### Özellikler - Standartlar

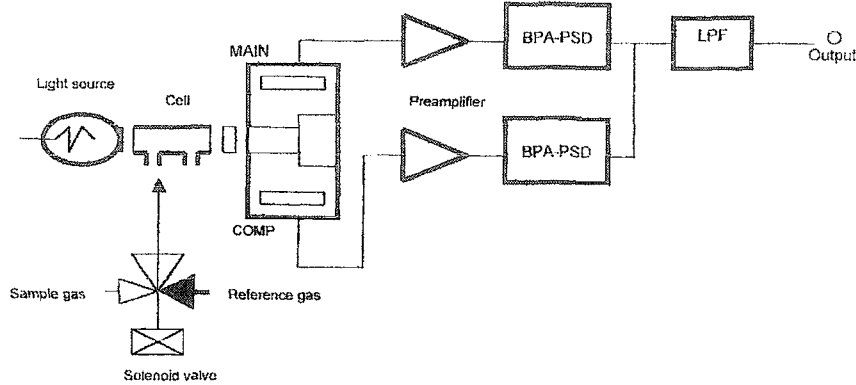
Model	: APHA-360
Çalışma Metodu	: Çapraz Akış Modülasyonlu seçici tür yakma metodu ve hidrojen iyonizasyon dedeksiyon metodu
Çalışma Aralığı	: Standart 0 dan 5, 10, 25 ya da 50 ppmC Otomatik ayarlama, uzaktan kontrol
	Seçmeli : 0 ve 100 ppmC arasında 4 aralık.
	Minimum aralık : 5 ppmC

#### 3.1.6. Karbon Monoksit Ölçüm Cihazı

##### Ölçüm Prensibi

Şekilde de görüleceği gibi, APMA-360 modülasyon efektini kullanarak, cell içerisine solenoid valfin 1 Hz'lik frekansı ile gönderdiği, sıfır ve numune gazının infrared ışını ne kadar yoğurduğu karşılaştırılarak sonuç hesaplanmaktadır. Hücre içerisinde ölçülen gazların konsantrasyonları değişmediği sürece, dedektörden gelen

sinyal sıfır olacaktır. Cihazda AS tipi dedektörler kullanıldığından, interferans etkisi olmadan son derece kararlı sonuçlar alınabilmektedir.



Şekil 3.3. NDIR Ölçüm Prensibi

#### Özellikler - Standartlar

Model	: APMA-360
Çalışma Metodu	: Çapraz akış modülasyonlu non-dispersive infrared absorpsiyon Çapraz Akış Modülasyonlu seçici tür yakma metodu ve hidrojen iyonizasyon dedeksiyon metodu
Çalışma Aralığı	: Standart 5, 10, 20, 50 ppm veya 10, 20, 50, 100 ppm Otomatik ayarlama, uzaktan kontrol Seçmeli 0 ve 100 ppm arasında 4 aralık. Minimum aralık: 5 ppm

Tüm cihazlar 24 saat süre ile her 3 dakikada bir sürekli olarak ölçtüğü verilerin 30 dakikalık ortalama değerini kaydetmektedir. Bunlara ek olarak meteorolojik veriler (basınç, nem, sıcaklık, rüzgar hızı ve rüzgar yönü) de Duaçınarı ve Heykel istasyonlarında sürekli olarak ölçülmektedir. Hava kalitesi izleme cihazları, ABD-EPA ve TÜV Almanya tarafından verilen sertifikaya sahip cihazlardır.

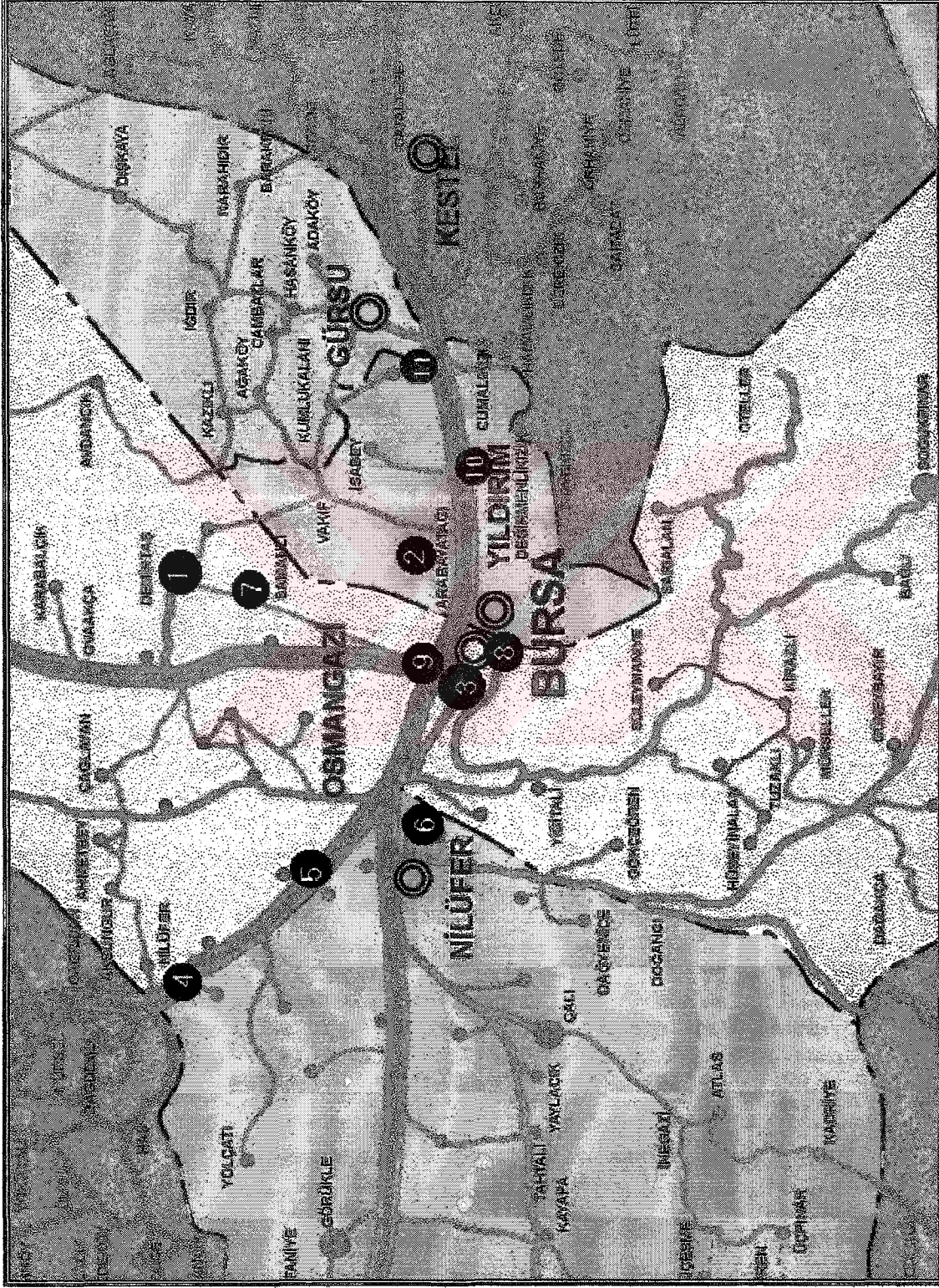
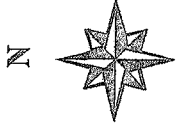
Klasik hava kirleticilerin birbirleri ile ve meteorolojik parametrelerle ilişkileri incelenirken, konsantrasyonların belirlenmesinde, Bursa Büyükşehir Belediyesi'ne ait her bir kirletici için birbirinden bağımsız otomatik ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Ölçümler Horiba marka cihazlarla otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Karbon monoksit (CO) ölçümleri dispersiyonsuz çapraz modüllü infrared analiz metodu ile çalışan APMA-360 model, ozon (O<sub>3</sub>) ölçümleri çapraz akış modüllü infrared absorpsiyon metodu ile çalışan APOA-360 model, azot oksit (NO<sub>x</sub>) ölçümleri çapraz akış modüllü yarı genişlemeli kemilüminesans metodu ile çalışan APNA-360 model, kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ölçümleri ultraviyole floresans analiz metodu ile çalışan APSA-360A model, toplam hidro karbon (THK) ölçümleri çapraz akış modülasyonlu seçici tür yakma metodu ve hidrojen iyonizasyon dedeksiyon metodu ile çalışan APHA-360 model ve partikül madde (PM) ölçümleri ise filtre üzerindeki toz örneğinin sürekli kütle belirlemesinin radyometrik elektronik sensor-compensation metodu ile belirlendiği FH 62-1 model cihazlar ile gerçekleştirilmiştir.

Bursa'da SO<sub>2</sub> ve PM seviyelerinin zamana ve mekana bağlı değişiminin incelenmesinde, Bursa İl Sağlık Müdürlüğü'ne ait Bulab 201/1, 201/2 ve 201/8 model yarı otomatik cihazlarla ölçümler yapılmıştır. 8 kanallı yarı otomatik SO<sub>2</sub> ve PM ölçer cihazda 8 filtre kağıdı ve 8 Dreschel şişesi mevcuttur. Model 201/1 ve 201/2, 8 kanallı cihaz ile aynı çalışma prensiplerine sahip 1 ve 2 şişeli cihazlar olup daha çok günlük ve kısa süreli ölçümler için uygundur. Ölçüm aralığı 0,003 ile 0,3 ppm arasındadır. Zaman ayarlama ünitesi yardımıyla 8 gün süre ile herhangi bir kullanıcı müdahalesi olmaksızın ölçüm yapılabilmesini sağlayan sisteme (Model 201/8) giren belli hacimdeki (~3 m<sup>3</sup>/gün) hava önce filtre kağıtlarından, sonra Dreschel şişesinden geçerek sistemden ayrılır (Akkurt 2000).

Filtre kağıtları tarafından tutulan toz bir leke halinde belirir. Yüzey konsantrasyonu reflektometrede yapılan ölçümden sonra standart kalibrasyon eğrisinden mg/m<sup>3</sup> olarak bulunur. Dreschel şişesinde hidrojen peroksit mevcut olup, bunun örnekleme sırasında havadaki SO<sub>2</sub> ile reaksiyona girmesi amaçlanır. Oluşan sülfirik asitin standart alkali (0,01N Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ile titrasyonu sonucu SO<sub>2</sub> konsantrasyonu belirlenir (Akkurt 2000). Titrasyon işleminde belirleyici olarak BDH indikatörü kullanılmaktadır. SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılan bu metodlar HKKY'nde tavsiye edilen metotlardandır (Anonim 1986).

Tüm hava kalitesi ölçüm istasyonlarını gösterir harita Şekil 3.4'de verilmiştir.



- ① Demirtaş
- ② Duğınarı
- ③ Heykel
- ④ Hamitler
- ⑤ Karaman
- ⑥ Çekirge
- ⑦ Küçükbalıklı
- ⑧ Tophane
- ⑨ Santral Garaj
- ⑩ Eğitim
- ⑪ Arabayatağı

Şekil 3.4. Bursa Merkez Hava Kalitesi Ölçüm Haritası



### 3.2. Ölçüm Bölgeleri

SO<sub>2</sub> ve PM kirleticilerinin ölçümleri Bursa İl Sağlık Müdürlüğü tarafından Tophane, Santral Garaj, Eğitim, Arabayatağı, Küçük Balıklı, Karaman ve Çekirge semtlerinde yapılmıştır. Bu bölgelerdeki verilerden hareketle Bursa için ortalama değerler belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan ölçüm sonuçları, 1988-2003 yılları arasında kapsamaktadır. Günlük verilerden hareketle aylık, mevsimlik ve yıllık ortalamalar hesaplanmıştır.

Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından Duaçınarı ve Heykel semtlerinde SO<sub>2</sub>, PM, NO<sub>x</sub>, THK, CO ve O<sub>3</sub> (Sadece Heykel'de) kirleticilerinin ölçümleri rutin olarak yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Aralık 2001 ve Kasım 2002, Mayıs 2001 ve Aralık 2003 ayları arasında ölçülmüş olan konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. Bu periyod, bir yıllık süreyi ve tüm mevsimleri içermesi bakımından seçilmiştir. Her 30 dakikada bir alınan veriler kullanılarak günlük ve aylık ortalamalar hesaplanmıştır.

Bursa 40 derece boylam ve 28 - 30 derece enlem daireleri arasında Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan, toplam nüfusu 2000 Yılı Genel Nüfus Tespit sonuçlarına göre 2.106.687 kişi olan Türkiye'nin 4. büyük kentidir. Denizden yüksekliği 100 metre olan Bursa, genelde ılıman bir iklime sahiptir. Ancak, iklim bölgelere göre de değişiklik göstermektedir. Kuzeyde Marmara Denizi'nin yumuşak ve ılık iklimine karşılık, güneyde Uludağ'ın (2543 m) sert iklimi ile karşılaşmaktadır. İlin en sıcak ayları Temmuz - Eylül, en soğuk ayları ise Şubat - Mart'tır. 52 yıllık gözlem süresi itibari ile yıllık ortalama yağış miktarı 706 mm'dir. İilde ortalama nisbi nem % 69 civarındadır. İlin yüzey şekilleri, birbirlerinden eşiklerle ayrılmış çöküntü alanları ile dağlar halindedir. Çöküntü alanlarının başlıcalarını İznik ve Uluabat gölleriyle, Yenişehir, Bursa ve İnegöl ovaları oluşturmaktadır. Toplam yüzölçümü 10.891 km<sup>2</sup> olan Bursa ili topraklarının % 17'sini ovalar oluşturmaktadır (Anonim 2003).

Bursa'nın iklimi, Akdeniz İkliminin Marmara geçiş tipi şeklindedir. Yazlar Akdeniz Bölgesi'ne göre daha serin ve yağışlı, kışlar ise daha soğuktur. Uludağ'a yaklaştıkça yağış oranı artar ve sıcaklık azalır. Mudanya Dağları'nın, Bursa Ovası'nı Marmara Denizi'nden ayırması, Bursa Ovası'nın Marmara kıyılarına göre daha karasal bir iklime sahip olmasına neden olmuştur.

Duaçınarı, Bursa-Ankara karayoluna yakın bir mesafede ve  $40^{\circ} 11' 29''$  boylam,  $29^{\circ} 06' 09''$  enlem dairelerinde bulunmakta olup, Bursa'nın 3 merkez ilçesinden biri olan Yıldırım ilçesine bağlıdır. Semtin sosyo-ekonomik yapısı Heykel'e nazaran daha zayıftır. Bölgede doğalgaz bulunmadığından yakıt olarak katı ve sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Bölge şehirler arası yola yakın olduğundan her tür araç trafiğine maruz kalmaktadır. Bölge Heykel'e göre yaklaşık 100 m daha çukurda yer almaktadır. En yakın yükseklik semtin güneyinde uzanan Uludağ'ın sırtlarıdır. Heykel semti şehir merkezinde ve  $40^{\circ} 11' 02''$  boylam,  $29^{\circ} 03' 53''$  enlem dairelerinde yer almaktadır. Bölgede yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Şehrin en işlek caddelerinden olan Atatürk Caddesi Heykel'de yer almaktadır. Bölgenin sosyo-ekonomik yapısı ve gelir seviyesi Duaçınarı'ndan daha yüksektir.

### 3.3. Hesaplama Yöntemleri

#### a) Ortalama Günlük Değişimleri

Her 30 dakikada bir kaydedilen değerlerin 1 günlük ortalamaları hesaplanmış ve 1 yıl boyunca yaklaşık 365 adet veri elde edilmiştir.

#### b) Aylık Ortalama Değerler

Her bir kirleticiye ait yarım saatlik konsantrasyon değerleri alınarak 12 ay için ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan aylık ortalama değerleri kullanılarak 1 yıl boyunca kirleticilerin aylık değişimleri ortaya konmuştur.

#### c) Mevsimlik Ortalama Değerler

Mevsimlik ortalama değerleri belirleyebilmek için aylar, Yaz (Haziran, Temmuz, Ağustos), Sonbahar (Eylül, Ekim, Kasım), Kış (Aralık, Ocak, Şubat) ve İlkbahar (Mart, Nisan, Mayıs) şeklinde mevsimlere ayrılmış ve her mevsimi içeren aylar ve günler için 30 dakikalık ortalama değerler dikkate alınmış ve bu ortalama değerlerden mevsimlik ortalamalar ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

#### d) Saatlik Mevsimsel Değişimlerin Hesaplanması

Günlük ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanan kirleticilerin, her mevsim için saatlik ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Örneğin, yaz mevsimi için Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarının tüm günlerinin (92 gün) saatleri göz önüne alınarak onların ortalama ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda Microsoft Excel programı, grafiklerin hazırlanmasında ise Sigma Plot grafik programı kullanılmıştır.

### 3.4. Taşıt Kaynaklı Hava Kirliliği Emisyon Faktörleri

Literatürde motorlu taşıtlar için bir hayli emisyon faktörü değerleri verilmektedir. Taşıtlardan kaynaklanan hava kirleticilerin emisyon faktörleri ve emisyon değerleri Tablo 3.1.-3.4. arasında özetlenmiştir. Bunlardan bazıları hesaplamalarda kullanılmıştır. Tablo 3.1.'de ABD, AB ve Japonya'da benzinli ve dizel araçlardan kaynaklanan çeşitli emisyon faktörleri verilmiştir. Araç türlerine göre egzoz gazlarından atmosfere yayılan CO, NO<sub>x</sub> ve PM emisyon faktörlerinin değişim aralıkları Tablo 3.2.'de belirtilmiştir. Kömür, fuel-oil, benzin ve motorin yakıtlarının toplam kirletici konsantrasyonlarındaki etkilerinin yüzdelik dilimleri Tablo 3.3.'de verilmiştir. Örneğin; yakıtların yanması sonucu atmosfere verilen toplam SO<sub>2</sub> gazı konsantrasyonunun yaklaşık %21'i kömürden, %78'i fuel-oil'den kaynaklanmaktadır. Elbir ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmaya göre 1995 yılı için Türkiye'nin genelinde beklenen PM, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO emisyon faktörleri Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. AB, ABD ve Japonya'da Geçerli Küçük Binek Aracı Egzoz Sınırları (g/km) (Müezzinoğlu 2000)

Yakıt Türü	AB (1996)	ABD (California)	Japonya	
			Sıcak Kalkış	Soğuk Kalkış
Benzin	CO: 2,2 HC+NO <sub>x</sub> : 0,5	NMHK :0,155 CO: 2,11 NO <sub>x</sub> : 0,25 PM: 0,05	HC:0,25	HC:1,7
			CO: 2,1 NO <sub>x</sub> : 0,25	CO: 14,7 NO <sub>x</sub> : 1,1
Dizel	CO: 1 HC+NO <sub>x</sub> : 0,7 PM: 0,08		Sıcak Kalkış CO: 0,4 NO <sub>x</sub> : 2,1 PM: 0,08	

Tablo 3.2. Araç Tiplerine Göre Emisyon Faktörleri (g/km) (Kılıç ve Gemci 1999, Odabaşı 1993, Tırıs ve ark. 1993).

	CO	NO <sub>x</sub>	PM
Otomobil (Benzinli)	12-70	1,74-4,5	-
Minibüs	0,6-1	0,7-1,25	0,16-0,2
Otobüs	4,2-6	6-14,40	0,9-1,67

Tablo 3.3. Yakıt Türlerine Göre Kirletici Konsantrasyon Yüzdeleri (Gebizlioğlu 1993).

Yakıt	SO <sub>2</sub>	PM	CO	NO <sub>x</sub>	HK	HCHO
Kömür	20,85	87,00	7,78	5,16	11,32	0,12
Fuel-oil	78,06	4,50	0,35	36,70	4,92	49,59
Benzin	0,25	1,11	90,15	9,09	56,10	18,91
Motorin	0,82	7,37	1,70	49,03	27,64	34,35

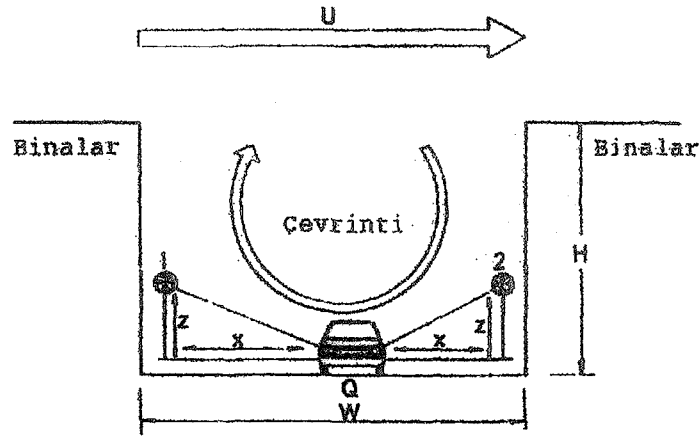
Tablo 3.4. Türkiye İçin Hesaplanan 1995 Yılına Ait Trafik Kökenli Kirletici Miktarları (Elbir ve ark. 2000).

Kirletici	Miktar (mg/yıl)
PM	20.521
SO <sub>x</sub>	-
NO <sub>x</sub>	240.619
CO	1.350.260

### 3.5. Cadde Kanyon Modeli

Taşıtlardan kaynaklanan kirletici konsantrasyonları (THK, PM, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) cadde kanyon modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Cadde kanyonları, iki yanında yüksek ve bitişik nizamda binaların bulunduğu yollardır. "Stanford Research Institute" tarafından geliştirilen cadde kanyon modeli EPA tarafından da hava kalitesinin belirlenmesi aşamasında tahminsel olarak kullanılmaktadır (Hanna ve ark. 1982, Odabaşı 1993). Cadde kanyonunun şematik bir gösterimi Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Cadde Kanyonun Şematik Gösterimi

Bu modele göre rüzgar yola dik estiğinde kanyonun içerisinde çevrinti oluşmakta ve (1) noktasında yüksek konsantrasyonlar, (2) noktasında nispeten düşük konsantrasyonlar oluşmaktadır. Rüzgar yönünün yola paralel olması durumunda ise (rüzgar yönü ile yol arasındaki açı  $30^0$ 'den küçük) (1) ve (2) noktalarında oluşan konsantrasyonlar birbirine eşit olmaktadır (Hanna ve ark. 1982).

Herhangi bir caddede trafikten oluşan çizgisel kaynaklı toplam kirlilik konsantrasyonu  $C$  ile gösterilirse, 1. ve 2. bölgedeki yersel konsantrasyonlar ( $\Delta C_1$ ) ve ortalama arka plan konsantrasyonunun ( $C_a$ ) toplamı  $C$  değerini vermektedir.

$$C = C_a + \Delta C_1 \quad (1)$$

$$1. \text{ Bölge } \Delta C_{11} = \frac{K \cdot Q}{(u + 0,5) \cdot [(x^2 + z^2)^{1/2} + 2]} \quad (2)$$

$$2. \text{ Bölge } \Delta C_{12} = \frac{K \cdot Q \cdot (H - z)}{H \cdot w \cdot (u + 0,5)} \quad (3)$$

$$\Delta C_1 = \frac{1}{2} \cdot [\Delta C_{11} + \Delta C_{12}] \quad (4)$$

$\Delta C$  = Kirlenici konsantrasyonu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$Q$  = Çizgisel kaynak şiddeti ( $\mu\text{g}/\text{m}\cdot\text{s}$ )

$H$  = Çevre binaların yüksekliği (m)

$u$  = Çatı seviyesindeki rüzgar hızı (m/s)

$w$  = Cadde genişliği (m)

$x, z$  = Alıcı noktaların yatay ve dikey mesafeleri (m)

$K$  = Sabit (rüzgar caddeye paralel olduğunda, 7)

### 3.6. Çizgisel Kaynak Şiddetleri

Bu çalışmada Heykel semti (Atatürk Caddesi) çizgisel kaynak şiddeti, bu caddede Bursa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı (2002) tarafından yapılan saatlik araç sayımları ve uygun emisyon faktörleri kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla belirlenmiştir.

$$Q = \frac{1}{3,6} * \sum_{i=1}^n [EF_i * TV_i] \quad (5)$$

Q: Çizgisel Kaynak Şiddeti ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-s}$ )

EF<sub>i</sub>: i kategorisindeki taşıt için emisyon faktörü (g/km-araç)

TV<sub>i</sub>: i kategorisindeki taşıtların trafik hacmi (araç/saat)

Bu çalışmada otobüs ve binek otomobil olmak üzere iki taşıt kategorisi dikkate alınmıştır.

Yukarıda belirtilen model ve yapılan kabullerden hareketle oluşturulmuş cadde kanyonu modeli sonuçları ve toplam konsantrasyon (ölçülen) ile trafik kaynaklı (hesaplanan) konsantrasyon değerlerinden yola çıkarak hesaplanmış olan kaynaklarına göre kirlilik yüzdeleri belirlenmiştir.

Yapılan kabuller;

Ölçüm yapılan noktanın kaynağa olan yatay mesafesi (x)=5 m

Ölçüm yapılan noktanın kaynaktan yüksekliği (z)=2 m

Çevre binaların yüksekliği (H)= 10 m

Yol genişliği (w)= 15 m

Benzinli araç sayısı= 1500 adet/saat

Dizel yakıtlı araç sayısı= 400 adet/saat (BBB Ulaşım Daire Başkanlığı 2002).

Model ile bulunan sonuçlar ile ölçülen değerlerden emisyon faktörleri yardımıyla hesaplanan sonuçlar kendi aralarında karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

### 3.7. Meteoroloji Verileri

Bursa ilinde 1975 ile 2003 yılları arasında istatistiği tutulan meteoroloji verilerinin aylık ortalamaları Tablo 3.5.'de verilmiştir. Buna göre ortalama rüzgar hızları ~2 m/s iken, sıcaklıklar 5,5 ila 24,5 °C arasında değişkenlik göstermiştir.

Tablo 3.5. 1975-2003 Yılları Arası Aylık Meteorolojik Veri Ortalamaları (DMİ 2004)

Aylar	Ort. Rüzgar Hızı (m/s)	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Bağıl Nem (%)	Ort. Bulutluluk	En Hızlı Esen Rüzgar Yönü	En Hızlı Esen Rüzgar Hızı (m/s)
Ocak	2,3	5,5	71	6,0	S	29,9
Şubat	2,3	5,9	69	6,2	SW	25,2
Mart	2,2	8,3	69	5,8	S	29,2
Nisan	2,0	12,9	68	5,3	SSW	26,7
Mayıs	1,9	17,6	65	4,2	SW	22,9
Haziran	2,0	22,3	58	2,8	SW	18,0
Temmuz	2,2	24,5	57	2,0	NNE	16,3
Ağustos	2,1	24,1	60	2,1	NE	15,3
Eylül	1,7	20,1	65	2,7	W	18,0
Ekim	1,5	15,3	72	4,2	SW	23,7
Kasım	1,7	10,4	72	5,3	SSW	26,7
Aralık	2,2	7,2	71	6,1	SSW	30,7
<b>Yıllık</b>	<b>2,0</b>	<b>14,5</b>	<b>66</b>	<b>4,4</b>	<b>SSW*</b>	<b>30,7</b>

\*: Hakim rüzgar yönü

Bursa'da Büyükşehir Belediyesi tarafından Duaçınarı ve Heykel'de Mayıs 2001 ve Nisan 2003 yılları arasında ölçülmüş olan meteorolojik verilerin aylık ortalamaları sırasıyla Tablo 3.6. ve Tablo 3.7.'de özetlenmiştir.

Tablo 3.6. Duaçınarı Mayıs 2001-Nisan 2003 Dönemi Aylık Meteorolojik Veri Ortalamaları

Aylar	Rüzgar Yönü*	Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
Mayıs 01	S	1,54±0,84	21,14±4,41	53,86±13,73
Haziran 01	S	1,68±1,07	23,96±4,72	47,59±14,94
Temmuz 01	SSW	1,72±0,85	27,69±4,24	51,28±13,77
Ağustos 01	NE	1,68±0,80	26,50±3,99	56,29±14,18
Eylül 01	SE	1,31±0,91	22,77±4,73	56,96±17,01
Ekim 01	SSW	1,40±0,85	17,38±4,94	61,45±14,47
Kasım 01	SE	1,74±1,86	11,68±5,39	69,17±18,02
Aralık 01	ENE	2,63±3,16	5,66±4,56	79,96±14,23
Ocak 02	ESE	1,76±1,24	4,07±4,92	70,64±13,35
Şubat 02	SSE	1,49±1,50	10,97±4,15	59,45±16,83
Mart 02	SSE	1,52±1,02	11,55±5,48	66,24±18,63
Nisan 02	SW	1,32±0,61	12,00±3,83	74,91±17,10
Mayıs 02	SSW	1,45±0,79	18,82±4,43	59,24±17,26
Haziran 02	SSW	1,55±0,85	24,16±4,52	54,84±14,85
Temmuz 02	SSW	1,36±0,63	27,67±3,70	57,22±14,38
Ağustos 02	SW	1,39±0,69	25,74±3,96	57,97±13,57
Eylül 02	S	1,11±0,76	21,89±3,78	64,02±16,20
Ekim 02	SE	1,13±1,11	17,43±4,19	69,88±15,40
Kasım 02	ESE	1,23±0,96	13,43±4,23	65,58±15,73
Aralık 02	ENE	1,87±1,32	5,82±4,96	67,81±12,07
Ocak 03	SSE	2,41±2,71	9,81±4,41	71,57±16,25
Şubat 03	SE	3,29±4,55	8,42±4,44	65,69±17,50

\*: Hakim rüzgar yönü



Tablo 3.7. Heykel Mayıs 2001-Nisan 2003 Dönemi Aylık Meteorolojik Veri  
Ortalamaları

Aylar	Rüzgar Yönü*	Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
Mayıs 01	SSE	0,74±0,44	22,65±4,40	49,29±12,57
Haziran 01	S	0,79±0,51	25,09±4,69	43,15±12,35
Temmuz 01	ESE	0,83±0,47	28,47±4,20	47,33±11,87
Ağustos 01	SSE	0,87±0,49	27,01±3,94	52,38±12,16
Eylül 01	S	0,72±0,42	23,27±4,45	52,49±14,54
Ekim 01	SSE	0,76±0,47	17,69±4,57	56,89±11,87
Kasım 01	S	0,64±0,40	11,84±5,09	67,06±15,58
Aralık 01	SE	0,89±0,63	5,68±4,06	78,48±12,25
Ocak 02	S	0,74±0,46	4,50±4,79	69,43±11,19
Şubat 02	S	0,68±0,44	11,45±3,64	55,84±14,16
Mart 02	SSE	0,75±0,54	12,04±5,39	63,23±17,74
Nisan 02	ESE	0,62±0,38	12,69±3,90	70,22±16,43
Mayıs 02	SE	0,70±0,40	19,87±4,43	53,35±15,42
Haziran 02	ESE	0,82±0,52	25,20±4,47	49,67±12,98
Temmuz 02	SSE	0,68±0,36	28,58±3,77	51,76±12,41
Ağustos 02	S	0,73±0,41	26,37±3,95	53,80±11,35
Eylül 02	S	0,62±0,34	22,41±3,37	58,82±13,81
Ekim 02	S	0,63±0,35	17,98±3,77	64,05±12,74
Kasım 02	SSE	0,60±0,31	14,09±3,68	59,46±13,37
Aralık 02	E	0,77±0,46	6,10±4,85	65,90±10,68
Ocak 03	SSE	0,83±0,61	10,02±3,97	70,15±13,65
Şubat 03	ENE	0,84±0,51	3,65±3,73	74,02±11,81
Mart 03	SE	0,69±0,41	5,99±2,28	68,55±12,25
Nisan 03	S	0,80±0,55	11,35±4,86	65,63±18,91

\*: Hakim rüzgar yönü

Her ay için hakim rüzgar yönü belirlenirken, o ay içerisinde esen rüzgarların esme sayıları göz önünde bulundurulmuş ve en çok rüzgarın estiği yön hakim rüzgar yönü olarak kabul edilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Bursa atmosferindeki klasik hava kirleticilerin seviyeleri, trafikten kaynaklanan kirletici miktarları, mekana ve zamana bağlı değişimleri, meteorolojik parametrelerle ilişkileri ve birbirleri ile olan etkileşimleri incelenmiş ve karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

##### 4.1. Bursa'da Motorlu Taşıt Emisyonlarından Kaynaklanan Kirleticilerin Seviyeleri ve Hava Kalitesine Etkisinin İncelenmesi

Bursa'nın Heykel semtinde THK, PM, CO, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonları ölçülmüştür. Taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi kapsamında Mayıs 2002-Nisan 2003 dönemi göz önüne alınmıştır.

Heykel semtinde ölçülmüş olan klasik hava kirleticilerin 08:00-09:00 saatleri arasındaki konsantrasyon sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiştir. Bu saatlerdeki konsantrasyonlar ele alınmıştır, çünkü cadde kanyon modelinde kullanılması gereken bir bölgeden geçen araç sayımı, Bursa Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığı tarafından 2002 yılında 08:00-09:00 saatlerinde yapılmıştır.

Tablo 4.1. Heykel Semtinde Ölçülen Klasik Hava Kirleticiler (Anonim 2002)

Aylar	Ortalama Kirletici Konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					Rüzgar Hızı (m/s)
	THK	PM	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	
Mayıs 2002	1995,9	67,2	612,7	42,3	91,4	0,65
Haziran 2002	1942,3	55,9	455,4	38,1	74,8	0,66
Temmuz 2002	2038,1	61,0	519,4	38,1	69,9	0,58
Ağustos 2002	2097,2	73,3	602,8	42,9	83,9	0,64
Eylül 2002	2528,0	87,2	829,2	19,6	141,2	0,61
Ekim 2002	2701,5	76,8	986,7	8,5	174,7	0,59
Kasım 2002	2435,9	117,0	2146,0	65,2	156,2	0,58
Aralık 2002	2767,2	109,6	2091,4	136,8	132,4	0,74
Ocak 2003	2373,5	86,7	1741,6	61,4	123,0	0,77
Şubat 2003	2145,8	59,1	1000,6	VY	71,3	0,82
Mart 2003	2587,8	151,3	2527,9	VY	151,5	0,61
Nisan 2003	VY	90,4	1346,3	VY	VY	0,73

VY: Veri yok

Bu çalışmada sonuçların değerlendirilmesi iki bölümde ele alınmıştır. Birinci bölümde; cadde kanyon modeli ile bulunan konsantrasyon sonuçları Tablo 4.2.'de verilen "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY)" standart değerleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde ise; model ile bulunan trafik kaynaklı konsantrasyonlar ile Heykel'de ölçülen toplam konsantrasyonlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.2. HKKY Standart Değerleri (Anonim 1986)

Kirletici	Uzun vadeli sınır değer (UVS) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Kısa vadeli sınır değer (KVS) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO <sub>2</sub> (Genel)	150	400 (900)
PM (Genel)	150	300
NO <sub>x</sub>	100	300
CO	10000	30000
HK	-	140 (280)

Bursa'nın Heykel semtinde ölçülen kirletici konsantrasyonları HKKY KVS değerleri ile karşılaştırıldıklarında görülmektedir ki, tüm aylarda THK konsantrasyonları standartları aşarken, diğer kirleticilerin konsantrasyonları standartların altında kalmıştır.

Cadde kanyon modeli ile hesaplanan trafik kaynaklı dış hava konsantrasyonları yönetmelikte verilen KVS değerleri ile karşılaştırılarak sınır değerleri aşan konsantrasyonların yüzdeleri belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 4.3.'de özetlenmiştir.

Tablo 4.3. Heykel'de HKKY'nde Belirtilen Sınır Değerleri Aşan Konsantrasyonların Yüzdeleri

	SO <sub>2</sub>	PM	NO <sub>x</sub>	CO	THK
Mayıs 2002	0	0	100	0	100
Haziran 2002	0	0	100	0	100
Temmuz 2002	0	0	100	0	100
Ağustos 2002	0	0	100	0	100
Eylül 2002	0	0	100	0	100
Ekim 2002	0	0	100	0	100
Kasım 2002	0	0	100	0	100
Aralık 2002	0	0	100	0	100
Ocak 2003	0	0	86	0	100
Şubat 2003	0	0	93	0	100
Mart 2003	0	0	93	0	100
Nisan 2003	0	0	100	0	100

Tabloda görüldüğü gibi tüm aylar içinde günlük olarak hesaplanan trafik kaynaklı SO<sub>2</sub>, PM ve CO konsantrasyonlarının hiçbiri HKKY KVS değerlerini aşmamıştır. SO<sub>2</sub> konsantrasyonları sınır değerinin oldukça altında kalırken (1/20-1/25), PM konsantrasyonları 45-162 µg/m<sup>3</sup> aralığında ve 300 µg/m<sup>3</sup> sınır değerinin altında hesaplanmıştır. Modelden hesapla bulunan CO konsantrasyonları da 30000 µg/m<sup>3</sup> sınır değerinin altında ve sınır değerinin 1/7-1/25 seviyelerinde kalmıştır. Hesap yoluyla bulunan HK konsantrasyonlarının tamamı, NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarının ise çoğunluğu HKKY sınır değerlerini aşmıştır. Ocak, Şubat ve Mart aylarında günlük bazlarda hesaplanan NO<sub>x</sub> değerlerinin %86 ila %93'lük bir kısmı sınır değeri geçmiştir.

Cadde kanyon modeli ile hesaplanan trafik kaynaklı dış hava konsantrasyonlarının, Heykel'de ölçülen kaynakların tamamının etkili olduğu dış hava konsantrasyonları ile karşılaştırılarak konsantrasyonların yüzdeler payları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Heykel’de Trafik Kaynaklı Dış Hava Konsantrasyonlarının Toplam Konsantrasyon İçindeki Yüzdeler Dilimleri

	SO <sub>2</sub>	PM	NO <sub>x</sub>	CO	THK
Mayıs 2002	91	100	100	100	35
Haziran 2002	100	100	100	100	35
Temmuz 2002	100	100	100	100	36
Ağustos 2002	91	100	100	100	33
Eylül 2002	100	100	100	100	28
Ekim 2002	100	100	100	100	27
Kasım 2002	63	100	100	100	30
Aralık 2002	26	98	100	100	23
Ocak 2003	57	100	100	100	26
Şubat 2003	ÖY	100	100	100	28
Mart 2003	ÖY	80	100	100	28
Nisan 2003	ÖY	100	100	100	ÖY

ÖY: Ölçüm yapılmamıştır.

Model ile hesaplanan trafik kaynaklı aylık ortalamalar göz önüne alındığında, CO ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonları ölçülen konsantrasyonların tamamını (%100) teşkil etmektedir. Aynı şekilde PM miktarının da büyük bir kısmı dizel yakıtlı araçlardan kaynaklanmakta olup, bu miktar Aralık ayında toplam miktarın %98’i, Mart ayında %80’i, diğer aylarda ise tamamı olarak hesap edilmiştir. Bunda en büyük etki bölgedeki yerleşim yerlerinde yakıt olarak doğalgaz kullanılmasıdır. Doğalgazın yanması sonucu PM emisyonu atmosfere oldukça düşük seviyelerde verilmektedir. CO emisyonları da doğalgaz kullanılması nedeniyle düşük emisyon değerleri vermektedirler.

Heykel semtinde ölçülen toplam SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının araçlardan kaynaklanan kısmı incelendiğinde, bu değerlerin sıcak aylarda %100 seviyesine kadar artış gösterdiği, soğuk aylarda ise %26 seviyelerine kadar azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bunun en önemli sebebi soğuk aylarda ısınma amaçlı yakma sonucu atmosfere verilen SO<sub>2</sub> miktarının artış göstermesidir. Dolayısıyla ısınma kaynaklı SO<sub>2</sub>’nin toplam konsantrasyondaki payı artarken, trafik kaynaklı SO<sub>2</sub>’nin payı azalmıştır.

Heykel’de ölçülen THK konsantrasyonlarının araçlardan kaynaklanan kısmı incelendiğinde ise, yine hava sıcaklığının artmaya başladığı aylarda THK yüzdesi artarken, sıcaklığın düşmeye başladığı aylarda THK konsantrasyonu içinde araçların sebep olduğu miktarın yüzdesi azalmış ve bu yüzdeler 23-36 arasında değişmiştir. Ancak bu durumda dahi trafik kökenli THK miktarı çok bir değişme göstermemiştir. Bu

da belirli bir miktar THK'nın dış hava sıcaklığından bağımsız olarak atmosfere verildiği sonucunu doğurmaktadır. Bunun yanında soğuk aylarda ısınma amaçlı yakmalardan dolayı atmosferdeki THK emisyonu artış göstermiş ve trafik kökenli THK emisyonunun toplam konsantrasyondaki payı azalmıştır.

Heykel semtinde ısınma amaçlı yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Bunun yanında semtte yoğun bir araç trafiği mevcuttur. Heykel'de hava kirliliğini oluşturan temel kirleticiler antropojenik kaynaklıdır.

Endüstriyel kökenli emisyonların Heykel'deki hava kirliliğine katkısı ihmal edilebilecek seviyelerdedir (Taşdemir ve ark. 2002). Bursa çevresinde hava kirliliğine etkide bulunacak iki büyük sanayi bölgesi mevcuttur. Bursa Organize Sanayi Bölgesi (BOSB) ve Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB). BOSB, Bursa-Mudanya karayolu üzerinde Heykel semtinin de içinde bulunduğu şehir merkezinden yaklaşık 11-12 km mesafede ve Heykel'in kuzey-kuzey-batı (KKB) yönündedir. DOSAB ise, şehir merkezinden 9-10 km uzaklıkta ve Heykel'in kuzey-kuzey-doğu (KKD) yönündedir. Taşdemir ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada sanayi tesislerinden atmosfere yayılan ve yüksek konsantrasyona sahip olan SO<sub>2</sub> kirleticisi incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada BOSB'nden kaynaklanan SO<sub>2</sub> hakim rüzgar yönünün de etkisiyle Bursa-İzmir karayolu tarafına (şehir merkezinin batı istikameti) yayılım gösterdiği belirlenmiştir.

Bursa'nın hakim rüzgar yönünün Taşdemir ve ark. (2002) çalışmasında belirtildiği gibi doğu-kuzey-doğu (DKD) olması itibari ile DOSAB'dan kaynaklanan SO<sub>2</sub>'nin dağılımı büyük oranda batı-güney-batı (BGB) yönüne doğru gerçekleşmektedir. Bu kirleticinin dağılımı da şehir merkezi yönünde değildir. Dolayısıyla Heykel'deki hava kirliliğine endüstriyel kaynaklı kirliliğin etkisi çok düşük seviyelerdedir.

Bu çalışmada Bursa'nın Heykel semtinde (Atatürk Caddesi) araç trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin boyutları belirlenmeye çalışılmış, sonuçlar HKKY ve aynı caddede ölçülmüş toplam hava kirleticisi yoğunlukları ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Buna göre Heykel'in şehrin en işlek caddesine sahip olması sebebiyle araç trafiğinden kaynaklanan atmosferik hava kirleticisi yoğunluklarının (özellikle NO<sub>x</sub>, CO, PM ve SO<sub>2</sub>) toplam kirlilikteki yüzdelerinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yüksek konsantrasyon seviyelerinin en önemli sebepleri, araç trafiğinin yoğun olması ile

birlikte bölgedeki yüksek binaların ve düşük rüzgar hızlarının kirleticilerin seyrelmesini engellemesidir.

Odabaşı (1993) tarafından İzmir’de trafiğin yoğun olduğu bazı karayolları yakınında yapılan çalışmada da motorlu taşıt emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğinin boyutu cadde kanyon modeli ile belirlenmeye çalışılmış ve sonuçlar motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin ciddi bir problem olduğunu göstermiştir. Odabaşı’nın (1993) çalışmasında da NO<sub>x</sub> konsantrasyonları HKKY sınır değerlerini oldukça sık aşmıştır.

Bu çalışmadaki hesaplamalarda, Avrupa ve ABD’de kullanılan emisyon faktörleri göz önüne alınmıştır. Türkiye’de hava kirliliğine sebep olan araçların büyük çoğunluğu yaşlı, bir kısmı da bakımı düzenli yapılmayan araçlardır. Model kullanılırken dikkate alınan emisyon faktörleri literatürde rastlanan en düşük değerler arasından seçilmiş olmasına rağmen trafik kökenli hava kirliliğinin yüksek boyutlarda olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak en doğru sonuçlara ulaşabilmek için ülkemizdeki araç emisyonlarını en doğru şekilde yansıtan emisyon faktörlerinin bulunması gereklidir.

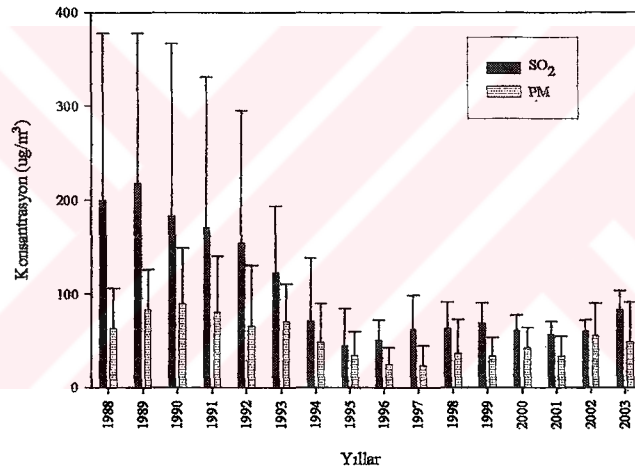
Çalışma ile bulunan sonuçları incelediğimizde, şehrin işlek caddelerinde araç trafiğinden kaynaklanan emisyonların kontrol altında tutulması gerektiği anlaşılmaktadır. Bunun için şehir içi ulaşımın ayrıntılı bir şekilde planlanması, toplu taşıma alternatiflerinin artırılması ve bu araçların periyodik bakımlarının aksatılmadan yaptırılması ve tüm araçlarda az emisyon oluşturan gelişmiş yakıtların kullanımının özendirilmesi gerekmektedir.

#### **4.2. Bursa’da Ölçülen Kükürt Dioksit (SO<sub>2</sub>) ve Partikül Madde (PM) Seviyelerinin Zamana Bağlı Değişimi**

Bursa’da 1992 yılında doğalgaz kullanımına geçilmiş ve her yıl kademeli olarak bu oran artmıştır (Taşdemir 2001, Akkurt 2000). 1992 yılına kadar ısınma amaçlı kullanılan kömürler yüksek kükürt içeriklerinden dolayı atmosferdeki SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının kış aylarında HKKY sınır değerlerini aşmasına sebebiyet vermiştir. Nispeten yüksek kül ve kükürt içeriğine sahip yerli kömür kullanımının hava kalitesine olumsuz etkisi yüksek seviyelerde olmaktadır. 15 Ocak 1998 tarihinde “Mahalli Çevre Kurulu (MÇK)” tarafından çıkarılan bir kararla Bursa’da kömür olarak

yalnızca ithal kömür kullanılması kararlaştırılmıştır. 1998 yılında ithal kömür yaklaşık 220.000 ton kullanılırken, bu kullanım miktarı Bursa'da doğalgaz kullanımının da yaygınlaşması ile birlikte 2003 yılında 160.000 ton olacak şekilde kademeli olarak azalma kaydetmiştir.

Doğalgazın geçtiği güzergahlarda sadece doğalgaz kullanılması MÇK tarafından zorunlu hale getirilmiştir (BBB 1998). Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi özellikle SO<sub>2</sub> ve PM kirlenmelerinin 1994'ten sonraki seviyeleri makul mertebelere inmiştir. Doğalgaz kullanımına geçilmesinden sonraki ilk yıl (1993) kullanımın yeterince yaygınlaşmamasına rağmen SO<sub>2</sub> konsantrasyonunda %20'lik bir iyileşme gözlenmiştir. En yüksek ortalama yıllık SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 1989 yılında ~210 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuş, daha sonra azalma eğilimine giren konsantrasyon 1995 yılında ~50 µg/m<sup>3</sup> ile en düşük değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.1. SO<sub>2</sub> ve PM Kirlenmelerinin Yıllara Bağlı Değişimi

PM konsantrasyonları da 1992 yılından itibaren bir azalma eğilimi göstermiştir. 1988-2003 periyodundaki ortalama yıllık maksimum PM konsantrasyonu 90,2 µg/m<sup>3</sup> ile 1990 yılında görülürken, 1997 yılında 23,5 µg/m<sup>3</sup> ile minimum ortalama yıllık PM konsantrasyon değerini almıştır. Özellikle 1994'ten sonraki yıllarda görülen düşük SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarının en önemli sebebi; evsel ısınma amacıyla kullanılan yakıtların iyileştirilmesidir. Bu bağlamda doğalgaz kullanımının yanında ithal kömür kullanımının da yaygınlaştırılması SO<sub>2</sub> ve PM kirliliğinin azaltılmasında etkili olmuştur. HKKY'nde SO<sub>2</sub> ve PM UVS (Uzun Vadeli Sınır Değer) değerleri 150 µg/m<sup>3</sup>'tür. Bu standart değerler dikkate alındığında, Bursa'da evsel ısınma için kullanılan yakıtların



iyileştirilmesi sonucunda PM ve SO<sub>2</sub> yıllık ortalama konsantrasyonlarının, standartların altında kaldığı tesbit edilmiştir. Ancak ölçülen değerler yine de yüksektir.

Tablo 4.5.'de bazı dış kaynaklarda verilmiş olan PM ve SO<sub>2</sub> yıllık ortalama standart değerleri yer almaktadır.

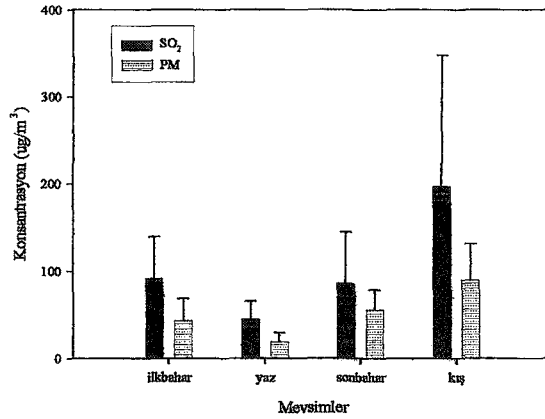
Tablo 4.5. Dünya SO<sub>2</sub> ve PM Sınır Değerleri (WHO 2003, Finlayson 1986)

Kirletici Türü	Ülke	Konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
SO <sub>2</sub>	WHO	50
	EPA	80
	NAAQS	80
PM	WHO	40-60
	EPA	50
	Kanada	70
	İsveç	75
	NAAQS	75

NAAQS: National Ambient Air Quality Standards (Ulusal Dış Hava Kalitesi Standartları, ABD)  
 WHO: World Health Organization (Dünya Sağlık Teşkilatı)  
 EPA: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Acentesi, ABD)

Tablo 4.5.'de verilen sınır değerler, HKKY sınır değerlerinden daha küçüktür. Bursa'da ölçülen yıllık konsantrasyon ortalamaları bu değerlerle karşılaştırıldığında SO<sub>2</sub> değerlerinin tüm sınır değerlerini aştığı görülmektedir. PM konsantrasyonları da 1994 yılından itibaren EPA ve WHO sınır değerlerinin ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) altında kalmıştır.

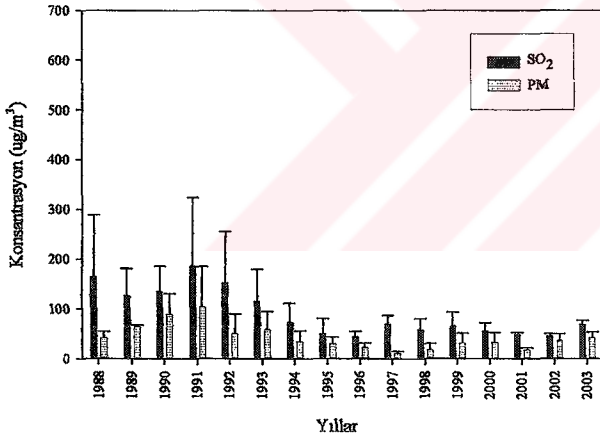
Bursa'da 1988-2003 yılları arasında ölçülen ortalama yıllık SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarından yola çıkarak hesaplanan mevsimlik emisyon değerleri Şekil 4.2' de verilmiştir.



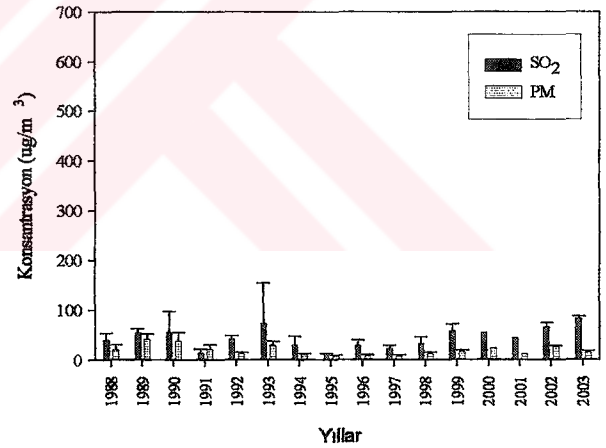
Şekil 4.2. 1988-2003 Periyodundaki Mevsimsel SO<sub>2</sub> ve PM Ortalama Değerleri

SO<sub>2</sub> kirleticisinin 1988-2003 yılları arasındaki kış ayları konsantrasyonlarının ortalaması ( $197,2 \pm 150,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) yaz ayları ortalamasının ( $44,5 \pm 20,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) yaklaşık 5 katıdır. Aynı şekilde, PM kirleticisinin bu zaman aralığındaki kış ayları konsantrasyon ortalaması ( $90,6 \pm 40,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) yaz ayları ortalamasının ( $18,9 \pm 10,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) yaklaşık 5 katıdır. Bu sonuçlar, Bursa'da gözlenen SO<sub>2</sub> ve PM kirliliklerinin büyük oranda ısınma amaçlı yakmalardan kaynaklandığını göstermektedir. SO<sub>2</sub> ve PM kirletici konsantrasyonlarının ilkbahar ve sonbahar ayları ortalamaları ise birbirlerine yakın ve yaz mevsimi ortalamasından büyüktür.

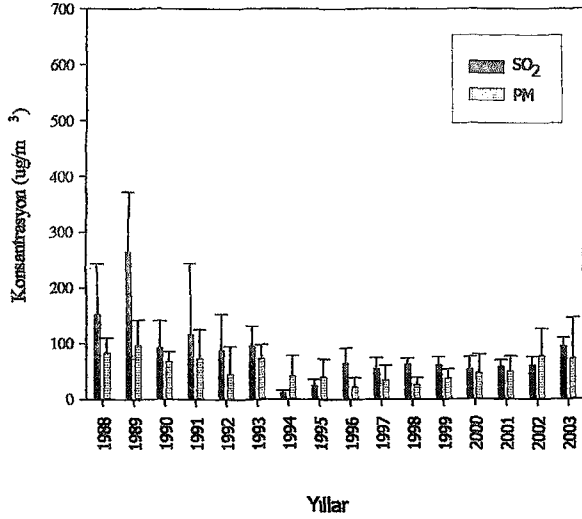
SO<sub>2</sub> kirleticisinin 1988-2003 yılları arasında ilkbahar mevsimindeki konsantrasyonlarının yıllara bağlı değişimi incelendiğinde konsantrasyonların 45-187  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM konsantrasyonlarının da 11-103  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değiştiği gözlenmektedir (Şekil 4.3.). Her iki kirletici de 1991 yılına kadar yüksek ve sonrasında düşük seviyelerde seyretmiştir. Yıllık değişimlerde açıklandığı gibi bu azalmanın en önemli sebebi, Bursa'da 1992 yılında doğalgaz kullanımına geçilmesidir.



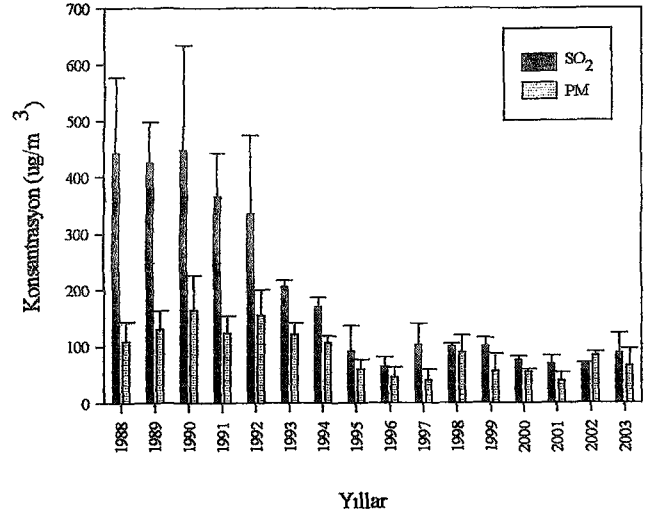
Şekil 4.3. SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının İlkbahar Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi



Şekil 4.4. SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Yaz Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi



Şekil 4.5. SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Sonbahar Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi



Şekil 4.6. SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Kış Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi

Yaz mevsimlerinde gerek SO<sub>2</sub> gerekse PM konsantrasyonları oldukça düşük seviyelerdedir (Şekil 4.4.). Yıllar içerisinde en yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 1993 yılında  $83,33 \pm 4,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunmuştur. Standart sapmasının yüksek olması, yıl içinde de konsantrasyonda ani değişimlerin olduğunu göstermektedir. SO<sub>2</sub>'de olduğu gibi PM konsantrasyonu da yıllara bağlı olarak değişken bir grafik izlemektedir ( $7-42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

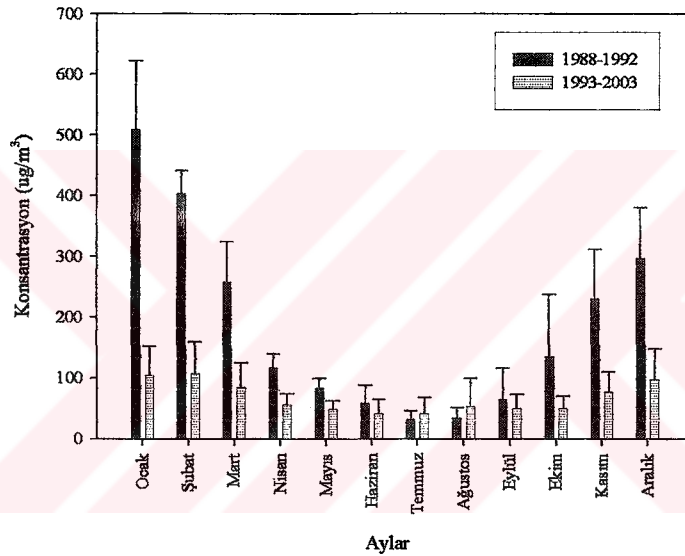
1988-2003 yılları arasındaki sonbahar mevsimlerinin ortalama yıllık SO<sub>2</sub> konsantrasyonları  $12-266 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerleri arasında değişmektedir (Şekil 4.5). 1989 yılında SO<sub>2</sub> konsantrasyonu en yüksek değerini alırken, 1994 yılında en düşük değerini almıştır. Sonbahar mevsimi ısınma amaçlı yakıtların kullanılmaya başlandığı mevsimdir. Bu nedenle yaz mevsimine göre daha yüksek konsantrasyon değerleri gözlenmektedir. Benzer şekilde 1988-2003 yılları arasında ölçülen ortalama yıllık PM konsantrasyonları ise  $23$  ila  $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerleri arasında bulunmuştur.

Bursa atmosferinde 1988-2003 yılları arasında kış mevsimlerinde ölçülen ortalama SO<sub>2</sub> ve PM kirlenici konsantrasyonlarının değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Mevsimler arasındaki konsantrasyon farklarının daha iyi görülebilmesi için y-eksenleri (Konsantrasyon) sabit tutulmuştur.

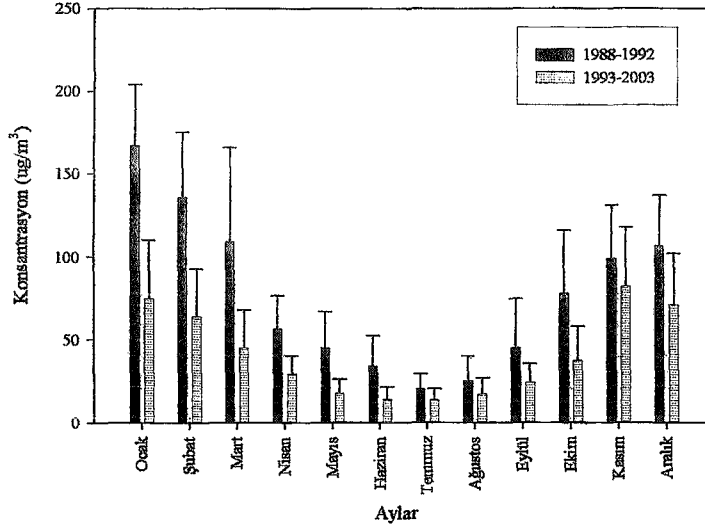
Kış mevsimi ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonları  $448 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1990) ile  $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1996) arasında değişmiştir. Doğalgazın yaygın olarak kullanılmaya başlandığı yıllara kadar kış mevsiminde genelde yüksek konsantrasyonlar görülmüştür. Aynı periyotta ortalama PM konsantrasyonları da  $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1990) ila  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2001) arasında

salınım göstermiştir. HKKY’nde kış sezonu ortalama  $\text{SO}_2$  sınır değeri  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kış sezonu ortalama PM sınır değeri ise  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak verilmiştir. 1988-2003 yılları arası kış mevsimi ortalama konsantrasyonları HKKY sınır değerleri ile karşılaştırıldığında PM değerleri sınırı aşmazken;  $\text{SO}_2$ , 1992 yılına kadar HKKY sınırının üzerinde seyretmiş, sonrasında doğalgaz kullanımı ile birlikte % 85'lere varan oranlarda konsantrasyonda iyileşmeler gözlenmiştir.

Bursa’da doğalgaz kullanımından önceki yıllar (1988-1992) ve doğalgaz kullanımından sonraki yıllar (1993-2003) arasında ölçülen ortalama aylık  $\text{SO}_2$  ve PM konsantrasyon değerlerinin değişimi Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.’de verilmiştir.



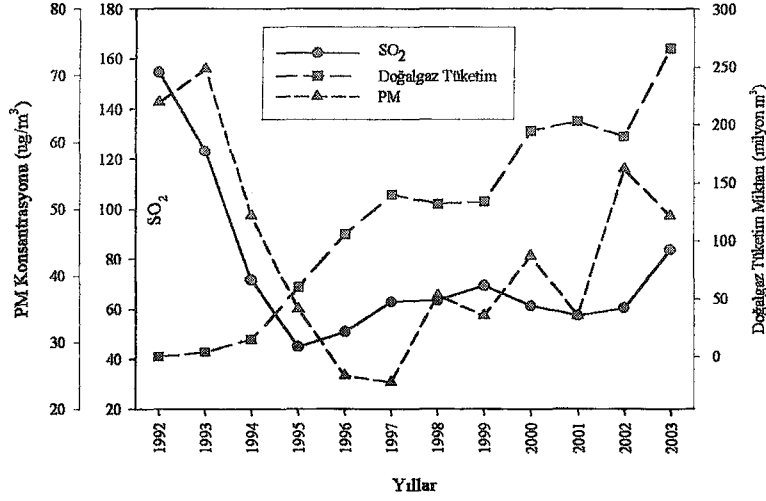
Şekil 4.7. 1988-2003 Yılları Arasındaki Ortalama Aylık  $\text{SO}_2$  Konsantrasyonlarının Değişimi



Şekil 4.8. 1988-2003 Yılları Arasındaki Ortalama Aylık PM Konsantrasyonlarının Değişimi

Ocak 1988 – Aralık 1992 periyodu arasındaki aylık ortalama  $SO_2$  konsantrasyonları dikkate alındığında, en düşük ve en yüksek aylık ortalamaların sırasıyla Temmuz ( $31,6 \pm 13,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve Ocak ( $509,4 \pm 113,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), PM konsantrasyonları arasında da en düşük ve en yüksek aylık ortalamaların sırasıyla Temmuz ( $20,4 \pm 9,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve Ocak ( $166,8 \pm 37,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aylarında ölçüldüğü görülmektedir. HKKY’nde kış sezonu için verilen  $SO_2$  UVS değeri ( $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1988-1992 periyodunda tüm kış sezonu boyunca aşılrken, kış sezonu PM UVS değeri ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hiçbir ayda aşılmamıştır. 1992-2003 periyodunda Bursa’da doğalgaz kullanımının başlaması ve giderek yaygınlaşması ile  $SO_2$  konsantrasyonları da HKKY standartlarının altına inmiştir.

Bursa’da yerleşim bölgelerinde 1992-2003 yılları arasında kullanılan doğalgaz miktarı ile PM ve  $SO_2$  konsantrasyonları ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.9.’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Doğalgaz Tüketimi İle PM ve SO<sub>2</sub> Konsantrasyonları Arasındaki Değişim

Doğalgazın kullanılmaya başlaması ile birlikte özellikle ilk yıllarda PM ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında büyük bir iyileşme ve sonraki yıllarda konsantrasyonlarda küçük oynamalar gözlenmiştir. Bursa'da 1992 yılında doğalgaz kullanımına geçilmesinin en belirgin etkisi SO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki azalma olmuştur. Taşdemir (2001) tarafından yapılan çalışmada, 1988-1992 yılları arasındaki maksimum aylık ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonu Ocak ayında  $509,4 \pm 113,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1993-1999 yılları arasındaki maksimum aylık ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonu ise Şubat ayında  $127 \pm 52,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

Doğalgaz kullanımının dış ortam konsantrasyonlarına etkisi çeşitli çalışmalarla vurgulanmıştır (Taşdemir 2001, Akkurt 2000, Atımtay ve Ergül 1999). Türkiye'nin en kirliliğinden birine sahip Ankara'da ısınma amacıyla doğalgaz kullanımı Ekim 1988'de başlamıştır. 1981-1982 kışında Ocak ve Şubat aylarının SO<sub>2</sub> konsantrasyon ortalamaları sırasıyla  $675$  ve  $460 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e erişmiştir (Atımtay ve Ergül 1999). PM için de 1980 yılının Ocak ve Şubat aylarındaki aylık ortalamalar  $180$  ve  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olmuştur. Bu değerlerin tümü HKKY UVS değerinin ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) üzerindedir. Ankara'da 1988 yılının kışında doğalgaz kullanılmaya başlanmasından sonra SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonunda yoğun bir iyileşme gözlenmiştir. 1988 yılındaki yıllık ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonu  $234 \mu\text{g}/\text{m}^3$  iken 1996 yılında bu değer %82 azalarak  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olmuştur. 1988 yılındaki yıllık ortalama PM konsantrasyonu  $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$  iken 1996 yılında ~% 50 lik bir iyileşme sağlanarak  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olmuştur (Atımtay ve Ergül 1999).

Mevsimsel olarak SO<sub>2</sub> ve PM incelendiğinde, Bursa'daki SO<sub>2</sub> ve PM kirliliğinin kış aylarında yaz aylarındakine oranla daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu da, SO<sub>2</sub> ve PM'nin evsel ısınma ile dış havada arttığını göstermektedir. Bu sonuç, PM ile SO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında bir ilişkinin olacağına işaret etmektedir. PM ile SO<sub>2</sub> arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için 1988-2003 yılları arasında mevsimlere bağlı aylık ortalama SO<sub>2</sub> ve PM kirlenici konsantrasyonları göz önüne alınarak lineer regresyon modeli uygulanmıştır. Her bir mevsimlik çalışma için yaklaşık 48 adet konsantrasyon ortalaması kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo 4.6.'da özetlenmiştir.

Tablo 4.6. SO<sub>2</sub> ile PM Konsantrasyonları Arasındaki Regresyon Denklemleri ve r<sup>2</sup> Değerleri

Mevsimler	Denklem	r <sup>2</sup>
Yaz	SO <sub>2</sub> =1,258PM + 20,197	0,254
Sonbahar	SO <sub>2</sub> =1,198PM + 18,206	0,384
Kış	SO <sub>2</sub> =2,866PM - 62,333	0,685
İlkbahar	SO <sub>2</sub> =1,606PM + 22,374	0,654

Yaz ve sonbahar mevsimlerinde hesaplanan r<sup>2</sup> değerleri, kış ve ilkbahar mevsimlerindeki oranla daha düşüktür. Kış mevsimindeki yüksek r<sup>2</sup> ve yazın düşük r<sup>2</sup> değerleri SO<sub>2</sub> ve PM arasındaki ilişkinin evsel ısınma ile yakından alakalı olduğunu göstermektedir.

Bazı illerdeki 2000-2001 kış sezonunda (Ekim-Mart) ölçülen ortalama SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyon değerleri Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Bazı İllerdeki PM ve SO<sub>2</sub> Konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>) (DİE 2004)

İl	Kükürt Dioksit	Partikül Madde
Afyon	118	111
Ağrı	173	102
Ankara	55	82
Antalya	61	84
Kütahya	254	160
Balıkesir	67	41
Afyon	118	111
Erzurum	160	105
Çanakkale	89	22
Çankırı	40	74
Çorum	118	119
Denizli	137	108
Trabzon	53	55
Uşak	138	50

Tablo 4.7.'de verilmiş olan konsantrasyon sonuçlarına ait ölçümler Devlet İstatistik Enstitüsü'nden (DİE) temin edilmiştir. 2000-2001 yılları göz önüne alındığında 49 il için bulunan ortalama kış sezonu PM konsantrasyonu  $63,82 \pm 35,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonu da  $86,76 \pm 45,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Bursa'nın aynı zaman periyodunda ölçülmüş verilerden bulunan ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyon değeri  $67,17 \pm 15,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ortalama PM konsantrasyon değeri  $43,33 \pm 23,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Bursa için bulunan değerler, Türkiye genelinde ölçülen değerlerin ortalamasının altındadır. Ölçülen konsantrasyon sonuçları, o illerde kullanılan yakıtlarla yakından ilişkilidir. Bunun dışında konsantrasyonlar, ölçüm alınan noktaların o bölgeyi ne derece temsil ettiğine, meteorolojik şartlara, kullanılan yakıtlara, topoğrafyaya vb. bir çok parametreye bağlı olarak değişebilmektedir (Taşdemir 2001). HKKY'nde verilmiş olan kış sezonu ortalama SO<sub>2</sub> ve PM sınır değerleri (sırasıyla 250 ve 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ile Türkiye genelinde ölçülen değerler karşılaştırıldığında sadece Kütahya'da SO<sub>2</sub> değeri standartı aşmıştır.

Bursa'da SO<sub>2</sub> ve PM'den kaynaklanan hava kirliliği özellikle kış aylarında artış göstermektedir. SO<sub>2</sub> ve PM kirliticilerinin 1988-2003 yılları arasındaki kış ayları konsantrasyonlarının ortalaması yaz ayları ortalamasının yaklaşık 5 katıdır.



Bursa'da 1992 yılında kömür kullanılan bazı semtlerde doğalgaz kullanımına geçilmesi ve 1993 yılında yaygınlaşmaya başlaması ve diğer semtlerde ithal kömür kullanılmaya başlanması SO<sub>2</sub> ve PM kaynaklı kirliliğin azaltılmasında etkili olmuştur.

SO<sub>2</sub>'den kaynaklanan hava kirliliği, ısınma sezonunu kapsayan Kasım-Mart döneminde özellikle bina ısıtımında kullanılan kükürt yüzdesi yüksek ve kalorifik değeri düşük kömür ve kükürt yüzdesi yüksek fuel-oil kullanımından kaynaklanmaktadır. Hava kalitesinin SO<sub>2</sub> ve PM açısından standartlarda öngörülen seviyeye getirilmesi için yerleşim bölgeleri ve sanayi tesislerinde düşük kükürtlü yakıtların (< % 1) ve partikül madde emisyonu düşük olan kaliteli yakıtların kullanılması ve de özellikle doğalgaz kullanımının tüm bölgelerde yaygınlaştırılması gerekmektedir. Doğalgazda SO<sub>2</sub> ve PM emisyonlarının ihmal edilebilecek kadar düşük olması sebebiyle mevcut şebekenin tam kapasite ile kullanılması, yakıt kullanımından ortaya çıkan ve SO<sub>2</sub> ve PM'den ileri gelen hava kirliliğini önemli ölçüde azaltacaktır. Doğalgazın ulaşamadığı bölgelerde ise kalorifik değeri yüksek, PM emisyonu ve kükürt içeriği düşük kömür ve fuel-oil kullanımına öncelik verilmelidir.

SO<sub>2</sub> ve PM kirliliğinin hava kalitesine olumsuz etkisinin kontrolünde alınması gereken diğer tedbirler şunlardır:

- Kalorifer ateşçileri eğitilmeli,
- Yeni yapılan binalarda proje ve iskan ruhsatı aşamasında ısı yalıtımı zorunluluğu getirilmeli,
- Motorlu taşıtlarda egzoz emisyonlarının denetimi yapılmalı,
- Toplu taşımacılığa önem verilmeli,

Şehir içinde bina yıkımı ve yapımı kontrol edilerek hava sirkülasyonunu etkileyecek yüksek binaların yapımına izin verilmemelidir (Tayanç ve ark. 1996).

#### **4.3. Bursa'da Ölçülen Kükürt Dioksit (SO<sub>2</sub>) ve Partikül Madde (PM) Seviyelerinin Mekana Bağlı Değişimi**

Bursa İl Sağlık Müdürlüğü'ne ait 7 adet ölçüm istasyonunda (Çekirge, Karaman, Küçük Balıklı, Eğitim, Arabayatağı, Garaj ve Tophane ölçüm istasyonları) günlük olarak SO<sub>2</sub> ve PM kirliticilerinin konsantrasyonları rutin olarak ölçülmektedir. Tablo 4.8.'de Mayıs 2001-Aralık 2003 döneminde tüm semtlerde ölçümlerin aynı anda

gerçekleştiği aylar dikkate alınmıştır. Tabloda yer almayan aylarda cihazlardan en az birinin bozuk olması ve o bölgeden örnek alınamaması söz konusudur.

Tablo 4.8.'de verilen tüm semtlerdeki kirletici konsantrasyonlarını değerlendirmek amacıyla aylık konsantrasyonların ortalamaları hesaplanmıştır. Ölçüm periyodunda en yüksek ortalama SO<sub>2</sub> değeri (102,16 µg/m<sup>3</sup>) Arabayatağı'nda, en düşük ortalama SO<sub>2</sub> değeri (61,15 µg/m<sup>3</sup>) ise Karaman'da ölçülmüştür. Yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının görüldüğü Arabayatağı ölçüm istasyonu Bursa-Ankara karayoluna yakın mesafede bulunduğundan dizel yakıt kullanan araçlardan yayılan egzoz gazları nispeten yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun oluşmasına sebep olmuştur. Ayrıca bu bölge meskun mahal olup ısınma amaçlı katı yakıtlar (Kömür) yaygın olarak kullanıldığından SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında artışlar söz konusu olabilmektedir. Öte yandan Karaman ölçüm istasyonu trafiğin yoğun olduğu Bursa-İzmir karayoluna 1-2 km mesafededir. Bu büyük bir mesafeyi ifade etmese de, Arabayatağı'na göre ana artere daha uzaktır. Ayrıca Karaman'da doğalgaz kullanıldığı için atmosfere yayılan SO<sub>2</sub> miktarında düşük değerler tespit edilmesi olasıdır. Bununla beraber, Karaman düz bir arazide kurulmuş ve nispeten yüksek mertebelerde rüzgarlara maruz kalmaktadır. Bu da dispersiyonun artmasına ve dolayısıyla konsantrasyonun azalmasına sebep olmaktadır.

Ölçümü yapılan semtlerde SO<sub>2</sub> seviyelerinin birbirleri ile olan ilişkilerini ortaya koymak için her bir semt çifti için T değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.8. Bursa İl Sağlık Müdürlüğü Ölçüm İstasyonlarında Ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)

Dönem	Çekirge		Karaman		Küçük Balıklı		Eğitim		Arabayatığı		Santral Garaj		Tophane	
	SO <sub>2</sub>	PM	SO <sub>2</sub>	PM	SO <sub>2</sub>	PM	SO <sub>2</sub>	PM	SO <sub>2</sub>	PM	SO <sub>2</sub>	PM	SO <sub>2</sub>	PM
Şubat 02	66,96	86,36	59,75	62,04	82,36	65,50	70,82	120,54	103,96	123,21	100,89	115,07	77,79	74,32
Mart 02	44,35	44,55	39,39	31,61	54,19	52,65	59,48	56,19	92,68	50,32	53,63	56,73	55,97	48,55
Nisan 02	30,93	29,40	33,20	29,20	41,17	45,67	57,83	54,00	92,67	38,80	39,55	46,66	37,38	35,34
Mayıs 02	31,16	21,45	37,45	16,48	49,65	28,40	68,29	37,13	118,81	18,78	40,74	27,42	37,87	23,06
Kasım 02	65,33	156,78	60,37	88,07	108,61	209,06	67,57	124,67	99,13	144,31	77,37	121,67	54,60	68,90
Aralık 02	65,23	59,23	52,58	42,61	79,19	83,90	45,84	65,42	59,13	68,90	66,55	67,32	56,03	66,26
Ocak 03	47,27	48,17	49,47	37,83	83,37	80,67	52,80	58,47	79,50	59,27	72,77	61,33	55,00	53,23
Şubat 03	45,96	21,93	38,64	17,21	73,29	44,71	49,00	31,68	71,00	32,80	65,82	31,86	49,71	30,46
Mart 03	46,90	31,23	39,90	24,45	81,13	48,90	46,68	46,03	64,87	48,13	81,52	51,00	73,26	45,87
Nisan 03	45,43	32,10	47,73	22,23	58,63	40,63	60,47	58,20	71,63	39,90	62,97	45,40	59,30	36,77
Mayıs 03	99,42	18,81	82,13	12,26	69,29	27,00	90,71	42,71	99,35	20,74	55,65	33,84	57,23	28,97
Haziran 03	88,83	8,43	93,57	8,93	71,83	11,33	94,77	26,90	113,33	12,67	79,00	20,67	56,57	17,67
Eylül 03	126,23	20,20	66,00	32,20	73,56	25,48	105,97	42,57	142,33	23,89	71,26	29,56	57,33	25,50
Ekim 03	85,23	21,19	83,71	21,90	73,94	34,94	107,26	45,26	121,19	25,55	72,55	27,74	63,26	25,68
Kasım 03	80,60	119,80	85,03	105,07	108,33	155,40	98,83	155,07	127,00	151,73	121,87	167,53	105,6	107,13
Aralık 03	111,53	74,35	109,47	84,65	161,29	113,06	121,65	119,65	177,94	120,41	135,59	123,82	127,47	76,47
Ortalama	67,59	49,62	61,15	39,80	79,36	66,71	74,87	67,78	102,16	61,21	74,86	64,23	64,02	47,76
Std. Sapma	28,68	41,17	23,23	29,41	28,40	52,73	24,59	39,15	31,20	46,92	26,06	43,80	23,23	24,91

Tablo 4.9. SO<sub>2</sub> Ölçümü Yapılan Semtler Arasında Hesapla Bulunan T Değerleri

Ölçüm İstasyonu	Karaman	Küçük Balıklı	Eğitim	Tophane	S. Garaj	Arabayatağı
Çekirge	0,698	1,167	0,772	0,386	0,750	3,264
Karaman	-	1,986	1,623	0,350	1,570	4,217
K.Balıklı	-	-	0,478	1,672	0,468	2,161
Eğitim	-	-	-	1,283	0,002	2,748
Tophane	-	-	-	-	1,241	3,922
Santral Garaj	-	-	-	-	-	2,687

T değerleri hesaplanırken, her semtte 2002 ve 2003 yıllarına ait ölçülmüş olan 16 adet aylık ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonu dikkate alınmıştır. Kritik bölgenin içinde ( $\alpha=0,05$ ) olunan durumlarda, her iki semtin ölçülen ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının birbirlerinden farklı olmadığı sonucu çıkarılabilir. Karaman, Küçük Balıklı, Eğitim, Tophane, Santral Garaj ve Çekirge semtlerinde ölçülmüş olan SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının birbirlerinden farklı olmadığı istatistiksel olarak kabul edilebilir çünkü bu değer tablodan okunan kritik değer altındadır ( $t_{30;0,975} = 2,042$ ). Tablo 4.9.'da dikkati çeken en önemli husus, Arabayatağı'nda ölçülen SO<sub>2</sub> değeri ile diğer tüm semtlerde ölçülen SO<sub>2</sub> kirletici değerlerinin birbirlerinden farklı olmasıdır. Tablo 4.8.'deki verilerden de anlaşılacağı üzere Arabayatağı'nda ölçülen ortalama değer aynı periyotta ölçülen diğer konsantrasyonlardan oldukça büyüktür. Diğer semtler arasında ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonu sırasıyla Tophane, Çekirge, Santral Garaj, Eğitim ve Küçük Balıklı semtlerinde giderek artış göstermiştir. Ortalama konsantrasyonların hesaplanmasında kullanılan veriler çoğunlukla ilkbahar, sonbahar ve kış aylarını temsil etmektedir. Bu nedenle ortalamalara ısınma amaçlı yakmaların etkisi büyüktür. Karaman, Tophane, Çekirge ve Santral Garaj'ın bir kısmında doğalgaz, diğer bölgelerde özellikle katı yakıtlar (Kömür) kullanılmaktadır. Bu sebeple Arabayatağı, Eğitim ve Küçük Balıklı'da SO<sub>2</sub> konsantrasyonları nispeten daha yüksektir. Arabayatağı'nda coğrafi yükseklik ( $z=140$  m) Karaman ve Küçük Balıklı'dan daha yüksek olmasına rağmen, bölgede kullanılan kalorifik değeri düşük, kirletici emisyon içeriği yüksek yakıtlar ve yoğun araç trafiğinden dolayı SO<sub>2</sub> konsantrasyon değerlerinin yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.

Santral Garaj meskun mahalden ziyade küçük işletmelerin bulunduğu bir semttir. Semt konum itibari ile şehir merkezinde ve çukurda yer almaktadır. Ayrıca

küçük ve büyük toplu taşıma araç trafiğinin yoğun olması, burada ölçülen SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının, Çekirge, Karaman ve Tophane gibi temiz yakıt kullanan ve araç trafik yoğunluğunun daha az olduğu bölgelere oranla daha yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Santral Garaj'daki düşük dispersiyon değerlerinin de konsantrasyonun artmasına etkisi vardır.

Tablo 4.8.'de verilen konsantrasyonlardan görüldüğü üzere ölçüm periyodunda en yüksek ortalama PM değeri Eğitim'de (67,78 µg/m<sup>3</sup>), en düşük ortalama PM değeri (39,8 µg/m<sup>3</sup>) de SO<sub>2</sub>'de olduğu gibi yine Karaman'da saptanmıştır. Küçük Balıklı, Santral Garaj ve Arabayatağı semtlerinde de Eğitim'e yakın değerler ölçülmüştür (Sırasıyla: 66,71, 64,23 ve 61,21 µg/m<sup>3</sup>). Yüksek PM konsantrasyonlarının görüldüğü bu semtlerden Arabayatağı ve Eğitim, Bursa-Ankara karayoluna yakın mesafede bulunmaktadır. Küçük Balıklı ve Santral Garaj da şehir içi trafiğinin yoğun olduğu bölgelerdendir. Buralarda araçlardan yayılan egzoz gazları ve aşınan lastiklerden yoğun miktarda PM açığa çıkmaktadır. Ayrıca bu bölgeler meskun mahaldir ve ısınma amaçlı olarak katı yakıtlar kullanılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ortalama PM konsantrasyonlarında artışlar söz konusu olmuştur. Karaman ölçüm istasyonu anayola yakın olmakla beraber, asıl trafiğin yoğun olduğu Bursa-İzmir karayoluna 1-2 km mesafededir. Ayrıca burada doğalgaz kullanımı yaygın olduğu için atmosfere yayılan PM miktarında düşük değerler beklenmektedir. Karaman'ın topoğrafik yapısı da dispersiyonun artmasını sağlamaktadır.

Bursa İl Sağlık Müdürlüğü tarafından 7 istasyonda ölçülen PM konsantrasyonlarının birbirleri ile olan ilişkilerini ortaya koymak için T değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.10.'da sunulmuştur.

Tablo 4.10. PM Ölçümü Yapılan Semtler Arasında Hesapla Bulunan T Değerleri

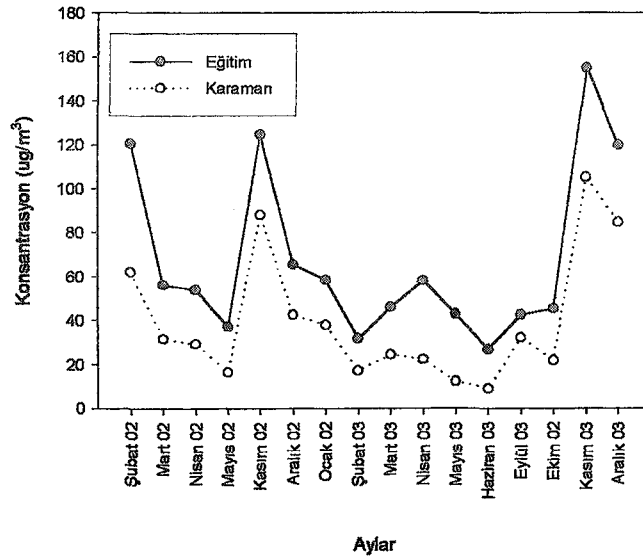
Ölçüm İstasyonu	Karaman	Küçük Balıklı	Eğitim	Arabayatağı	S.Garaj	Tophane
Çekirge	0,777	1,021	1,278	0,743	0,972	0,155
Karaman	-	1,783	2,286	1,547	1,852	0,827
Küçük Balıklı	-	-	0,065	0,311	0,145	1,299
Eğitim	-	-	-	0,430	0,242	1,726
Arabayatağı	-	-	-	-	0,188	1,013
Santral Garaj	-	-	-	-	-	1,307

T değerleri hesaplanırken, SO<sub>2</sub> değerlerinde olduğu gibi her semtte 2002 ve 2003 yıllarına ait ölçölmüş olan 16 adet aylık ortalama PM konsantrasyonu dikkate alınmıştır.

Tablo 4.10.'dan anlaşıldığı gibi, yalnızca Eğitim ve Karaman semtlerindeki PM konsantrasyonları arasında yapılan t-testi ile bulunan değer (2,286) istatistiki tablodan bulunan değerden, yani kritik bölge sınır değerinden (2,042) büyüktür. Yani bu iki değer, dolayısıyla iki bölge birbirlerinden farklı özelliktedir. Tablo 4.8.'deki periyotta tüm semtlerde ölçölen PM konsantrasyonları göz önüne alındığında zaten en düşük değere Karaman semtinde (39,80±29,41 µg/m<sup>3</sup>), en yüksek değere de Eğitim semtinde (67,78±39,15 µg/m<sup>3</sup>) rastlandığı görölmektedir. Tophane ve Çekirge semtlerinde ısınma amaçlı yakıt olarak doğalgaz kullanıldığı için PM konsantrasyonları düşük (47,76±24,91 ve 49,62±41,17 µg/m<sup>3</sup>), diğer semtlerde ise yüksektir. Buralarda kirletici yoğunluklarının sebepleri arasında bölgelerin coğrafik konumunun yanısıra, nüfus ve trafiğin yoğunluğu da sayılabilir.

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde (HKKY) SO<sub>2</sub> ve PM UVS (Uzun Vadeli Sınır Değer) değerleri 150 µg/m<sup>3</sup>'tür. Bu standart değerler dikkate alındığında, Bursa'da yerleşimin yoğun olarak bulunduğu İl Sağlık Müdürlüğü ölçüm istasyonları civarında evsel ısınma için kullanılan yakıtların iyileştirilmesi sonucunda PM ve SO<sub>2</sub> aylık ortalama konsantrasyonlarının, standartların altında kaldığı tespit edilmiştir (Anonim 1986). Ancak ölçölen değerler yine de yüksektir.

Eğitim ve Karaman semtlerinde ölçölen PM konsantrasyonlarının aylara bağlı değişimi Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Bazı Semtlerde Ölçülen PM Konsantrasyonlarının Değişimi

Şekil 4.10.'da Eğitim ve Karaman semtlerinde ölçülen PM konsantrasyonlarının paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak, Eğitim semtindeki aylık ortalama PM değerleri Karaman'a göre daha yüksektir. Eğitim bölgesi Uludağ'ın yamaçlarına daha yakındır. Semtin güneyinde Uludağ'ın sırtları yer aldığından kirleticiler nispeten sınırlı oranda dağılabilmektedir. Eğitim'deki ölçüm istasyonunun Bursa-Ankara karayolunun yakınında bulunması ve katı yakıt kullanımının fazla olması her iki semt konsantrasyonları arasındaki farkın başlıca sebepleridir. Tüm aylarda Eğitim'de ölçülen PM konsantrasyonları, Karaman'da ölçülen PM konsantrasyonlarından 1,5 ila 2 kat daha yüksek değerler almıştır. Eğitim semtinde en yüksek konsantrasyon değerleri kış aylarında, en düşük konsantrasyon değerleri de yaz aylarında ölçülmüştür.

Bursa Büyükşehir Belediyesi'ne ait ölçüm istasyonları (Heykel, Duaçınarı) ile yukarıda belirtilen Bursa İl Sağlık Müdürlüğü'nün 7 adet ölçüm istasyonunun birbirlerine mesafe olarak yakın olan gruplar belirlenmiş ve bu istasyonlarda ölçülen ortalama SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları Tablo 4.11. ve Tablo 4.12.'de verilirken, birbirleri ile olan ilişkilerini açıklamak amacıyla hesaplanan T değerleri Tablo 4.13.'de verilmiştir. Tablo 4.11. ve Tablo 4.12.'de Mayıs 2001-Nisan 2003 döneminde Heykel, Tophane, Duaçınarı, Eğitim ve Arabayatağı semtlerinde aynı aylarda yapılan ölçümler yer almaktadır.

Tablo 4.11. SO<sub>2</sub> Konsantrasyonunun Semtlere ve Aylara Bağlı Değişimi (µg/m<sup>3</sup>)

	Heykel	Tophane	Duaçınarı	Eğitim	Arabayatağı
Mayıs 01	17	38	38	69	60
Haziran 01	14	40	30	59	44
Eylül 01	17	41	41	101	38
Ekim 01	29	41	48	83	48
Kasım 01	39	55	48	88	84
Aralık 01	51	50	48	58	95
Ocak 02	95	83	71	55	108
Şubat 02	65	78	65	71	104
Mart 02	39	56	56	59	93
Nisan 02	25	37	53	58	93
Mayıs 02	20	38	39	68	119
Kasım 02	53	55	54	68	99
Aralık 02	71	56	47	46	59
Ocak 03	43	55	48	53	80
Ortalama	41 ± 24	52 ± 14	49 ± 11	67 ± 15	80 ± 26

Bu semtler arasında en yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonuna Arabayatağı'nda (80±26 µg/m<sup>3</sup>), en düşük SO<sub>2</sub> konsantrasyonuna da Heykel'de (41±24 µg/m<sup>3</sup>) rastlanmıştır.

Tablo 4.12. PM Konsantrasyonunun Semtlere ve Aylara Bağlı Değişimi (µg/m<sup>3</sup>)

	Heykel	Tophane	Duaçınarı	Eğitim	Arabayatağı
Mayıs 01	57	14	56	18	16
Haziran 01	50	12	56	16	12
Eylül 01	49	22	108	38	27
Ekim 01	65	40	94	50	56
Kasım 01	70	56	131	66	107
Şubat 02	105	74	168	121	123
Mart 02	78	49	135	56	50
Nisan 02	74	35	117	54	39
Mayıs 02	46	23	76	37	19
Kasım 02	85	69	181	125	144
Aralık 02	104	66	128	65	69
Ocak 03	76	53	110	58	59
Ortalama	71 ± 20	43 ± 22	113 ± 39	59 ± 34	60 ± 44

Bu semtler arasında en yüksek ortalama aylık PM konsantrasyonu Duaçınarı'nda (113±39 µg/m<sup>3</sup>), en düşük ortalama aylık PM konsantrasyonu Tophane'de (43±22 µg/m<sup>3</sup>) görülmüştür. Duaçınarı ölçüm istasyonu Bursa-Ankara karayolu üzerinde, şehrin



araç trafiğinin ve yerleşiminin yoğun olduğu bir bölgede yer almaktadır. Topoğrafya olarak Tophane Duaçınarı'na göre daha yüksek bir bölgede yer almaktadır. Tophane ölçüm istasyonunun bulunduğu bölge şehrin yoğun trafiğinden uzaktadır ve yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Bursa Büyükşehir Belediyesi ile Bursa İl Sağlık Müdürlüğü ölçüm bölgeleri incelendiğinde, bölgeler arasında mesafe, konum, sosyo-ekonomik yapı, topoğrafya, kullanılan yakıt türü ve yerleşim durumuna bağlı olarak birbirine benzer yerleşim grupları belirlenmiştir. Aralarında istatistiki açıdan bazı hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.13.'de verilmiştir.

Tablo 4.13. Birbirlerine Yakın Bölgelerde Ölçülen PM Konsantrasyonları Arasında Hesapla Bulunan T Değerleri

	Heykel Tophane	Duaçınarı Eğitim	Duaçınarı Arabayatağı	Eğitim Arabayatağı
SO <sub>2</sub>	1,406	3,608	4,176	1,671
PM	3,371	3,654	3,140	0,096

SO<sub>2</sub> konsantrasyonu için semt gruplarına bağlı olarak 14 konsantrasyon verisi kullanılmış ve t değeri ( $t_{26; 0,975}$ ) 2.056 olarak bulunmuştur. PM konsantrasyonu için ise 12 konsantrasyon verisi ele alınarak belirlenen t değeri ( $t_{22; 0,975}$ ) 2.074'tür.

Bu sonuçlara göre Duaçınarı-Eğitim ve Duaçınarı-Arabayatağı semtlerinde ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları ile Heykel-Tophane'de ölçülen PM konsantrasyonları birbirlerine benzer düşünülemezler. Buna karşılık Eğitim-Arabayatağı semtlerinde ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları ile Heykel-Tophane semtlerinde ölçülen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları birbirleri yerine kullanılabilirler.

Duaçınarı, Eğitim ve Arabayatağı semtleri Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi Ankara yolu üzerinde birbirlerine yakın mesafede yer almaktadırlar (max. uzaklık 2 km). Bu 3 istasyonu kapsayan bölgede ısınma amaçlı yakıt olarak katı yakıtlar kullanılmakta olup, ölçüm noktaları Bursa-Ankara Karayoluna yaklaşık olarak aynı mesafelerde bulunmaktadır. Bölgenin topoğrafyası olarak ölçüm noktaları arasında yükseklik farkı yüksek olmamakla beraber Duaçınarı istasyonu (157 m), Eğitim ve Arabayatağı istasyonlarına göre (140 m) daha yüksek bir bölgede bulunmaktadır. Bölgeler arasında hava akımını engelleyici bir engebe mevcut değildir. Bu sebeple meteorolojik

parametrelerin kirletici taşınımına etkisi ihmal edilebilir. Duaçınarı ölçüm istasyonu topoğrafik yüksekliği Eğitim ve Arabayatağı semtlerine göre 17 m fazla olduğu düşünülürse, Duaçınarı'nda ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarının, Eğitim ve Arabayatağı semtlerinde ölçülen değerlerle aynı olmadığı, Eğitim ve Arabayatağı semtlerinin de yukarıda sayılı sebeplerden dolayı birbirine benzer bölgeler olduğu varsayılarak bu iki bölgede ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarının birbirlerini temsil ettiği sonucuna varılabilir.

Heykel ve Duaçınarı istasyonlarında tam otomatik ölçüm cihazları mevcut olup, SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları anlık olarak ölçülür ve her 30 dakikada, bir ortalama konsantrasyon bilgisayar destekli sisteme gönderilmektedir. Diğer semtlerdeki (Eğitim, Arabayatağı, Tophane) ölçüm cihazları ise yarı otomatik olup, SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları örnekleme ve analiz esasına göre belirlenmektedir. Yani cihazlar arasındaki ölçüm metodları birbirinden farklıdır. Buna göre Tablo 4.13.'den hareketle Eğitim ve Arabayatağı istasyonlarında aynı cihazlar kullanıldığından bu iki semtin aynı özelliklere sahip, Duaçınarı-Eğitim ve Duaçınarı-Arabayatağı istasyonlarında farklı cihazlar kullanıldığından bu semtlerin farklı özelliklere sahip oldukları düşünülebilir.

#### **4.3.1. Birbirine Yakın Semt İstasyonlarında Ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Korelasyonu**

Korelasyon, iki veri aralığının birlikte hareket edip etmediğini belirlemek için yani, bir kümenin değerleri ile, diğer kümenin değerlerinin ilişkili olup olmadığını, belirlemek için kullanılabilir (Kleinbaum ve ark. 1988). Korelasyon katsayısı  $r$  ile gösterilir ve  $-1 < r < 1$  ve  $0 \leq r^2 \leq 1$  arasında değişir. Sıfıra yaklaşan korelasyon katsayısında iki veri ilişkisiz, bire yaklaşan korelasyon katsayısında ilişkilidir (Kleinbaum ve ark. 1988).

Bursa'nın çeşitli semtlerinden birbirlerine yakın olanları arasında, ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarının birbirleri ile ilişkisini incelemek amacıyla korelasyon katsayıları belirlenmiş ve lineer regresyon modelleri oluşturulmuştur. Tablo 4.14.'de birbirine yakın noktalarda ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarının regresyon denklemleri ve  $r^2$  değerleri verilmiştir.

Tablo 4.14. Çeşitli Semtlerin Regresyon Denklemleri ve  $r^2$  Değerleri

No	Ölçüm İstasyonları	Denklem	$r^2$
SO <sub>2</sub>	Heykel-Tophane	$y= 0,569x + 27,67$	0,8383
	Duaçınarı-Eğitim	$y=-0,878x + 111,60$	0,2396
	Duaçınarı-Arabayatağı	$y=1,283x + 17,61$	0,3317
	Eğitim-Arabayatağı	$y=-0,352x + 100,98$	0,0490
PM	Heykel-Tophane	$y=0,844x - 17,41$	0,8877
	Duaçınarı-Eğitim	$y=0,746x - 22,72$	0,8314
	Duaçınarı-Arabayatağı	$y=0,937x - 46,41$	0,7737
	Eğitim-Arabayatağı	$y=1,262x - 9,56$	0,7724

Yukarıdaki tablodaki denklemlerde;

$x$  değeri ilk noktadaki konsantrasyonu ifade eder ve  $x$  bağımsız değişkeninin katsayısı doğrunun eğimini verir. Sabit sayı ise doğrunun  $y$ -eksenini kestiği nokta olan 2. noktaki konsantrasyonu belirtir.  $r^2$  değerleri incelendiğinde düşük ve yüksek korelasyonlar olduğu tespit edilmiştir.

Yukarıdaki denklemlerde, Duaçınarı-Eğitim, Duaçınarı-Arabayatağı ve Eğitim-Arabayatağı semtlerinde ölçülen SO<sub>2</sub> konsantrasyon değerleri için bulunan regresyon denklemlerinin  $r^2$  değerleri nispeten düşüktür (0,049-0,3317). Bunun dışındaki semtlerde ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları ile elde edilen regresyon denklemleri daha yüksek  $r^2$  değerleri vermişlerdir (0,7724 -0,8877). Bu, regresyon denklemi ile bulunan değer ile gerçek değer arasındaki farkın birbirlerine daha yakın olacağını gösterir.

Duaçınarı, Eğitim ve Arabayatağı semtleri Bursa-Ankara karayolu istikametinde yer almakta ve ısınma amaçlı olarak katı yakıtlar (kömür) kullanılmaktadır. Heykel ve Tophane semtlerinde ise doğalgaz kullanılmakta olup bu semtler şehir merkezindedir. Yani Bursa geneli düşünüldüğünde farklı yakıtların kullanıldığı anlaşılmaktadır. Şehir içinde çoğunlukla doğalgaz kullanıldığı halde, doğalgazın geçtiği bölgelerde de kömür ve odun kullanılabilir. Bu bilgilere göre Tablo 4.14.'de eşleştirmesi yapılan semtlerin  $r^2$  değerlerinden, özellikle PM konsantrasyonları açısından Bursa atmosferinin yaklaşık homojenize olmuş ve hemen hemen her bölgede benzer emisyonların ölçüldüğü sonucuna varılabilir (Bkz. Tablo 4.8).

#### 4.3.2. Heykel ve Duaçınarı İstasyonlarında Görülen Kirlenici Konsantrasyonları

Heykel ve Duaçınarı semt istasyonlarında ölçülen ortak klasik hava kirleniciler THK, SO<sub>2</sub>, PM, CO, NO ve NO<sub>2</sub>'dir. Mayıs 2001-Nisan 2003 dönemi arasında ölçülen saatlik konsantrasyonlardan hesapla bulunan aylık ortalama değerler incelenmiş ve sonuçlar Tablo 4.15.'de verilmiştir.

Tablo 4.15. Heykel ve Duaçınarı'nda Ölçülen Ortalama Aylık Konsantrasyonlar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	Duaçınarı	Heykel
THK	1964,91±236,11	2031,87±385,72
SO <sub>2</sub>	41,40±13,97	32,03±23,46
PM	99,15±34,96	68,12±25,96
CO	1122,89±678,54	1073,98±700,82
NO	28,47±18,51	27,61±17,86
NO <sub>2</sub>	50,55±6,33	46,59±10,54

Heykel ve Duaçınarı'nda ölçülen THK konsantrasyonları birbirine yakın olmakla beraber Heykel'de bu değer biraz daha yüksektir. Buna sebep olarak Heykel semtinin şehrin en işlek caddelerinden birine sahip olması ve binek otomobil ile toplu taşıma araçlarının bölgede yoğun bir şekilde seyretmesi gösterilebilir.

SO<sub>2</sub> konsantrasyonu Duaçınarı'nda, Heykel'de ölçülen değere göre %23 oranında, PM konsantrasyonu da %31 daha yüksektir (41,4±13,97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Duaçınarı konum itibari ile daha alçak bir seviyede yer almaktadır. Bu bölgedeki istasyon Bursa-Ankara karayolu yakınında bulunmakta ve bölgede ısınma amaçlı olarak katı yakıtlar kullanılmaktadır. Heykel'de ise doğalgaz kullanımı mevcuttur. Bu nedenlerden dolayı Duaçınarı'nda SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları yüksek çıkmıştır. Ancak HKKY ile karşılaştırıldığında ölçülen değerler sınır değeri (UVS-150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aşmamaktadır.

CO konsantrasyonları incelendiğinde Duaçınarı değerlerinin Heykel'e oranla nispeten yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Doğal CO kaynakları toplam kaynakların yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır. Ancak Duaçınarı ve Heykel'de antropojenik kaynaklar etkilidir. Her iki bölgede de araç trafiği yoğun olduğundan CO değerleri oldukça birbirine yakındır. Ölçülen CO konsantrasyonları HKKY sınır değerinden (UVS-10000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) düşüktür.

Duaçınarı ve Heykel'de ölçülen NO ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonları birbirine çok yakındır. Doğal olarak meydana gelen NO<sub>x</sub>, antropojenik kaynakların yaklaşık 10 katıdır. Antropojenik kaynaklar da yanma ve ulaşım'dır. Duaçınarı ve Heykel'de bu iki faktör NO ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına yaklaşık eşit olarak etki etmektedir. NO kirleticileri atmosferik O<sub>3</sub> ile reaksiyona girerek O<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub>'ye dönüşür. Bu sebeple NO<sub>2</sub> konsantrasyonları daha yüksektir. NO konsantrasyonları hava sıcaklığının düşmeye başladığı aylarda artış göstermiştir. Bu aylar ısınma amaçlı yakıtların yakılmaya başlandığı, rüzgar hızlarının düşük ve solar radyasyonların azaldığı aylardır. Tüm bu etkenler NO ve NO<sub>2</sub> konsantrasyon değişiminde etkilidir. Ölçülen değerler HKKY NO ve NO<sub>2</sub> sınır değerlerinin (200 ve 100 µg/m<sup>3</sup>) altında kalmıştır. NO<sub>2</sub> konsantrasyonları WHO yıllık ortalama değerinin (40 µg/m<sup>3</sup>) üzerinde, Almanya ve NAAQS uzun dönem sınır değerlerinin ise (95 µg/m<sup>3</sup>) altında bulunmuştur.

#### 4.3.3. Değerlendirme ve Genel Sonuçlar

Hava kirliliğinin azaltılmasında etkili yöntemler arasında doğalgaz kullanmak, doğalgazın ulaşmadığı bölgelerde ise kalorifik değeri yüksek, PM emisyonu ve kükürt içeriği düşük kömür ve fuel-oil kullanımına öncelik vermek sayılabilir (Payan ve ark. 1999, Payan ve Ertürk 2002). Yakma olaylarının klasik hava kirletici konsantrasyonuna olumsuz etkisinin yanında, Bursa'nın coğrafik konumu da bu kirleticilerin ortamda dağılmasına engel olmaktadır (Payan 1997). Payan ve Ertürk (2002) tarafından yapılan bir çalışmada Bursa'nın Heykel, Yıldırım ve Altıparmak semtlerinde hava kirliliğinin yoğunlaşmasının sebepleri arasında nüfus ve trafik yoğunluğunun yanı sıra bölgenin topoğrafik yapısının da etkili olduğu vurgulanmaktadır. Bunun dışında meteorolojik özellikler, bölgenin trafik yükü, gelir seviyesi ve kullanılan yakıtın türü hava kalitesine etkide bulunmaktadır.

Özellikle kış aylarında yüksek değerlere ulaşan hava kirletici konsantrasyonların en önemli kaynağı evsel ısınmada kullanılan fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar, hava kirleticilerinin büyük bir bölümünü oluşturan SO<sub>2</sub> ve PM emisyonlarına sebep olmaktadır (Atımtay ve Ergül 1999). Tablo 4.8.'deki değerlerden görüldüğü gibi Bursa'da SO<sub>2</sub> ve PM'den kaynaklanan hava kirliliği özellikle kış aylarında ısınma amacıyla kullanılan yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Isınma amacıyla kullanılan

doğalgazdan kaynaklanan SO<sub>2</sub> ve PM kirleticilerinin miktarı çok düşük olduğundan hava kirliliğine olan etkileri ihmal edilecek kadar azdır. Bu nedenle doğalgaz kullanımının yaygınlaştırılması hava kirliliği probleminin çözümünde etkili olacaktır (Tayanç ve ark. 1996, Etemoğlu ve Kırbıyık 1996).

Yapılan ölçümler göstermiştir ki, bir şehrin atmosferik kirlilik seviyesi hakkında bir sonuca varmak için o şehri temsil eden çeşitli noktalardan sağlıklı ölçümlerin alınması şarttır. Rastgele seçilmiş noktalardan alınan değerlerin ortalamasının şehri ne kadar temsil ettiği tartışmaya açıktır. Ölçüm noktalarının yeri ve sayısı belirlenirken nüfus yoğunluğu, nüfus yapısı, bölgenin topoğrafyası, meteorolojik koşullar, yakıt tür ve miktarları ve trafik yoğunluğu gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Bursa'da Çekirge, Karaman, Küçük Balıklı, Eğitim, Arabayatağı, Santral Garaj, Tophane, Heykel ve Duaçınarı semtlerindeki ölçüm istasyonlarında SO<sub>2</sub> ve PM ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Trafik yoğunluğuna, yerleşim bölgelerine ve kullanılan yakıt türlerine göre değerlendirildiğinde bu semtlerin Bursa'yı temsil ettiği düşünülebilir. Bu çalışmada yer alan ölçüm istasyonları, Bursa'da yerleşimin yoğun olduğu 2 büyük ilçe, Osmangazi ve Yıldırım'da yer almaktadır. Bu semtlerde doğalgaz kullanımının yanısıra, odun ve kömür de yaygın olarak kullanılmaktadır ve bazı bölgelerde trafik yoğunken, diğer bazı bölgelerde yoğunluğu daha azdır. 1990'lı yılların ortalarından itibaren Bursa'nın 3 büyük ilçesinden biri konumuna gelen Nilüfer ilçesinde de düzenli yerleşim planı oluşturulmakta ve büyük mahalleleri (Beşevler, İhsaniye, Ataevler) içeren ilçede nüfus giderek artmaktadır. Bu bölgede çoğunlukla ısınma amaçlı doğalgaz kullanılmakla beraber kömür de kullanılmaktadır. Merkez ilçelerden Nilüfer'de de ölçüm istasyonuna ihtiyaç olup buradan alınan verilerle kentin hava kalitesi daha iyi belirlenebilir.

Elde edilen ortalama değerler, topoğrafyanın SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Hava sirkülasyonunun daha az olduğu Eğitim, Arabayatağı, Küçük Balıklı, Santral Garaj semtlerinde konsantrasyon değerleri, ısınma amaçlı kömür kullanımından dolayı daha yüksektir. Bu semtler konum itibari ile Uludağ'ın eteklerine yakın olduğundan ve düzensiz kentleşmeden dolayı kirlilik fazla dağılmamaktadır. Gelir seviyesine bağlı olarak kullanılan yakıtlar konsantrasyonların seviyesinde oldukça etkilidir. Çekirge, Karaman ve Tophane semtlerinde ısınma amaçlı doğalgaz kullanılmakta olup, kirlilik diğer bölgelere göre daha düşük seviyelerdedir.

#### 4.4. Kentsel Bir Atmosferdeki Bazı Hava Kirleticilerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkilendirilmesi

Bu çalışma kapsamında Heykel ve Duaçınarı Semtleri'nden toplanan iki yıllık ölçüm değerleri gözönüne alınmıştır. Meteorolojik veriler ile kirletici seviyelerinin daha iyi açıklanabilmesi ve herhangi bir maskeleyi önlemek için birer yıllık değerler hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu iki semtte ölçülen ortalama yıllık kirletici konsantrasyonları Tablo 4.16.'da verilmiştir.

Tablo 4.16. Duaçınarı ve Heykel'de Ölçülen Kirletici Konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Kirleticiler	Mayıs 2001-Nisan 2002		Mayıs 2002-Nisan 2003	
	Duaçınarı	Heykel	Duaçınarı	Heykel
CH <sub>4</sub>	1752,73±256,75 n=302	1548,27±208,78 n=342	1779,09±172,61 n=363	1697,75±109,26 n=308
NMHK	271,04±251,38 n=300	296,21±199,86 n=342	240,85±220,16 n=363	541,81±609,02 n=308
THK	1992,8±446,14 n=302	1826,33±336,16 n=342	1947,28±325,51 n=363	2233,03±679,02 n=308
SO <sub>2</sub>	46,08±25,77 n=347	35,15±31,78 n=349	36,68±21,75 n=335	22,14±23,71 n=231
NO	29,05±30,36 n=350	29,17±29,33 n=349	28,50±31,03 n=364	26,56±26,98 n=319
NO <sub>2</sub>	51,93±15,68 n=350	49,19±19,61 n=349	49,29±12,91 n=364	42,95±11,57 n=319
NO <sub>x</sub>	79,80±42,3 n=350	78,98±46,46 n=347	77,78±39,84 n=364	69,51±35,57 n=319
CO	1280,27±1141,02 n=350	1289,96±1057,12 n=349	973,96±988,05 n=364	856,25±767,86 n=345
PM	101,23±98,19 n=247	69,2±42,38 n=348	98,99±67,75 n=363	65,53±59,62 n=329
O <sub>3</sub>	-	55,48±24,52 n=347	-	47,96±28,01 n=339

Tablo 4.16.'da verilen değerler incelendiğinde Mayıs 2001-Nisan 2002 döneminde ölçülen konsantrasyonların, Mayıs 2002-Nisan 2003 döneminde ölçülen değerlerden az da olsa yüksek olduğu görülmektedir. Isınma amaçlı yakıtlarda doğalgazın giderek yaygınlaşması ve kaliteli katı yakıtların kullanılması bunda rol oynamış olabilir. Ayrıca meteorolojik özellikler de kirletici parametrelerin seyrelmesinde etkilidir. Semtler bazında düşünüldüğünde Duaçınarı'nda Heykel'den

daha yüksek değerler ölçülmüştür. Bunda özellikle ısınma amaçlı kullanılan yakıt kaliteleri çok etkilidir. Ayrıca, bölgenin yakın çevresindeki trafik durumu ve coğrafik özellikler de konsantrasyonlar üzerinde önemlidir. Duaçınarı'nda katı yakıt kullanımı yaygındır. Duaçınarı örnekleme noktası Bursa-Ankara karayolu üzerinde yer aldığından hava kalitesinde trafiğin etkisinin büyük olduğu düşünölmektedir.

Mayıs 2001-Nisan 2002 döneminde Duaçınarı ölçüm istasyonunda belirlenen SO<sub>2</sub> ve PM kirleticilerinin çeşitli meteorolojik faktörlere (Sıcaklık, basınç, nem, rüzgar hızı) bağlı değişimleri incelenmiştir. Bu kapsamda değişik model alternatifleri denenmiştir. Bunun sonucunda bulunan modeller ve r değerleri Tablo 4.17.'de sunulmuştur. Hesaplanan r değerlerine bağlı olarak SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarının salınımında meteorolojik parametrelerin tek başına etkin bir parametre olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuç ise büyük şehir atmosferi için beklenen bir durum olup, konsantrasyon seviyelerine etki eden birçok parametre vardır (Taşdemir ve ark. 2004). Gerek bölgesel kaynaklar ve gerek mekanik türbölanslar bu ilişkinin tek bir değişkene bağlı olmasına engel olmaktadır. Belirlenen r değerleri 0,54'un altındadır. SO<sub>2</sub> ve PM'nin meteorolojik verilerle açıklanması için denenilen modellerden en iyi sonucu rüzgar hızının üslü regresyon modeli vermiştir. Negatif korelasyon, rüzgar hızının artmasıyla konsantrasyon seviyelerinin azaldığını göstermektedir ve bu da beklenen bir sonuçtur.



Tablo 4.17. Duaçınarı Ölçüm Noktasında Belirlenen SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle Olan İlişkileri (Mayıs 2001-Nisan 2002 Dönemi)

Değişkenler		Lineer $y=ax+b$	Eksponansiyel $y=ae^{bx}$	Üslü $y=ax^2$	Log $y=aln(x)+b$
SO <sub>2</sub>	Sıcaklık	$y= -1,2x+65,47$ $r=-0,40$	$y=61,84e^{-0,03x}$ $r=-0,41$	-	-
	Basınç	$y=1,42x-1395,8$ $r=0,45$	$y=8E-13e^{0,03x}$ $r=0,43$	$y=1E-93x^{31,46}$ $r=0,43$	$y=1437,6lnx-9905,2$ $r=0,45$
	Nem	$y=0,23x+31,97$ $r=0,12$	$y=27,24e^{0,006x}$ $r=0,14$	$y=7,94x^{0,39}$ $r=0,15$	$y=15,69lnx-18,34$ $r=0,14$
	R. Hızı	$y=-0,86x+63,5$ $r=-0,38$	$y=60,91e^{-0,27x}$ $r=-0,42$	$y=53,28x^{-0,79}$ $r=-0,54$	$y=-33,38lnx+58,87$ $r=-0,52$
PM	Sıcaklık	$y=-3,01x+159,75$ $r=-0,20$	$y=148,5e^{-0,03x}$ $r=-0,34$	$y=342,91x^{-0,5}$ $r=-0,32$	$y=-46,81lnx+236,78$ $r=-0,19$
	Basınç	$y=2,12x-046,5$ $r=0,16$	$y=2E-0,9e^{0,02x}$ $r=0,29$	$y=2E-72x^{24,51}$ $r=0,29$	$y=2140,4lnx-14710$ $r=0,16$
	Nem	$y=1,13x+34,42$ $r=0,15$	$y=39,42e^{0,01x}$ $r=0,25$	$y=5,08x^{0,68}$ $r=0,24$	$y=68,03lnx-174,47$ $r=0,15$
	R. Hızı	$y=-36,29x+155,64$ $r=-0,22$	$y=161,42e^{-0,46x}$ $r=-0,44$	$y=108,98x^{-0,89}$ $r=-0,51$	$y=-77,02lnx+127,38$ $r=-0,28$

Not: PM için n=247, SO<sub>2</sub> için n=347

y=Konsantrasyon, x= Meteorolojik değişken

SO<sub>2</sub> kirleticisinin sıcaklıkla değişiminin üslü ve logaritmik modelleri programda yapılamamıştır.

Mayıs 2001-Nisan 2002 dönemini takip eden bir yıl (Mayıs 2002-Nisan 2003) içerisinde yapılan ölçümler için bulunan korelasyon denklemleri ve katsayıları Tablo 4.18.'de özetlenmiştir. Bu periyot için SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler arasında kuvvetli bir korelasyon görülmemiştir. SO<sub>2</sub>'nin sıcaklıkla değişimi eksponansiyel regresyon modeli ile ve SO<sub>2</sub>'nin basınçla değişimi lineer regresyon modeli ile en yüksek korelasyon değerlerini vermiştir. Öte yandan PM için en yüksek korelasyon değeri rüzgar hızı ile kurulan üslü model ile belirlenmiştir.

Tablo 4.18. Duaçınarı Ölçüm Noktasında Belirlenen SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle Olan İlişkileri (Mayıs 2002-Nisan 2003 Dönemi)

		Lineer $y=ax+b$	Eksponansiyel $y=ae^{bx}$	Üslü $y=ax^2$	Log $y=aln(x)+b$
SO <sub>2</sub>	Sıcaklık	$y=-1,47x+63,57$ $r=-0,44$	$y=69,32e^{-0,05x}$ $r=-0,45$	-	-
	Basınç	$y=1,81x-1799,5$ $r=0,39$	$y=1E-22e^{0,05x}$ $r=0,36$	$y=1E-160x^{33,7}$ $r=0,36$	$y=1833,4lnx-12657$ $r=0,39$
	Nem	$y=0,27x+18,13$ $r=0,13$	$y=16,7e^{0,01x}$ $r=0,12$	$y=2,65x^{0,57}$ $r=0,14$	$y=19,35lnx-44,49$ $r=0,15$
	R.Hızı	$y=-4,28x+41,68$ $r=-0,19$	$y=32,6e^{-0,11x}$ $r=-0,16$	$y=32,37x^{-0,53}$ $r=-0,29$	$y=-18,33lnx+40,83$ $r=-0,33$
PM	Sıcaklık	$y=-3,14x+158,04$ $r=-0,33$	$y=120,77e^{-0,02x}$ $r=-0,28$	-	-
	Basınç	$y=4,6x-4569,8$ $r=0,34$	$y=1E-13e^{0,03x}$ $r=0,35$	$y=1E-101x^{34,19}$ $r=0,35$	$y=46751lnx-32265$ $r=0,34$
	Nem	$y=0,84x+47,44$ $r=0,13$	$y=63,87e^{0,01x}$ $r=0,10$	$y=22,3x^{0,32}$ $r=0,11$	$y=55,78lnx-129,93$ $r=0,14$
	R.Hızı	$y=-19,7x+129,62$ $r=-0,27$	$y=118,78e^{-0,22x}$ $r=-0,43$	$y=105,54x^{-0,72}$ $r=-0,53$	$y=-75,11lnx+122,85$ $r=-0,41$

Not: PM için n=265, SO<sub>2</sub> için n=237

y=Konsantrasyon, x= Meteorolojik değişken

SO<sub>2</sub> ve PM kirleticisinin sıcaklıkla değişiminin üslü ve logaritmik modelleri programda yapılamamıştır.

Duaçınarı'nda Mayıs 2001-Nisan 2002 ve Mayıs 2002-Nisan 2003 dönemlerinde konsantrasyonların meteorolojik parametrelerle ilişkileri incelendiğinde SO<sub>2</sub>'nin sıcaklık ve basınca bağlı değişimi birbirine yakın olmakla beraber daha yüksek r değerleri (0,36-0,45) verirken, PM'nin sıcaklık, basınç ve neme bağlı değişimi düşük korelasyonlar verdiği görülmüştür. Her iki periyotta da PM'nin rüzgar hızı ile verdiği r değerleri nispeten yüksek değerler göstermiştir.

Mayıs 2001 ile Nisan 2002 döneminde Heykel semtinde ölçülen SO<sub>2</sub> kirleticisi konsantrasyonunun meteorolojik parametrelere bağlı değişiminin incelenmesiyle oluşturulmuş istatistiksel sonuçlar Tablo 4.19.'da verilmiştir. Buna göre SO<sub>2</sub>'nin sıcaklık ve basınca bağlı değişimi, nem ve rüzgar hızına göre daha etkilidir. SO<sub>2</sub>'nin sıcaklıkla değişimi en iyi eksponansiyel regresyon modeli ile, basınçla değişimi de lineer regresyon modeli ile açıklanabilir. Bu dönemde PM kirleticisinin meteorolojik parametrelere bağlı değişimi oldukça zayıftır.

Tablo 4.19. Heykel Ölçüm Noktasında Belirlenen SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle Olan İlişkileri (Mayıs 2001-Nisan 2002 Dönemi)

		Lineer $y=ax+b$	Ekspansiyonel $y=ae^{bx}$	Üslü $y=ax^2$	Log $y=aln(x)+b$
SO <sub>2</sub>	Sıcaklık	$y=-1,99x+68,63$ $r=-0,55$	$y=63,52e^{-0,06x}$ $r=-0,59$	-	-
	Basınç	$y=1,39x-1374,2$ $r=0,40$	$y=1E-15e^{0,04x}$ $r=0,40$	$y=8E-111x^{37,09}$ $r=0,39$	$y=1393,3lnx-9609,9$ $r=0,40$
	Nem	$y=0,55x+2,89$ $r=0,25$	$y=9,04e^{0,02x}$ $r=0,28$	$y=0,41x^{1,01}$ $r=0,29$	$y=33,65lnx-100,74$ $r=0,26$
	R.Hızı	$y=-13,62x+45,78$ $r=-0,12$	$y=33,95e^{-0,43x}$ $r=-0,14$	-	-
PM	Sıcaklık	$y=-1,61x+96,94$ $r=-0,31$	$y=80,21e^{-0,02x}$ $r=-0,26$	-	-
	Basınç	$y=1,28x-1231,6$ $r=0,27$	$y=7E-5e^{0,01x}$ $r=0,22$	$y=2E-39x^{13,45}$ $r=0,22$	$y=1286,1lnx-8833,1$ $r=0,27$
	Nem	$y=0,47x+42,37$ $r=0,15$	$y=44,44e^{0,01x}$ $r=0,14$	$y=16,38x^{0,32}$ $r=0,15$	$y=28,81lnx-46,67$ $r=0,16$
	R.Hızı	$y=-27,4x+90,86$ $r=-0,17$	$y=83,21e^{-0,42x}$ $r=-0,22$	$y=53,57x^{-0,37}$ $r=-0,23$	$y=-23,59lnx+62,28$ $r=-0,18$

Not: PM için n=332, SO<sub>2</sub> için n=339

y=Konsantrasyon, x= Meteorolojik değişken

SO<sub>2</sub>'nin sıcaklık ve rüzgar hızı ile, PM'in sıcaklıkla değişiminin üslü ve logaritmik modelleri programda yapılamamıştır.

Mayıs 2002 ile Nisan 2003 döneminde Heykel'de ölçülen SO<sub>2</sub>'nin değişimine en çok sıcaklığın etkidiği sonucuna varılmıştır (Tablo 4.20). Bu durum ise en iyi lineer regresyon modeli ile açıklanabilmektedir. Ancak bu yine de zayıf bir ilişkidir ( $r=-0,41$ ). Basınç, nem ve rüzgar hızının SO<sub>2</sub> konsantrasyonu değişimine etkisi ise çok azdır. Yine aynı şekilde PM kirleticisinin basınçla değişimi üslü regresyon modeli ile açıklanabilmekle birlikte bu zayıf bir ilişki olmaktadır.

Tablo 4.20. Heykel Ölçüm Noktasında Belirlenen SO<sub>2</sub> ve PM Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle Olan İlişkileri (Mayıs 2002-Nisan 2003 Dönemi)

		Lineer $y=ax+b$	Eksponansiyel $y=ae^{bx}$	Üslü $y=ax^2$	Log $y=aln(x)+b$
SO <sub>2</sub>	Sıcaklık	$y=-1,54x+54,64$ $r=-0,41$	$y=27,35e^{-0,03x}$ $r=-0,19$	$y=41,69x^{0,35}$ $r=0,22$	$y=-13,51lnx+62,17$ $r=-0,34$
	Basınç	$y=1,24x-1232,6$ $r=0,22$	$y=2E-10e^{0,025x}$ $r=0,12$	$y=1E-74x^{25}$ $r=0,11$	$y=1253,7lnx-8656,1$ $r=0,22$
	Nem	-	$y=39,4e^{-0,02x}$ $r=0,20$	$y=534,2x^{-0,89}$ $r=0,18$	-
	R.Hızı	$y=-20,59x+36,41$ $r=-0,18$	$y=18,06e^{-0,29x}$ $r=-0,06$	$y=13,4x^{-0,23}$ $r=-0,06$	$y=-18,58lnx+14,66$ $r=-0,20$
PM	Sıcaklık	$y=-1,91x+97,91$ $r=-0,28$	$y=73,45e^{-0,02x}$ $r=-0,28$	-	-
	Basınç	$y=3,19x-3175,6$ $r=0,30$	$y=5E-17e^{0,04x}$ $r=0,41$	$y=5E-124x^{41,6}$ $r=0,41$	$y=3243,2lnx-22388$ $r=0,30$
	Nem	$y=0,26x+49,72$ $r=0,06$	$y=56,44e^{-0,001x}$ $r=-0,01$	-	$y=19,86lnx-15,51$ $r=0,07$
	R.Hızı	$y=-47,6x+100,21$ $r=-0,22$	$y=94,79e^{-0,77x}$ $r=-0,38$	$y=41,97x^{-0,69}$ $r=-0,38$	$y=-46,5lnx+48,38$ $r=-0,24$

Not: PM için n=329, SO<sub>2</sub> için n=231

y=Konsantrasyon, x= Meteorolojik değişken

SO<sub>2</sub> ve PM'in sıcaklık ve nemle değişiminin bazı modelleri programda yapılamadığı için yazılmamıştır.

Heykel'de Mayıs 2001-Nisan 2002 ve Mayıs 2002-Nisan 2003 dönemlerinde konsantrasyonların meteorolojik parametrelerle ilişkileri r değerlerine bağlı olarak incelendiğinde her iki semtte de konsantrasyonların meteorolojik parametrelere bağlı değişimi zayıf olmakla beraber, sıcaklık ve basınçla değişimi, nem ve rüzgar hızına oranla nispeten daha yüksek korelasyon değerleri vermiştir.

Beyazıt ve Bali (1996) tarafından Sivas'ta hava kirliliği ile meteorolojik parametreler arasında ilişki belirlenmeye çalışılmış ve yapılan çalışma sonucunda bulunan sonuçlar Tablo 4.21.'de verilmiştir. Tablodan kirletici madde miktarlarını etkileyen en önemli meteorolojik parametrelerin sıcaklık ve nisbi nem olduğu görülmektedir. SO<sub>2</sub>'nin sıcaklık ve nisbi neme bağlı değişiminin eksponansiyel modeli, partikül madde miktarının sıcaklığa bağlı değişiminin lineer regresyon modeli, nisbi neme bağlı değişiminin eksponansiyel regresyon modeli ile en iyi düzeyde açıklanabildiği gözlenmiştir.

Tablo 4.21. Kirleticiler ile Meteorolojik Parametreler Arasındaki İstatistiksel İlişkiler ( $r^2$ )

		Lineer	Eksponansiyel	Üslü	log
SO <sub>2</sub>	Sıcaklık	0,7209	0,856	0,5155	0,5265
	Basınç	0,0004	0,001	0,0008	0,0003
	Nem	0,6089	0,6861	0,6937	0,5971
	R.Hızı	0,0289	0,0338	0,0317	0,0261
PM	Sıcaklık	0,5784	0,416	0,4334	0,431
	Basınç	0,0002	0,0019	0,001	0,0094
	Nem	0,5162	0,5313	0,517	0,4997
	R.Hızı	0,056	0,0749	0,0824	0,06

Beyazıt ve Bali (1996) tarafından yapılan çalışma ile bulunan SO<sub>2</sub> ve PM kirleticilerinin sıcaklık ve nisbi neme bağlı değişiminin kuvvetli ilişkisi, Mayıs 2001-Nisan 2003 döneminde Duaçınarı ve Heykel'de yapılan ölçümler neticesinde bulunamamıştır. Bursa'da ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM kirleticilerinin meteorolojik parametrelerle aralarında yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda hesaplanan r değerlerinin daha düşük çıkma sebepleri, iki şehir arasındaki emisyon miktar ve kaynakları, nüfus, kentleşme, topoğrafik yapı ve meteorolojik faktörler ile açıklanabilir. Sivas şehir merkezinin de Bursa gibi nüfusu giderek artış göstermektedir. Sivas'ta çalışmanın yapıldığı yıllarda ısınma amacıyla kömür kullanılmaktadır. Nüfusla beraber kömür kullanımı da artmıştır. Kentte kış mevsimi oldukça uzun ve soğuk geçmekte olup, yakıtlardan kaynaklanan kirleticilerin yoğunlaşp etkilerinin artmasına neden olmaktadır. Sivas'ta daha yüksek SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonları ile meteorolojik parametrelerin ilişkisi Bursa'ya göre daha yüksek korelasyon katsayıları vermiştir.

Demirci ve Çuhadaroğlu (2000) tarafından yapılan çalışmada, Trabzon'da ölçülen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarının rüzgar hızlarına göre değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kirletici konsantrasyonları ile rüzgar hızları arasında zayıf bir ilişki bulunmuştur. Bulunan regresyon modeli sonuçları aşağıda verilmiştir:

$$(SO_2)=160,7 -23,8 (\text{Rüzgar hızı}) \quad r^2=0,28 \quad (r= -0,53)$$

$$(PM)=234,9-39,3 (\text{Rüzgar hızı}) \quad r^2=0,22 \quad (r= -0,47)$$

Rüzgar hızının arttığı durumlarda konsantrasyonun azalması, rüzgar hızının azaldığı durumlarda konsantrasyonun artış göstermesi beklenen bir durumdur, çünkü artan rüzgar hızı ile kirleticiler taşınımı ve seyrelmesi daha çok olmaktadır. Demirci ve Çuhadaroğlu (2000) tarafından Trabzon'da yapılan çalışmada bulunan r değerleri (0,53-

0,47), Bursa'da yapılan çalışmada bulunan değerlerden (0,05-0,30) daha yüksek düzeydedir.

Bu çalışma kapsamında SO<sub>2</sub> ve PM detaylı bir şekilde irdelenmiş ve benzer bir çalışma sonuçlarıyla mukayese edilmiştir. Bu çalışmadaki örnekleme noktalarında diğer klasik hava kirleticiler de (PM, THK, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO ve O<sub>3</sub>) ölçüldüğünden, bu kirleticiler konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler arasında regresyon modeli kullanılarak, lineer ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında 17 Mayıs 2001-30 Nisan 2003 periyodu arasındaki ortalama günlük değerler ele alınmıştır. Bulunan modeller ve r değerleri Tablo 4.22.'de verilmiştir.



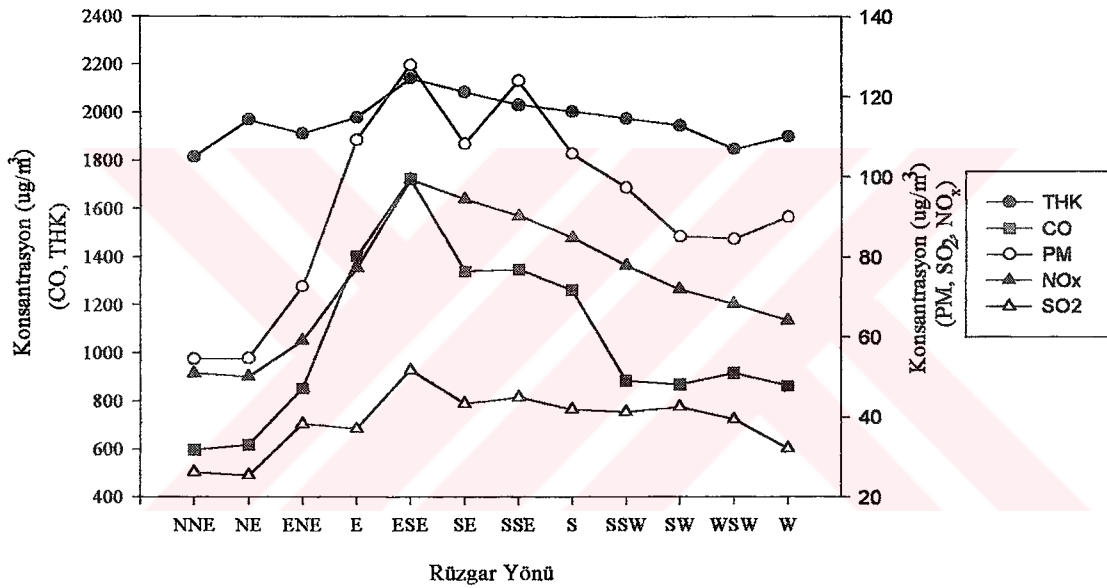
Tablo 4.22. Heykel ve Duaçınarı Ölçüm İstasyonlarındaki Kirlilik Seviyeleri ile Meteorolojik Veriler Arasındaki Lineer Model Sonuçları (Mayıs 2001-Nisan 2003)

		PM	THK	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>
Sıcaklık	Heykel	$y=-1,8x+97,86$ $r=-0,30$ n=677	$y=-19,7x+2362,4$ $r=-0,31$ n=650	$y=-2x+66,96$ $r=-0,55$ n=580	$y=-1,73x+103,64$ $r=-0,36$ n=666	$y=-56,9x+2021$ $r=-0,52$ n=677	$y=2,11x+16,57$ $r=0,69$ n=677
	Duaçınarı	$y=-3,22x+162,43$ $r=-0,26$ n=593	$y=-11,33x+2217$ $r=-0,24$ n=593	$y=-1,4x+65,7$ $r=-0,44$ n=593	$y=-1,75x+109,99$ $r=-0,34$ n=593	$y=-61,8x+2228$ $r=-0,46$ n=593	-
Basınç	Heykel	$y=1,75x-1706,1$ $r=0,25$ n=663	$y=17,54x-15808$ $r=0,25$ n=650	$y=1,4x-1353$ $r=0,35$ n=580	$y=1,57x-1518,1$ $r=0,29$ n=663	$y=41x-40527$ $r=0,33$ n=663	$y=-1,14x+1210,7$ $r=-0,33$ n=663
	Duaçınarı	$y=2,63x-2565,9$ $r=0,20$ n=593	$Y=17,34x-15585$ $r=0,32$ n=593	$y=1,42x-1394$ $r=0,39$ n=593	$y=2,12x-2067,1$ $r=0,36$ n=593	$y=54,4x-54009$ $r=0,35$ n=593	-
Nem	Heykel	$y=0,43x+41,88$ $r=0,11$ n=677	$y=9,86x+1438$ $r=0,24$ n=650	$y=0,52x-0,5942$ $r=0,24$ n=580	$y=0,55x+41,64$ $r=0,18$ n=666	$y=20,05x-128,46$ $r=0,29$ n=677	$y=-0,94x+108,04$ $r=-0,48$ n=677
	Duaçınarı	$y=0,85x+48,64$ $r=0,12$ n=593	$Y=4,79x+1718,9$ $r=0,15$ n=593	$y=0,2x+29,07$ $r=0,10$ n=593	$y=0,62x+40,65$ $r=0,19$ n=593	$y=18,75x-19,3$ $r=0,22$ n=593	-
R. Hızı	Heykel	$y=-28,24x+88,73$ $r=-0,15$ n=677	$y=-381x+2310,4$ $r=-0,17$ n=650	$y=-5,63x+34,2$ $r=-0,05$ n=580	$y=-28,93x+96,1$ $r=-0,18$ n=666	$y=-340x+1331$ $r=-0,10$ n=677	$y=7,64x+45,8$ $r=0,08$ n=677
	Duaçınarı	$y=-38,73x+156$ $r=-0,26$ n=593	$Y=6,69x+2002,3$ $r=0,01$ n=593	$y=-9,33x+55,2$ $r=-0,30$ n=593	$y=-20,26x+110$ $r=-0,43$ n=593	$y=-336x+1658$ $r=-0,27$ n=593	-

Heykel ve Duaçınarı'nda ölçülen kirlenici konsantrasyonları ile hava sıcaklıkları arasında bulunan  $r$  değerleri incelendiğinde, düşük korelasyon değerlerinin olduğu görülmektedir. Heykel'de bu değerler 0,30 ile 0,69 arasında, Duaçınarı'nda 0,24 ile 0,46 arasında değişmektedir. Yapılan hesaplamalarda sırasıyla O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> ve CO kirlenicilerinin sıcaklıkla ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.22.'de verilen  $r$  değerlerinden hareketle Heykel ve Duaçınarı'nda ölçülen konsantrasyonlar ile basınç, nem ve rüzgar hızı arasındaki ilişkilerin kuvvetli olmadığı sonucuna varılmıştır. Kirlenici konsantrasyonlarının sıcaklık ve rüzgar hızı ile ters, basınç ve nem ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir.

Atmosferik kirletici konsantrasyon seviyelerini etkileyen önemli bir diğer meteorolojik faktör de rüzgar yönüdür. Rüzgarlar geldikleri bölgelerdeki havanın özelliklerini taşırlar. Bu çalışmada, rüzgar yönlerine göre kirletici konsantrasyonları belirlenmiştir. Duaçınarı'nda rüzgar esiş yönlerinde rastlanan kirletici konsantrasyonları Şekil 4.11.'de verilmiştir. Kirleticilerin konsantrasyon seviyeleri dikkate alınarak, iki y-ekseni kullanılmıştır. Grafik oluşturulurken her bir yöne doğru esen rüzgar sınıfları için ölçülen konsantrasyon ortalamaları dikkate alınmıştır. Duaçınarı'nda her bir yöne esen ortalama rüzgar sayıları Tablo 4.23.'de özetlenmiştir. Esen rüzgar sayıları belirlenirken 16 farklı yön gözönüne alınmıştır.



Şekil 4.11. Duaçınarı'nda Konsantrasyonların Rüzgar Yönlerine Bağlı Değişimi

Tablo 4.23. Duaçınarı'nda Yönlere Göre Esen Ortalama Rüzgar Yüzdeleri (%)

N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
~0	0,5	6,7	7,2	6,8	9,6	11,3	13,7	12,8	15,0	9,7	5,5	1,2	~0	~0	~0

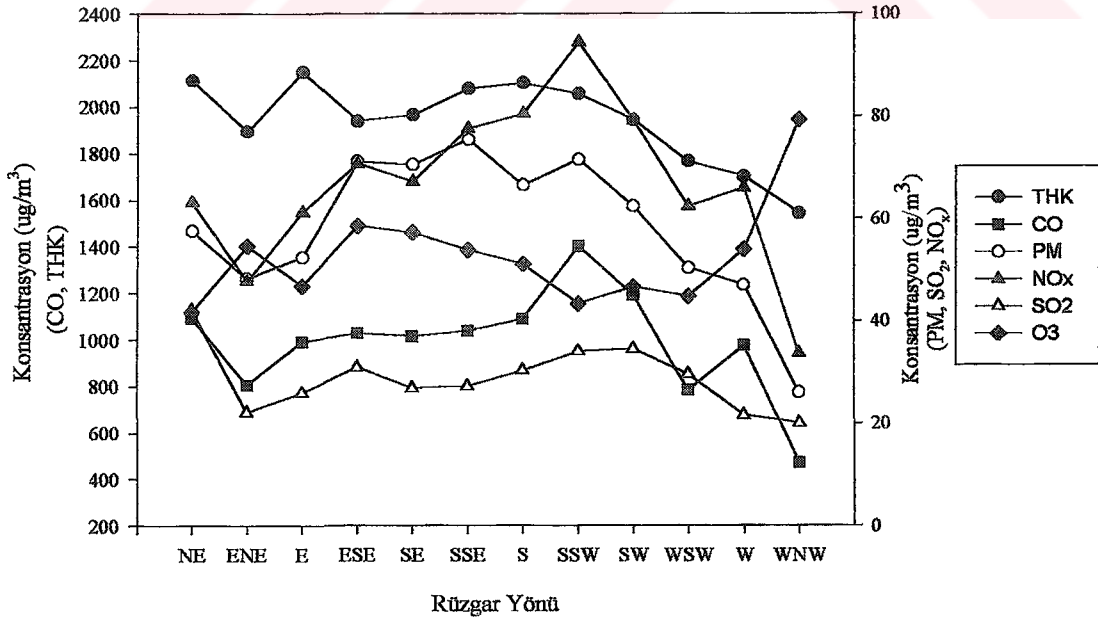
Genelde Doğu (E) ve Güney (S) yönleri arasında ölçülen ortalama konsantrasyonlar daha yüksek olarak bulunmuştur. Tüm kirleticiler için en yüksek konsantrasyonların rüzgarın Doğu-Güneydoğu (ESE) yönünde estiği durumda gözlenmiştir. Örneğin, PM kirleticisi 54,46 (NNE) ile 127,75 (ESE)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  kirleticisi 25,48 (NE) ile 51,73 (ESE)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $\text{NO}_x$  kirleticisi 50,09 (NE) ile 99,25 (ESE)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  konsantrasyonları arasında değişim göstermiştir. THK değerleri 1815,78



(NNE) ila 2142,36 (ESE)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CO değerleri de 597,60 (NNE) ila 1722,84 (ESE)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir.

Bu sonuçlardan hareketle Duaçınarı'nda Doğu-Güneydoğu (ESE) yönünden esen rüzgarların esiş hızlarının düşük olduğu ve bunun sonucunda bu yönlerde yüksek konsantrasyonlara ulaşıldığı, Kuzey-Kuzeydoğu (NNE) yönünden esen rüzgarların esiş hızlarının da yüksek olduğu ve bu yönde seyrelmenin etkisiyle düşük konsantrasyonlara rastlandığı hipotez edilmiştir. Nitekim yapılan hesaplamalarda ESE yönünden esen rüzgarların ortalama hızları 1,51 m/s, NNE yönünden esen rüzgarların ortalama hızları 2,28 m/s olarak bulunmuştur. ESE istikametinden esen rüzgar yönünde Bursa'daki kirletici konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkileyebilecek herhangi bir kirlilik kaynağı mevcut değildir. NNE yönünden esen rüzgar yönünde ise Bursa şehir merkezi ve yakınındaki yerleşim bölgeleri mevcuttur. Dolayısıyla bu yönde kirletici konsantrasyonlarını etkileyebilecek, özellikle evlerden ve taşıt trafiğinden kaynaklanabilecek kirlilik kaynakları mevcuttur. Ancak yüksek rüzgar hızlarının etkisiyle seyrelmeler olmakta ve daha düşük kirletici konsantrasyonları ölçülmektedir.

Heykel ölçüm noktasında rüzgar esiş yönlerine göre rastlanan kirletici konsantrasyonları Şekil 4.12.'de verilmiştir. Heykel'de her bir yöne esen ortalama rüzgar sayıları Tablo 4.24.'de özetlenmiştir.



Şekil 4.12. Heykel'de Konsantrasyonların Rüzgar Yönlerine Bağlı Değişimi

Tablo 4.24. Heykel’de Yönlere Göre Esen Ortalama Rüzgar Yüzdeleri (%)

N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
~0	~0	2,4	3,6	6,3	12,6	16,2	21,0	21,5	11,6	8,0	3,4	1,7	0,2	~0	~0

Heykel’de ölçülen PM değerleri 26,03 (WNW) – 75,51 (SSE)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında,  $\text{SO}_2$  değerleri 20,12 (WNW) – 34,59 (SW)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında ve  $\text{NO}_x$  değerleri 33,63 (WNW) – 94,45 (SSW)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında ve  $\text{O}_3$  değerleri 41,77 (NE) – 79,36 (WNW) salınım göstermiştir. Genelde güneyden esen rüzgarlar ile daha yüksek konsantrasyonlara ulaşılmıştır. THK konsantrasyonları 1541,93 (WNW) - 2149,73 (E)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında, CO konsantrasyonları da 469,22 (WNW) – 1402,08 (SSW)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişim göstermiştir.

Bu sonuçlardan hareketle Heykel’de Batı-Kuzeybatı (WNW) yönünden esen rüzgarların esiş hızlarının yüksek olduğu ve bunun sonucunda bu yönlerde düşük konsantrasyonlara ulaşıldığı, Güney-Güneybatı (SSW) yönünden esen rüzgarların esiş hızlarının da düşük olduğu ve bu yönde yüksek konsantrasyonlara rastlandığı tahmin edilmektedir. Yapılan hesaplamalarda WNW yönünden esen rüzgarların ortalama hızları 1,28 m/s, SSW yönünden esen rüzgarların ortalama hızları 0,68 m/s olarak bulunmuştur. Heykel’de ölçülen rüzgar yönlerinde WNW yönünden esen rüzgar yüzdesi % 0,2’dir. Bu nedenle bu yönde rüzgarın estiği günlerde konsantrasyonların düşük olması sadece rüzgar hızına bağlı olmayabilir. Aynı anda birden fazla faktörün (Meteorolojik parametreler, topoğrafya vs.) etkileşimi söz konusu olabilir. WNW istikametinden esen rüzgar yönünde şehir içi yerleşim bölgeleri vardır ve bu bölgelerde evsel ısınmadan ve taşıt trafiğinden kaynaklanan kirlilikler mevcuttur. SSW yönünde ise taşıt trafiğinin yanında, bazı yerleşim bölgeleri ve DOSAB (Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi) mevcuttur.

Duaçınarı ve Heykel semtlerinde ölçülen kirletici konsantrasyonlarının her birine meteorolojik parametrelerin (Sıcaklık, basınç, nem, rüzgar hızı) hepsinin aynı anda etki etmesi durumunda oluşturulan denklemler ve r değerleri Tablo 4.25.’de verilmiştir. Hesaplamalar, günlük konsantrasyon ve meteorolojik verilerden hareketle, çoklu regresyon modeli kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 4.25. Duaçınarı ve Heykel'de Ölçülen Kirletici Konsantrasyonları İle Meteorolojik Parametrelerin İlişkisi

Duaçınarı			Heykel		
Denklem	r <sup>2</sup>	n	Denklem	r <sup>2</sup>	n
PM=-4,12T-0,08P-0,96N-43,77V+382,8	0,15	489	PM=-2,17T+0,62P-0,57N-29,42V-465	0,14	646
THK=-0,35T+16,3P+2,2N+23,4V-14673	0,11	544	THK=-17,18T+6,6P+0,43N-304,8V-4216	0,15	625
SO <sub>2</sub> =-1,78T+0,4P-0,63N-10,79V-273,26	0,36	561	SO <sub>2</sub> =-2,29T+0,35P-0,42N-4,42V-258,15	0,34	549
NO <sub>x</sub> =-1,67T+0,84P-0,3N-20,66V-694,97	0,33	593	NO <sub>x</sub> =-2,01T+0,51P-0,46N-28,94V-362,37	0,19	635
CO=-71,63T+5,79P-12,5N-377,3V-2130	0,30	593	CO=-61,8T+8,25P-7,53N-387,91V-5533	0,30	663
-	-	-	O <sub>3</sub> =2,17T+0,07P+0,003N+8,52V-59,2	0,51	655

Not: T: Sıcaklık, P: Basınç, N: Nem, V: Rüzgar hızı

Tablo 4.25.'de verilen değerlerden görüldüğü gibi Duaçınarı'nda SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO, Heykel'de de SO<sub>2</sub>, CO ve O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının meteorolojik parametrelerle ilişkilerinden hesaplanan r<sup>2</sup> değerleri düşük olmakla beraber, diğer kirleticilere nazaran nispeten daha yüksektir.

Benzer şekilde, Çuhadaroğlu ve Demirci (1997) tarafından Trabzon'da Aralık-1994 tarihinde yapılan bir başka çalışmada bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

$$[SO_2] = -1,55N - 12,16V + 223,05 \quad (r^2 = 0,53)$$

$$[PM] = 7,16T - 1,81N + 168,81 \quad (r^2 = 0,56)$$

Trabzon'daki çalışmada 1995 yılının Ocak, Mart ve Nisan aylarında yapılan incelemelerde daha düşük r<sup>2</sup> değerleri elde edilmiştir. Buna göre SO<sub>2</sub> ve PM'nin rüzgar hızı ve nem ile değişimi sırasıyla 0,22 ve 0,19 ile 0,14 ve 0,16, PM'nin nem ve rüzgar hızına bağlı değişimi ise 0,30 r<sup>2</sup> değerini vermiştir. Bu değerlerin tümü negatif korelasyonu ifade etmektedir.

Trabzon'da yapılan çalışma ile bulunan sonuçlar, Bursa'da bulunan sonuçlardan daha yüksek r<sup>2</sup> değerleri vermiştir. Benzer düşük ilişkiler, Sivas verileri değerlendirildiğinde de bulunmuştur (Tablo 4.21). Trabzon ve Sivas illerinde elde edilen nispeten yüksek korelasyon değerleri, Bursa'da bu ilişkilerin maskelendiğini ortaya koymaktadır. Bursa, diğer iki ile göre daha büyük olduğundan, emisyon kaynakları daha çeşitli ve daha fazla oranlardadır. Bu da olayı daha karmaşık hale getirmekte ve basit korelasyonlarla bu ilişkilerin açıklanmasının yetmeyeceği sonucunu çıkarmaktadır.

#### 4.5. Klasik Hava Kirleticilerin Birbirleri İle Olan İlişkileri

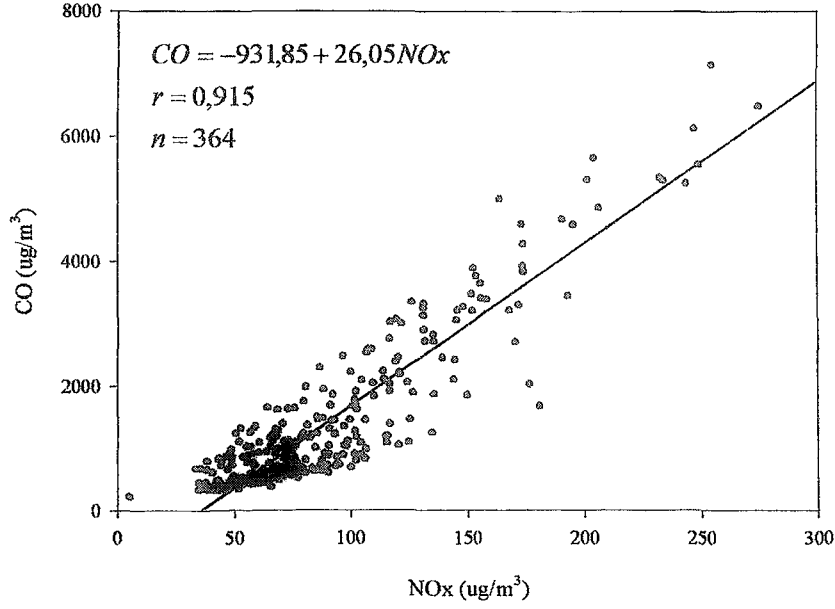
Bu çalışma kapsamında her 30 dakikada bir alınan veriler kullanılarak elde edilen değerlerden hareketle kirleticilerin birbirleriyle olan ilişkileri bir yıllık periyot için değerlendirilmiş ve aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir. İlişkileri incelenen kirleticilerin mevsimsel konsantrasyonları Tablo 4.26.'da verilmiştir.

Tablo 4.26. Duaçınarı ve Heykel'de Ölçülen Mevsimsel Kirletici Konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

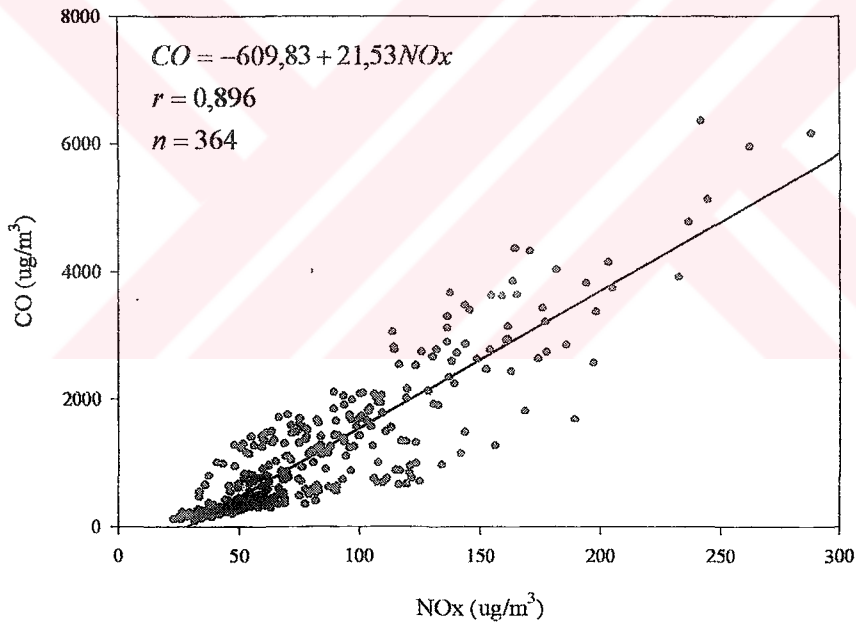
Semt	Kirletici	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
		ort $\pm$ ss	n	ort $\pm$ ss	n	ort $\pm$ ss	n	ort $\pm$ ss	n
Duaçınarı	NMHK	388,75 $\pm$ 338,22	89	167,38 $\pm$ 82,06	73	119,14 $\pm$ 60,50	91	409,89 $\pm$ 302,0	90
	THK	2152,16 $\pm$ 562,42	90	2000,74 $\pm$ 240,67	73	1930,13 $\pm$ 98,16	91	2184,96 $\pm$ 424,64	90
	PM	167,74 $\pm$ 105,62	21	108,37 $\pm$ 47,49	88	71,64 $\pm$ 17,60	91	124,89 $\pm$ 96,16	90
	SO <sub>2</sub>	61,76 $\pm$ 29,59	87	50,24 $\pm$ 21,90	82	21,53 $\pm$ 15,53	87	42,45 $\pm$ 20,63	91
	NO <sub>x</sub>	100,61 $\pm$ 54,14	90	79,51 $\pm$ 26,67	92	55,77 $\pm$ 11,70	91	101,87 $\pm$ 48,60	91
	NO <sub>2</sub>	56,96 $\pm$ 19,16	90	55,53 $\pm$ 11,08	92	45,62 $\pm$ 7,07	91	51,17 $\pm$ 11,51	91
	NO	44,49 $\pm$ 38,30	90	24,09 $\pm$ 17,66	92	10,14 $\pm$ 5,54	91	50,71 $\pm$ 39,75	91
	CO	2198,13 $\pm$ 1542,70	90	1024,80 $\pm$ 595,0	92	480,03 $\pm$ 99,30	91	1373,5 $\pm$ 1349,0	91
Heykel	NMHK	385,47 $\pm$ 197,21	90	253,59 $\pm$ 261,29	86	175,60 $\pm$ 50,70	91	689,30 $\pm$ 587,0	91
	THK	1978,94 $\pm$ 327,53	90	1916,14 $\pm$ 292,41	86	1806,01 $\pm$ 68,13	91	2409,76 $\pm$ 685,25	90
	PM	101,25 $\pm$ 60,33	90	62,98 $\pm$ 27,87	92	44,05 $\pm$ 11,13	91	66,85 $\pm$ 49,34	90
	SO <sub>2</sub>	70,31 $\pm$ 36,89	90	28,41 $\pm$ 15,76	92	17,45 $\pm$ 6,84	91	22,15 $\pm$ 28,80	91
	NO <sub>x</sub>	112,21 $\pm$ 57,84	90	75,08 $\pm$ 32,06	92	42,75 $\pm$ 11,97	91	90,35 $\pm$ 36,57	91
	NO <sub>2</sub>	63,41 $\pm$ 23,01	90	51,92 $\pm$ 13,31	92	34,74 $\pm$ 7,47	91	46,19 $\pm$ 10,84	91
	NO	48,80 $\pm$ 37,41	90	23,16 $\pm$ 20,19	92	8,01 $\pm$ 4,95	91	44,16 $\pm$ 28,38	91
	CO	2336,46 $\pm$ 1281,0	90	941,71 $\pm$ 685,88	92	257,38 $\pm$ 96,0	91	930,11 $\pm$ 666,0	91
	O <sub>3</sub>	30,85 $\pm$ 10,80	88	63,98 $\pm$ 19,51	92	82,90 $\pm$ 13,27	85	28,75 $\pm$ 16,78	91

##### 4.5.1. CO ve NO<sub>x</sub> Kirleticilerinin Birbirleri İle Etkileşimi

Bursa'da özellikle ölçümlerin yapıldığı bölgelerde taşıt trafiği oldukça yoğundur. Dolayısıyla taşıtlardan kaynaklanan CO ve NO<sub>x</sub> kirleticileri örnekleme noktalarında kırsal kesimlere göre daha büyük seviyelerde gözlenmektedir (Baumbach 1996, Seinfeld 1986). Örneğin, NO<sub>2</sub> konsantrasyonları kırsal bölgelerde 1-2 ppb iken, kirli bölgelerde 2-100 ppb, CO konsantrasyonu da kırsal bölgelerde 100-200 ppb iken, kirli bölgelerde 1000-50000 ppb seviyelerinde olmaktadır (Baumbach 1996, Seinfeld 1986).



Şekil 4.13. Duacınarı Bölgesi İçin Belirlenen CO ve NO<sub>x</sub> Kirleticileri Arasındaki İlişki

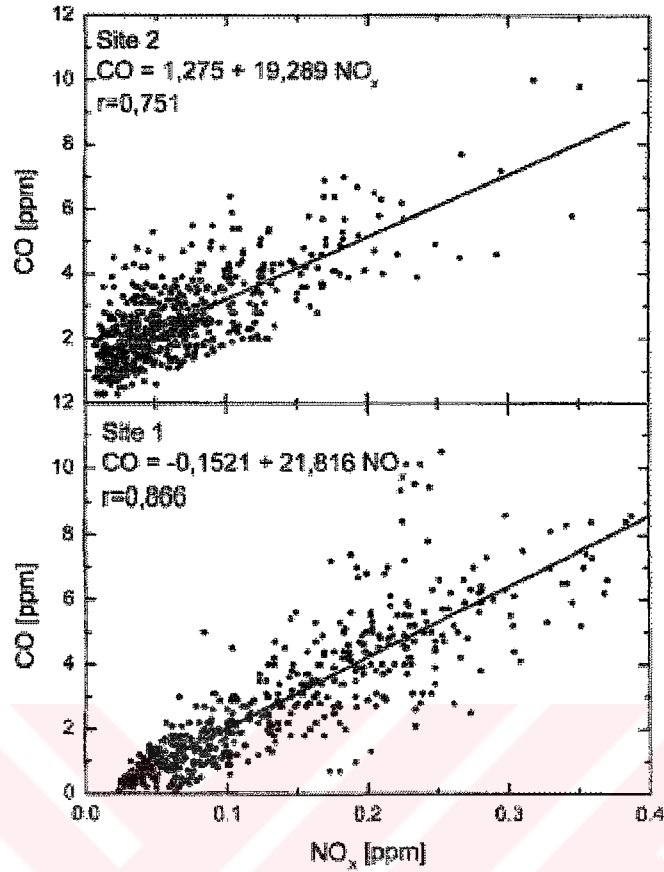


Şekil 4.14. Heykel Bölgesi İçin Belirlenen CO ve NO<sub>x</sub> Kirleticileri Arasındaki İlişki

CO ve NO<sub>x</sub>'lar yanma son ürünü olarak atmosfere deşarj edildiklerinden, ölçüm periyodunda Aralık 2001-Kasım 2002 döneminde Duacınarı ve Heykel'de ölçülen ortalama günlük CO ve NO<sub>x</sub> kirleticilerinin birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'de verilmiştir. Duacınarı ve Heykel'de yoğun bir trafik vardır. Ancak Duacınarı'nda ağır tonajlı araçların oranı daha fazladır.

Kamyon, otobüs ve minibüslerden yayılan kirleticilerin emisyon faktörleri, otomobillerden yayılan kirletici emisyon faktörlerinden daha farklı ve büyüktür (Kılıç ve Gemci 1999, Odabaşı 1993, Tırıs ve ark. 1993). Dolayısıyla Duaçınarı'nda trafik kaynaklı CO ve NO<sub>x</sub> kirliliği, Heykel'den daha fazladır. Ayrıca, Duaçınarı'nda ısınma amaçlı katı ve sıvı yakıtlar ağırlıklı olarak kullanılırken, Heykel'de doğalgaz yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu durum, Duaçınarı'nda daha yüksek CO konsantrasyonlarının oluşumuna sebep olabilecek niteliktedir. Ancak, Heykel ölçüm bölgesi rüzgarlara karşı daha korunaklıdır. Dolayısıyla, seyrelmeler Heykel'de daha düşük oranlarda gerçekleşmektedir. Taşdemir ve Erbaşlar (2004) tarafından Bursa'nın Heykel semtinde yapılan bir çalışmada, ölçülen CO ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarının çok büyük bir oranının trafikten kaynaklandığı belirlenmiştir. CO ve NO<sub>x</sub> kirleticilerinin kaynakları genelde benzer olduklarından yüksek korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Toplam kirletici konsantrasyonlarının önemli bir bölümü mobil kaynaklardan ileri gelmektedir (Stein ve Toselli 1996).

Arjantin'in Cordoba şehrinde Haziran 1995-Nisan 1996 tarihleri arasında yapılan çalışma ile mobil kaynaklardan atmosfere yayılan CO ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonları ölçülmüştür. Karbon monoksit infrared absorpsiyon esasına göre çalışan bir cihazla, NO<sub>x</sub> ise gaz fazında ozonla reaksiyona giren kemilüminesans metod ile çalışan sensörler yardımıyla ölçülmüştür. İki ayrı bölgede ölçümler gerçekleştirildikten sonra CO konsantrasyonunun NO<sub>x</sub> konsantrasyonuna bağlı lineer regresyon modeli oluşturulmuş ve sonuçlar Şekil 4.15.'de verilmiştir (Olcese ve ark. 2001).



Şekil 4.15. İki Ayrı Nuktada Ölçülen CO ve NO<sub>x</sub> Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

Seçilen her iki örnekleme noktası da cadde üzerinde yer almaktadır. Korelasyon katsayıları (r) bu bölgeler için 0,751 ve 0,866 olarak bulunmuştur (Olcese ve ark. 2001). CO ve NO<sub>x</sub> kirleticilerinin başlıca kaynakları trafikte seyreden araçlardır. Bulunan sonuçlar, CO ile NO<sub>x</sub> kirletici yoğunlukları arasında yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir. NO<sub>x</sub> konsantrasyonu arttıkça, aynı kaynaktan CO de çıktığı için CO konsantrasyonu da artmaktadır (Olcese ve ark. 2001). Bu sonuçlar, bizim çalışmamızda bulunan CO-NO<sub>x</sub> ilişkisine paralel olup makul seviyede yüksektir.

#### 4.5.2. NO<sub>x</sub> ve NMHK Kirleticilerinin Birbirleri İle Etkileşimi

Bursa ilinin Duaçınarı ve Heykel semtlerinde Aralık 2001-Kasım 2002 arasındaki ölçümler ile yapılan korelasyonlar sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.27.'de özetlenmiştir.

Tablo 4.27. Duaçınarı ve Heykel Semtlerindeki NO<sub>x</sub> ve NMHK Kirleticilerinin Lineer İlişkileri

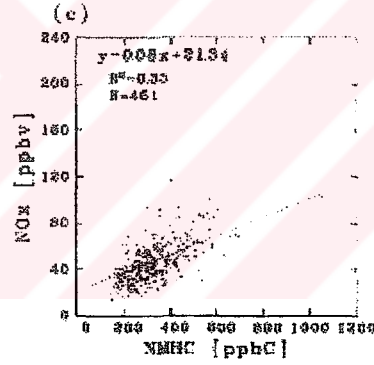
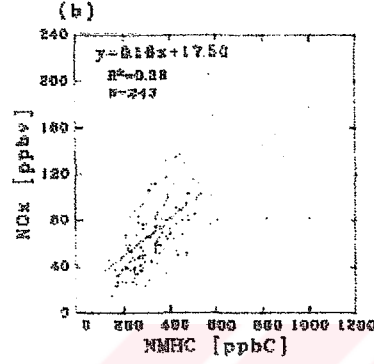
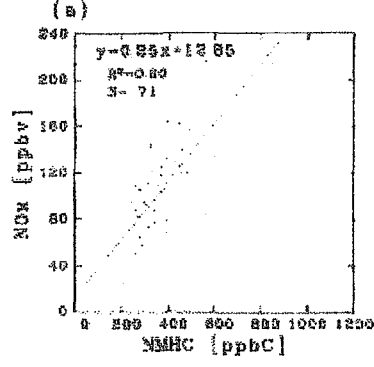
Mevsim	Semt	Denklem	r Değerleri
Yaz	Duaçınarı	$y=0,173x+35,17$	0,89
Sonbahar		$y=0,145x+42,63$	0,90
Kış		$y=0,151x+41,00$	0,95
İlkbahar		$y=0,158x+49,27$	0,65
Yaz	Heykel	$y=0,208x+6,21$	0,88
Sonbahar		$y=0,024x+74,04$	0,38
Kış		$y=0,262x+9,23$	0,91
İlkbahar		$y=0,066x+57,38$	0,54

y: NO<sub>x</sub> konsantrasyonu, x: NMHK konsantrasyonu

Bu çalışmada bulunan sonuçlar, Saito ve ark. (2002) tarafından Japonya'daki ölçümlerde bulunan sonuçlara benzer niteliktedir. Çalışmamızda ilkbahar mevsiminde bulunan düşük r değerleri, yaz ve kış aylarında daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Japonya'nın yerleşim bölgelerinde ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde ölçülmüş olan günlük ortalama NO<sub>x</sub> (azot oksitler) ve NMHK (non-metan hidrokarbon) kirleticilerinin birbirlerine bağlı değişimini ve istatistiksel sonuçlarını içeren ilişki Şekil 4.16.'da verilmiştir (Saito ve ark. 2001). Japonya'da 1991-2001 yılları arasında bu iki kirleticinin saatlik bazlarda mevsimsel değişimleri ve fotokimyasal potansiyelleri incelenmiş ve deney sonuçları aralarında ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Buna göre kış mevsiminde görülen nispeten yüksek korelasyon değerine ( $r^2=0,60$ ) karşılık, ilkbahar ve yaz aylarında daha düşük korelasyonlar ( $r^2= 0,38$  ve  $0,33$ ) bulunmuştur. Buradan hava sıcaklıklarının artmaya başlaması ile birlikte NO<sub>x</sub> ve NMHK konsantrasyonları arasındaki değişimin daha çok olduğu sonucuna varılmıştır.

Tüm mevsimlerde NO<sub>x</sub> konsantrasyonu ile NMHK konsantrasyonu değişimi doğru orantı göstermiştir. NO<sub>x</sub>/NMHK oranları Heykel'de yaz mevsimi için ~0,25, kış mevsimi için 0,1-0,3 arasında ortalama değerine sahipken, Duaçınarı'nda yaz mevsimi için ~0,5, kış mevsiminde 0,3-0,4 ortalama oran değerlerini almıştır. Heykel'de NO<sub>x</sub>/NMHK oranları mevsimlere göre önemli bir değişim göstermezken, Duaçınarı'nda yaz mevsimi oranları daha yüksek bulunmuştur. Yani yaz mevsiminde NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarında bir artış söz konusu olmaktadır. Kış aylarında ise yakmanın da etkisiyle bu ilişki maskelenmektedir.





Şekil 4.16. NO<sub>x</sub> ve NMHK Kirleticilerinin Kentsel Yerleşim Bölgelerindeki Mevsimsel Değişimleri

a)Kış b) İlkbahar c)Yaz

Şekil 4.16.'da verildiği gibi NO<sub>x</sub> konsantrasyonu NMHK konsantrasyonuna bağlı olarak artış göstermektedir. Yapılan çalışmada ayrıca, NO<sub>x</sub>/NMHK oranlarının mevsimlere bağlı değişimleri de incelenmiş ve şu sonuçlar bulunmuştur (Saitoa ve ark. 2001):

- Yaz aylarında NO<sub>x</sub>/NMHK oranları ~0,1 iken, kış aylarında bu oran ~0,2'dir.

- Bu oranın yaz aylarında azalmasının sebebi; NMHK'ye bağılı olarak NO<sub>x</sub> konsantrasyonunun nispeten azalması yada NO<sub>x</sub>'a bağılı olarak NMHK konsantrasyonunun nispeten artmasıdır.
- NO<sub>x</sub> konsantrasyonunun azalmasında OH radikalının de önemli bir rolü vardır (OH+NO<sub>2</sub>→HNO<sub>3</sub>).

#### 4.5.3. CO/NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> Konsantrasyonlarının Karakterizasyonu

Literatürde yakıt türlerine göre hesaplanmış olan emisyon faktörleri Tablo 4.28.'de verilmiştir.

Tablo 4.28. Yakıt Türlerine Göre Emisyon Faktörleri (Tünay ve Alp 1996)

Yakıt Cinsi	PM	SO <sub>x</sub>	CO	HK	NMHK	NO <sub>x</sub>
Kömür	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)
Linyit	3,2A	13,6S	0,45	<0,45	0,04	6,4
Pulverize	2,7A	13,6S	0,45	<0,45	0,04	7,7
Genel	7,3A	19,5S	0,45	0,14	0,04	8,2
Islak	6,0A	19,5S	0,45	0,14	0,04	13,6
Kuru	7,7A	19,5S	0,45	0,14	0,04	8,2
Odun (kg/ton)	4,4	0,075	2-24	0,15	0,7	0,3-1,4
Fuel-oil	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)
Sanayi Tesisi	1,26	20,5S	0,005	0,50	-	13,02
Ev ve Ticari	0,1	20,1S	0,25	0,63	-	1,46
Doğalgaz	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)	(kg/ton)
Sanayi Tesisi	16-80	9,6	560	48	44	2240
Ev ve Ticari	16-80	9,6	320	43	84	1600
Benzin (kg/m <sup>3</sup> )	1,4	1,1	275	24	-	14
Dizel (kg/m <sup>3</sup> )	13,2	4,8	7,2	16,3	-	26,6

A: Yakıttaki kül yüzdesi S: Yakıttaki kükürt yüzdesi

Goyal ve Sidharta (2003) tarafından Delhi'de yapılan çalışmada CO, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> kirleticilerinin kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre genelde CO ve NO<sub>x</sub> kirleticilerinin mobil emisyon kaynaklarından, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> kirleticilerinin de noktasal kaynak emisyonlarından oluştuğu sonucuna varılmıştır. Yani yüksek CO/NO<sub>x</sub> ve düşük SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> oranları mobil kaynakları, düşük CO/NO<sub>x</sub> ve yüksek SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> oranları da noktasal kaynakları karakterize etmektedir.

Delhi’de aylık konsantrasyonlardan hareketle CO-NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> ilişkileri lineer regresyon modeli kullanılarak belirlenmiştir (Goyal ve Sidharta 2003). Benzer şekilde Heykel ve Duaçınarı’nda lineer regresyon modeli kullanılmış ve sonuçlar Tablo 4.29.’da verilmiştir.

Tablo 4.29. CO ve NO<sub>x</sub> ile SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> Arasındaki Lineer Regresyon Modeli

Bölge	CO-NO <sub>x</sub> İlişkisi			SO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> İlişkisi		
	Denklem	n	r <sup>2</sup>	Denklem	n	r <sup>2</sup>
Delhi	CO=100,21NO <sub>x</sub> -1729,9	13	0,76	SO <sub>2</sub> =0,30NO <sub>x</sub> +5,75	12	0,79
Duaçınarı	CO=28,14NO <sub>x</sub> -1100,5	24	0,81	SO <sub>2</sub> =0,52NO <sub>x</sub> +0,48	24	0,64
Heykel	CO=24,53NO <sub>x</sub> -744,04	21	0,82	SO <sub>2</sub> =0,70NO <sub>x</sub> -20,21	21	0,66

n: Aylık değerler gözönüne alınarak belirlenmiştir.

CO ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonları arasında Duaçınarı ve Heykel’de bulunan r<sup>2</sup> değerleri Delhi’de bulunan değerlerden biraz daha yüksektir. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonları arasında Duaçınarı ve Heykel’de bulunan r<sup>2</sup> değerleri Delhi’de bulunan değerden nispeten küçüktür. Ayrıca Duaçınarı ve Heykel’de CO-NO<sub>x</sub> modeli ile bulunan korelasyonlar ve SO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> modeli ile bulunan korelasyonlardan daha büyüktür. Bu sonuçlar da Bursa’daki kirleticilerin oluşumunda mobil kaynakların (Araç trafiği), noktasal kaynaklara (Isınma vb.) göre daha önemli olduğunu göstermektedir.

Aneja ve ark. (2001) tarafından Yeni Delhi’de yapılmış bir başka çalışmada, ortalama günlük konsantrasyonlar kullanılarak CO ve NO<sub>x</sub> değerleri arasında lineer regresyon modeli uygulanmış ve r<sup>2</sup> değeri 0,27 olarak bulunmuştur. Heykel ve Duaçınarı’nda ölçülmüş günlük CO ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonları arasında model ile bulunmuş r<sup>2</sup> değerleri sırasıyla 0,79 ve 0,80’dir. Aynı çalışmada CO/NO<sub>x</sub> oranı ~50 iken, bizim çalışmamızda bu oran ~13 olarak bulunmuştur. Yeni Delhi’de bulunan sonuçlar, bölgedeki meteorolojik koşullar ve fotokimyasal aktiviteler ile açıklanabilir. Kış sezonu boyunca genel meteoroloji olarak bölgede yüksek basınç oluşmakta ve bunun sonucunda atmosferik stabilite artmaktadır. Bu da atmosferde genel sirkülasyonu azaltmakta ve kirleticiler dağılamamaktadır. Ayrıca kış mevsiminde OH radikalının etkisiyle CO konsantrasyonunda azalma gözlenmediğinden, bu konsantrasyonlarda artış görülmektedir. Tüm bu etkenlerden dolayı Yeni Delhi’de düşük r<sup>2</sup> değerlerine rastlanmıştır.

$\text{NO}_x$ , NO ve  $\text{NO}_2$ 'nin birleşiminden oluşmaktadır. Bursa için yüksek seviyelerde hesaplanan CO ve  $\text{NO}_x$  arasındaki korelasyonlar biraz daha detaylandırılmak istenmiş ve bu bağlamda CO ile NO,  $\text{NO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  ayrı ayrı her bir mevsim için hesaplanmıştır. Duaçınarı ve Heykel'de CO ve  $\text{SO}_2$  kirletici konsantrasyonlarının NO,  $\text{NO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  konsantrasyonları ile aralarında mevsimlere göre oluşturulmuş lineer regresyon modelleri ve r değerleri Tablo 4.30. ve Tablo 4.31.'de verilmiştir.

Tablo 4.30. CO ile NO,  $\text{NO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  Değerleri Arasındaki Lineer Regresyon Modelleri

Mevsim	DUAÇINARI								
	CO (y)- NO (x)			CO (y)- $\text{NO}_2$ (x)			CO (y)- $\text{NO}_x$ (x)		
	Denklem	R	n	Denklem	R	n	Denklem	r	n
Kış	$y=33,3x+718,8$	0,91	4284	$y=53,7x-858,3$	0,61	4284	$y=25,5x-383$	0,90	4284
İlkbahar	$y=22,7x+480$	0,83	4345	$y=23,3x-263,7$	0,55	4345	$y=15,4x-197$	0,82	4345
Yaz	$y=11,1x+367,2$	0,76	4334	$y=8,67x+84,45$	0,76	4335	$y=6,36x+125$	0,87	4335
Sonbahar	$y=25,1x+99,9$	0,87	4342	$y=35,9x-461,2$	0,73	4342	$y=20,9x-752$	0,85	4342
Yıllık	$y=28,6x+342,3$	0,87	17305	$y=39x-772,9$	0,51	17306	$y=22,2x-607$	0,86	17306
Mevsim	HEYKEL								
	Denklem	R	n	Denklem	R	n	Denklem	r	n
	Denklem	R	n	Denklem	R	n	Denklem	r	n
Kış	$y=25,61x+1088,2$	0,86	4306	$y=41,97x-324,3$	0,69	4306	$y=19,32x+170$	0,88	4307
İlkbahar	$y=23,41x+408,9$	0,83	4215	$y=29,68x-585,5$	0,68	4215	$y=16,17x-261$	0,86	4215
Yaz	$y=14,22x+143,4$	0,73	4364	$y=10,54x-108,8$	0,79	4364	$y=7,23x-51,8$	0,83	4364
Sonbahar	$y=13,2x+347$	0,74	4366	$y=21,78x-75,8$	0,54	4366	$y=10,4x-9,9$	0,76	4366
Yıllık	$y=23,35x+391,5$	0,80	17251	$y=37,27x-708,3$	0,69	17251	$y=17,57x-290$	0,84	17251

n: Saatlik değerler gözönüne alınarak belirlenmiştir.

CO ile NO kirleticileri arasında korelasyonlar incelendiğinde, her iki semtte en yüksek korelasyonlara kış mevsiminde, en düşük korelasyonlara da yaz mevsiminde rastlanmıştır. Kış mevsiminde atmosferik stabilite artış göstermekte ve konsantrasyon salınımı az olmaktadır. Yaz mevsiminde ise sabit olarak ısınma kaynaklı kirlilik olmamaktadır. Ancak bunun yanında kışın gün içerisindeki sıcaklık farkları ve doğal kirletici kaynaklarının etkisiyle konsantrasyon salınımı artış göstermektedir. Dolayısıyla, konsantrasyonlar daha belirgin hale gelmekte ve diğer etkenler daha az dominant etkide bulunmaktadır. Bu sebeplerle kış mevsiminde, yaz mevsiminden daha yüksek korelasyonlar görülmüştür. Mevsimler arasındaki korelasyonlar Duaçınarı'nda 0,76 ile 0,91 arasında, Heykel'de 0,73 ile 0,86 arasında değişim göstermiştir.

Yukarıda belirtilen benzer sebeplerle, CO ve  $\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının regresyon modellerinde en yüksek r değerlerine yaz mevsimlerinde (Duaçınarı için 0,76, Heykel için 0,79) rastlanmıştır. En düşük r değerleri de bahar aylarında belirlenmiştir.

CO ve NO<sub>x</sub> kirleticilerinin ana kaynakları motorlu araçlardır (Cardenas ve ark. 1998). CO ve NO<sub>x</sub> kirleticileri arasındaki regresyon modellerinde yüksek korelasyonlara rastlanmıştır. Yine en yüksek korelasyonlara her iki semtte kış mevsiminde rastlanırken, en düşük korelasyonlara ilkbahar (0,82) ve sonbahar (0,76) mevsimlerinde rastlanmıştır.

CO'in NO ve NO<sub>x</sub> ile olan ilişkileri NO<sub>2</sub>'ye oranla daha yüksek r değerleri vermiştir. Bu durum CO ile NO ve NO<sub>x</sub> kirleticilerinin daha yakın bir ilişkide olduklarını göstermektedir. CO ile NO, NO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> kirleticileri arasında pozitif korelasyon vardır. Çeşitli meteorolojik ve antropojenik etkenler ve kimyasal reaksiyonlar bunda rol oynamaktadır. Atmosferdeki NO<sub>2</sub> miktarı hava sıcaklığına bağlı olarak değişim gösterirken, taşıt egzozlarından ve yanmadan kaynaklanan NO<sub>2</sub> miktarı da kış mevsimlerindeki değişime maskeleyerek yapılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı atmosferdeki NO<sub>2</sub> konsantrasyon salınımı daha çok olmakta ve CO ile olan korelasyon katsayıları daha düşük çıkmaktadır.

Tablo 4.31. SO<sub>2</sub> ile NO, NO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> Değerleri Arasındaki Lineer Regresyon Modelleri

Mevsim	SO <sub>2</sub> (y)- NO (x)			SO <sub>2</sub> (y)-NO <sub>2</sub> (x)			SO <sub>2</sub> (y)-NO <sub>x</sub> (x)		
	Denklem	r	N	Denklem	R	n	Denklem	r	n
Kış	y=0,368x+46,13	0,61	4049	y=1,16x-3,93	0,78	4049	y=0,34x+28	0,76	4049
İlkbahar	y=0,472x+38,61	0,48	3875	y=0,75x+8,61	0,48	3875	y=0,372x+20	0,55	3875
Yaz	y=0,46x+16,85	0,30	4056	y=0,257x+9,84	0,21	4056	y=0,222x+9	0,28	4056
Sonbahar	y=0,185x+33,10	0,37	4343	y=0,764x+3,36	0,49	4343	y=0,19x+23,1	0,45	4343
Yıllık	y=0,329x+33,27	0,49	16323	y=0,934x-4,89	0,59	16323	y=0,311x+18	0,58	16323
<b>HEYKEL</b>									
Kış	y=0,497x+46,13	0,60	4305	y=1,36x-15,87	0,80	4305	y=0,445x+20	0,73	4305
İlkbahar	y=0,407x+18,79	0,58	4215	y=0,687x-7,36	0,63	4215	y=0,313x+4,7	0,66	4215
Yaz	y=0,618x+12,51	0,49	4364	y=0,449x+1,85	0,52	4364	y=0,311x+4,1	0,56	4364
Sonbahar	y=0,278x+9,93	0,37	4136	y=0,825x-16,2	0,47	4136	y=0,261x-1,5	0,44	4136
Yıllık	y=0,472x+20,06	0,54	17020	y=1,116x-20,1	0,70	17020	y=0,41x+1,85	0,66	17020

n: Saatlik değerler gözönüne alınarak belirlenmiştir.

SO<sub>2</sub> kirleticisinin NO, NO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> kirleticileri ile ilişkileri mevsimsel bazda incelendiğinde, pozitif yönde korelasyonlar kurulmasının yanında, CO'in bu kirleticilerle ilişkisinin daha yüksek r değerleri verdiği görülmüştür.

Duaçınarı ve Heykel'de SO<sub>2</sub> ile NO konsantrasyonları arasındaki ilişkilere bakıldığında, en yüksek korelasyon katsayılarına kış mevsimlerinde rastlandığı görülmüştür (0,61 ve 0,60). En düşük korelasyon katsayısı Duaçınarı'nda yaz

mevsiminde (0,30), Heykel'de sonbahar mevsiminde (0,37) görülmüştür. Kış mevsiminde, özelliğinden dolayı, kirletici emisyonları ve atmosferik stabilite artmakta ve kirletici dağılımları azalmaktadır. Dolayısıyla kirletici konsantrasyon salınımları daha düşük seviyelerde olmaktadır. Bahar aylarından başlayarak yaz mevsimine doğru bu salınım artmakta ve korelasyon değerleri düşüş kaydetmektedir. Çünkü yaz mevsimine doğru yakma kaynaklı kirlilik ortadan kalkmaktadır. Ayrıca  $\text{NO}_x$  değerleri yaz mevsiminde sıcaklık dalgalanmasına bağlı olarak salınım göstermekte, bu da  $r$  değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır.

$\text{SO}_2$  ile  $\text{NO}_2$  kirleticileri arasındaki regresyon modellerinde Duaçınarı ve Heykel'de en büyük  $r$  değerleri yine kış sezonunda görülmüştür (0,78 ve 0,80). Bu semtlerde kış mevsiminde ölçülen  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_2$  kirleticileri arasında, diğer mevsimlerde ölçülen değerlerine göre daha yakın bir ilişki vardır.  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_2$  arasında en düşük korelasyon katsayıları Duaçınarı'nda yaz mevsiminde 0,27, Heykel'de sonbahar mevsiminde 0,47 olarak hesaplanmıştır.

Duaçınarı ve Heykel'de ölçülen  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  konsantrasyonları arasında lineer regresyon modelleri incelendiğinde en yüksek  $r$  değerleri kış mevsiminde görülmüştür (0,76 ve 0,73). En düşük  $r$  değerlerine ise Duaçınarı'nda yaz mevsiminde (0,28), Heykel'de sonbahar mevsiminde (0,44) rastlanmıştır.

Genel olarak bakıldığında  $\text{SO}_2$  ile  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  kirleticileri arasında kış mevsiminde diğer mevsimlere oranla daha yakın bir ilişki bulunmuştur. Bu kirleticiler arasında en zayıf ilişki Duaçınarı'nda yaz mevsiminde, Heykel'de sonbahar mevsiminde görülmüştür. Kış mevsiminde korelasyon katsayısının yüksek çıkmasının en önemli sebebi, yakmadan kaynaklanan  $\text{SO}_2$  miktarındaki artıştır.

**KAYNAKLAR**

Afroz, R., M.N. Hassan ve N.A. Ibrahim. 2002. Review of Air Pollution and Health Impacts in Malaysia. Environmental Researc.

Akkurt, A. 2000. Bursa Şehir Merkezindeki Hava Kirletici Kaynakları ve Miktarları. Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Aneja, V.P., A.A. Adams ve S.P. Arya. 2000. An Observational Based Analysis of Ozone Trends and Production For Urban Areas in North Carolina. Chemosphere Global Change Science, 2, 157-165.

Aneja, V.P., A. Agarwal, P.A. Roelle, S.B. Philips, Q. Tong, N. Watkins ve R. Yablonsky. 2001. Measurements and Analysis of Criteria Pollutants in New Delhi, India. Environment International, 27, 35-42.

Anonim. 2002. Bursa Büyükşehir Belediyesi (BBB) Çevre Koruma Daire Başkanlığı.

Anonim. 1986. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY). Resmi Gazete (No:19269).

Atımtay, A. ve C. Ergül. 1999. Ankara'daki Hava Kirliliğinin Yıllar İçinde Değişimi ve Doğalgaz Kullanımının Etkileri. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, İzmir, 39-45.

Atkinson, R. 1998. Atmospheric chemistry of VOCs and Nox. Air Pollution Research Center, Department of Environmental Science, and Department of Chemistry, University of California, Riverside, USA.

Baumbach, I.G. 1996. Environmental Engineering. Förstner, U., Murphy, R.J., Rulkens, W.H. (Editors), Stuttgart Üniversitesi, Almanya.

Bayar, A.B. 1997. Activities on Air Pollution Monitoring in Turkey. Environmental Research Forum, İstanbul, 635-640.

Bennet, B.G., J.G. Kretzchmar, G.G. Akland ve H.W. deKoning. 1985. Urban Air Pollution Worldwide. Environmental Science and Technology, 19, 298.

Beyazıt, N. ve U. Bali. 1996. Sivas'ta Hava Kirliliği ve Meteorolojik Parametrelerle İlişkisinin Araştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 551-559.

Bohm, M. 1992. Air Quality and Deposition. The Response of Western Forests to Air Pollution. Olson, R. K., Binkley, D., Bohm, M. (Editors), Springer-Verlag New York Inc., ABD.

Borat, O. 1992. Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği. Ankara.

Bursa Büyükşehir Belediyesi. 1998. Bursa Çevre Durum Raporu 1. Taslak.

Calvert, S. ve H.M. Englund. 1984. Handbook of Air Pollution Technology. Air Pollution Control Association Pittsburg, Pennsylvania, John Wiley&Sons Inc., Published in Canada.

Cardenas, L.M., J.F. Austin, R.A. Burgess, K.C. Clemitshaw, S. Dorling, S.A. Penkett ve R.M. Harrison. 1998. Correlations Between CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> ve Non-Methane Hydrocarbons During Winter 1993 On The North Norfolk Coast, U.K. Atmospheric Environment, 19, 3339-3351.

Carslaw, D.C., S.D. Beevers ve G. Fuller. 2001. An Empirical Approach For The Prediction Of Annual Mean Nitrogen Dioxide Concentrations in London. Atmospheric Environment, 35, 1505-1515.



Chaloulakou, A. ve I. Mavroidisb. 2002. Comparison of indoor and outdoor concentrations of CO at a public school-Evaluation of an indoor air quality model. Chemical Engineering Department, National Technical University of Athens, Athens, Greece.

Cuhadaroğlu, B., E. Demirci. 1997. Influence of Some Meteorological Factors On Air Pollution in Trabzon City. Energy and Building, 25, 179-184.

Cullis, C.F. ve M.M. Hirschler. 1980. Atmospheric Sulfur: Natural and Man-made Sources. Atmospheric Environment, 14, 421-422.

Demirci, E., B.Cuhadaroğlu. 2001. Statistical Analysis of Wind Circulation and Air Pollution in Trabzon. Energy and Buildings, 31, 49-53.

Demirsoy, M. 1986. Motorlu Taşıtların Sebep Olduğu Hava Kirliliği ve Alınması Gereken Tedbirler. Çevre 86 Sempozyumu, İzmir.

Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ). 2004. Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Ankara.

Elbir, T. 2003. Comparison Of Model Predictions With The Data Of An Urban Air Quality Monitoring Network In Izmir, Turkey. Atmospheric Environment, 37, 2149-2157.

Elbir, T., A. Müezzinoğlu. ve A. Bayram. 2000. Evaluation of Some Air Pollution Indicators in Turkey. Environmental International, 26, 5-10.

Environmental Protection Agency (EPA). 2000. Air Pollution and Water Quality, Atmospheric Deposition İnitiativ, What is Atmospheric Deposition.

Elsom, D.M. 1987. Atmospheric Pollution: A Global Problem. Blacwell Publishers, UK.

Eser, E., G. Dinç, C. Özcan, M. Tartan. 1999. Rutin Hava Kirliliği ve Meteoroloji Verileri İle Bir Gün Sonraki Hava Kirliliğinin Tahmini Üzerine Bir Deneme. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, İzmir, 105-114.

Etemoğlu, A.B. ve M. Kırbıyık. 1996. Bursa'da Hava Kirliliğine Genel Bir Bakış. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 561-570.

Fernandez Patier, R., P. Diez Hernandez, E. Diaz Ramiro ve J.M. Fernandez Bayon. 1994. Levels of Nitrogen Oxides and Ozone in Madrid. Study of the Nitrogen Monoxide/Nitrogen Dioxide and Nitrogen Oxide/Ozone Ratio. Proceeding of the 2nd International Conference on Air Pollution Part 2 (of 2), 381-388.

Finlayson-Pitts B.J. ve J.N. Pitts. 1986. Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques. John Wiley&Sons, ABD.

Gebizlioğlu, Ö.L. ve S. Güven. 1993. SO<sub>2</sub>, PM İçin Bir Çoklu Doğrusal Mekan Boyutlu Regresyon Model Denemesi. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu'93 Tebliğ Kitabı.

Godish, T. 1997. Air Quality Management. ISBN 1-56670-231-3.

Goyal, P., Sidhartha. 2002. Effect of Einds On SO<sub>2</sub> and SPM Concentrations in Delhi. Atmospheric Environment, 36, 2925-2930.

Güneş, M., U. Özer ve M. Cebe. 1999. Bursa Şehir Atmosferinde Gözlenen Kükürt Dioksitin Çeşitli Faktörlere Göre Değişiminin İrdelenmesi. Uludağ Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi, Uludağ Üniversitesi'nde Çevre Konulu Bilimsel Etkinlikler Özet Kitabı, Bursa, 5.

Hanna, S.R., G.A. Briggs ve Jr.R.P. Hosker. 1982. Handbook on Atmospheric Diffusion. Office of Health and Environmental Research. U.S. Department of Energy, Virginia.

Hunova, I., J. Santroch, J. Ostatnicka. 2004. Ambient Air Quality and Deposition Trends At Rural Stations in the Czech Republic During 1993–2001. Atmospheric Environment, 38, 887–898.

Jonnalagadda, S.B., J. Bwila ve W. Kosmus. 2001. Surface Ozone Concentrations in Eastern Highlands of Zimbabwe. Atmospheric Environment, 35, 4341-4346.

Karadağ, A. 1999. Meteorolojik ve Klimatolojik Verilere Göre İzmir’de Hava Kirliliği ve Beşeri Etkenlerin Rolü. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, İzmir, 134-142.

Karpuzcu, M. 1996. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 134-140.

Kılıç, M. ve T. Gemci. 1999. Adapazarı Şehir Merkezindeki Bir Kavşaktan Yayılan CO Konsantrasyonunun CAL3QHC Programı İle Tahmin Edilmesi. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, İzmir, 150-158.

Kleinbaum, D.G., L.L. Kupper ve K.E. Muller. 1988. Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods. PWS-Kent Publishing Company, Boston.

Mahadevan, T.N., P.B. Kulkarni ve K.S.V. Nambi. 1999. Development of Continuous Air Quality Monitoring Systems at Bhabha Atomic Research Centre For Conventional Pollutants and Their Performance Evaluation. Sensors and Actuators B, 55, 111-117.

Marr, L.C., R.A. Harley. 2002. Spectral Analysis of Weekday–Weekend Differences in Ambient Ozone, Nitrogen Oxide, And Non-methane Hydrocarbon Time Series in California. Atmospheric Environment, 36, 2327–2335.

Müezzinoğlu, A. 1987. Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 165-167.

Nakomen, E. 1988. Kömür. Dokuz Eylül Üniversitesi Basım Ünitesi, İzmir, 186-187.

Narita, D., P. Pochanart, J. Matsumoto, K. Someno, H. Tanimoto, J. Hirokawa, Y. Kajii, H. Akimoto, M. Nakao, T. Katsuno ve Y. Kinjo. 1998. Seasonal variation of carbon monoxide at remote sites in Japan. Chemosphere: Global Change Science 1, Japonya.

Odabaşı, M. 1993. İzmir’de Motorlu Taşıt Emisyonlarının Hava Kalitesine Etkisi. 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu Tebliğleri, İstanbul, 137-146.

Olcese, L.E., G.P. Gustavo, M.T. Beatriz. 2001. An inexpensive method to estimate CO and NO<sub>x</sub> emissions from mobile sources. Atmospheric Environment, 35, 6213–6218, Cordoba, Arjantin.

Özer, U. 1988. Troposferik ve Stratosferik Ozon. Çevre’88 Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, İzmir.

Özer, U., M. Cebe, M. Güneş, R. Aydın. 1996. Air Pollution Profile of Bursa. J. of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology, 15, 2-4, 129-133.

Payan, F. 1997. Bursa İlinin Hava Kirliliği Haritasının Çıkartılması. Yüksek lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Payan, F. ve F. Ertürk. 2002. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> Kirleticilerinin 1995-1996 Kış Sezonunda Bursa İçin Hava Kirliliği Haritalarının Oluşturulması, Ekoloji Dergisi, 45, 14-17.

Payan, F., F. Ertürk ve Y. Taşdemir. 1999. Bursa’nın Bazı Semtleri İçin Belirlenen Kış Sezonu SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> Konsantrasyonları. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 5, 23-28.

R. Mondal, G.K. Sen, M. Chatterjee, B.K. Sen, S. Sen. 1999. Ground-level concentration of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) at some traffic intersection points in Calcutta. Department of Chemistry, University of Calcutta, India.

Reddy, G.S. ve B. Ruj. 2003. Ambient Air Quality Status in Raniganj-Asansol Area, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 89, 153-163.

Republic of Turkey Ministry of Health Refik Saydam Centre of Hygiene. 1998. Air Pollution Country Report, Ankara.

Saitoa, Shinji ve ark. 2002. Relationship of NO<sub>x</sub> and NMHK to photochemical O<sub>3</sub> production in a coastal and metropolitan areas of Japan. *Atmospheric Environment*, 36, 1277-1286, Japonya.

Seinfeld, J.H. 1986. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. California Institute of Technology, Pasadena, California.

Sharma, C.K. 1997. Urban Air Quality of Kathmandu Valley Kingdom of Nepal. *Atmospheric Environment*, 2877-2883.

Soruşbay, C. ve A.G. Gökten. 1993. Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Kontrolü. 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu Tebliği, İstanbul, 157-166.

Shendell, D.G. ve L.P. Naeher. 2002. A Pilot Study to Assess Ground-Level Ambient Air Concentrations of Fine Particles and Carbon Monoxide in Urban Guatemala. *Environment International*, 28, 375-382.

Stein, A.F., Toselli, B.M. 1996. Street level air pollution in Cordoba City, Argentina. *Atmospheric Environment*, 30, 3491-3495.

Streets, D.G., N.Y. Tsai, H. Akimoto, ve K. Oka. 2000. Sulfur Dioxide Emission in Asia in the Period 1985-1997. *Atmospheric Environment*, 4413-4424.

Şimşek, Ö. 1995. Hava Kirliliğinde SO<sub>x</sub> Parametresi ve Giderimi. *Çevre Teknolojisi Dergisi*, 13, 21, İstanbul.

Tashiro, Y., T. Taniyama. 2002. Atmospheric NO<sub>2</sub> and CO Concentration in Lima, Peru. *Environment International*, 28, 227-233.

Taşdemir, Y., F. Payan, A. Uygur, H.S. Başkaya, V. Pınarlı. 1998. Assessment and Measurement of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Pollutants in Bursa. SECOTOX'98 International Conference on Ecotoxicology and Environmental Safety, 54.

Taşdemir, Y. 1999. Winter Season SO<sub>2</sub> Measurements in Bursa and Comparison with Rural and Urban Area Values. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Taşdemir, Y. 2001. Bursa'da Kükürt Dioksitten Kaynaklanan Hava Kirliliği. *Ekoloji Dergisi*.

Taşdemir, Y., S.S. Cindoruk ve C. Kural. 2002. Endüstriyel Kaynaklı SO<sub>2</sub>'nin Bursa Atmosferindeki Dağılımının ISCST Modeli İle İncelenmesi. 1. Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu, Erzurum.

Taşdemir, Y., C. Kural ve F. Payan. 2001. Bursa'daki Çeşitli Endüstrilerden Kaynaklanan Yanma Kökenli Hava Kirleticiler. İçel Çevre Sempozyumu Tebliğ Kitabı.

Tayanç, M., M. Karaca, A. Saral ve F. Ertürk. 1996. İstanbul'da Hava Kirliliği Modellenmesi, Uygulamaları ve Çözüm Önerileri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 541-550.

Tırıs, M., E. Kalafatoğlu ve H. Okutan. 1993. Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü. Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli, 7-8.

Tuncel, S., A. Baykal ve U. Özer. 1999. Ozone Concentration at a Rural Mountain Side of North Western Turkey. Uludağ Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi, Uludağ Üniversitesi'nde Çevre Konulu Bilimsel Etkinlikler Özet Kitabı, Bursa, 10.

Tünay, O. ve K. Alp. 1996. Hava Kirlenmesi Kontrolü. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 40.

Wahab, S.A.A. ve S.M. Al-Alawi. 2002. Assessment and prediction of tropospheric ozone concentration levels using artificial neural networks. Environmental Modelling & Software, 17, 219-228.

WHO. 2000. Guidelines for Air Quality. World Health Organization, Geneva.

Yuska, D.E., J.M. Skelly, J.A. Ferdinand, R.E. Stevenson, J.E. Savage, J.D. Mulik ve A. Hines. 2003. Use of Bioindicators and Passive Sampling Devices to Evaluate Ambient Ozone Concentrations in North Central Pennsylvania. Environmental Pollution, 125, 71-80.

Zırhlıoğlu, N. 1999. Bir Su Yüzeyi Örnekleyicisinin Atmosferik Partiküllerin Çökmesinin Belirlenmesi İçin Geliştirilmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitirme Çalışması, Bursa, 20-22.

Anonim. 2003. <http://www.bursa.gov.tr/tanitim/cografi.asp>

Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE). 2004. <http://www.die.gov.tr>

Sağlık İl Müdürlüğü. 2000. <http://www.rshm.saglik.gov.tr>

WHO. 2003. <http://www.who.int/inf-fs/en/fact187.html>

**TEŞEKKÜR**

Öncelikle Danışman hocam Doç.Dr. Yücel Taşdemir'e bana verdiği bilgi, destek ve ilgileri açısından ve sonsuz güveninden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince bana maddi ve manevi yönden ilgilerini ve sabırlarını esirgemeyen aileme, kaynak araştırması ve gerekli bilgilerin edinilmesi hususunda CEDFEM Mühendislik Çalışanlarına, Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden Zeynep ÇELİKTAŞ'a, Bursa İl Sağlık Müdürlüğü'ne, arkadaşlarım Serkut AKDENİZ, S.Sıddık CİNDORUK, Hüseyin GÜNEZ, Gizem&Selim KARACA, Aslıhan KÜÇÜKBALLI, Burak NAHARCI ve Ali Yaşar TOPÇU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği bulunan ismini sayamadığım tüm sevdiklerime minnettarım. TEŞEKKÜRLER.



## ÖZGEÇMİŞ

26.08.1979 tarihinde Bursa'da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Bursa'da tamamladı. 1997 yılında Bursa Erkek Lisesi'ni bitirdi. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 4 yıllık üniversite eğitimini başarı ile tamamlayarak 2001 yılında mezun oldu. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2003 yılında ÇEDFEM Mühendislik Ltd. Şti.'nde Çevre Mühendisi olarak çalışmaya başladı.

