

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YER SEVİYESİ OZON KİRLİLİĞİNE NEDEN
OLAN PARAMETRELERİN İSTANBUL İLİ
İÇİN İNCELENMESİ**

Çevre Müh. Güler TOZSİN

**F.B.E Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. HAVA KİRLİLİĞİNİN TANIMI VE KAYNAKLARI.....	3
2.1 Hava Kirliliği Hakkında Genel	3
2.2 Hava Kirliliğine Neden Olan Kirletici Kaynakları	5
2.3 Hava Kirliliğine Neden Olan Kirleticiler	6
2.3.1 Toz Kirleticiler	6
2.3.2 Gaz Kirleticiler	7
2.3.2.1 Kükürt Oksitleri (SO _x).....	7
2.3.2.2 Karbon Oksitleri (CO _x).....	8
2.3.2.3 Azot Oksitleri (NO _x).....	10
2.3.2.4 Hidrokarbonlar (HC)	10
2.3.2.5 Kurşun (Pb)	11
2.3.2.6 Florürlü Gaz Atıklar	14
2.3.2.7 Ozon (O ₃).....	14
3. OZON KİMYASI	17
3.1 Ozonun Yapısı ve Kimyası	17
3.2 Atmosfer Ozonu.	17
3.3 Ozon Ölçüm Sonuçları	19
3.4 Stratosferik Ozonun Oluşumu	20
3.5 Ozonun Fotolizi	21
3.6 Stratosferde Ozon Bozunduruç Reaksiyonlar.....	21
3.7 Troposfer Kimyası	22
3.8 Troposferik Ozon.....	23

3.9	Yüzey Tabakasında Fotokimyasal Reaksiyonlar.....	25
3.10	Azot Oksitlerin Reaksiyonları	26
3.11	Hidrokarbonların Reaksiyonları	27
3.11.1	VOC/NO _x Oranının Ozon Oluşumundaki Önemi	31
3.12	Karbonmonoksitin Atmosfer Kimyası.....	32
3.13	Fotokimyasal Smog	33
3.13.1	Kirleticilerin Fotokimyasal Smog Oluşumu İle Değişimi.....	34
3.14	Ozon Standartları.....	35
3.15	Ozon Kirliliği Sınır Değerleri ve Etkileri	36
3.15.1	Ozon Kirliliği Sınır Değerleri.....	36
3.15.2	Ozonun Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	37
3.15.3	Ozonun Bitkiler Üzerindeki Etkisi	38
3.15.4	Ozonun Malzemeler Üzerine Etkisi	39
4.	İSTANBUL'DA OZON KİRLİLİĞİ	40
4.1	İstanbul'da Ozon Kirletici Kaynakları	40
4.1.1	Ulaşımın Ozon Kirliliğine Etkisi	40
4.1.2	Endüstriyel Tesislerin Ozon Kirliliğine Etkisi	45
4.1.3	Akaryakıt İstasyonlarının Ozon Kirliliğine Etkisi.....	46
4.1.4	Konutların Ozon Kirliliğine Etkisi	50
4.1.5	Biyojenik Emisyonlar	51
4.2	İstanbul'da Ölçüm İstasyonlarının Yeri	52
4.3	Ölçüm İstasyonlarında Yapılan Analizler	55
4.4	Ozon, HC, NO _x Ölçüm Cihazlarının Çalışma Prensipleri	56
4.5	İstanbul'da Ozon, HC, NO _x Ölçüm Çalışmaları	57
5.	İSTANBUL EMİSYON ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	
5.1	İstanbul'da NO _x , HC, SO ₂ , CO Konsantrasyonlarının Yıllara Göre Değişimi	58
5.2	İstanbul'da Ozon Konsantrasyonunun Yıllara Göre Değişimi	60
5.3	Ozon-Azotoksit İlişkisi	77
5.4	Ozon-Hidrokarbon İlişkisi	89
5.5	Ozon-Rüzgar Hızı İlişkisi	115
5.6	Ozon-Sıcaklık İlişkisi	119
5.7	Ozon-Solar Radyasyon İlişkisi	124
6.	OZON KİRLİLİĞİNİ AZALTMA YOLLARI	128
6.1	Benzinli Motorlu Araçlarda Emisyon Azaltmak İçin Alınan Önlemler.....	128
6.1.1	Birincil Önlemler (Kaynak Öncesi Önlemler).....	128
6.1.2	İkincil Önlemler (Kaynağında Önlem).....	130
6.1.3	Egzoz Sisteminde Yakıt Kontrolü	132
6.2	Ozon Kirliliğini Azaltmak İçin Alınabilecek Diğer Önlemler	135
6.2.1	Trafik Üzerinde Alınabilecek Önlemler	135

6.2.2	Benzin İstasyonlarında Alınabilecek Önlemler	137
6.2.2.1	Kısa Vadeli Çözümler	137
6.2.2.2	Orta Vadeli Çözümler	137
6.2.3	Benzinli ve Motorinli Araçlarda Alınabilecek Önlemler	137
6.2.3.1	Kısa Vadeli Çözümler	137
6.2.3.2	Orta Vadeli Çözümler	137
6.2.4	Yakma Tesislerinde Alınabilecek Önlemler	138
6.2.5	Kuru Temizleme, Mobilya ve Sunta Tesislerinde Alınabilecek Önlemler	138
6.2.5.1	Orta Vadeli Çözümler	138
6.2.6	Vatandaşların Yapması Gerekenler	139
6.2.6.1	Kısa Vadeli Çözümler	139
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	140
	KAYNAKLAR	143
	ÖZGEÇMİŞ	146

SİMGE LİSTESİ

CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
CH ₄	Metan
C ₂ H ₆	Etan
HC	Hidrokarbon
nMHC	Nonmetan hidrokarbon
NO	Azotmonoksit
NO ₂	Azotdioksit
NO _x	Azotoksitler
N ₂ O	Diazotmonoksit
O ₃	Ozon
RO ₂	Peroksialkil
VOC	Uçucu organikler
λ	Hava fazlalık katsayısı
h ν	Solar radyasyon şiddeti

KISALTMA LİSTESİ

EPA	Environmental Protection Agency (Amerikan Çevre Koruma Ajansı)
EU	European Union (Avrupa Birliği)
KVS	Kısa Vadeli Sınır Değer
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)
PAN	Peroksiasetil Nitrat
TOMS	Total Ozone Mapping Spectrometer
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UVS	Uzun Vadeli Sınır Değer
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Teşkilatı)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	Atmosfer tabakaları	18
Şekil 3.2	Atmosferik ozon konsantrasyonunun düşey profili	18
Şekil 3.3	Atmosferik azotdioksitin fotolitik çevrimi	26
Şekil 3.4	NO, NO ₂ ve Ozonun gün içinde zamana bağlı değişimi	27
Şekil 3.5	Ozon oluşumunda hidrokarbonların etkisi	28
Şekil 3.6	VOC ve NO _x ile ozonun değişimi	30
Şekil 3.7	NO, NO ₂ , Hidrokarbonlar ve Ozonun gün içinde zamana bağlı değişimi	30
Şekil 3.8	Fotokimyasal smog	33
Şekil 3.9	Los Angeles şehrinde kirletici kaynaklarının değişimi	34
Şekil 3.10	Ozon ile çeşitli kirleticilerin zaman içindeki değişimi	35
Şekil 4.1	1996 yılından beri İstanbul'da ulaşımda kullanılan yakıt miktarları	41
Şekil 4.2	İstanbul'un sinyalizasyon haritası	53
Şekil 4.3	İstanbul'daki ölçüm istasyonları	54
Şekil 5.1	CO konsantrasyonunun yıllara göre değişimi	58
Şekil 5.2	SO ₂ ve toz konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi	58
Şekil 5.3	Hidrokarbon konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi	59
Şekil 5.4	Azotoksit konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi	59
Şekil 5.5	Ozon konsantrasyonunun yıllara göre değişimi	60
Şekil 5.6	Ozon konsantrasyonlarının aylık ortalama değerleri (1996-2002)	62
Şekil 5.7	Ozon konsantrasyonlarının aylık ortalamalarının yıllara göre değişim eğrileri ...	63
Şekil 5.8	Ozon Konsantrasyonlarının aylık ortalama değerleri	63
Şekil 5.9	Ekim 1995, Mart 1996, Haziran 1997, Mart 1998, Temmuz 1999 tarihlerindeki ozon değişim eğrileri	64
Şekil 5.10	Ozonun gün içindeki saatlik değişimi (18.05.2002)	65
Şekil 5.11	Ozonun gün içindeki saatlik değişimi (17.06.2002)	65
Şekil 5.12	Ozonun gün içindeki saatlik değişimi (15.07.2002)	66
Şekil 5.13	Ozonun gün içindeki saatlik değişimi (29.07.2002)	66
Şekil 5.14	Ozonun gün içindeki saatlik değişimi (05.08.2002)	67
Şekil 5.15	2002 yılına ait kış ayları karakteristik ozon grafikleri	67
Şekil 5.16	2002 yılına ait yaz ayları karakteristik ozon grafikleri	68
Şekil 5.17	Ozonun 48 saatlik periyottaki değişim eğrisi (16-17/06/2002)	69
Şekil 5.18	Ozonun 48 saatlik periyottaki değişim eğrisi (14-15/07/2002)	69
Şekil 5.19	Ozonun 48 saatlik periyottaki değişim eğrisi (25-26/07/2002)	70
Şekil 5.20	Ozonun 72 saatlik periyottaki değişim eğrisi (02-04/02/2002)	70
Şekil 5.21	Ozonun 72 saatlik periyottaki değişim eğrisi (21-23/03/2002)	71
Şekil 5.22	Ozonun 72 saatlik periyottaki değişim eğrisi (09-11/06/2002)	71
Şekil 5.23	Ozonun 72 saatlik periyottaki değişim eğrisi (14-16/07/2002)	72
Şekil 5.24	Ozonun 96 saatlik periyottaki değişim eğrisi (02-05/02/2002)	72
Şekil 5.25	Ozonun 144 saatlik periyottaki değişim eğrisi (01-06/07/2002)	73
Şekil 5.26	Ozon karakteristik eğrileri	74
Şekil 5.27	Bir yıl içindeki ozon konsantrasyonu değişim grafiği (1996)	75
Şekil 5.28	Bir yıl içindeki ozon konsantrasyonu değişim grafiği (2002)	76
Şekil 5.29	Azotmonoksit konsantrasyonunun aylara göre dağılımı (1996-2002)	78
Şekil 5.30	Azotdioksit konsantrasyonunun aylara göre dağılımı (1996-2002)	79
Şekil 5.31	Bir yıllık periyot içindeki günlük azotoksit-ozon değişimi (1996)	80
Şekil 5.32	Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi (Nisan 1996)	81
Şekil 5.33	Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi (Eylül 1997)	82
Şekil 5.34	Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi (Mart 1998)	82

Şekil 5.35 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi (Mart 1999).....	83
Şekil 5.36 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi (Şubat 2000)	83
Şekil 5.37 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi (Ekim 2001).....	84
Şekil 5.38 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi (5 Mart 2002).....	84
Şekil 5.39 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi (30 Nisan 2002)	85
Şekil 5.40 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi (1 Mayıs 2002).....	85
Şekil 5.41 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi (7 Haziran 2002).....	86
Şekil 5.42 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi (14 Temmuz 2002)	86
Şekil 5.43 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi (10 Ağustos 2002)	87
Şekil 5.44 72 saatlik periyottaki azotoksit-ozon değişimi.....	88
Şekil 5.45 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi	90
Şekil 5.46 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi	91
Şekil 5.47 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi	92
Şekil 5.48 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi	93
Şekil 5.49 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi	94
Şekil 5.50 Aylara göre hidrokarbon-ozon değişimi (1996).....	96
Şekil 5.51 Aylara göre hidrokarbon-ozon değişimi (1997).....	97
Şekil 5.52 Aylara göre hidrokarbon-ozon değişimi (1998).....	98
Şekil 5.53 Aylara göre hidrokarbon-ozon değişimi (1999).....	99
Şekil 5.54 24 saatlik periyotta saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.....	100
Şekil 5.55 24 saatlik periyotta saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.....	101
Şekil 5.56 24 saatlik periyotta saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.....	102
Şekil 5.57 72 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon-ozon değişimi (21-23/04/2002).....	103
Şekil 5.58 72 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon-ozon değişimi (01-03/07/2002).....	104
Şekil 5.59 72 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon-ozon değişimi (24-26/08/2002).....	105
Şekil 5.60 24 saatlik periyottaki saatlik azotoksit- hidrokarbon-ozon değişimi.....	106
Şekil 5.61 Aylara göre nMHC-ozon değişimi (1996).....	107
Şekil 5.62 Aylara göre nMHC-ozon değişimi (1997).....	107
Şekil 5.63 NO _x / nMHC oranının aylara göre ozon ile değişimi (1996).....	108
Şekil 5.64 nMHC / NO _x oranının aylara göre ozon ile değişimi (1996).....	109
Şekil 5.65 NO _x / nMHC oranının aylara göre ozon ile değişimi (1997).....	109
Şekil 5.66 nMHC / NO _x oranının aylara göre ozon ile değişimi (1997).....	110
Şekil 5.67 NO _x / nMHC oranının aylara göre ozon ile değişimi (1998).....	110
Şekil 5.68 nMHC / NO _x oranının aylara göre ozon ile değişimi (1998).....	111
Şekil 5.69 NO _x / nMHC oranının aylara göre dağılımı (1999).....	111
Şekil 5.70 nMHC / NO _x oranının aylara göre dağılımı (1999).....	112
Şekil 5.71 NO _x / nMHC oranının aylara göre dağılımı (2000).....	112
Şekil 5.72 nMHC / NO _x oranının aylara göre dağılımı (2000).....	113
Şekil 5.73 NO _x / nMHC oranının aylara göre ozon ile değişimi (2002).....	113
Şekil 5.74 nMHC / NO _x oranının aylara göre ozon ile değişimi (2002).....	114
Şekil 5.75 Bir yıllık periyottaki ozon-rüzgar hızı değişimi (1997).....	116
Şekil 5.76 Bir yıllık periyottaki ozon-rüzgar hızı değişimi (1998).....	116
Şekil 5.77 Bir yıllık periyottaki ozon-rüzgar hızı değişimi (2001).....	117
Şekil 5.78 Bir yıllık periyottaki ozon-rüzgar hızı değişimi (2002).....	117
Şekil 5.79 2002 Mayıs-Ekim ayları arasındaki ozon-rüzgar hızı değişimi.....	118
Şekil 5.80 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (1996).....	119
Şekil 5.81 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (1997).....	120
Şekil 5.82 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (1998).....	120
Şekil 5.83 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (1999).....	121

Şekil 5.84	Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (2001).....	121
Şekil 5.85	Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (2002).....	122
Şekil 5.86	2002 Mayıs-Ekim ayları arasındaki ozon-sıcaklık değişimi.....	123
Şekil 5.87	Bir yıllık periyottaki ozon- solar radyasyon dağılımı (1997).....	125
Şekil 5.88	Bir yıllık periyottaki ozon- solar radyasyon dağılımı (1998).....	125
Şekil 5.89	Bir yıllık periyottaki ozon- solar radyasyon dağılımı (2001).....	126
Şekil 5.90	Bir yıllık periyottaki ozon- solar radyasyon dağılımı (2002).....	126
Şekil 5.91	2002 Mayıs-Ekim ayları arasındaki ozon-solar radyasyon değişimi.....	127
Şekil 6.1	Kapalı (pozitif) karter havalandırma sistemi.....	132
Şekil 6.2	Katalitik konvertörün (katalizörün) iç yapısı.....	134

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Atmosferin doğal bileşimi	4
Çizelge 2.2	Ozon ve fotokimyasal oksidanların insan sağlığı üzerindeki etkileri.....	15
Çizelge 2.3	Türkiye’de bazı kirleticiler için hava kalitesi sınır değerleri	16
Çizelge 3.1	Troposferin ana bileşimi ve iz gazların tipik ömürleri	23
Çizelge 3.2	VOC/ NO _x oranına göre hesaplanmış hidrokarbon reaktivite değerleri	32
Çizelge 3.3	Ozon kirleticisinin sınır değerleri	36
Çizelge 3.4	Ozonun sağlık üzerine etkisi	38
Çizelge 4.1	Mobil araçlarda kullanılan yakıtlardan ileri gelen kirletici emisyonu.....	42
Çizelge 4.2	İstanbul’da araç türlerinin yıllara göre dağılımı (1985-1992 yılları).....	43
Çizelge 4.3	İstanbul’da araç türlerinin yıllara göre dağılımı (1993-2002 yılları).....	44
Çizelge 4.4	İstanbul’daki akaryakıt, akaryakıt+LPG ve LPG dolum istasyonlarının dağılımı.....	49
Çizelge 4.5	Anadolu yakasındaki akaryakıt, akaryakıt+LPG ve LPG dolum istasyonlarının dağılımı.....	49
Çizelge 4.6	Avrupa yakasındaki akaryakıt, akaryakıt+LPG ve LPG dolum istasyonlarının dağılımı.....	50
Çizelge 4.7	Ölçüm parametrelerinin yerleşim yerlerine göre özeti.....	55
Çizelge 4.8	Cihazların analiz metotları	56

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın başlamasından itibaren, tez konusunun seçilmesi, çalışma alanının belirlenmesi, verilerin temin edilmesi, sonuçların yorumlanması ve tezin hazırlanmasına kadar olan her aşamada yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa Öztürk'e

Çalışmamın hazırlanması esnasındaki katkıları, görüş ve önerileri için Sayın Prof. Dr. Ferruh Ertürk'e

Tezimde teorik sonuçları aydınlatacak verilerin temininde yardımcı olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı çalışanlarından Sayın Nizamettin Mangır'a, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ruhsat Müdürlüğü ve Göztepe Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca, gösterdikleri ilgi ve sabırdan dolayı aileme, arkadaşlarıma ve tezin hazırlanmasında emeği geçen herkese şükranlarımı sunarım.

ÖZET

Endüstrileşme ve taşıt sayısının artmasına paralel olarak havaya verilen kirletici miktarı da artmaktadır. Yer seviyesi ozonu ortama verilen bu kirleticilerden azot oksitler ve hidrokarbonlar gibi birincil kirleticilerin güneş enerjisi eşliğinde fotokimyasal reaksiyonları sonucu oluşmaktadır.

Uzun yıllardır taşıtlar, endüstriyel tesisler ve evsel kaynaklar ozon öncü maddelerini havaya vermektedirler. Ancak ozonun meydana gelmesi için gerekli olan güneş enerjisinin yaz aylarında fazla olması, ozon kirliliğinin mevsimsel bir problem olarak yaz aylarında karşımıza çıkmasına neden olmuştur.

İstanbul'da yapılan ölçüm sonuçları da yaz sezonunda ozon seviyesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle öğle saatlerinde ozonun maksimum seviyelerde olduğu ölçülmüştür. Akşam saatlerinde ise ozon tekrar düşüş göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında günümüzde gelişmiş ülkelerde sınır aşan bir kirletici parametre olarak tanımlanan ozonun oluşturduğu pik değerler incelenmiştir. Ozon konsantrasyonunun artmasına neden olabilecek kirletici parametreler ile meteorolojik faktörlerin ilişkisine bakılarak ozonun farklı saatlerdeki davranışı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : İstanbul, Hava Kirliliği, Ozon, NO_x, HC, Sıcaklık, Rüzgar Hızı, Güneş Radyasyonu.

ABSTRACT

According to the increase of industry and traffic the amount of pollutants are also increasing. The surface ozone concentration is made up of the primary pollutants like nitric oxides and hydrocarbons that cause the photochemical reactions with the sun shine.

Throughout the year, traffic, industry and households release the precursors of ozone into the air. But, it is only on hot and sunny days that they can be transformed into ozone by sunlight, which is why ozone is a seasonal problem, resulting however from daily emitted precursor pollution.

The indications in Istanbul shows us that during summer the ozon level is high. Especially at midday the level is maximum. At night hours the level decreases again.

In this research we examined that in devoloping countries the pollutant parameter that affects not only the emission source but also the countries, cause the pike results of the ozone. Meteorological factors and pollutants are examined in different day time for the increase of the ozone concentrations.

KeyWords: Istanbul, Air Pollution, Ozone, NO_x , HC, Temperature, Wind Speed, Sun Radiations.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Son yıllarda sanayileşme ve endüstriyel gelişmeye paralel olarak kentlerin büyümesi ve nüfusun artması ile gelişen plansız şehirleşme sonucu çevre kirliliği sorunları önem kazanmaya başlamıştır.

Ülkemizde özellikle ısınma enerjisi temini için sosyo ekonomik şartlardan dolayı ucuz fakat düşük kalorili kömür oranı yüksek kömürlerin fazla kullanılması, motorlu taşıt sayısının hızla artması, zaman zaman oluşan kötü meteorolojik şartların etkisi ile hava kirliliği önlem alınması gereken boyutlara gelmiştir.

Bunlara ilaveten bir çok kimyasal maddenin üretimi, ayrışması, buharlaşması ve benzeri işlemler sonucunda başta kükürtdioksit gibi toksik maddeler olmak üzere is, toz, duman, gibi askıda katı partiküller ve bunlar içindeki eser haldeki kanserojen elementler atmosfere geçerek hava kirliliğine sebebiyet vermektedir.

Hava kirliliğine sebep olan kaynaklardan sanayileşme ve şehirleşmenin kirliliğe olan katkılarının büyüklüğü kadar motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlarında büyük bir kirlilik nedeni olduğu bilinmektedir. Endüstri % 19, termik santraller % 16, motorlu taşıtlar % 47'lik bir kirlilik oranına sahiptir. Endüstriyel tesislerin, konutların ve motorlu taşıtların vermiş oldukları emisyonlar fotokimyasal reaksiyonlar sonucu güneş ışığının da etkisiyle yer seviyesi ozonunun oluşumuna neden olmaktadır.

Yer seviyesi ozonu; azot oksitler ve hidrokarbon birincil kirleticilerinin güneş enerjisi eşliğinde fotokimyasal reaksiyonlarla oluşan ikincil hava kirletici parametrelerdendir. Günümüzde gelişmiş ülkeler başta olmak üzere yerleşim bölgelerinde ozon konsantrasyonları sürekli olarak artmaktadır. Benzer şekilde kırsal bölgelerde ve büyük orman alanlarında aynı artış görülmektedir.

Yer seviyesi ozonu bir hava kirletici parametre olarak öncelikle insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Diğer taraftan ormanlar ve zirai üretim üzerinde de olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ozon hem hava kirletici kaynaklarda lokal olarak üretilmekte hem

de sınırları aşan hava hareketleri ile taşınmak suretiyle lokal ölçekte konsantrasyonun artmasına neden olmaktadır. Bu bakımdan bölgesel ölçekli bir hava kirletici parametre olarak da tanımlanmaktadır.

Yer seviyesi ozonu zararlı etkileri dolayısıyla; gelişmiş ülkeler tarafından 1990'lı yıllardan itibaren kontrolüne yönelik çalışmalara önem ve öncelik verilen ve çevre politikalarında öne çıkan bir konuma gelmiştir.

Yer seviyesi ozon kirlenmesiyle ilgili çalışmalar 1970'li yıllarda yoğunlaşmıştır. Örnek olarak; 1976'da Kaliforniya'da ozon konsantrasyonunun yılın 194 gününde federal standart olan 0.12 ppm'i geçmiş ve 237 günde de eyalet standardı olan 0.09 ppm değerini aşmıştır. Aynı yılda I.Kademe uyarı seviyesi olan 0.20 ppm değeri 102 gün, II.Kademe uyarı seviyesini oluşturan 0.35 ppm ise 7 gün aşılmıştır (Wark ve diğ.,1998).

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmamız İstanbul'da ölçülen ozon datalarından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.Çalışma 7 bölüm içerisinde yürütülmüştür. Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılmış, ikinci bölümde hava kirliliğinin tanımı ve hava kirletici kaynaklarına değinilmiş, üçüncü bölümde ozon kimyası, azot oksitlerin ve hidrokarbonların reaksiyonlarına değinilmiş ve ozon kirliliğinin etkileri ile ilgili bilgiler verilmiş, dördüncü bölümde İstanbul'daki ozon kirlenmesi, ozon ölçüm çalışmaları anlatılmış, beşinci bölümde İstanbul ili imisyon ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmış, altıncı bölümde ozon kirliliği azaltma metotlarına değinilmiş ve yedinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler anlatılmıştır.

2. HAVA KİRLİLİĞİNİN TANIMI VE KAYNAKLARI

2.1 Hava Kirliliği Hakkında Genel Bilgi

Çevremizi saran, soluduğumuz ve yaşam için en önemli öğelerden biri olan havanın doğal bileşiminin değişime uğrayarak insan sağlığına zararlı bir özellik kazanmasına hava kirliliği denilmektedir. Atmosfer insan, hayvan, bitki ve tüm canlıların yaşamları için soludukları varlıklarını, yaşamlarını borçlu oldukları ortak bir doğa değeridir.

Soluduğumuz havanın normal bileşimine giren gazların oranları belirlenmiştir. Hava, atmosferi oluşturan gazların bir karışımıdır. Vücudumuz bu havaya uyum sağlamıştır. Havanın bileşiminde bulunmayan bir takım gazların hava içine karışması ile gazlar dışında bazı gaz veya havada asılı durabilen parçacıkların girmesi bir ölçüde normal kabul edilebilir. Önemli olan havanın bileşimine giren yabancı gaz veya cisimlerin birim hacimde ne oranda bulunduğunun bilinmesidir. Gerçek kirlilik yabancı gaz ve cisimlerin insan sağlığına zarar verir boyutlara ulaşmasıdır. Birim hacim alanda ne miktar yabancı gaz ve cisim bulunabileceği bilimsel çalışmalarla belirlenmektedir.

Hava kirliliği modern yaşamın bir sonucudur. Sıkışık düzende kurup, içinde kendimizi yaşamaya hapsettiğimiz kentlerde ulaşım, ısınma/aydınlanma için gerekli enerji ve her geçen gün artıp çeşitlenen tüketim gereksinmemizi karşılamaya yönelik toplu üretimin gaz artıkları, havayı yoğun gaz ve toz kalıntılarıyla doldurmuştur. Havayı kirleten en önemli etken yanma olayıdır.

Havanın insan sağlığına ve diğer canlılara zarar verici hale gelmesi bize şu çağrışımı yaptırır. Hava kirliliği, karışımın içinde terkebini bozacak maddelerin arttığının işaretidir. Belirli yerlerden atmosfere bırakılan kirleticilerin arttığı daha sonra bu kirleticilerin kimyasal reaksiyonlara girerek kirletme alanlarını yaydıkları görülür. Genelde hava kirliliği atmosferde toz, duman, çeşitli gazlar, su buharı, kurum şeklinde canlı ve cansız varlıklara zarar verici şekilde hızla artış gösterir .

Hava kirliliği, “Canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen veya maddi zararlar meydana getiren hava içerisindeki yabancı maddelerin, normalin üzerindeki yoğunluğudur” (Dünya Sağlık Örgütü tanımı).

Hava kirlenmesi çeşitli yaklaşımlarla tanımlanabilir, ancak hava kirlenmesi olayında gerek kirleticiler gerekse bunların etkileri konusundaki belirsizlikler genel bir tanımın yapılmasını güçleştirmektedir. En yaygın tanımlardan birisi şu şekildedir; “hava kirliliği, havada katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına, ekolojik dengeye ve eşyalara zararlı olabilecek konsantrasyonlarda ve sürelerde bulunmasıdır”. Bir diğer tanım “hava kirliliği, atmosferde kirleticilerin dağılımını engelleyecek meteorolojik oluşumların mevcudiyeti sonucu oluşan bir kirlenme türüdür” şeklinde verilebilir. İlk tanımda hava kirliliğine neden olan kirleticiler ve etkileri, ikinci tanımda ise oluşuma yol açan meteorolojik etkenler vurgulanmaktadır. Atmosferin doğal bileşimi ve temiz bir troposferde bulunan maddeler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Atmosferin doğal bileşimi.

Bileşen	Hacim %'si	Konsantrasyon (ppm)
Azot	78.084 ± 0.004	780900
Oksijen	20.946 ± 0.002	209400
Argon	0.934 ± 0.001	9300
Karbondioksit	0.0033 ± 0.001	315
Neon		18
Helyum		5.2
Metan		1.2
Kripton		0.5
Hidrojen		0.5
Ksenon		0.08
Azotdioksit		0.02
Ozon		0.01-0.04

Temiz Troposfer Havasındaki Bileşenler		
Kükürtdioksit		$10^{-3} - 10^{-2}$
Karbonmonoksit		0.12
Azotmonoksit		$10^{-3} - 5.10^{-3}$
Nitrik Asit (HNO_3)		$2.10^{-3} - 3.10^{-3}$
Amonyak		10^{-3}
Formaldehit (HCHO)		4.10^{-4}
Nitröz Asit (HNO_2)		10^{-6}

2.2 Hava Kirliliğine Neden Olan Kirletici Kaynakları

Hava kirletici kaynaklar çok çeşitlidir. Kaynakların tanımı ve çeşitli amaçlarla kullanımları için kaynak sınıflandırmaları yapılır. Bunların başlıcaları aşağıda verilmiştir.

- a) İnsan faaliyetleri esas alınarak yapılan sınıflandırma;
 - Doğal kaynaklar (volkan, bataklık, organik maddelerin çürümesi vb.)
 - İnsan faaliyetlerine dayalı (antropojenik) kaynaklar olarak sınıflandırılır.
- b) Kaynak hareketine göre;
 - Hareketli (mobil) kaynak
 - Durağan kaynak ayırımı yapılır.
- c) Kaynak yapısına göre (idealize edilmiş);
 - Nokta kaynak (baca gibi belli yapısı olan)
 - Çizgisel kaynak (karayolundaki taşıtlar)
 - Alan kaynak (yerleşim bölgelerinde yakıt yakılması) sınıflandırması yapılır.
- d) Kaynaklarda kirleticilerin kontrolü açısından;
 - Yakıt yakılması
 - Ulaşım
 - Endüstriyel
 - Diğer (katı atık yakılması, orman yangınları, inşaat vb.) sınıflandırması yapılır.

Sonuncu sınıflandırma kirletici envanterlerinin yapılması ve kaynak kontrollerinin belirlenmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. (Tünay ve Alp, 1996).

2.3 Hava Kirliliğine Neden Olan Kirleticiler

Atmosferin bileşimine çeşitli kaynaklardan atılan kirleticiler iki ana kümede toplanmaktadır. Bunlar “Toz Kirleticiler” ve “Gaz Kirleticiler” ‘dir.

2.3.1 Toz Kirleticiler

Hava kirliliği olayında toz (partikül) halindeki katı ve sıvı cisimler önemli bir rol oynar. Tozlar çeşitli kaynaklardan gelir. Konutlar, iş yerleri, sanayi tesisleri, kentsel faaliyetler, maden ocakları, karayolları sürekli olarak partikül halinde madde üretmektedir. Ayrıca meteorolojik olaylar özellikle rüzgar ve yağış partikül maddelerin atmosfere karışması ve yer değiştirmesinde önemli rol oynar.

Partikül maddeler tane büyüklüğü ve yoğunluk derecesine bağlı olarak farklı sürelerde havada kalabilir, dağılır veya çöker. Bu maddelerin bilinen birçok kaynağı dışında, üst atmosfer tabakalarında bazı fotokimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan oluşumu da dikkat çekicidir. Bu olaylar sırasında iyon ve gazlardan partikül oluşmaktadır. Bunların belirli bir büyüklüğe ulaşması sonucunda yağış çekirdeği görevi yaparlar.

Partikül maddelerin büyüklükleri önemlidir. Bu nedenle bilim adamları partikül madde hareketleri ve büyüklükleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. 0.1 mikrometreden küçük, ince partiküllerin davranışları moleküle benzer ve rasgele hareket özelliği gösterir. Rasgele oluşan bu hareketlere Brown Hareketi denilmektedir.

1-20 mikrometre büyüklüğündeki tanecikler kendilerini taşıyan gaz kütleleri tarafından sürüklenir, bağımsız hareket etmezler.

20 mikrometreden daha iri taneciklerin havada uzun süre kalması pek olanaklı değildir. Hızla çökerek yere ulaşırlar.

Soluduğumuz havadaki toz en kolay ifadesiyle görüş mesafesini azaltmaktadır. Bunun dışında insan, hayvan ve bitki sağlığına zarar verir. Bina ve eşyaların kısa sürede yıpranmasına neden olur. Örneğin çimento fabrikaları çevresinde yaşayan tüm canlılar ve hatta cansız varlıklar oldukça ileri boyutlarda etkilenmektedir. Çimento fabrikasının bacasından çıkan yoğun toz

çevreye öylesine yayılmaktadır ki bitki örtüsünün rengi değişmektedir. Yapraklar üzerine düşen tozlar, yaprağın rengini değiştirmenin ötesinde, üzerini kaplayarak solunum imkanını ortadan kaldırmakta, böylece gelişme durmakta veya çok azalmaktadır. Bunun dışında bina çatıları ve eşyaların toz nedeniyle rengi değişmekte ve ekonomik kayıplar ortaya çıkmaktadır.

Toz kirleticilerin kendisi kimyasal özelliği nedeniyle zararlı olabileceği gibi, havada bulunan çeşitli kirleticilerin toz zerrecikleri tarafından emilmesi sonucu farklı bir kirlilik ve zarar yaratması olasıdır.

Partikül (toz) kirleticilerin çeşitli etkileri vardır. Bunların tanımlanması için tozların büyüklüğü, türü, havadaki su buharı, diğer gazlarla ilişkileri ve tozun havada kalma süresinin belirlenmesi gerekir.

Partiküllerin havada $60-180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /yıl olarak bulunması halinde görüş mesafesi azalır, güneş ışınlarının yoğunluğu azalır, yaşlı ve çocukların solunum yolu sorunları görülür. Günlük ortalama değeri $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ toz ve $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 konsantrasyonu varlığının birlikte aynı ortamda oluşması durumunda ağır hastalık ve ölüm olayları görülür.

Bu örneklerden görüldüğü üzere toz konsantrasyonlarının yoğunluğunun yanı sıra öteki kirletici gazların örneğin SO_2 'nin aynı ortamda ve aynı zamanda bulunması ile büyük zararlar ortaya çıkmaktadır.

2.3.2 Gaz Kirleticiler

Gaz kirleticilerin başlıcaları, kükürt oksitleri, karbon oksitleri, azot oksitleri, hidrokarbonlar, kurşunlu, florürlü gaz atıkları başlıkları altında aşağıda incelenmiştir.

2.3.2.1 Kükürt Oksitleri (SO_x)

Kükürt oksitler SO , SO_2 , SO_3 , S_2O_3 , S_2O_7 ve SO_4 'den oluşur ve SO_x olarak kollektif bir parametre olarak ifade edilir. SO_2 (kükürt dioksit) ve SO_3 (kükürt trioksit) kükürt oksitlerin atmosferde en çok bulunan türlerdir.

2.3.2.1.1 Kükürtdioksit (SO₂)

SO₂'in başlıca kaynakları yanardağlar, kükürt suları, kükürt gazı içeren yer altı kaynakları, kömür ve fuel-oil, çürümekte olan organik maddeler, insanların çeşitli faaliyetleridir. SO₂'nin yıllık toplamı 100 milyon tona ulaşmakta olup bunun %90'ı kuzey yarı kürede görülmektedir. SO₂'in ana kaynaklarından birisi kükürt içeren yakıtların yanması olayıdır. Tuğa ocakları, kireç ocakları, aniden tutuşan büyük kömür yığınları veya kömür ocaklarından çıkan ve ocaklar civarında bırakılan kalıntı yığınlarının yanması sonucu havaya önemli oranda kükürtdioksit karışır. Sanayi tesisleri ve konut bacalarından çıkan dumanlar arasında havaya karışan kükürtdioksit havadaki sis ile birleştiğinde sağlık yönünden çok sıkıntılı tablolar yaratabilmektedir. 1 m³ havada 300-500 mikrogram kükürtdioksitin varlığı durumunda akciğer rahatsızlıklarına neden olmaktadır. Bu miktarın 1000-1500 mikrograma çıkmasıyla solunum imkansız duruma gelmekte ve solunum yolu hastalıkları kaçınılmaz olmaktadır. 1952 yılı Nisan ayında görülen büyük Londra sisi sonucunda ilk 3-4 gün içerisinde solunum yetersizliğinden yaklaşık 4000 kişinin öldüğü tespit edilmiştir. İzleyen 3 ay içerisinde 8000 kişi solunum yolu hastalıklarından etkilenmiş ve hastalıkların büyük bölümü ölümle sonuçlanmıştır. Bu olayın ilk iki gününde havadaki SO₂ oranı m³'de 4900 mikrogram olarak belirlenmiştir.

2.3.2.2 Karbon Oksitleri (CO_x)

Bu gruba karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) girmektedir.

2.3.2.2.1 Karbonmonoksit (CO)

Hava kirliliğini oluşturan bir diğer gaz karbonmonoksit (CO)'dir. Renksiz ve kokusuzdur. Havadan daha hafiftir. Yakıtların yetersiz yanması sonucu ortama yayılır. Kimyasal bir zehirdir. Solunum yoluyla kana karışır, kandaki hemoglobin ile birleşir ve akciğerlerin oksijen alma, kanın oksijen taşıma yeteneğini azaltır. Beyin hücrelerine yeterli oksijen gitmesini engeller, beyin ve kalp dokularını tahrip eder.

Hava içerisinde çeşitli oranlarda bulunur. 1 m³ havada 100.000'de 1 oranında bulunduğu durumda hastalığa, 750'de 1 oranında bulunduğu 30 dakika içerisinde ölüme neden olmaktadır.

Ana emisyon kaynağı, genel olarak taşıt araçlarının egzoz dumanıdır. Açık havada yayılır. Kapalı ortamlarda birikerek canlılar için zararlı olur. Bulunduğu ortamda öldürücü dozda bulunmuyorsa kronik zehirlenmeye neden olabilmektedir. Ayrıca küçük dozda solunması halinde halsizlik, bulantı, baş ağrısı, baş dönmesi görülmektedir. CO gazı ile zehirlenmenin en tipik göstergelerinden birisi dikkatin dağınıklığı ve kaybolmasıdır. Bu durum yoğun trafiğin olduğu karayollarında uzun süre araba kullanan sürücülerini etkileyerek dikkatsizliğin doğması sonucu kazaların oluşmasına neden olmaktadır.

CO benzin ve dizel motorlarının egzoz gazları dışında kömürün iyi yanmaması sonucunda da ortama yayılır. Ayrıca sigara dumanında bir miktar bulunur (Ayberk,S.).

2.3.2.2.2 Karbondioksit (CO₂)

Karbon ihtiva eden maddelerin yanması sırasında açığa çıkan gazlar arasında bulunur. Ayrıca organizmaların çürümesi, aerobik dekompozisyon, fermantasyon, kireçtaşının asitle işlem görmesi ve insanların solunum olayı sırasında ortama yayılır. Fosil yakıtlar adı verilen kömür ve petrolün yanması sonucu geçen yüzyılda atmosferdeki CO₂ oranı milyonda 290 kısım iken 1960'da 316 günümüzde 345 kısıma yükseldi. Yapılan tahminlere göre günümüzde atmosferdeki yıllık ortalama CO₂ artışı 10 yılda yaklaşık %4 olmuştur. Karbondioksit atmosferin bileşiminde normal olarak ve %0.033 dolayında bulunmaktadır. CO₂ bitkisel üretim için gereklidir. Bitkiler fotosentez olayı için CO₂ ve O₂ verirler. CO₂ normalde bir kirletici değildir. Ancak çeşitli kaynaklardan atmosfere yayılan CO₂ miktarının artışı ve atmosferde birikerek yarattığı sera etkisi sonucu küresel ısınma olayı nedeniyle önemli bir kirletici haline gelmiştir.

2.3.2.3 Azot Oksitleri (NO_x)

Azot oksitler hava kirletici gazlar arasında önemli bir yere ve paya sahiptir. Atmosferin bileşiminde doğal olarak ve %78 oranında bulunan azot canlı yaşamı için herhangi bir zararı olmadığı gibi ekosistemde bitkiler dünyası için oldukça önemli bir kaynaktır. Topraktaki azotun en önemli kaynağı atmosferdeki azot olarak bilinmektedir. Atmosferdeki azot, azot bağlayan bitkiler ve yağışlar yoluyla toprağa intikal eder. Atmosferdeki azot (N₂)'un yüksek düzeyde ısıtılması sonucu (1100 °C üzerinde) azot oksitler (NO_x), özellikle Nitrik oksit (NO) ortaya çıkar. Bu olay otomobil motorunda yanma sonucu ortaya çıkar. Atmosfer NO_x'lerin kompleks karışımlarını taşımaktadır. Diazotmonoksit asit (N₂O) toksik nitelik boyutlarda N₂O içermez. Bu gazın ana kaynağı azotlu gübrelerin toprakta parçalanması sonucu ortaya çıkar ve atmosfere ulaşır. Stratosfer tabakasına kadar yükselen gaz, ozon (O₃) tabakasına zarar vermektedir.

Taşıt araçlarının egzozlarından yayılan en önemli NO_x, azotmonoksit (NO)'dir. Atmosferde miktarının artışı ile insanlara ve bitki örtüsüne zararlı olabilmektedir. Güneş ışınları etkisiyle azotmonoksit (NO), azotdioksit (NO₂)'e dönüşmektedir. NO₂ kahverengi, toksik bir gazdır. Canlılara zararlı olmaktadır. İngiltere'de yapılan incelemelere göre NO₂'nin başka gazlarla birleşerek yaptığı etki, tek başına yaptığı olumsuz etkiden daha fazladır. Güneş ışınlarının etkisiyle NO₂ parçalanarak serbest O ile birleşir ve yaşadığımız ortamda ozon (O₃) oluşumuna neden olur. Bu reaksiyon oldukça yavaş seyreder. O₃'un yoğun konsantrasyonları trafiğin yoğun olduğu merkezlerden yüzlerce kilometre ötede bile gözlenmektedir. Örneğin Londra'daki yoğun trafiğin etkisi Galler, Kuzey İrlanda ve kısmen İskoçya'da tespit edilmiştir. Trafik yükü sonucu ortaya çıkan ozon kirliliği en çok ABD'de tespit edilmiştir.

2.3.2.4 Hidrokarbonlar (HC)

Atmosferdeki ana kirleticilerden birisi de hidrokarbonlardır. Bunların doğrudan etkileri yerine atmosferdeki fotokimyasal reaksiyon ürünleri oldukça önem taşır. Hidrokarbonlar, hidrojen ile karbonun belirli oranlarda katılımı ile oluşan bileşiklerdir. Alifatik ve aromatik olmak üzere iki kümede toplanırlar. Alifatik hidrokarbonlar, karbonların birleşmesinden oluşan iskelet ya da düz zincir veya dolanmış biçimdedir. Eğer karbonlar arası bağlar tek bağ ile bağlanıyorsa parafinler oluşur. En basit hidrokarbon metan (CH₄)'dir. Ardından etan (C₂H₆), propan (C₃H₈) ve bütan (C₄H₁₀) gelmektedir. Bunlara doymuş hidrokarbonlar denir. Aromatik

hidrokarbonlar doymamış hidrokarbonlardan oluşur. Bu dizide benzen, naftalin, antrasen gibi çekirdekler bulunur. Hidrokarbonların ana kaynağı petroldür. Petrolün çıkarıldığı yere ve özelliklere göre değişik hidrokarbon türleri bulunur. Alifatik hidrokarbonlar, petrol, doğal gaz, doğal kauçuk ve metal karbürlerinden elde edilir. Aromatik hidrokarbonlar maden kömürünün damıtılması sonucu ortaya çıkan katrandan elde edilir.

Doğrudan etkisi bilinen tek organik gaz kirletici Etilen'dir. Etilenin atmosferde belirli bir dozu aşması sonucu bitki büyümesinde gecikme olmaktadır.

Büyük moleküller halinde bulunan ve katran, zift gibi katı-sıvı fazlarda olan yanmamış hidrokarbonların kanser yapıcı etkisi üzerinde durulmaktadır. Petrol ve kömür kaynaklı kirleticiler, poli aromatik hidrokarbonlar havada çok az miktarda dahi insan sağlığına büyük zarar vermektedir.

Hidrokarbonların atmosfere yayılmasında en önemli kaynak benzinli motorlar olmaktadır. Yanan benzinin içeriğinde üretildiği ham petrolün yapısına bağlı olarak doymuş hidrokarbonlar bulunur.

2.3.2.5 Kurşun (Pb)

Çevre kirliliğine önemli etkisi olan bir diğer kirletici kurşundur. Kurşun bir ağır metaldir. Kurşun tetraetil imalat sırasında benzine katılır. Bu işlemin amacı benzinin oktanını yükselterek daha iyi yanmanın sağlanmasıdır. Kurşun motor içerisinde gerekli işlevini yerine getirdikten sonra ortama atılır. İnsanlar ve hayvanlar tarafından solunum yoluyla canlı organizmaya girer. Kurşun zehirlenmesi kandaki kurşun miktarı ile belirlenir. İngiltere'de yapılan tespitlere göre kandaki ortalama kurşun düzeyi 23 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ olarak belirlenmiştir. Uluslar arası Sağlık Örgütleri tarafından kandaki kurşun düzeyinin 35 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ 'den fazla olmaması gerektiği ifade edilmektedir. ABD'de yapılan ölçümlerde oto bakım servislerinde çalışan personelin kanında 60 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ düzeyinde tespit edilmiştir. Kurşun için işyeri havasında en fazla 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dış havada 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e izin verilmektedir.

Kurşun kümülatif etki ile insan vücudunda birikir ve zararlı olur. Ortam havasında 1 m³ havada bulunan 1 µg kurşun kanda 1 µg/100 ml birikim yapar. İnsan vücudundaki kurşunun tek kaynağı solunum yoluyla olmamaktadır. Gıdalar ve içme suyu yoluyla da vücuda kurşun girmektedir. Trafiğin yoğun olduğu yörelerde dahi yaşayan insanların vücuduna giren kurşunun %75-90 gibi önemli bir oranı içme suyu ve gıdalar yoluyla vücuda girmektedir. Buna karşın solunum yoluyla alınan kurşunun vücuttaki tahribatı daha yüksektir. Temelde toprak ve bitkilerdeki kurşunun kaynağı da atmosferdir. Havadaki kurşun içeren tozlar toprakta ve bitki yapraklarında birikerek bitki dokularına geçmektedir. Trafiğin yoğun olduğu yolların kenarındaki tarlalarda yetişen bitkilerde zengin kurşun oranı tespit edilmektedir. 500 ppm dolayında kurşun bulunan bitki dokularının insan ve hayvan sağlığına olumsuz etkisi nedeniyle yenilmesi doğru değildir.

Kurşun cevheri doğada bolca bulunur. Cevherden oldukça kolay bir metotla elde edilmektedir. Yumuşak, kolay işlenebilir, şekil verilebilir ve korozyona dayanıklı olan kurşun insanoğlu tarafından oldukça uzun zamandan bu yana geniş bir kullanıma sahip ilk metaller arasındadır. Tarih öncesi çağlarda toprak kaplardan sonra yiyecek ve içeceklerin muhafazasında kullanılan ilk metal, kurşun olmuştur. M.Ö ve M.S ilkçağlarda kurulan bugünün antik kentlerinde büyük mermer blokların birleştirilmesinde kurşun bantlar kullanılmıştır. Roma İmparatorluğu Dönemi'nde kurşun kaplarda şarap muhafaza edildiği ve kurşundan yapılmış taslar ile içildiği bilinmektedir. Kurşun kaplarda muhafaza edilen şarabın zamanla reaksiyona girmesi sonucu insan vücudunda kurşun zehirlenmesine ve beyin hücrelerinde tahribata neden olmaktadır.

Kurşun, pil, benzin, seramik, patlayıcı madde, lehim, kablo kaplama malzemesi, pirinç, bronz ve kozmetik imalinde kullanılmaktadır.

Kurşunun insan etkisi olmadıkça doğada dolaşımı yoktur. kurşun cevherinin işlendiği ocaklarda veya benzinli araçların egzozundan atmosfere aerosol olarak yayılır. Atmosferdeki kurşun bileşikler M.Ö 800 ile sanayi devrimi arasında geçen sürede 400 kat artış gösterirken benzin üretiminde kullanılmaya başladığı 1920'li yıllarda ikiye katladı, son 30 yılda ise 3'e

katladı. Böylece atmosferde kurşundan kaynaklanan kirlilik günümüzde önemli boyutlara ulaştı. Atmosferdeki yıllık 410 milyon kg kurşun emisyonunun %68'i (280 milyon kg/yıl) benzine karıştırılan kurşundan gelmektedir.

1920 öncesi benzin imalatında kurşun kullanılmaktaydı. Benzine kurşun tetraetil katılması bir teknolojik yenilik olarak ortaya konmuştur. Bu yolla motordaki vuruntu ortadan kaldırılmış yanmadan daha yüksek verim alınmaya başlanmıştır. Kurşun uygulaması büyük bir hızla bütün dünyaya yayılıp, yerleşmiştir.

1972 yılında Kanada'da yapılan tespitlere göre, oluşan ve havaya yayılan kurşun emisyonlarının %73'ünün kaynağı otomobil egzozlarıdır. 1968 yılında ABD'de yapılan bir tespite göre atmosferdeki kurşunun %98'inin otomobil egzozlarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Kurşun emisyonunun diğer kaynakları arasında kurşun izabe işlemleri, demir-çelik dışındaki cevherden maden elde etme işlemleri, alaşım sanayi, pil sanayi ile kömür yakılması sayılabilir.

Kanada'da 1980'li yılların başlarında alınan önlemleri ile kurşun kullanılan imalatlarda, kurşun işleyen tesislerde ve gıda saklanan kaplardaki kurşun miktarı azaltılmaya çalışılmıştır.

1970'li yılların ilk yarısında kurşunlu benzin kullanan taşıt araçlarının emisyonları nedeniyle atmosfere büyük oranda kurşun tetraetil yayılmaktaydı. Kanada Çevre Örgütü (Environmental Canada)[3], Temiz Hava Yasası hükümlerine dayanarak litrede kurşun miktarının 0.77 g'dan fazla olmaması gerektiğini kurala bağladı.

Benzinde kullanılan kurşunun insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri karşısında Kanada dışında diğer bazı ülkeler de sınırlayıcı önlemler almışlardır. İngiltere, İsviçre, İsveç, Avusturya'da alınan kararlar gereğince benzinde bulunabilecek kurşun miktarı 0.15 g/l, ABD'de 1982'den sonra 0.29 g/l, Japonya'da 0.19 g/l olarak sınırlandırılmıştır. Kurşunun zararını önlemek için kurşunsuz benzin üretimi yaygınlaşmaktadır.

2.3.2.6 Florürlü Gaz Atıklar

Bu gruba giren gazlar bitki ve hayvanlar için zehir etkisi yaparlar. Çok düşük oranlarda dahi bulundukları ortamdaki canlı yaşamını olumsuz etkilerler. Zehirlenme etkisi bitki yapraklarının ucunda yanık biçiminde kendini gösterir. $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gibi çok düşük oranlarda dahi 25-30 günlük bir etkileme sonucu canlılar, özellikle bitkiler üzerinde olumsuz izler gözlenmektedir.

2.3.2.7 Ozon (O_3)

Ozon, fotokimyasal oksidasyon sonucunda ortaya çıkar. Güneşin morötesi ışınlarının, elektrik boşalmalarının etkisiyle oksijen atomlarının parçalanmasıyla ozon oluşur. Bitki örtüsü üzerinde çeşitli zararlı etkileri vardır. Ozon, oksijen gibi oda sıcaklığında gaz halindedir. Ancak oksijenin renksiz ve kokusuz olmasına karşın, ozon açık mavi renktedir.

Ozon yaşadığımız ortamda, yani atmosferin yeryüzüne yakın katmanlarında zararlı bir gaz olarak kabul edilmekle birlikte, atmosferin üst katmanlarındaki stratosferde oluşturduğu tabaka ile canlı yaşamını güneş radyasyonundan koruyucu özelliği olması nedeniyle çok önemli bir işleve sahiptir. Yerküre üzerinde canlı yaşamının başlaması ozon tabakasının oluşumuna bağlı olmuştur. Bu nedenle ozon tabakasındaki en ufak bir incelme veya delinme canlı yaşamını oldukça ileri boyutlarda ve olumsuz olarak etkileyecektir. Son yıllarda artan sprey kullanımı sonucu ortaya yayılan klorofloro hidrokarbonlar, 18-20.000 m yükselebilen süpersonik jet uçaklarının çıkardıkları egzoz gazları arasındaki azot oksitler, nükleer patlamalar ozon tabakasında çeşitli biçimlerde zedelenmeler yaratmaktadır. Öncelikle Güney kutbunda, daha sonra Kuzey kutup bölgesinde ozon tabakasında delik gözlenmiştir. ABD'nin Nevada Çölü'nde yapılan bir deneme ile ozon tabakasında açılan 1 m^2 'lik bir deliğin yeryüzünde 50 km genişliğinde bir alanda etkili olabileceği saptanmıştır.

Ozon ve fotokimyasal oksidanların insan sağılığı üzerindeki etkileri Çizelge 2.2’de özetlenmiştir. (Ertürk, 1993).

Çizelge 2.2 Ozon ve fotokimyasal oksidanların insan sağılığı üzerindeki etkileri .

Ozon		
Konsantrasyon (ppm)	Süre	Etkiler
0.10	1 saat	Solunum yollarında direncin artması
0.12	1 saat	Hava kalitesi standardı
0.30	≈ 8 saat	Burun ve boğazlarda tahriş, başağırsı,göğüs rahatsızlıkları, egzersiz yapanlarda akciğer performansında azalma.
0.5		Göğüs daralması,CO difüzyon kapasitesinde azalma, akciğer performansında azalma.
1.0		Öksürme, aşırı yorgunluk, solunum yollarında direncin artması.
2.0		Şiddetli öksürük.
Fotokimyasal Oksidanlar		
Konsantrasyon (ppm)	Süre	Etkiler
0.03	1 saat	Atletlerde performans düşüşü.
0.08	1 saatlik (maks.)	Hava kalitesi standardı.
0.10		Gözlerde tahriş.
0.13	1 günlük	Solunum yolları hastalıklarında artış.

2 Kasım 1986 tarihinde 19269 sayı ile Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren “Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’nde, çeşitli hava kirleticiler için uzun vadeli sınır (UVS) değerleri ve kısa vadeli sınır (KVS) değerleri Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Türkiye’de bazı kirleticiler için hava kalitesi sınır değerleri

Kirletici Parametreler	Birim	UVS	KVS
Kükürt dioksit (SO ₂)			
Kükürt trioksit (SO ₃) dahil	µg/m ³		
- Genel	µg/m ³	150	400 (900)
- Endüstri Bölgeleri	µg/m ³	250	400 (900)
Karbon monoksit (CO)	µg/m ³	10000	30000
Azot dioksit (NO ₂)	µg/m ³	100	300
Azot monoksit (NO)	µg/m ³	200	600
Klor (Cl ₂)	µg/m ³	100	300
Klorlu hidrojen (HCl) ve gaz halde anorganik klorürler (Cl ⁻)	µg/m ³	100	300
Florlü hidrojen (HF ⁻) ve gaz halde anorganik florürler (F ⁻)	µg/m ³	-	10 (30)
Ozon (O ₃) fotokimyasal oksitleyiciler	µg/m ³	-	(240)
Hidrokarbonlar (HC)	µg/m ³	-	140 (280)
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	µg/m ³	-	40 (100)
Havada asılı partikül maddeler (PM) (< 10 mikron partiküller)			
- Genel	µg/m ³	150	300
- Endüstri Bölgeleri	µg/m ³	200	400
PM içinde kurşun (Pb) ve bileşikleri	µg/m ³	2	
PM içinde kadmiyum (Cd) ve bileşikleri	µg/m ³	0.04	
Çöken tozlar (10 mikrondan büyük partiküller dahil)			
- Genel	µg/m ³ .gün	350	650
- Endüstri Bölgeleri	µg/m ³ .gün	450	800
Çöken tozlarda kurşun ve bileşikleri	µg/m ³ .gün	500	-
Çöken tozlarda kadmiyum ve bileşikleri	µg/m ³ .gün	7.5	-
Çöken tozlarda talyum (Tl) ve bileşikleri	µg/m ³ .gün	10	-

Not: parantez içindeki rakamlar referans maksimum saatlik sınır değerlerdir.

Uzun Vadeli Sınır Değer : Aşılması gereken; bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerlerdir.
Kısa Vadeli Sınır Değer : Maksimum günlük ortalama değerler ve istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerin büyüklüğüne dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının % 95’ini aşmaması gereken değerlerdir. Uzun ve kısa vadeli sınır değerler için öngörülen süreler genellikle 1 yıllık periyotları kapsar.

3. OZON KİMYASI

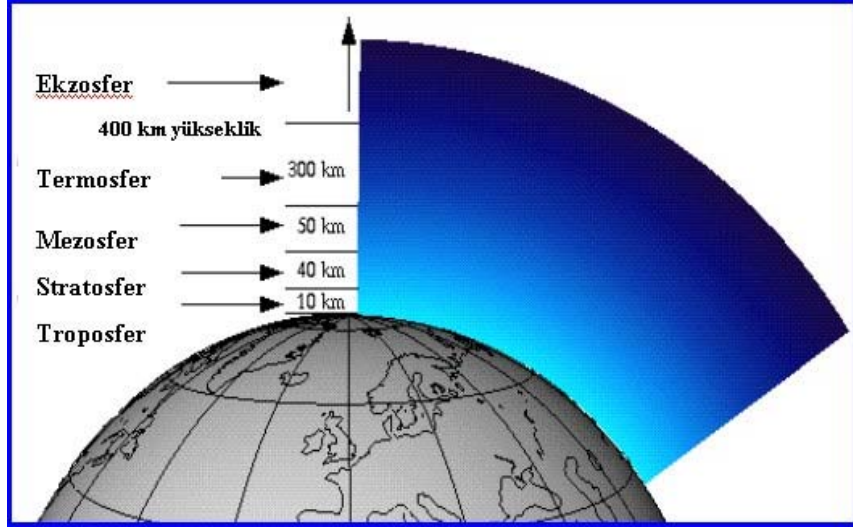
3.1 Ozon'un Yapısı ve Kimyası

Ozon; 1781 yılında içinden elektrik kıvılcımları geçirilen havada oluşan koku nedeniyle Van Marum tarafından fark edilmiş ve daha sonra da 1840 yılında C.F.Schönbein tarafından yeniden keşfedilerek ozon adı verilmiştir. Marignac, Becquerel ve Fremy tarafından incelenerek yapısı açıklanmış ve Soret'in yaptığı araştırmalar sonucu da formülü bulunmuştur. (Büyük Larousse).

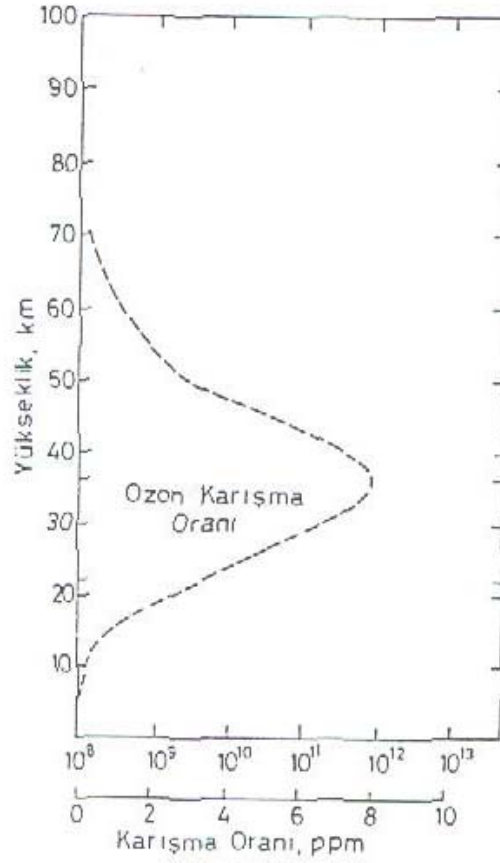
Ozon mavi renkli, 1.66 yoğunluğunda, solunumu tehlikeli, kuvvetli, keskin kokulu üç oksijen atomundan oluşmuş (O_3) bir gazdır. $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ta sıvılaştırılarak indigo mavisi renginde son derece kararsız bir sıvı verir ve suda oksijenden daha çok çözünür. Ozon yüksek sıcaklıkta kararlıdır; $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a doğru oksijenden tersinir olarak elde edilebilir. Buna karşılık soğukta dengesizdir, bozunarak oksijen verme eğilimi gösterir. Ozon ne kadar derişikse, bozunma o kadar kolay olur ve $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a doğru ısıtmayla meydana gelir. Ayrıca toz haldeki pek çok cisimle (kömür, manganez dioksit vb.) bozunabilir. Bu kararsızlık, ozonun yükseltgen özelliklerinde ortaya çıkan en temel niteliğidir. Soğukta iyodu, hemen hemen tüm metalleri, özellikle civa ve gümüşü yükseltger; klor, brom ve iyodu hidrojen yada metallerle oluşturduğu bileşiklerden açığa çıkarır. Kükürt, fosfor ve arsenik asitlerini maksimum düzeyde yükseltger; soğukta amonyağı, amonyum nitrit ile amonyum nitrata dönüştürür, ayrıca organik maddeleri (mantar, kauçuk) yükseltgeyerek parçalar. Bütün bu tepkimelerde ozonun üç oksijen atomundan yalnızca biri atom durumunda tepkimeye girer; diğer ikisi normal oksijen olarak açığa çıkar.

3.2 Atmosfer Ozonu

Atmosferdeki sürekli ozon miktarı (atmosfer ozonu) "indirgenmiş kalınlığa" göre, yani normal sıcaklık ve basınçta tüm gazın toplanacağı düşey bir sütunun kalınlığına göre belirtilir. Bu gaz atmosferde çok düşük konsantrasyonda mevcut olup normal şartlarda ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 1013 mb) indirgenmiş bir atmosferde, ortalama olarak 2.5 mm kalınlığındadır. Ozon atmosferde çok düşük konsantrasyonda mevcut olup normal şartlarda ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 1013 mb) indirgenmiş bir atmosferde, ortalama olarak 2.5 mm kalınlığındadır. (250 Dobson birimine tekabül eder) (Dalmaz, 1970). Ozon, atmosfer sütunu içerisinde en yüksek değerde (%90), stratosfer içerisindeki 12 ile 45 km arasında bulunur. (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Atmosfer tabakaları [7]



Şekil 3.2 Atmosferik ozon konsantrasyonunun düşey profili

Ozon %10 civarında da troposfer içerisinde yer alır. Bu özelliği nedeniyle de ozon tabakası (ozonosfer) olarak adlandırılan stratosferdeki yüksek ozon yoğunluğu, güneşin mor ötesi ışınlarının (dalga boyu 240 nm'den kısa) normal oksijen molekülünü (O_2) iki oksijen atomuna ayırıştırması ve bu atomların da daha sonra ayrışmamış oksijen molekülleri ile birleşmesi sonucunda meydana gelir. Güneşten gelen mor ötesi ışınlar ozon tarafından çok iyi absorblanması nedeniyle atmosferin alt tabakalarına ulaşmazlar. Güneş enerjisinin bu şekilde absorblanması, yerden yaklaşık 50 km yükseklikte stratopoz sınır bölgesinde bir sıcaklık maksimumuna yol açar (İncecik, 1994). Ozon dozajları yere yakın seviyelerde çok zayıftır, homojen bir dağılışı düşünülürse, yer seviyesindeki konsantrasyonu bu değerden 20 defa daha düşüktür. Bu bize ozonun atmosferin daha yukarı tabakalarında lokalize olduğunu gösterir (Dalmaz, 1970). Bu sayede ozon kısa dalga boyundaki insan sağlığına zararlı etkilere yol açan güneş ışınlarını tutarak, biyolojik olarak zararlı UV radyasyonunun yeryüzüne ulaşmasını engeller. Yani ozon dünyamızın çevresini koruyucu bir kalkan gibi sararak canlı yaşamının sürekliliğinde büyük rol oynamaktadır.

3.3 Ozon Ölçüm Çalışmaları

Ozon gözlemlerine ilk kez 1926 yılı yazında kuzey kutup bölgesinde yapılan çalışmalarla, sistematik ölçümlere ise 1935 yılında başlanmıştır. 1950'lerden başlayarak hidrojenli (su buharı, metan ve moleküler hidrojen), azotlu (uçak motorlarının ve kimyasal gübrelerin ürünleri) bileşiklerin ve halojenli bileşiklerin (çözücüler, aerosollerdeki gazlar) gerçekleştirdiği çok sayıda kimyasal tepkimeler etkisiyle ozon tabakasının oluşumunda ve delinmesinde rol oynadığı gözlenmiştir. Bugün ozon tabakasındaki inceleme dolayısıyla en çok konu edilen Antartika'da 1961 yılında ozon ölçümlerine başlanmıştır. 1970'li yıllara gelinceye dek sadece klasik balon sondajları ile yapılan ozon gözlemlerinin uydu teknolojisinin eklenmesi suretiyle yüksek duyarlıklı ve sürekli ölçümü sağlanmıştır. Bu sayede dünya üzerindeki ozon yoğunluğundaki değişimlerin görülmesi de mümkün hale gelmiştir. Stratosferik ozon azalması ilk kez 1974 yılında Antartika'da görülmüştür. Daha sonra 1980 ve 1984 yılları Eylül-Ekim aylarında Antartika'da Halley Körfezi'nde ($75^{\circ}G, 27^{\circ}B$) %30-40 civarında bir azalma belirlenmiştir. Arjantin adalarında ($65^{\circ}G$) tespit edilen azalma ise %15 civarında olmuştur. (Brasser and Simon, 1988). Antartika'da ilkbahar mevsiminde gözlenen ozon konsantrasyonundaki azalma daha sonraları "ozon deliği" olarak nitelendirilmiştir. Günümüzde bu azalmalar giderek dünyanın tropik bölgeler dışında bir çok

yerinde daha ortaya çıkmaya başlamıştır. Stratosfer tabakasındaki ozon konsantrasyonunun azalmasının temel nedeni kloroflorokarbonlar ve atmosferik klorinin yüksek seviyelere ulaşması neden olarak gösterilmektedir. (Büyük Larousse,İncecik, 1994). Modelleme yoluyla yapılan araştırmalara göre, ozon tabakasının %1 oranında azalması, dünyaya ulaşan ultraviyole ışınlarının %2 oranında artmasına yol açacağını göstermektedir. (Kışlalıoğlu ve Berkek, 1993).

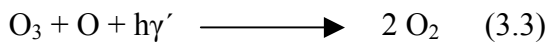
3.4 Stratosferik Ozonun Oluşumu

Atmosferik ozonun büyük bir kısmının bulunduğu yükseklikte ozon meydana getiren kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi bu seviyede ozonun bol miktarda olmasını sağlamaktadır.

S.Chapman'a göre oksijen molekülü 200 ile 220 nm arasındaki dalga boylarında bir fotonun etkisi ile oksijen atomlarına ayrılıyor ve oksijen atomu da bir oksijen molekülü ile reaksiyona girerek ozon oluşumu gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir.



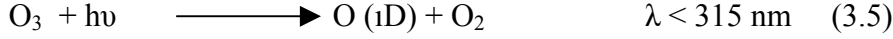
Eğer diğer bir fotokimyasal reaksiyon olmasa idi, atmosferdeki ozon konsantrasyonu sürekli olarak artacaktı. Ozon aşağıdaki reaksiyon gereği bir yandan üretilirken bir yandan da bozulmaktadır ve böylece atmosferde belli bir ozon konsantrasyonu sürekli olarak kalmaktadır.



reaksiyonunda $h\nu'$, 230 ile 290 nm arasındaki dalga boyunda bir fotonu ifade etmektedir (Dalmaz, 1970).

3.5 Ozonun Fotolizi

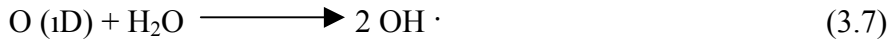
Ozon fotoliz ile iki ayrı reaksiyon verir.



burada O (¹D) uyarılmış atomdur veya



reaksiyonu ile atomik oksijene dönüşür yada daha seyrek olarak



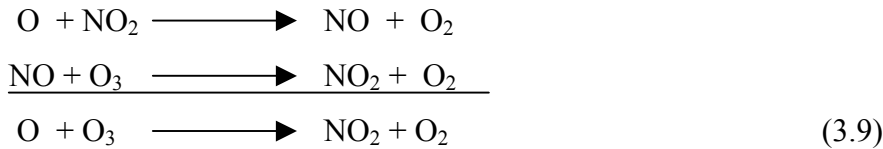
reaksiyonu ile OH radikalini oluşturur. Bu radikal birçok fotokimyasal reaksiyonun gelişiminde önemli rol oynar (Tünay ve Alp, 1996).

3.6 Stratosferde Ozon Bozundurucu Reaksiyonlar

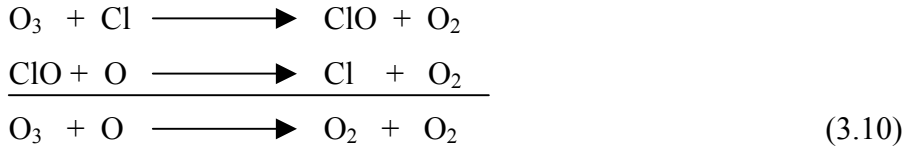
Stratosferde ozon oluşum reaksiyonları daha önce açıklanmıştı. Ozon;



reaksiyonu ile parçalanır. Bu reaksiyon 240-320 nm'de UV ışınlarının çoğunu tutar. Ancak ozonun parçalanması bu reaksiyonla tam olarak gerçekleşemez. Çünkü atomik oksijen moleküler oksijenle tekrar ozon verir. Yapılan araştırmalar doğal ozon uzaklaştırma mekanizmaları arasında, hidrojen atomu, hidroksil ve hidroperoksil radikalleri reaksiyonları ile azot oksit reaksiyonlarının bulunduğunu göstermiştir. En önemli ozon uzaklaştırma prosesi azot oksit çevrimi ile olmaktadır.



Bu reaksiyonlarla oluşan ve giderilen ozon arasında bir denge meydana gelir. Ancak stratosfere geçen yabancı maddeler ozonu parçalar ve bu dengeyi bozar. Bu yabancı maddelerin en önemlileri atomik klor, atomik brom ve bunların oksitleridir. Atmosfere giden klorlu bileşikler metil klorür CH₃Cl, kloroflorokarbonlar (kloroflorometanlar) CFCl₃ (F-11) ve CF₂Cl₂(F12) bunlardan en önemlileridir. Bunlar 200 nm civarında parçalanarak hidrojen atomu verirler. Bundan sonra



çevrimi ile ozon sürekli parçalanır. Çünkü reaksiyona giren Cl tekrar Cl olarak çıkacaktır.

Cl'nin atmosferin üst katmanlarında etkisiz hale gelmesi oldukça zordur. İnaktivasyon hidrojen klorüre dönüşmekle olabilir. Ancak hidroksil radikalleri bu bileşiği tekrar parçalayabilmektedir (Tünay ve Alp, 1996).

3.7 Troposfer Kimyası

Troposfer kimyasında, gün ışığı etkisi altında, azot oksitlerin varlığında organik moleküllerin oksidasyonu önemli bir yer işgal eder. Atmosferik oksidasyon, serbest radikal reaksiyon zincirleri yoluyla ilerler. Organik moleküller için bu zincirler uzun ve kompleks olabilir. Yanmadan ayrı olarak atmosferik oksidasyon milyonda bir (ppm) veya milyarda bir (ppb) mertebesinde çok düşük konsantrasyonlarda gerçekleşir. Bu çok küçük konsantrasyonlar nedeniyle, reaksiyonların gerçekleşmesi için dışsal bir enerji kaynağı gereklidir. Bu enerji solar radyasyon ile sağlanır. Troposferde dominant olan hidrokarbon metandır ve yer seviyesi troposfer kimyasında metan yakıt olarak davranır. Şehirselle ve kırsal troposferde pek çok antropojenik ve biyojenik hidrokarbonlar ile organik türlerde mevcuttur. Troposferin temel bileşimi ve bileşenlerin tipik ömürleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Yakma reaksiyonlarının bir sonucu olarak troposferde (kentsel ve kırsal) NO_x seviyesi önemli miktarlara ulaşmaktadır. Bu NO_x, troposfer kimyasında anahtar rol oynar. Troposfer pek çok oksidasyonun gerçekleşebileceği bir ortamdır. Türlerde daha okside olmuş bir duruma doğru geçme eğilimindedirler. Örneğin; hidrokarbonlar aldehitlere dönüşür, sonra asitlere ve sonunda CO₂'ye okside edilirler. Kükürt içeren bileşikler oksidasyon zinciri boyunca ilerlerler, indirgenmiş H₂S ve CH₃SCH₃ gibi kükürt bileşiklerinden başlayarak SO₂'ye daha sonra da H₂SO₄'e okside olurlar. Benzer olarak NO, NO₂'ye okside olur. Daha sonra da HNO₃ oksidasyonu ile sonlanır.

Troposfer kimyasında birincil ürünün ozon olduğu kabul edilebilir. Atmosferde ozon ancak atomik oksijen ile moleküler oksijen arasındaki reaksiyon sonunda oluşur. 290 nm'nin altındaki dalga boylu radyasyon troposfere ulaşmadığından, atomik oksijenin kaynağı O₂

olamaz. Çünkü O₂ 290 nm'den daha kısa dalga boylarını absorblayarak atomik oksijen üretir. Troposferde oksijenin kaynağı azot dioksittir (NO₂). Troposferde azotoksitler ppm veya daha az konsantrasyonlarda bulunsalar bile troposfer kimyasında anahtar rol oynarlar (Tecer,2000).

3.8 Troposferik Ozon

Ozon 0.01 ile 0.04 ppm konsantrasyon aralığında atmosferin doğal bileşiminde yer alan bir gazdır. Günümüzde stratosferik ozon miktarı azalırken, troposferik ozon miktarı giderek artmaktadır (WHO,1988). Paris yakınlarındaki Montsouris'de 1876-1910 yıllarında yapılan çalışmalar sonucu ozonun ilk kez orijinal ölçüm metodu geliştirilmiştir. Bu analizlere göre yüzey ozon karışım oranının 100 yıl önce Paris'te 10 ppb civarında olduğu, günümüzde bu değer Avrupa'nın en az kirli bölgelerinde dahi 20 ile 45 ppb civarında olduğu belirlenmiştir (Volz ve Kely, 1988; Bojkov, 1988; Crutzeni 1988; Staehelin ve Schmid, 1991; Oltmans ve Levy, 1994). Avrupa'dan uzak bölgelerde yapılan ozon ölçümlerinin analizinde de son 30 yıl içinde ortalama yıllık %1-2 arasında artış gözlenmektedir (Janach, 1989).

Çizelge 3.1. Troposferin ana bileşimi ve iz gazların tipik ömürleri
(Brasseur ve Diğ., 1998)

Türler	Formül	Hacimsel Karışım Oranı	Ömür
Azot	N ₂	0.781	1.5 x 10 ⁷ yıl
Oksijen	O ₂	0.209	4000 yıl
Su buharı	H ₂ O (yüzey)	0.01	Gün
	H ₂ O (tropopoz)	10 ppmv	Hafta
Argon	Ar	9.3 x 10 ⁻³	Birikim
Karbondioksit	CO ₂	360 ppmv	50-200 yıl
Metan	CH ₄	1.73 ppmv	9 yıl
Nitroz asit	N ₂ O	313 ppbv	130 yıl
Ozon	O ₃ (yüzey)	5-50 ppbv	Hafta
	O ₃ (tropopoz)	100 ppbv	Ay
Karbonmonoksit	CO (yüzey)	50-200 ppbv	2 ay
	CO (tropopoz)	50-100 ppbv	0.05 yıl
Azot oksitler	NO _x (yüzey)	0.01-1 ppbv	Gün
	NO _x (tropopoz)	0.05-0.5 ppbv	Hafta
Kükürt dioksit	SO ₂	0.01-1 ppbv	Gün

And Dağları ve Pasifik Okyanusunda Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) ile eldeki sonuçlara göre ozon konsantrasyonunun yılda %1.48 oranında arttığı görülmüştür (Jiang ve Yung, 1996). Global ozon ölçümlerine göre ozon karışım oranlarının enleme bağlı olarak genelde arttığı, stratosfer troposfer arası geçişin ve troposferin üst tabakalarında ozon üretim hızının oldukça hızlı olduğu görülmektedir (Fehsenfeld ve Liu, 1993). Ayrıca ölçüm sonuçları kuzey yarım küredeki ozon konsantrasyonunun güney yarım küreden yüksek olduğu ve bununla ilişkili olarak da kuzey yarım kürede daha büyük bir stratosferik iç akım olduğu, yüksek NO_x emisyonlarının bir sonucu olarak da fotokimyasal oluşumların yüksek olduğu görülmektedir.

Ozon eğer nefes aldığımız hava içerisinde bulunuyorsa (troposfer tabakası) hava kirleticilerinden sayılmaktadır. Büyük şehirlerde özellikle yaz aylarında fotokimyasal smog oluşumu en önemli çevre problemidir. Ozon motorlu araçlar ile endüstriden kaynaklanan kirleticilerin reaksiyonu sonucu oluşan zararlı gazların en önemlisidir. Hava kirlenmesinin yüksek olduğu durumlara bakıldığında ozon seviyesi bir gösterge olarak kullanılabilir.

Ozon yer seviyesi azot oksitler, hidrokarbonlar ve güneş ışığı etkisinde belli sıcaklıkta çeşitli fotokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ikincil (sekonder) kirleticidir. Yer seviyesinde oluşan ozon iki yolla oluşmaktadır, bunların her ikisi de insan (antropojenik) aktivitelerine dayanmaktadır. Bunlar endüstriyel kaynaklardan ve biyokütlenin yakılması sonucu oluşan kirleticiler olarak ifade edilebilir. Biyokütlenin yanması ormanlık alanların, tarım alanı elde etmek için bozkırların yakılmasıdır. Biyokütlenin yakılması; non metan hidrokarbonların ve NO₂'nin en temel kaynağı olup ozon üretiminde en etkili kaynaktır (Delaney et al., 1985; Browell et al. 1988; Andrea et al., 1992). Bu şekilde atmosfere verilen kirleticilerin fotokimyasal reaksiyonları sonucu insan, bitki ve eşyalara zararlı etkiler yapan ozon üretilmektedir. Ozon oluşumu tamamen atmosfere verilen diğer kirleticilerle ilişkili olduğu için büyük şehirler ve kırsal bölgeler arasında ozon konsantrasyonu değişiklik göstermektedir.

3.9 Yüzey Tabakasında Fotokimyasal Reaksiyonlar

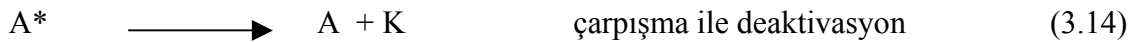
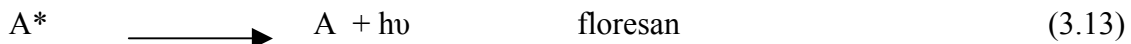
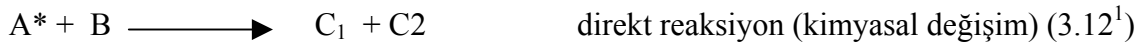
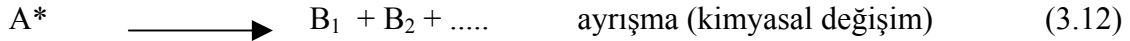
Fotokimyasal reaksiyonlar enerji kaynağı olarak ışık enerjisini kullanan reaksiyonlardır. Atmosfere ulaşan çeşitli reaksiyonlar arasında oldukça karmaşık, farklı hızlarda yürüyen ve çok sayıda maddenin katıldığı reaksiyonlardır. Fotokimyasal bir olay iki temel koşula dayanır. Bunlar; bir molekülün aktif hale gelebilmesi için ışığı absorblaması ve bir fotonun absorblanması suretiyle de bir molekülün aktif hale gelmesidir.

Fotokimyasal reaksiyonlarda değişime uğrayan madde miktarı daima absorblanan ışık miktarı ile orantılıdır. Bu reaksiyonlar gerek hava kirlenmesinin tanımında ve özellikle spesifik kirleticilerin değişiminin incelenmesinde gerekse global meteorolojik değişimlerin belirlenmesinde rol oynamaktadır.

Fotokimyasal reaksiyonlar zincirleme reaksiyonlardır.



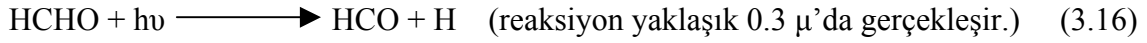
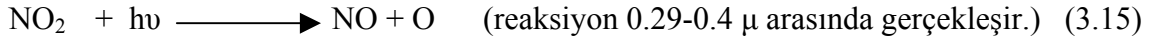
uyarılma reaksiyonudur. Burada bir foton ($h\nu$) bir molekül tarafından absorblanır. Böylece molekül uyarılmış duruma geçer ve uyarılan molekül daha sonra çeşitli tipte reaksiyonlar verir. Bu reaksiyonlar;



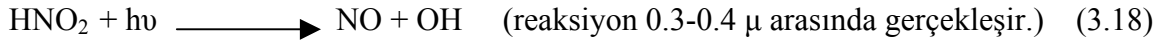
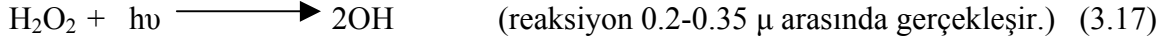
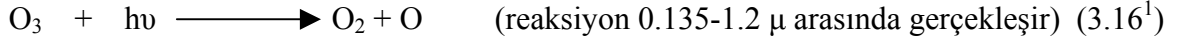
reaksiyonlarıdır.

Bir reaksiyonda “kuantum verimi” bu reaksiyona giren A^* moleküllerinin sayısının, reaksiyonda absorblanan fotonlara oranı olarak tanımlanır.

Fotokimyasal reaksiyonlar ultraviyole ışınların absorblanması ile başlar. Bu durumda atmosferde ışık absorpsiyonu bakımından kirleticiler incelenirse SO_2 , NO , CO , HC ’nin önemli bir kısmının, aşağı atmosferdeki ışığın enerjisinin bağ enerjilerinin çok altında olması nedeniyle ışığı absorblamadığı görülür. Buna karşın iki önemli tür NO_2 ve aldehitler ışık absorpsiyonu yapar.



Atmosferde önem taşıyan başlıca ışık absorpsiyonu yapan türler aşağıda verilmiştir.

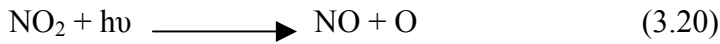


3.10 Azot Oksitlerin Reaksiyonları

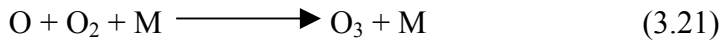
Azot oksitlerden özellikle NO_2 aşağı atmosferde fotokimyasal reaksiyonların başlatılması ve oluşumunda önemli rol oynar. Çeşitli kirletici kaynaklardan, özellikle motorlu taşıtlardan atmosfere verilen NO



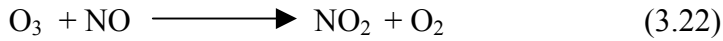
reaksiyonunu verir. Reaksiyon NO konsantrasyonu düşük iken çok yavaştır. Bu yüzden NO fotokimyasal reaksiyon vermez. NO_2 ise 420 nm ve çok daha yüksek miktarda 380 nm altında



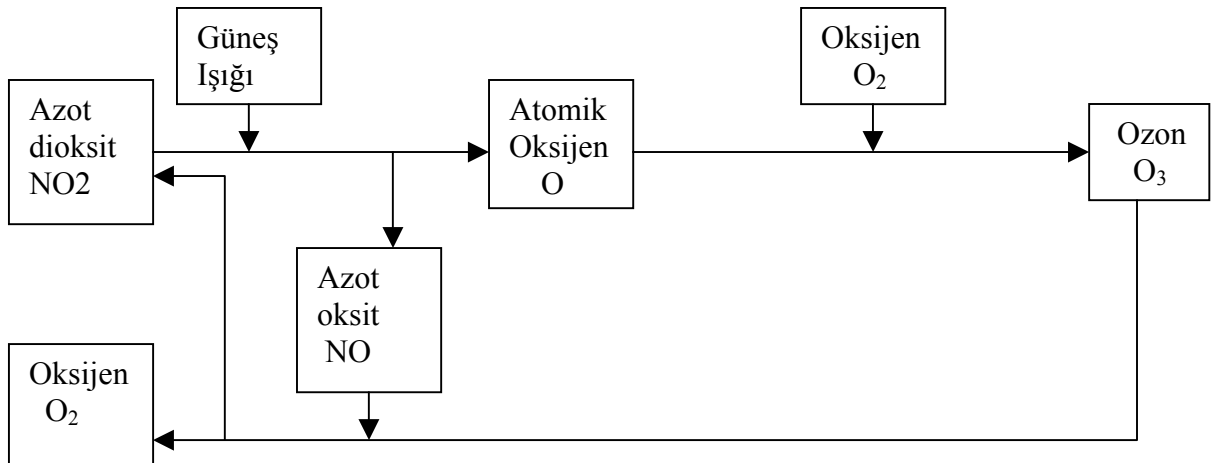
fotoliz reaksiyonunu verir. Oluşan atomik oksijen moleküler oksijen ile



reaksiyonu ile ozon meydana getirir. Bu reaksiyon aşağı atmosferde ozon oluşturan en önemli reaksiyondur. Ozon ise NO ile

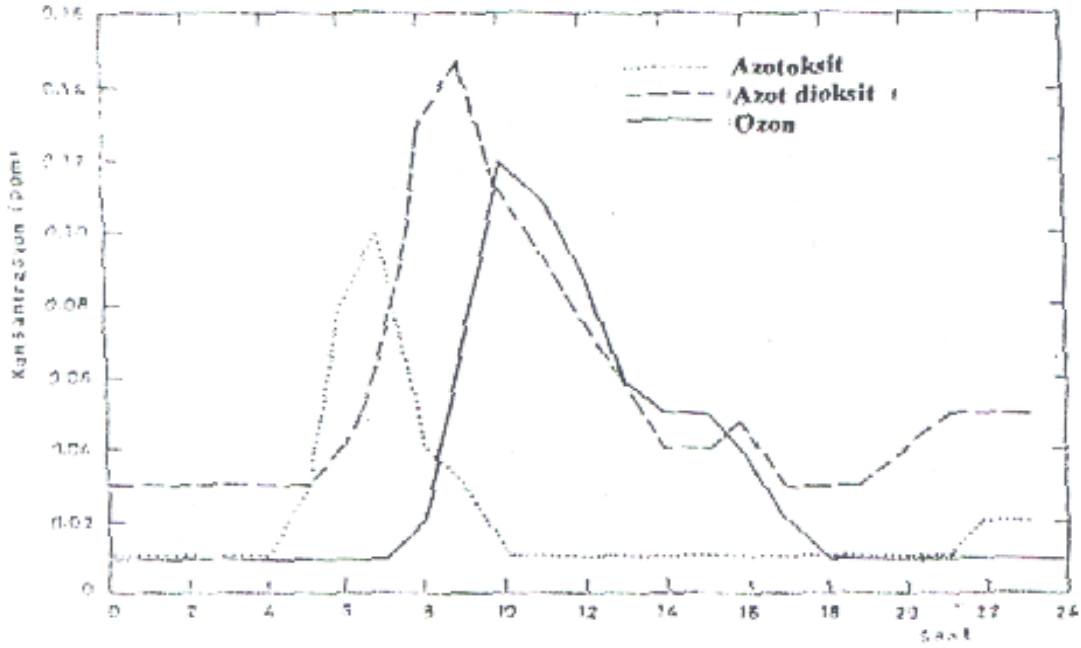


NO_2 miktarını arttırır. Buna göre ozon konsantrasyonunun atmosferde hızla artmadığı, bir dengenin olduğu görülmektedir. Reaksiyonlar şematik olarak Şekil 3.3'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.3 Atmosferik azotdioksitin fotolitik çevrimi

Los Angeles şehrinde oluşan NO, NO₂ ve O₃ kirleticilerinin günlük olarak değişimi Şekil 3.4’de gösterilmiştir (Atmospheric Photochemical Reactions, 475).



Şekil 3.4 NO, NO₂ ve Ozonun gün içinde zamana bağlı değişimi.

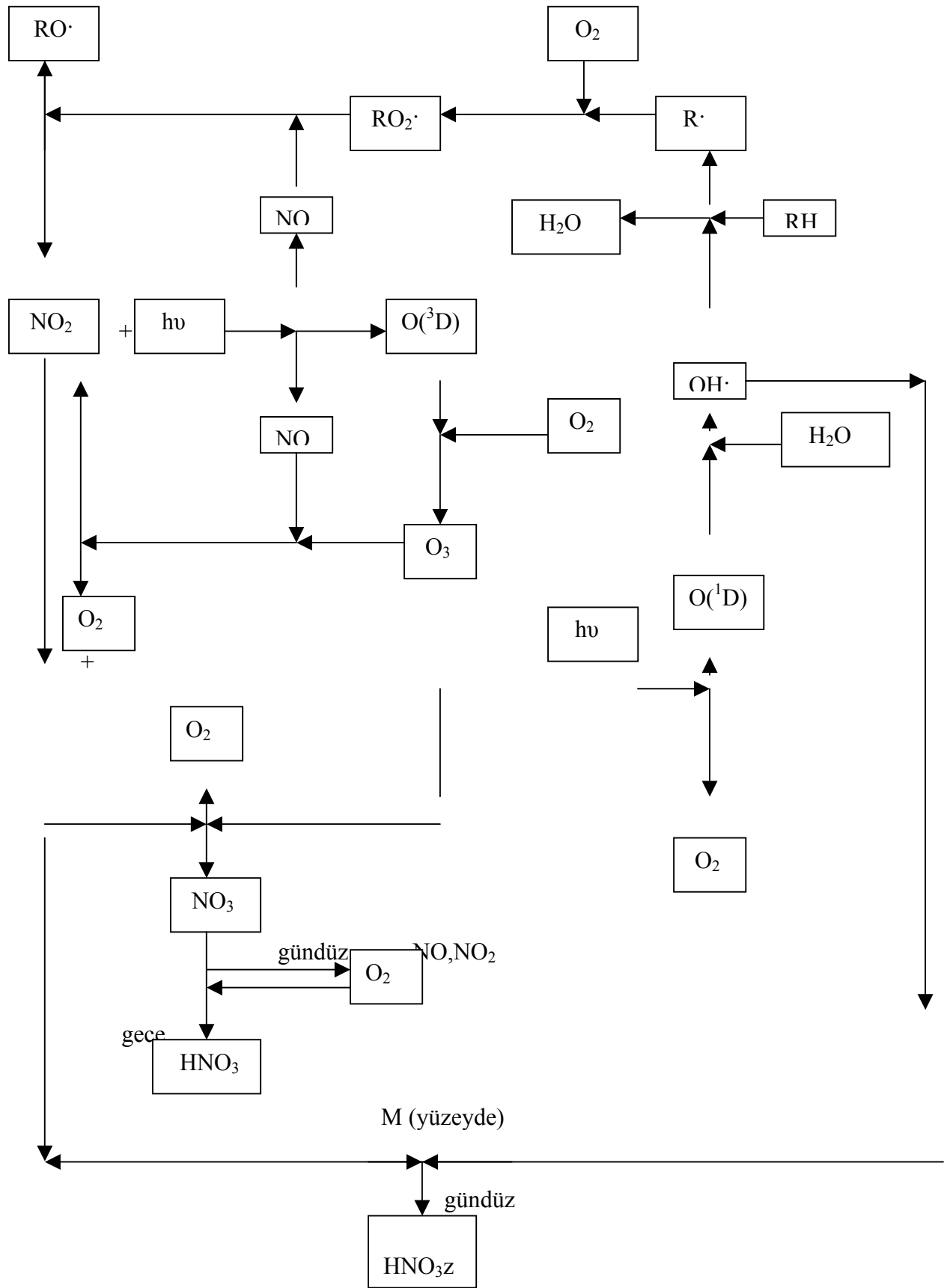
3.11 Hidrokarbonların Reaksiyonları

Hidrokarbon, karbon ve hidrojenden meydana gelen organik bileşiklere verilen genel addır. Benzin ve diğer petrol ürünlerinde yer alan bileşiklerin çoğu hidrokarbon olup hidrokarbonlar alifatik ve aromatik hidrokarbonlar olarak iki sınıfa ayrılırlar.

Alkenler doymamış yapıları dolayısı ile atmosferik fotokimyasal reaksiyonlar için yüksek oranda reaktifliğe sahiptirler. Alkenler güneş ışığı mevcudiyetinde azot oksitler ve peroksiasetil nitrat (PAN), ozon gibi sekonder kirleticilerin oluşumuna yol açarlar.

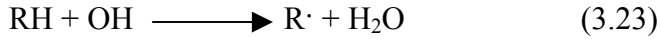
Hidrokarbonların oluşumu OH radikalının (OH^p) oluşumuna bağlıdır. Hidroksil radikalının oluşumunun ardından ikinci bir fotolitik çevrimle oluşan reaksiyonlar sonucundaki reaksiyonlarla reaktif VOC (uçucu organik karbon) oluşur. Bu çevrim sonunda NO₂ ve fotokimyasal oksidantların oluşumunda da bir artış gözlenir.

Şekil 3.5’de NO₂ fotolitik çevrimi ile hidrokarbonların en önemli oluşum yolları birlikte ele alınarak NO₂ ve fotokimyasal oksidantlara dönüşümü gösterilmiştir. (Atmospheric Photochemical Reactions, 477).

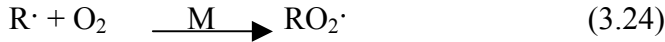


Şekil 3.5 Ozon oluşumunda hidrokarbonların etkisi

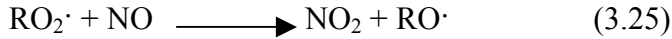
Şekilde OH radikali VOC'ler ile (RH olarak gösterilmiştir, R: organik radikal) reaksiyona girerek;



R $\cdot$ radikalini oluşturur. R $\cdot$ de moleküler oksijen ile birleşerek RO $_2\cdot$ (peroksi radikali) radikalini oluşturur.



oluşan peroksi radikali de NO'yu NO $_2$ 'ye oksitleyecek şekilde reaksiyon verir.



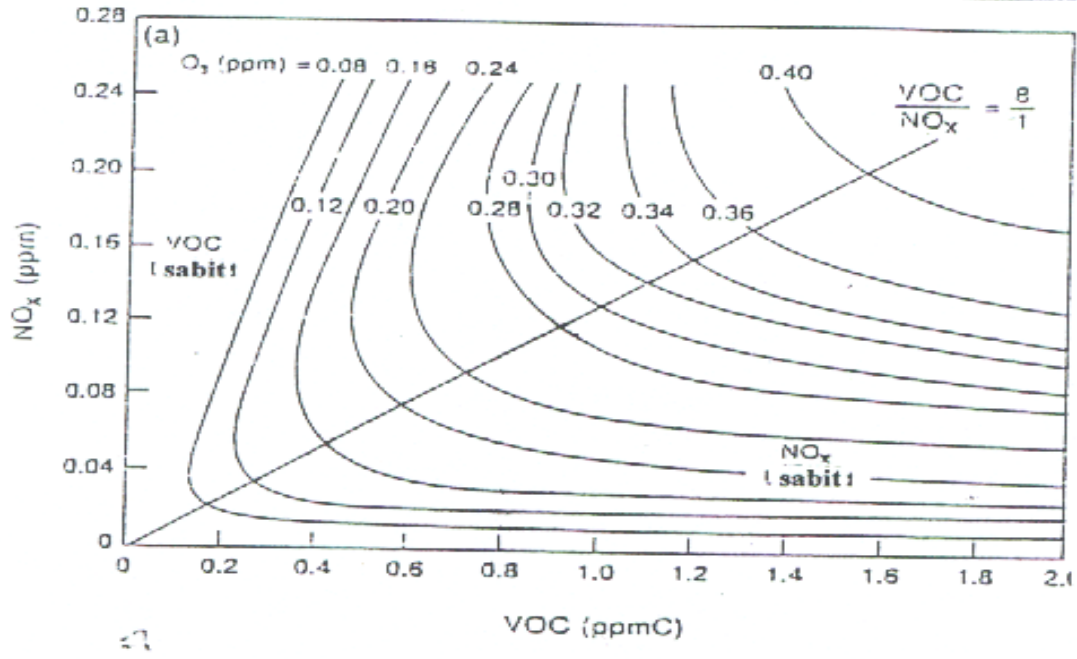
bu reaksiyon sonucu NO $_2$ konsantrasyonunda artış gözlenir. Buna bağlı olarak ozon oluşumu ve bozunumu değişmektedir.

Hidrokarbonlar fotokimyasal smog oluşumu için gereklidir fakat tüm hidrokarbonlar da atmosferdeki diğer bileşiklerle reaksiyona girerek bitkilere zarar veren, görüşü azaltan ve göz iritasyonuna yol açan kimyasal oluşumlara yol açmamaktadır. Bu farklılık hidrokarbonların farklı reaktiflikte olmaları ile açıklanmaktadır. Hidrokarbonların reaktifliği bir organik maddenin çeşitli ürünleri oluşturma potansiyeli olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre reaktifliğin ölçümü reaksiyonların karmaşıklığı açısından güçlük gösterir. Kimyasal anlamda reaktiflik reaksiyon hızları ve ürün oluşumu ile ifade edilir.

Reaksiyon hızları için NO $_2$ oluşumu, organik madde sarfiyatı ve ozon oluşumu baz alınırken, ürün oluşumu için ise oluşan maksimum ozon konsantrasyonu, belli bir ışıma zamanında toplam ozon oluşumu ve oluşan maksimum PAN konsantrasyonu dikkate alınmalıdır. Reaktifliği açıklamak için genellikle smog chamber araştırmaları üzerinde durulmuş ve bunların genellikle urban ve rural alanlardan sürekli olarak hava ile taşınan VOC ve NO $_x$ girişinin olduğu çevre koşullarında uygulanamayacağı görülmüştür.

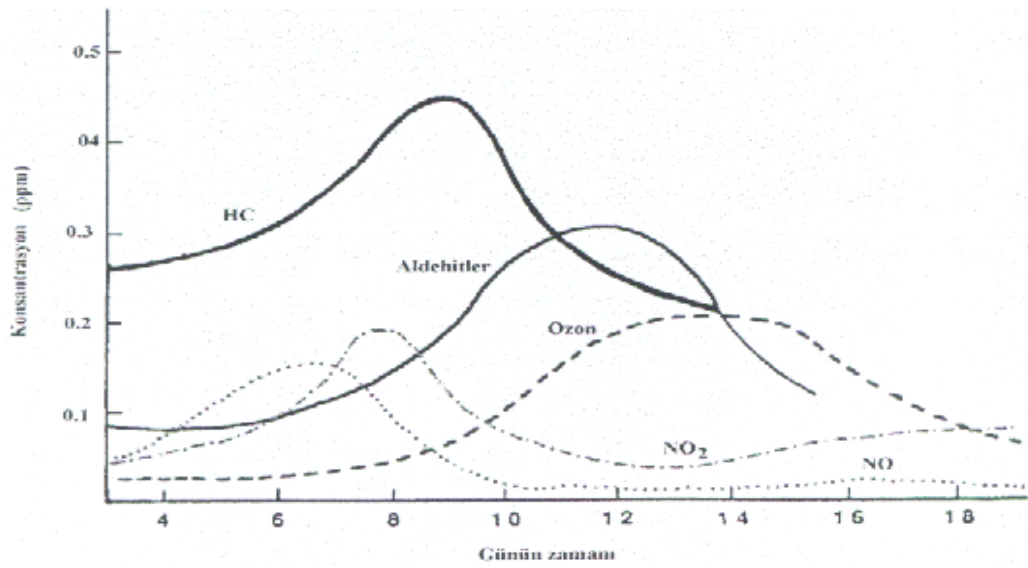
Reaktifliği tanımlamak için “incremental reaktifliği” tanımı yapılmıştır. Incremental reaktiflik urban ve rural alanları temsil eden tipik VOC karışımına eklenmiş olan her bir birim VOC'nin ozona dönüşme miktarı olarak tanımlanmıştır.

Incremental reaktiflik = $\Delta [Ozon] / \Delta [VOC]$ olarak verilmektedir.



Şekil 3.6 VOC ve NO_x ile ozonun değişimi (Wark,1998).

Şekil 3.6 EKMA modeline göre ozon piklerinin olduğu ppm bazında konsantrasyonlar (izohipsler ile gösterilen), VOC ile NO_x'lerin giriş konsantrasyonları da eksenlerde gösterilmiştir. Şekildeki diogonal çizgi ise ppm bazında VOC:NO_x oranını belirtmektedir, burada oran 8:1 olarak alınmıştır (Wark, 1998). Şekil 3.7'de ise hidrokarbonların ve ozonun gün içindeki değişimi gözükmemektedir (Bridgman,H.A., 1994).



Şekil3.7 NO, NO₂, Hidrokarbonlar ve Ozonun gün içinde zamana bağlı değişimi.

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü üzere hidrokarbon konsantrasyonunun maksimum değerine ulaşmasından yaklaşık iki saat sonra ozon konsantrasyonun da maksimum değere ulaştığını söyleyebiliriz.

3.11.1 VOC/NO_x Oranının Ozon Oluşumundaki Önemi

Ozon konsantrasyonunu etkileyen birçok faktör olması ozonun kontrolü ve gelecekteki ozon konsantrasyonlarını tahmin etmek için yapılacak ozon modelleri için büyük bir sorundur. Azot oksit ve hidrokarbonların zaman içinde değişimleri yer seviyesi ozon oluşumunda en önemli faktörlerdendir. Troposferde ozon oluşumu NO_x'ler ve VOC'lar arasında gerçekleşen kompleks reaksiyonlarla olur (Chemistry for the Troposphere).

Hidrokarbonların ozon oluşturma kapasitesi VOC'a ve NO_x seviyesine bağlıdır. Hidrokarbon reaktifliği VOC/NO_x oranına bağlı olarak değişik değerler almaktadır. Hidrokarbon reaktifliği belirli bir orana (VOC/NO_x=8) kadar yükselmekte daha sonra tekrar düşmeye başlamaktadır. Hidrokarbon reaktifliği; ortamı yansıtan bir VOC karışımına eklenen birim VOC başına oluşan ozon miktarıdır (Carter,W.P.L.).

Bazı VOC'lar için VOC/NO_x oranına göre hesaplanmış hidrokarbon reaktiflik değerleri Çizelge 3.2'de verilmiş olup; hidrokarbon reaktifliğinin VOC/NO_x = 8 oranına kadar yükseldiği bu değerden sonra ise düşmeye başlayıp VOC/NO_x = 40 olduğu zamanda da hidrokarbon reaktifliğinin sıfıra yaklaştığı görülmektedir.

Çizelge 3.2 VOC/ NO_x oranına göre hesaplanmış hidrokarbon reaktiflik değerleri

VOC/ NO _x Oranı, (ppbc/ppb)				
Bileşikler	4	8	16	40
Karbonmonoksit	0.011	0.022	0.012	0.005
Etan	0.024	0.041	0.018	0.007
n-bütan	0.100	0.160	0.069	0.019
n-oktan	0.068	0.120	0.027	-0.031
Propen	1.280	1.030	0.390	0.140
Benzen	0.038	0.033	-0.002	-0.002
Toluen	0.260	0.160	-0.036	-0.051
Formaldehit	2.420	1.200	0.320	0.051
Metanol	0.120	0.170	0.066	0.029
Etanol	0.180	0.220	0.065	0.006

Bir VOC/NO_x sisteminde, ozon üretimi genellikle OH radikallerinin peroksiradikal oluşturmak üzere her bir hidrokarbon molekülüne saldırısıyla başlar. VOC/NO_x oranının yüksek olduğu durumlarda OH çoğunlukla VOC'larla reaksiyona girecektir. VOC/NO_x oranının düşük olduğu durumlarda ise OH azot oksitlerle reaksiyona girer. Bu açıklamalarda hidrokarbon reaktifliğinin ozon oluşumu üzerine etkisini net olarak göstermektedir (Bowman,F.M.).

Fotokimyasal smog probleminin yaşandığı şehirlerde ozon azaltım stratejisi, ozon oluşumuna etkisi olan ve kontrol edilebilir kirleticilerin azaltılması şeklinde olmaktadır. Bu nedenle NO_x ve nMHC emisyonlarında azaltmaya gitmek uygun bir kontrol yöntemi olacaktır.

3.12 Karbonmonoksitin Atmosfer Kimyası

Atmosferik ozon seviyesinin NO, NO₂ ve O₃ döngüsünden hesaplanan değerden daha yüksek oluşumunu açıklamak için ozon üretimine katkıda bulunan diğer reaksiyonların bulunduğu belirtilmesi gerekmektedir. Troposfer bileşiminde karbon içeren türlerin de bulunduğu bilinmektedir. En basit atmosferik karbon içeren tür CO'dur. Ancak CO, NO_x hava

sisteminde bulunan diğer türlerle hızlı bir şekilde reaksiyona girmez. CO hidroksillerle reaksiyon sonucu oksitlenir ve sonraki reaksiyonlar ozon oluşumuna katkıda bulunurlar (Derwent, 1994). 320 nm dalga boyundan daha kısa solar radyasyonla ozon fotolizi yer seviyesi (O) uyarılmış tek (O(1D)) oksijen atomları üretir. Bu üretim hem atmosfer hem de troposfer için önemlidir (Tecer, 2000).

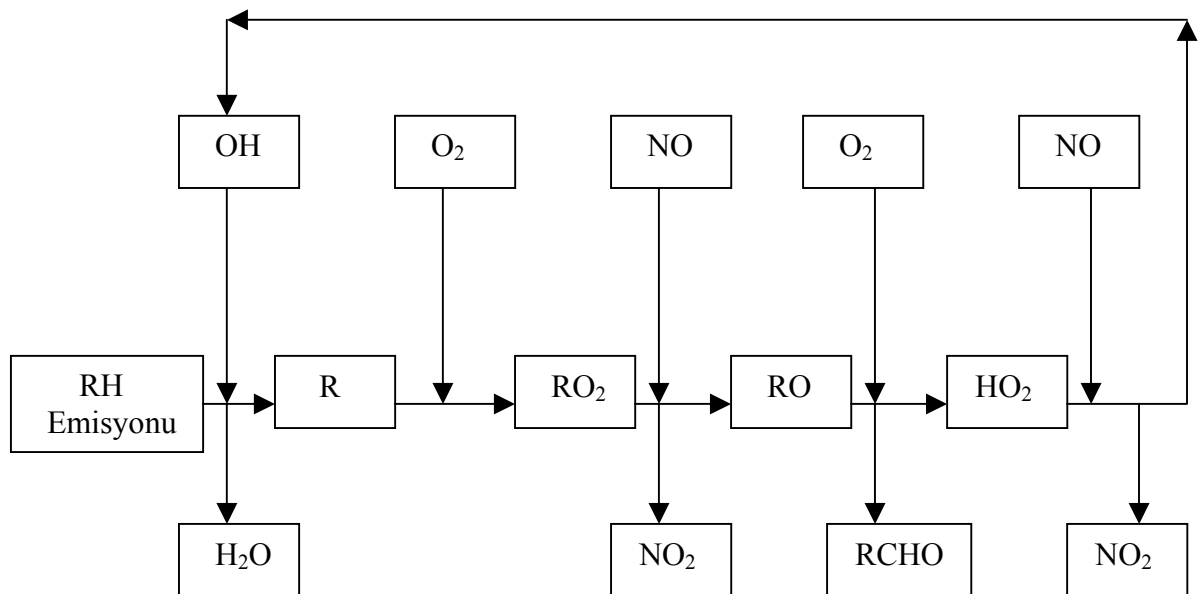
3.13 Fotokimyasal Smog

Fotokimyasal smog



Genel gösterimi çerçevesinde atmosferde azot oksitleri ve hidrokarbonların verdiği fotokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan çeşitli kirleticilerin, özellikle fotokimyasal oksidanların bir karışımıdır. Bu karışım sürekli yapı değiştirir. Karışımında bulunan en önemli bileşenler ozon, PAN, akrolein, formaldehit ve çeşitli radikallerdir. Fotokimyasal reaksiyonlar çoğunlukla zincir reaksiyonları şeklinde meydana gelmektedir.

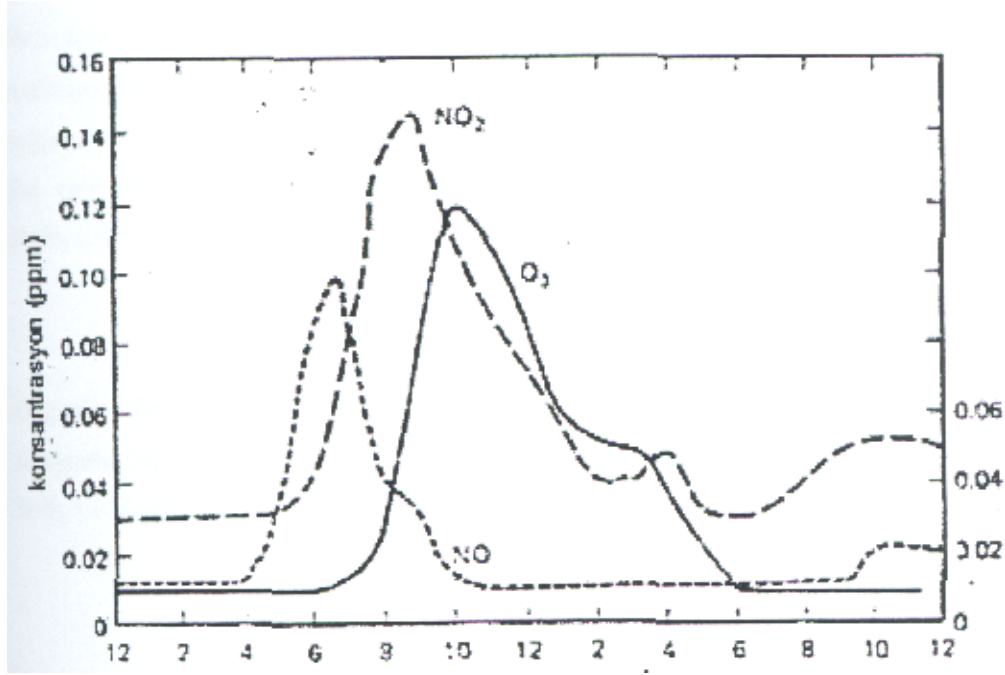
Azot oksit ve hidrokarbonların gerçekleştirdiği fotokimyasal reaksiyonlar ve bunlar sebebiyle meydana gelen fotokimyasal smog Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 Fotokimyasal smog

3.13.1 Kirleticilerin Fotokimyasal Smog Oluşumu İle Değişimi

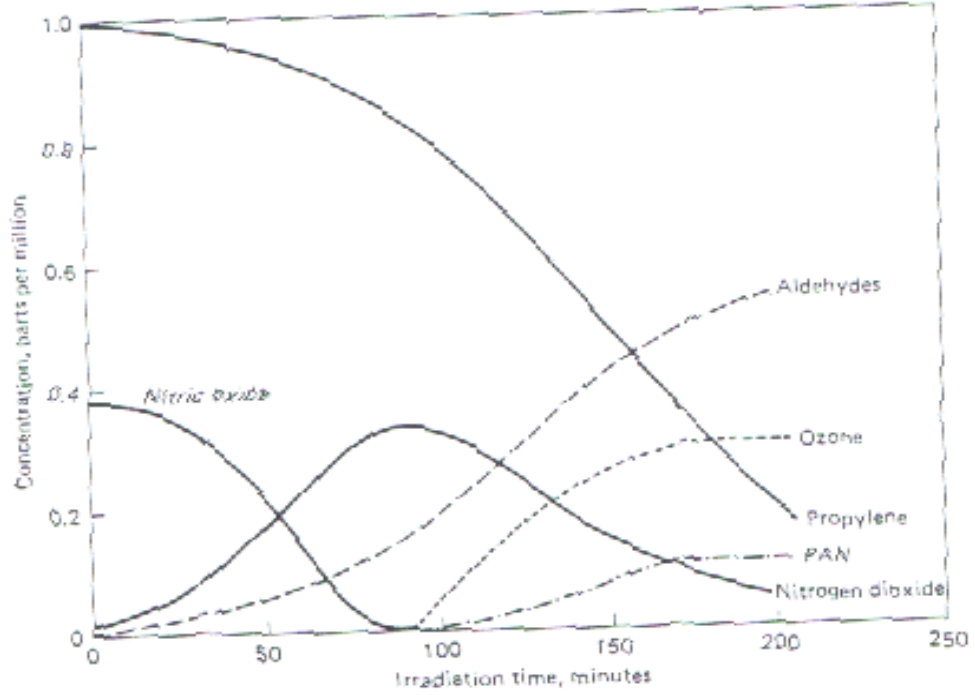
Los Angeles şehrinde gün içinde farklı kirleticilerin konsantrasyonundaki değişimler Şekil 3.9'da verilmiştir (NAPCA, Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants, 1970).



Şekil 3.9 Los Angeles şehrinde kirlenici kaynaklarının değişimi

Sabahın erken saatlerinde mevcut hidrokarbon miktarı zamanla artarak yaklaşık saat 8.00 civarında iki katına ulaşmaktadır. Bu durumda oluşan fotokimyasal reaksiyonların trafikteki artış ile paralel olarak gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Şehirdeki NO konsantrasyonu da aynı sebepten dolayı artmaktadır. NO₂ konsantrasyonu NO ile hidrokarbonların yaptığı reaksiyonlar sonucu saat 7.00 civarında artmaya başlamaktadır (Denklem 3.19 ve 3.20). Ve bunlara paralel olarak da NO₂ konsantrasyonu pik değere ulaştığında NO konsantrasyonunda düşüş gözükmemektedir. Bu reaksiyonların bir sonucu olarak da O₃ konsantrasyonunda da artış gözlenecek ve öğle saatlerine doğru maksimum değerine ulaşacaktır (Denklem 3.21). Artan O₃ konsantrasyonu ise pik değerine ulaştıktan sonra azalan NO₂ konsantrasyonunu arttırmak için NO ile reaksiyona girerek NO₂ miktarını artırır (Denklem 3.22). Buna göre O₃ konsantrasyonu atmosferde hızla artmıyor. Bir denge söz konusudur.

Şekil 3.10'da ortamda propilen ve NO olması halinde kirleticilerin gün ışığına bağlı olarak değişimi gözükmemektedir (Wark, 1998). Bu şekilde de NO ile propilen arasında gerçekleşen reaksiyonlar sonucu NO_2 , PAN, aldehit ve O_3 konsantrasyonlarında artışlar görülmektedir (Denklem 3.26).



Şekil 3.10 Ozon ile çeşitli kirleticilerin zaman içindeki değişimi (Wark, 1998).

3.14 Ozon Standartları

Hidrojenli, azotlu ve halojenli bileşiklerin ozon tabakasının oluşumunda ve delinmesinde rol oynadığı, bu bileşiklerin gerçekleştirdiği çok sayıda kimyasal tepkimelerin etkisiyle 1950'lerde fark edilmiştir. 1970'li yılların sonuna doğru, ozonun insanlara ve tarımsal ürünlere olan zararlı etkileri anlaşılmış ve ozon konsantrasyonunun hava kalitesi standartları içine alınması gerçekleşmiştir. İki temel unsur, ozonun canlılara ve eşyalara zararlı olduğu konsantrasyonunun belirlenmesi için göz önünde tutulur. Biri ozon konsantrasyonu, diğeri ise maruz kalma süresidir. Dünyada ozon standartları bu unsurlar dikkate alınarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bunlar;

- 1 saatlik maksimum ozon konsantrasyonu
- 8 saatlik maksimum ozon konsantrasyonu
- 120 ppb'lik maksimum ozon konsantrasyonu geçme sayısıdır.

Teknolojik ve endüstriyel gelişmelere bağlı olarak, diğer standartlar gibi ozon standartları da yeniden düzenlenmektedir. 1996'da Amerika'da EPA tarafından yapılan çalışmalara göre 1 saatlik ölçülen ozonun eşik değeri 0.12 ppm ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve 8 saatlik maksimum ozon konsantrasyonu 0.08 ppm ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) olarak belirlenmiştir.

Türkiye'de ise Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre gaz kirleticiler için uzun vadeli sınır değer ve kısa vadeli sınır değer baz alınarak standartlar belirlenmektedir. Türkiye'de saatlik maksimum sınır değer için ozon standardı $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.12 ppm) olarak belirlenmiştir. Bu değer EPA'nın 1 saatlik ozon standardı ile uyumludur. Ancak ülkemizde 8 saatlik ozon standardı henüz bulunmamaktadır.

3.15 Ozon Kirliliği Sınır Değerleri ve Etkileri

3.15.1 Ozon Kirliliği Sınır Değerleri

Ozon kirliliği ile ilgili sınır değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.[7]

Çizelge 3.3 Ozon kirleticisinin sınır değerleri.

WHO: Dünya Sağlık Teşkilatı	Ortalama	Sınır Değerler
Halk Sağlığının Korunması İçin	1 saatlik	$150\text{-}200 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	8 saatlik	$100\text{-}120 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Bitkilerin Korunması İçin	1 saatlik	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 saatlik	$65 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Bitkilerin Büyüme Sezonu (Mayıs-Eylül)	24 saatlik	$60 \mu\text{g}/\text{m}^3$
EU : Avrupa Birliği		
Halk Sağlığının Korunması İçin	8 saatlik	$110 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Bitkilerin Korunması İçin	1 saatlik	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 saatlik	$65 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Halkın Bilgilendirilmesi İçin	1 saatlik	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Halka Genel Alarm Verilmesi İçin	1 saatlik	$360 \mu\text{g}/\text{m}^3$
EPA : Amerikan Çevre Koruma Ajansı	1 saatlik	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	8 saatlik	$160 \mu\text{g}/\text{m}^3$
T.C.Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği	1 saatlik	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$

3.15.2 Ozonun Sağlık Üzerindeki Etkileri

Özellikle 15 Mayıs ile 15 Eylül ayları arasında gelişmiş ülkelerde ozon kirliliği saatlik ortalama olarak halka duyurulmaktadır.

Ozon, çok güçlü bir oksidanttır. Ozon, burun ve boğazdaki tükürük membranlarını ciddi bir şekilde tahrip ederek solunum yolunu etkileyen yüksek derecede reaktif bir gazdır. Ciğerlere kadar ulaşan ozonun %90'ı solunum yolu ile dışarı atılamadığı için ozon hassas akciğer fonksiyonlarında bozulmaya, kırmızı kan hücrelerinin yapısının değişmesine, faranjit, laranjit, göz, burun ve gırtlak tahrişine sebep olmaktadır.

Ozon kirliliğine belli süre ve belli konsantrasyonda maruz kalındığında aşağıdaki olumsuzluklar olmaktadır.

- 120 ppb ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) O_3 konsantrasyonuna 1 saat ve 80 ppb'e ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 6 saat maruz kalındığında akciğer fonksiyonunda zayıflama, fiziksel egzersiz işleminde azalma görülmektedir.
- 300 ppb'e ($600 \mu\text{g}/\text{m}^3$) O_3 kısa süreli maruz kalındığında akciğer şişkinliğine ve ölüme neden olmaktadır.
- 120 ppb'den ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yüksek ozon konsantrasyonuna 1 saatten fazla maruz kalındığında hastaneye ve acil servise başvuru sayısında artış gözlenmektedir. Akciğer fonksiyonlarında azalma gözlenmiştir. Bu azalma etkileri; solunumda düşme, soluk borusu hiper aktivitesi, soluk borusu iltihabı, atletik performansında düşme, öksürük ve semptomlarında artış, epitel permeabilitede artış şeklinde olmaktadır.
- Yüksek ozon kirliliğinin astımlı kişileri daha fazla etkilediği gözlenmiştir. Ozon kişileri alerjiye karşı daha hassas yapmaktadır.

Ozonun sağlık üzerindeki etkisi Çizelge 3.4'de verilmiştir (Eryılmaz, G.,2001).

Çizelge 3.4 Ozonun sağlık üzerine etkisi

Konsantrasyon		Maruz Kalma Süresi (Saat)	Etkileri
ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
0.02	40	1	Çatlamış, gerilmiş lastik
0.03	60	8	Bitkilere olumsuz etkiler
0.07	140	8	Çocukların %3'ünde zorlanmış akciğer daralması ≥ 15
0.08	160	8	Çocukların %5.1'nde zorlanmış akciğer daralması ≥ 15
≥ 0.08	160	8	Akciğer fonksiyonlarının azalması (yetişkinlerde)
0.09	180	8	Çocukların %7.7'sinde zorlanmış akciğer daralması ≥ 15
0.10	200	1	Havadaki direncin artması
0.12	200	1	Çocukların %8.3'ünde zorlanmış akciğer daralması ≥ 15
≥ 0.12	240	1-3	Akciğer fonksiyonlarının azalması (çok zor hareketlerde)
≥ 0.24	480	1-3	Akciğer fonksiyonlarının azalması (zor hareketlerde)
≥ 0.30	600	1-3	Akciğer fonksiyonlarının azalması (normal hareketlerde)
≥ 0.37	740	1-3	Akciğer fonksiyonlarının azalması (hafif hareketlerde)
0.30	590	iş saatlerinde	Burun ve boğazda tahriş, göğüs ağrısı
2.00	3900	2	Şiddetli Öksürük

3.15.3 Ozonun Bitkiler Üzerindeki Etkisi

Ozon orman ekosistemini tahrip eder. Ozon, bitki liflerine girerek hücre metabolizmasına zarar vermektedir. Ozon, bitki yaprakları üzerinde sarı renkli lekelenmelere neden olmaktadır. Ozonla zarar gören bitkilerin yaprakları ölür ve yaz sonuna doğru düşer. Ozon bitkilerin büyüme hızını ve ürün verimini düşürür.

50-150 ppb ($100-300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) O_3 konsantrasyonu, soya, mısır ve turp türlerinde ürün veriminde düşüğe, karanfil çiçeği, sardunya çiçeği ve benekli fasulyenin büyüme ve çiçeklenmesinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

10 ppb'den ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) büyük O_3 seviyesinde ve 7 saatlik maruz kalma süresinde pancar, soğan, marul ve şalgam sebzelerine zarar verdiği tespit edilmiştir.

Ozon bitkiyi zayıflatır ve hastalığa karşı daha hassas yapar. Ozonun 8 saatlik maruz kalma süresi için bazı hassas bitkilere zarar verme eşik konsantrasyonu 30 ppb ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dır. Şehirlerde 1 ile 8 saatlik maruz kalma süresinde 100 ppb ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) veya daha düşük ozon konsantrasyonunda bitkilere zarar verdiği tespit edilmiştir. 3 ile 4 saat maruz kalma süresinde 60 ppb ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ozonun yoncaya zarar verdiği görülmüştür. Ozonun turunçgillerin büyümesini yavaşlattığı tespit edilmiştir.

3.15.4 Ozonun Malzemeler Üzerindeki Etkisi

Ozon doğal ve sentetik lastiklere, butadien, isopren ve stren gibi sentetik polimerlere hücum ederek onların çatlamasına, sertleşmesine neden olur. Araba lastiklerinin, lastik yalıtım malzemelerinin ve dış ortam elektrik kaplama malzemelerinin ömrünü kısaltır.

Ozon naylon ve akrilik fiber gibi sentetik polimerlere olduğu gibi tekstil malzemelerindeki selülozlarla da reaksiyona girerek onları tahrip eder, direncini azaltır. Ayrıca ozon kumaştaki boyalarla reaksiyona girerek renklerinin solmasına neden olur.

4. İSTANBUL'DA OZON KİRLİLİĞİ

4.1 İstanbul'da Ozon Kirlletici Kaynakları

İstanbul'da hava kirliliği 1980'li yıllardan itibaren tehlikeli boyutlara ulaşmış, şehir halkının sağlığını ciddi olarak tehdit etmeye başlamıştır. Hava kirlenmesinde önemli bir etkisi olan fotokimyasal smog ve ozon konsantrasyonlarının artışına sebep olan kaynaklar;

- 1- Motorlu taşıtlar
- 2- Endüstriyel tesisler
- 3- Akaryakıt istasyonları
- 4- Yerleşim alanlar
- 5- Biyogenik emisyonlardır.

Bu sınıflandırma içindeki en önemli pay, motorlu araçların zaman içindeki artışları sebebiyle, ulaşımına aittir.

4.1.1 Ulaşımın Ozon Kirliliğine Etkisi

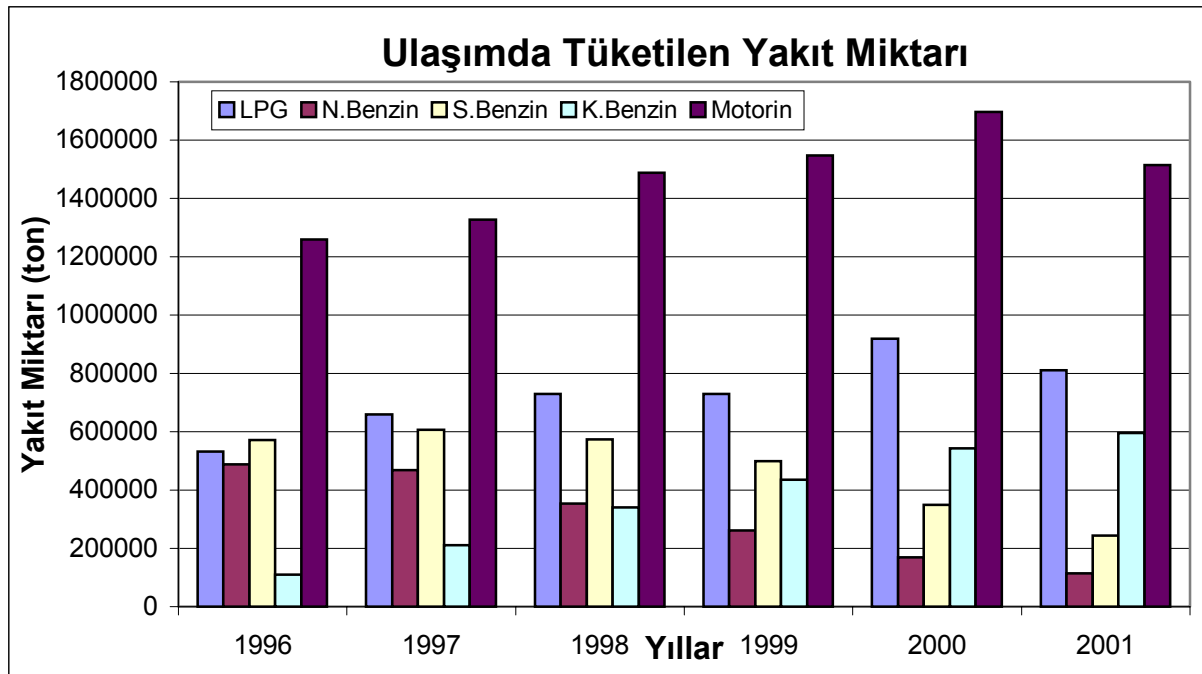
Motorlu taşıt sayısındaki hızlı artışlar trafik problemi ile birlikte CO, HC, NO_x, partiküler madde, kurşun ve ozon gibi hava kirlleticilerinin artmasına neden olmaktadır. Bu parametrelerden CO ve NO_x'ler atmosferde seyrelme, adsorbsiyon, oksidasyon, fotokimyasal reaksiyonlar ve çeşitli diğer giderim mekanizmaları ile ya kararlı bileşiklere dönüştürülürler ya da atmosferden uzaklaştırma mekanizmaları ile giderilirler. Özellikle fotokimyasal reaksiyon ürünleri olan ozon, PAN gibi kirleticiler yerleşim bölgesindeki insanlar üzerinde akut ve kronik rahatsızlıklara yol açmaktadır.

Şehriçi bölgelerde taşıt sayısında ve yakıt tüketiminde hızlı artışlardan dolayı atmosfere geniş miktarda karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksitler atılmaktadır. Bu kirleticiler arttıkça bazı ikincil reaksiyonlar sonucu istenmeyen kirleticiler atmosferde oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar temel olarak atmosferik hidroksil radikalleriyle başlayan müteakiben güneş ışığı yardımıyla reaksiyona girer ve sonuçta ozon sentezi gerçekleşir. Bir çok şehirde yaz aylarında ozon kirliliği önemli problemlerden biridir. Benzin bileşenlerindeki küçük farklara

bakılmaksızın akaryakıt istasyonları ile benzinli araçlardan atılan hidrokarbon ve azot oksitlerin emisyonları, şehriçi bölgelerinde önemli ozon oluşturma potansiyeline sahiptir.

Bir çok şehirde özellikle yaz aylarında motorlu taşıtlardan ileri gelen ozon kirliliği zaman zaman önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. 10.033.478 (2000 yılında yapılan nüfus sayımına göre İstanbul ilinde ikamet eden nüfus sayısı)[1] insanın yaşadığı İstanbul'da trafikteki taşıt sayısı 2001 yılı ekonomik krizine kadar her yıl ortalama %8-10 oranında artmaktaydı [2]. Buda şehiriçi bölgelerde egzozdan atılan kirletici miktarını arttırmakta idi. Ekonomik krizle birlikte trafikteki taşıt sayısında önemli düşüşler oldu. Dolayısıyla ulaşımında kullanılan yakıt tüketiminde de bir miktar azalma oldu. Ayrıca bu durum trafikteki taşıt hızında artışlara ve taşıtlardan atılan hidrokarbon miktarında düşüşe neden olmaktadır.

Taşıt egzozlarında atılan kirleticilerin emisyonları yakıt tipine, otomobil modellerine, yaşlarına, sürme usulüne bağlı olarak değişir. LPG nin bileşenleri benzininkinden oldukça farklıdır. LPG li taşıtlarda yanma sonucu daha az kirletici oluştuğundan LPG daha temiz yakıt olarak kabul edilir. İstanbul'da akaryakıt fiyat farkından dolayı araçlarda yakıt olarak önce LPG ve son zamanlarda ise sıkıştırılmış doğalgaz kullanılmaya başlandı (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 1996 yılından beri İstanbul'da ulaşımında kullanılan yakıt miktarları (Öztürk, M.).

1996 yılında İstanbul’da yaz aylarında atmosferde oluşan ozon kirliliği önemli boyutlarda idi. Bazı günler ozon konsantrasyonu sınır değerlerin üzerine ulaşmaktaydı. Son zamanlarda ozon kirliliğinde bazı günler hariç genel ortalamada önemli düşüşlerin sebebi yukarıda sıraladığımız gelişmelerdir.

OECD ülkelerinde ulaşımdaki araçlar %69 oranında benzin, %30 motorin, %0.9 LPG ve %0.05 doğal gaz kullanmaktadırlar. Çizelge 4.1’de mobil araçlarda kullanılan benzin, mazot, LPG ve doğalgazın meydana getirdiği kirletici emisyonları verilmiştir (Öztürk,M.).

Çizelge 4.1 Mobil araçlarda kullanılan yakıtlardan ileri gelen kirletici emisyonu.

Kirleticiler	Yakıtlar			
	Benzin (kg/ton)	Mazot (kg/ton)	LPG (kg/dam ³)	DoğalGaz (kg/dam ³)
SO _x	0.54	19xS	0.0184xS	0.01 ⁽¹⁾
NO _x	42	35.5	33	25
TSP	1.8	16	0.06	0
CO	377	43.5	23	17
VOC	32	19	19	14

İstanbul’da trafikten kaynaklanan taşıt emisyonunu kontrol altına alabilmek için bir dizi çalışmaların yapılması gereklidir. Bu çalışmalarda en önemli hususlardan biri trafikte yoğun olarak bulunan ticari taksiler, polis araçları ve belediye araçlarında öncelikli olarak temiz yakıt kullanımı uygulamaya konulmalıdır

1995 yılı verilerine göre dünya’da 600 milyon adet taşıt bulunmaktadır. Bu sayının 2010 yılında bir miyara oluşacağı tahmin edilmektedir. İstanbul’daki araç sayısı ise 2002 yılı sonu itibariyle 1.826.400’dür. (İstanbul İli Emniyet Müdürlüğü- Trafik Tescil Müdürlüğü İstatistik Bilgileri). Çizelge 4.2 ve 4.3’de İstanbul’daki araç türlerinin yıllara göre dağılımı verilmektedir.

Şehiriçi bölgelerinde ulaşımda temiz yakıt kullanılarak ozon oluşturma potansiyeli, kurşun, benzen, benzo-a- pren, karbon monoksit ve azot oksit emisyonları azaltılabilir.

İSTANBUL İLİNDE CİNSLERİNE GÖRE MOTORLU ARAÇ DURUMU
(1985-1992 YILLARI ARASI YIL SONLARI İTİBARIYLA)

ARAÇLAR	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
MOTOSİKLET	10.768	11.364	12.496	13.225	13.713	15.160	17.257	20.129	24.312
OTOMOBİL	312.182	341.241	388.623	441.015	484.375	559.807	631.804	736.898	872.066
JEEP	2.346	2.402	2.537	2.720	2.915	3.332	3.687	4.354	5.884
MİNİBÜS	10.938	12.796	15.796	19.238	20.438	22.952	26.300	32.333	31.152
OTOBÜS	10.910	12.003	13.118	14.257	15.451	17.391	19.651	24.318	30.863
KAMYONET	42.373	45.586	49.759	53.731	56.047	60.645	66.022	77.454	93.109
KAMYON	46.192	50.147	54.635	58.508	60.651	64.947	69.748	77.278	87.760
DİĞER	5.353	6.435	7.680	7.680	9.022	9.687	10.582	12.737	15.142
TOPLAM	441.062	482.001	544.644	611.716	663.227	754.393	845.051	985.051	1.161.288

Çizelge 4.2 İstanbul'da araç türlerinin yıllara göre dağılımı.

İSTANBUL İLİNDE CİNSLERİNE GÖRE MOTORLU ARAÇ DURUMU
(1993-2002 YILLARI ARASI YIL SONLARI İTİBARIYLA)

ARAÇLAR	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
MOTOSİKLET	27.135	29.243	31.797	35.290	39.190	42.904	47.618	49.168	33.460
OTOMOBİL	933.149	1.025.484	1.133.291	1.275.561	1.395.041	1.492.268	1.629.347	1.657.986	1.327.637
JEEP	6.094	5.418	6.658	9.040	12.220	14.937	17.706	18.893	19.013
MİNİBÜS	34.649	47.554	52.806	59.974	68.003	74.763	84.282	86.355	64.599
OTOBÜS	34.011	37.357	42.190	48.588	53.571	56.324	61.084	61.780	39.740
KAMYONET	98.102	105.082	120.768	157.474	183.306	207.470	241.198	249.809	224.064
KAMYON	92.514	101.399	115.111	132.723	142.600	146.682	152.749	154.071	67.810
DİĞER	16.330	28.462	18.276	19.695	27.642	28.660	31.274	32.276	50.077
TOPLAM	1.241.984	1.368.739	1.521.527	1.738.345	1.921.575	2.064.008	2.265.258	2.310.338	1.826.400

Çizelge 4.3 İstanbul'da araç türlerinin yıllara göre dağılımı.

NOT : 2001 yılında yaşanan ekonomik kriz nedeniyle 2002 yılında araç sayısında azalma görülmüştür.

4.1.2 Endüstriyel Tesislerin Ozon Kirliliğine Etkisi

Bir diğer önemli kirleticisi kaynak olan endüstriyel tesisler, kullandıkları kalitesiz yakıt, üretim işletmeleri ve proseslerinin eski teknolojiye sahip olmaları, baca gazı arıtımlarının yapılmamasından dolayı önemli miktarda kirleticisi üretmektedirler. Endüstriyel tesislerden kaynaklanan atmosferik kirleticileri işletmelerdeki çeşitli üretim kademelerinden atılanlar ve işletmedeki imalatın çeşitli kademelerinde yakıtların kullanılması sonucu meydana gelenler olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Yakıt kullanımından kaynaklanan kirleticiler karbon monoksit, kükürt dioksit, hidrokarbonlar, partiküler madde ve azot oksitler olarak sıralayabiliriz. Üretimden kaynaklanan kirleticiler ise üretim türüne göre değişiklik göstermektedir (Öztürk ve diğ., 1999 (a)).

Endüstriyel tesislerin büyüklüğü atmosferi kirletmesindeki payı, özellikle sağlıksız tesislerin yoğun olduğu yerlerde büyüktür. İstanbul'da endüstriyel tesislerin çoğu Avrupa yakasında havalimanı ile Haliç arasında Avcılar, Küçükçekmece, Bahçelievler, Zeytinburnu, Bayrampaşa, Bağcılar, Gaziosmanpaşa, Şişli ve Esenler arasında, Anadolu yakasında ise Ümraniye, Kartal, Pendik ve Tuzla arasında bulunmaktadır (Öztürk ve diğ., 1999 (b)).

İstanbul'da yaygın endüstriyel tesisleri;

- Isı üretimi, maden, enerji,
- Taş, toprak, seramik, yapı malzemeleri,
- Çelik, demir ve diğer metallerin üretildiği ve işlendiği tesisler,
- Kimyasal ürünler, tıbbi ilaçlar, mineral yapıların rafinerisi ve işlenmesi,
- Organik maddelerle yüzeylerin muamelesi, profil biçimindeki plastik malzemelerin üretimi, plastik malzemeler ve reçinelerin diğer işleme biçimleri,
- Artık maddelerin değerlendirilmesi ve ortadan kaldırılması ve diğerleri

olarak bulunmaktadır. Bu tesisler spesifik kirleticiler açısından çok geniş bir alanı kapsarlar. Endüstriyel tesislerin üretimleri sırasında atmosfere verdikleri hidrokarbonlar ve azot oksitler fotokimyasal reaksiyonlar sonucu ozon oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle üretimden kaynaklanan kirleticileri proseste değişiklik yaparak, az kirleticisi üretecek teknolojiler kullanarak kontrol altına almak gerekmektedir. Yüksek değerdeki kirleticisi emisyonlar için baca gazı arıtma tesisleri kurulmalıdır.

4.1.3 Akaryakıt İstasyonlarının Ozon Kirliliğine Etkisi

Şehir içi bölgelerde araç egzozları ozon oluşturmada önemli kaynaklardan biri olarak kabul edilirken araçların depoları ve akaryakıt istasyonlardaki tanklara benzin dolumu esnasında kaçan benzin buharlarının ozon oluşturma potansiyelinin oldukça yüksek olduğu unutulmamalıdır.

Benzinin terminallerden tankerlere, tankerlerden yer altı depolarına, yer altı depolarından motorlu taşıtların yakıt deposuna olan transferinde her bir aşama benzin buharı emisyonları açısından potansiyel bir kaynaktır. Uçucu organik bileşiklerin atmosfere kaçışını önlemek için benzin transferinin yapıldığı her bir aşamada uygulanabilecek kontrol mekanizmaları geliştirilmiştir. Bu sistemler, Kanada, Amerika ve İngiltere’de büyük oranda uygulanmakta olup, daha kesin çözüm yöntemleri geliştirmek amacıyla araştırmalar halen devam etmektedir.

Akaryakıt istasyonlarındaki benzin tanklarının ve araçların depolarının dolumu esnasında havaya önemli miktarda benzin buharı atılmaktadır. İstanbul’da sadece akaryakıt istasyonlarının dolumu esnasında İstanbul havasına atılan benzin buharı miktarı 1606,50 ton/yıl’dır. Yani benzinin %0,17’si kaybolmaktadır (TABGİS Bülteni,2001). Benzin buharının içeriğinde bulunan hidrokarbonlar atmosferdeki hidrokarbon konsantrasyonunun artmasına neden olacaktır. Çeşitli kaynaklardan atmosfere atılan bazı HC’lar metan gazına göre daha fazla ozon oluşturma potansiyeline sahiptir. Atmosferde yeterli miktarda ozon oluşturma potansiyeli yüksek hidrokarbonlar varsa, bunlar;



şeklinde reaksiyona girerek NO₂ oluşturur. Böylece atmosferdeki hidrokarbonlardan dolayı O₃ maddesi tahrip edilmeden birikerek atmosferde artmaya devam eder. Gelişmiş ülkelerde benzin buharı geri kazanma zorunluluğu getirilmektedir.

Japonya’da yeni kurulan LPG istasyonlarının akaryakıt istasyonlarında kurulmasına izin verilmemektedir. Hollanda, ABD, Avustralya ve Kanada’da ise akar yakıt istasyonlarında kurulmasına izin verilmektedir.

ABD, Avustralya ve Kanada’da LPG depolama tankları yerin üstünde olmak zorundadır. Avustralya’da yerin üstündeki tankın yerin altındakinden daha emniyetli olduğunu kabul etmektedirler.

Hollanda’da depolama tankı kapasitesinin 80 m³’den fazla olmasına izin verilmemektedir. Tankların çevresi yığın ve setle çevrilmeli veya tankları yerin altına konulmalıdır. 1990 yılına kadar LPG tanklarının sadece yer üstüne kurulmasına verilirdi. Ayrıca depolama tankının kapasitesini minimize etmektir. Tankların kapasitesi minimum 20 m³ olmalıdır. Buradaki amaç trafikte LPG tankerlerinin seyahatini minimize etmektir. İstanbul’da LPG istasyonlarındaki tankların kapasitesi 10 m³’dür. Tankların kapasitesi küçük olduğundan kısa sürede boşalmaktadır. Bu yüzden İstanbul şehir içi trafiğinde LPG tankerleri fazla dolaşmaktadır. Bu durum çok sakıncalıdır.

Çoğu ülkelerde LPG istasyonları, nüfusu yoğun olan yerleşim alanlarından ufak yerlere kurulmaktadır. LPG istasyonu ile binalar arasındaki mesafe, depolama tankının dizaynı gibi faktöre bağlı olarak değişmektedir. Depolama tankı yer altına kurulursa mesafeler azaltılabilir. Japonya’da depolama tankı birinci tip binalardan 17 ile 30 metre uzakta, ikinci tip binalardan ise 11 ile 20 metre uzakta olmalıdır. Depolama yer altında yapılıyorsa mesafe %30 azaltılabilmektedir.

ABD’de LPG istasyonları binalardan 7.6 metre uzakta olabilir. Eğer depoların çevresinde ateş duvarları inşa edilmişse bu mesafe 3 m. kadar indirilebilir.

Avustralya’da LPG istasyonları ile okul, konut, hastane gibi binalar arasındaki mesafe en az 15 metre ve konutlardan ise en az 10 metre uzakta olmalıdır. Bu ara kısım boş olmalıdır.

Hollanda’da yeni yapılan bir LPG istasyonu ile binalar arasındaki mesafe en az 80 metre olmalıdır (depolama tanklarının kapasitesi 20 m³’den fazla ise). Mevcut istasyonlarda ise LPG istasyonu ile binalar arasındaki mesafe minimum 20 metre olmalıdır.

LPG istasyonlarında tank ve dispenserden gaz kaçaklarını tespit edici detektörler olmalıdır. Gaz kaçakları tespit edildiğinde sesli ve görüntülü alarm sistemi devreye girmelidir.

Detektörler gaz kaçağını tespit ettiğinde elektrik devresi kapanmalıdır. Sistemin tekrar devreye girmesi elle olmalıdır.

Yeraltında kurulu LPG tankları çevresi sıkıştırılmış kumla kapatılır. Bu kumun özellikle nemli olmasına dikkat edilir. LPG gazı sudan daha hafiftir. Böylece tanktan kaçan gazların tank tabanında göllenmesi önlenerek gazların yüzeye çıkması sağlanır.

LPG ekipmanları basınç göstergeleri ile uyumlu olmalıdır. Basınçlar kabul edilebilir seviyeye getirilebilir donanımda olmalıdır. Günlük olarak kontroller yapıp kayıt defterine kontrol mühendisi tarafından işlenmelidir.

Otomatik kontrol ekipmanı, sprinkler, yaygın söndürme ekipmanları, soğutma suyu pompası, acil ışık ekipmanı, iletişim ekipmanı gibi emniyeti sağlayıcı gerekli ekipmanlar için elektrikler kesildiğinde destek (yedek) elektriği sağlayıcı jenaratör donanımlı olmalıdır.

Depolama tankları ile destekleri yanıcı olmayan ısı yalıtımı malzemesi ile örtülmüş ve efektif soğutma sistemi ile uyumlu olmalıdır.

LPG istasyonlarında çalışan personeller eğitilmelidir. Kaliteli çalışan elaman sağlanmalıdır. Bu eğitim, üniversite, belediye ve gaz istasyonları derneklerinin müştereken düzenleyecekleri uygulamalı kurslarda verilmelidir. Kullanımda herkes standart hale getirilmelidir.

İngiltere’de 1980 yılında LPG istasyon sayısı 500 adet iken bu sayı 2000 yılında LPG’ye konan ek vergilerden dolayı 200’e düşmüştür. İstanbul’da ise LPG istasyonu sayısı 168, toplam akaryakıt istasyonu sayısı ise 792’dir. Akaryakıt istasyon sayısının bu derece fazla olması ciddi tedbirlerin alınmasını zorunlu kılmaktadır. Çizelge 4.4’de İstanbul ilindeki akaryakıt, akaryakıt+LPG ve LPG istasyonlarının dağılımı görülmektedir. Çizelge 4.5 ve 4.6’da da Anadolu ve Avrupa yakasındaki istasyonların dağılımı görülmektedir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ruhsat Müdürlüğü İstatistik Verileri, 2002).

Çizelge 4.4 İstanbul'daki akaryakıt, akaryakıt+LPG ve LPG dolum istasyonlarının dağılımı.

İLÇELER	İSTASYON SAYISI			TOPLAM
	AKARYAKIT	AKARYAKIT+LPG	LPG	
AVCILAR	12	-	5	17
BAĞCILAR	25	21	16	62
BAHÇELİEVLER	17	5	13	35
BAKIRKÖY	10	10	1	21
BAYRAMPAŞA	10	7	13	30
BEŞİKTAŞ	9	2	1	12
BEYKOZ	12	2	3	17
BEYOĞLU	8	10	1	19
EMİNÖNÜ	2	2	-	4
ESENLER	9	5	5	19
EYÜP	16	6	6	28
FATİH	14	3	7	24
G.O.PAŞA	34	15	3	52
GÜNGÖREN	8	7	3	18
KADIKÖY	38	14	4	56
KAĞITHANE	9	2	10	21
KARTAL	28	9	6	43
K.ÇEKMECE	26	15	9	50
MALTEPE	20	3	9	32
PENDİK	23	12	6	41
SARIYER	18	2	5	25
ŞİŞLİ	22	8	3	33
TUZLA	11	2	1	14
ÜMRANİYE	27	5	14	46
ÜSKÜDAR	11	13	14	38
ZEYTİNBURNU	16	9	10	35
TOPLAM	435	189	168	792

Çizelge 4.5 Anadolu yakasındaki akaryakıt, akaryakıt+LPG ve LPG dolum istasyonlarının dağılımı

İLÇELER	İSTASYON SAYISI			TOPLAM
	AKARYAKIT	AKARYAKIT+LPG	LPG	
BEYKOZ	12	2	3	17
KADIKÖY	38	14	4	56
KARTAL	28	9	6	43
MALTEPE	20	3	9	32
PENDİK	23	12	6	41
TUZLA	11	2	1	14
ÜMRANİYE	27	5	14	46
ÜSKÜDAR	11	13	14	38
TOPLAM	170	60	57	287

Cizelge 4.6 Avrupa yakasındaki akaryakıt, akaryakıt+LPG ve LPG dolum istasyonlarının dağılımı (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ruhsat Müdürlüğü İstatistik Verileri,2002).

İLÇELER	İSTASYON SAYISI			TOPLAM
	AKARYAKIT	AKARYAKIT+LPG	LPG	
AVCILAR	12	-	5	17
BAĞCILAR	25	21	16	62
BAHÇELİEVLER	17	5	13	35
BAKIRKÖY	10	10	1	21
BAYRAMPAŞA	10	7	13	30
BEŞİKTAŞ	9	2	1	12
BEYOĞLU	8	10	1	19
EMİNÖNÜ	2	2	-	4
ESENLER	9	5	5	19
EYÜP	16	6	6	28
FATİH	14	3	7	24
G.O.PAŞA	34	15	3	52
GÜNGÖREN	8	7	3	18
KAĞITHANE	9	2	10	21
K.ÇEKMECE	26	15	9	50
SARIYER	18	2	5	25
ŞİŞLİ	22	8	3	33
ZEYTİNBURNU	16	9	10	35
TOPLAM	265	129	111	505

4.1.4 Konutların Ozon Kirliliğine Etkisi

İstanbul’da hava kirliliğinin en önemli kaynaklarını konutlarda ısınma maksadıyla kullanılan yakıtların yakılmasından ileri gelen ve alan kaynak olarak sınıflandırılan kaynaklar teşkil etmektedir. Yerleşim alanlarının günden güne düzensiz olarak artması (İstanbul’da yaklaşık 2.2 milyon konut mevcut olup, bunların %35’i ruhsatlı, %65’i ruhsatsızdır) ve bu yerleşimlerde yine kalitesiz yakıtların kullanılması, eski teknoloji yakma sistemleri, ısı yalıtımı yapılmamış binaların fazlalığı atmosferdeki kirleticilerin konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır.

İstanbul’da 1960-1980 yılları arasında fuel-oil, 1980’den sonra ise linyit kömürü ısınma maksadıyla tüketilen yakıtlar arasında öncelik göstermiştir. 1990’lı yıllardan sonra ise doğal gaz kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. İstanbul’da ısınma amaçlı kullanılan yakıt sistemlerinin verimlilikleri olması gereken değer olan %70’den daha düşüktür. Dolayısıyla

kalitesiz yakıt kullanımı, hava sızdırmazlık sağlıklı yanma bölgeleri olmayan teknolojik ömrünü dolduran yakma araçlarının kullanımı daha fazla yakıt sarfiyatına yol açarak havaya verilecek kirletici emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Havaya verilen bu kirletici emisyonlarda fotokimyasal bir takım reaksiyonlarla ozon sentezine neden olmaktadır.

4.1.5 Biyojenik Emisyonlar

Biyojenik emisyonlar antropojenik olmayan, doğal olarak meydana gelen birincil kirletici emisyonlardır. Biyojenik emisyonların büyük bir kısmını biyojenik hidrokarbonlar meydana getirmektedir. Biyojenik hidrokarbonlar büyük kent yakınlarındaki fotokimyasal ozon oluşumunda oynadıkları rol ile dikkate alınması gereken maddelerdir.

Biyojenik hidrokarbonların en önemlileri izopren, monoterpen, metilbütenoldür (Scott.I.K. and Benjamin.T.M., 2003). Biyojenik hidrokarbonların her biri, onları atmosferde hayli reaktif hale getiren olefinik bir çift bağla karakterize edilirler. Bu aktifliklerinin bir sonucu olarak bu moleküllerin atmosferik kalış süreleri oldukça kısadır (Drewitt, G.B.,et al., 1998). Biyojenik emisyonların kaynakları ormanlık alanlar, zirai tarım alanları, tarımsal ürünler, yersel bitkiler, sebze ve meyvelerdir. Tarımsal ürünlerin, sebze ve meyvelerin yetiştirilmesi, ağaçların büyümesi sırasında atmosfere verdikleri biyojenik emisyonlar diğer antropojenik kaynak emisyonları gibi iklim şartlarına, sıcaklığa ve solar radyasyona bağlı olarak değişmektedirler (Velasco,E.,2003).

Biyojenik uçucu organik karbonlar atmosferdeki bir çok kimyasal reaksiyona katılmakta ve yerleşim bölgelerinde meydana gelen NO_x 'ler ile reaksiyona girerek fotokimyasal reaksiyonların oluşumunu hızlandırarak ozon sentezinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle biyojenik hidrokarbon emisyonlarının aşağı atmosferdeki rollerinin bilinmesi çok önemlidir. Kolombiya'da 1995 ve 1996 yılları yaz aylarında yapılan araştırmalar sonucu batıya ait yerel kırmızı dağselvisi ve Kolombiya sahil kesiminde yetişen hemlok çamı gibi ağaçların izopren ve monoterpen emisyonlarının oldukça düşük olduğu diğer taraftan yerel bögürtlen ağaçlarının oldukça yüksek emisyon verdiği görülmüştür (Drewitt, G.B., Currin, K. etc., 1999). Bu nedenle bitkilerden, zirai tarım ürünlerinden ve ormanlık alanlardan kaynaklanan hidrokarbon emisyonları ile ilgili bölgelere göre bir veri tabanı geliştirilmesi gelecek yıllarda yapılacak ozon modelleri ve geliştirilecek kontrol mekanizmaları için yararlı olacaktır.

4.2 İstanbul'da Ölçüm İstasyonlarının Yeri

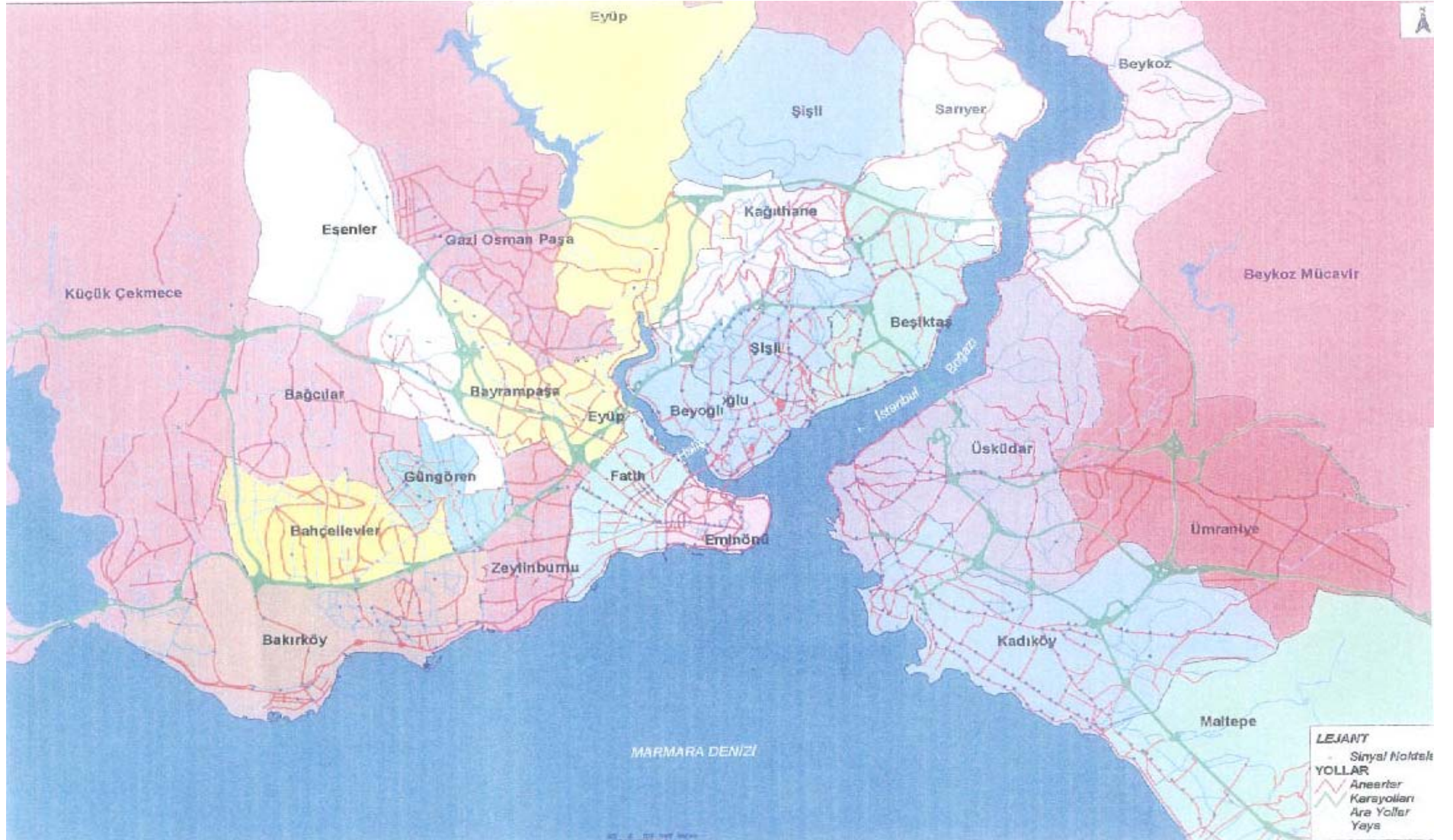
İstanbul'da bölgelere göre hava kirlenme seviyesi ölçümleri yapılırken ölçüm yerleri seçiminin, numune alma yerlerinin tespitinin, analizinin ve istasyon sayısının kurallara ve standartlara uygun olarak belirlenmesi gereklidir. Ölçüm bölgeleri seçilirken kirleticiler kaynaklar bakımından sanayinin, işyerlerinin, trafiğin ve diğer kirleticiler kaynakların tümünün ve her birinin ayrı ayrı etkili olduğu bölgeler seçilmeli, bölge seçiminde topoğrafik ve meteorolojik faktörlerde göz önüne alınmalıdır.

İstanbul'da Anadolu yakasında dört ve Avrupa yakasında altı yerde olmak üzere toplam on yerde hava kalitesi ölçümü yapılmaktadır. Anadolu yakasındaki ölçümler Kartal'da sanayinin ve yerleşimin, Kadıköy'de ticaretin, Üsküdar'da yerleşimin ve hastanenin, Ümraniye'de küçük sanayinin ve yerleşimin etkili olduğu yerlerde ölçümler yapılmaktadır. Avrupa yakasında ise Sarıyer'de yerleşim, insan ve taşıt trafiğinin, tarihi mekanın, Alibeyköy'de topoğrafik yapının özellik arz ettiği, Beşiktaş'da üniversitenin, yerleşimin yoğun olduğu, Sarıyer'de yerleşimin, Yenibosna'da küçük ve orta ölçekli sanayinin yoğun olduğu yerlerde ve Esenler'de ölçümler yapılmaktadır. İstanbul'a ait Şekil 4.2'deki trafik haritasını incelediğimizde sinyalizasyon noktalarının fazlalığından da anlaşıldığı gibi Anadolu yakasında özellikle Kadıköy, Üsküdar ilçelerinde, Avrupa yakasında ise Eminönü, Fatih, Şişli, Beyoğlu ilçelerinde trafik yoğunlaşmıştır. İstanbul'da seçilmiş olan ölçüm istasyonlarının da yerleri trafiğin yoğun olduğu bölgelere tekabül etmektedir.

Özetle mevcut izleme sahalarının seçiminde kullanılan başlıca bilgi kaynakları şunlardır:

İstanbul Belediyesi tarafından toplanan hava kalitesi izleme verileri (1995-1997), Atatürk Hava Limanından tarihsel meteorolojik veriler, son meteorolojik veriler, iklim ve topografya, nüfus dağılımı, doğal gaz dağıtım, teknik yazılar ve makaleler, endüstri/yerleşim alanlarının konumudur.

Ozon ve diğer hava kirleticilerin 15 dakikalık ortalamaları istasyonlardaki bilgisayarlar tarafından otomatik olarak kaydedilmektedir. İstasyonlarda toplanan veriler modem vasıtasıyla merkezi veri toplama bilgisayarına aktarılmaktadır. Daha sonra ölçüm sonuçları Avrupa ve Asya yakasındaki merkez istasyonlarında saatlik, günlük, haftalık, aylık ve yıllık değerlere dönüştürülmektedir ve bu değerler standart değerlerle karşılaştırılmaktadır. Ölçüm istasyonlarının yerleri Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 İstanbul'un sinyalizasyon haritası.



Şekil 4.3 İstanbul'daki ölçüm istasyonları.

4.3 Ölçüm İstasyonlarında Yapılan Analizler

Anadolu yakasındaki istasyonlarda yapılan ölçümler;

- Kadıköy’de SO₂ , CO, NO, NO₂, O₃, toz, CH₄, nMHC
- Kartal’da SO₂ , CO, toz
- Ümraniye’de SO₂ , CO, NO, NO₂, toz, THC, nMHC

Avrupa yakasındaki istasyonlarda yapılan ölçümler;

- Alibeyköy’de SO₂ , CO, NO, NO₂, toz, CH₄, THC, nMHC
- Beşiktaş’ta SO₂ , CO, NO, NO₂, toz, CH₄, THC, nMHC
- Esenler’de SO₂ , CO, toz
- Saraçhane’de SO₂, O₃, toz
- Sarıyer’de SO₂, CO, toz
- Yenibosna’da SO₂ , CO, NO, NO₂, toz, CH₄, THC, nMHC

Ölçüm parametrelerinin yerleşim yerlerine göre özeti Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Ölçüm parametrelerinin yerleşim yerlerine göre özeti.

ÖLÇÜM PARAMETRELERİNİN YERLEŞİM YERLERİNE GÖRE ÖZETİ						
BÖLGE	PARAMETRE					
	SO2	NOx	CO	O3	HC	PM
Yenibosna	X		X			X
Esenler	X	X	X		X	X
Saracane	X	X	X	X	X	X
Alibevköv	X	X	X		X	X
Besiktas	X	X	X		X	X
Sarıver	X		X			X
Üsküdar	X		X			X
Kadıköy	X	X	X	X	X	X
Ümraniye	X	X	X		X	X
Kartal	X		X			X

4.4 Ozon, HC, NO_x Ölçüm Cihazlarının Çalışma Prensibi

İstanbul'da Anadolu ve Avrupa yakalarındaki ölçme noktalarında azot oksitler, ozon ve hidrokarbonlar saatlik bazda ölçülmektedir. Azotoksitlerin ölçümünde AC 31 M ölçme sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde en düşük fark edilebilirlik limit 0.35 ppb olup yüksek oksitleme kapasitesine sahip ozon moleküllerinin bulundukları ortamda azotoksitlerin sergilediği kimyasal lüminesans özelliğine göre ölçüm yapılmaktadır. Radyasyon ölçümü sıcaklığı 10 °C'ye ayarlanan fotomultiplier tarafından yapılır.

Ozon ölçüm cihazı USEPA tarafından belirlenenlere eşdeğer bir cihaz olup, UV Fotometre teknolojisini kullanmaktadır. Özellikle düşük konsantrasyonlar için sürekli bir ölçüm cihazıdır. Örnek girişi cihazın arka tarafına bağlı 6mm dış çaplı bir teflon tüp üzerinden pompa aracılığıyla gerçekleşir. Cihaza gelen örnek hava iki akıma ayrılmaktadır. Bir akım değişmemekte (örnek akım) ve diğeri ise ozonu örnekten ayırmak üzere şartlandırılmaktadır (referans akım). Bu iki akım bir UV kaynağından geçirilmekte ve fotometre ile ozona özgü (254 nm) ışığın dalga boyu ölçülmektedir. Daha sonra bu iki ölçüm kullanılarak ambiyant hava içerisindeki ozon konsantrasyonu hesaplanmaktadır. Ölçüm işlemi tamamlandığında 20 karakterli alfa nümerik ekrandan değerler ppm veya mg/m³ olarak okunabilmektedir.

Büyükşehir Belediyesince hava kalitesinin izlenmesinde kullanılan tüm cihazlar USEPA tarafından belirlenenlere eşdeğer analizörler olup, ISO 9001 sertifikalıdır. Cihazların analiz metodları aşağıdaki çizelge 4.8'de de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Cihazların analiz metodları

PARAMETRE	ANALİZ METODU
SO ₂	UV Floresan Metodu (Otomatik)
NO _x	Kemülominessans Metodu (Otomatik)
CO	IR Absorpsiyonu Metodu (Otomatik) -
O ₃	UV Fotometri Metodu (Otomatik)
HC	Gaz Kromatografi (FID) Metodu (Otomatik)
PM	Beta Işını Absorpsiyonu (Beta Gauge) Yöntemi (Otomatik)

4.5 İstanbul'da Ozon, HC, NO_x Ölçüm Çalışmaları

İstanbul'da hava kirliliği ölçüm çalışmaları sadece Valilik Hıfzıssıhha Enstitüsü'nce Yarı Otomatik İngiliz Volumetrik Metotla İstanbul'un 16 noktasında yapılmaktaydı. Bu metotla ölçüm yapan cihazlardan biri de Hıfzıssıhha Enstitüsü tarafından İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü'nde bulundurulmakta idi. Metot çok eski olup, yalnızca havadaki kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) ölçülebilmekte ve ölçüm sonuçları ise ancak 24 saat sonra alınabilmekteydi.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü 1995 yılında iki adet mobil hava kirliliği ölçüm cihazını alarak, bir adedini Anadolu, diğerini Avrupa Yakasında hizmete sokmuştur. Bu cihazlar bölgelerinde tespit edilen yerlerde (Anadolu Yakasında 11, Avrupa Yakasında 12 yerde) sürekli ring ederek ölçüm yapmakta idiler.

Bu yeni ve modern ölçüm cihazları ile havadaki partikül madde (PM), kükürt dioksit (SO₂), Azot oksitleri (NO_x), karbonmonoksit (CO), Hidrokarbonlar (HC) ve Ozon (O₃) anlık olarak ölçülmektedir.

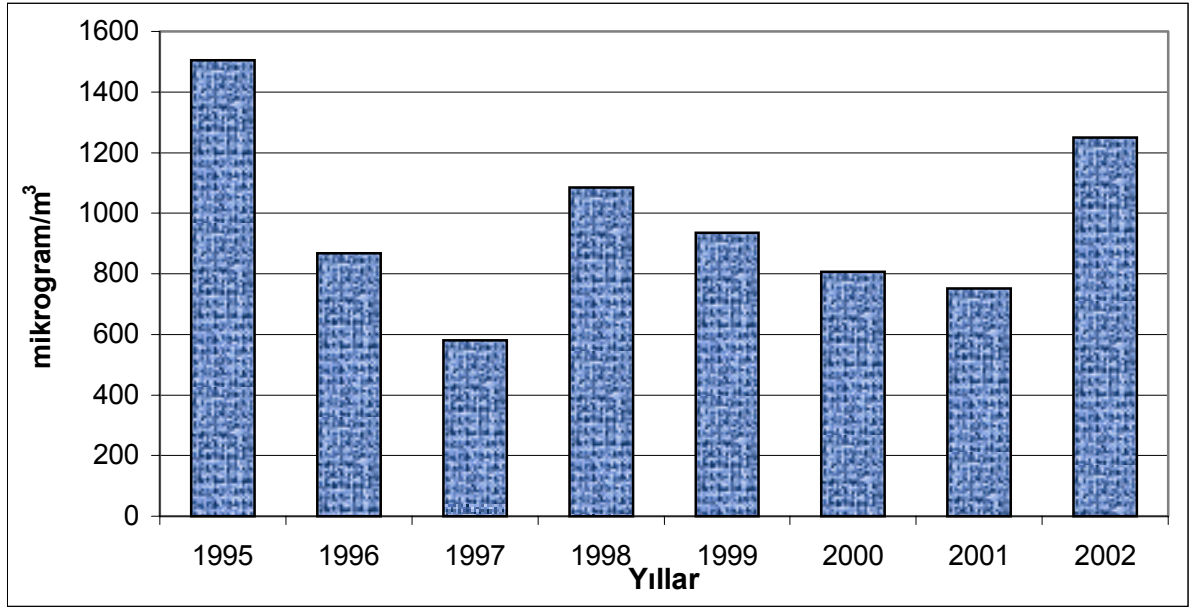
İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü tarafından hava kalitesinin daha iyi tespit edilebilmesi için 1998 yılı başında 8 adet ölçüm istasyonu oluşturularak ölçüm istasyonu sayısı 10' a çıkarılmış ve istasyonlar sabitlenmiştir. Halen Avrupa yakası (Saraçhane) ve Anadolu yakasında (Kadıköy) birer istasyonda ozon ölçümleri yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Avrupa yakasındaki Saraçhane İstasyonunda ve Anadolu yakasındaki Kadıköy İstasyonunda ölçülen ozon parametresi değerleri kullanılmıştır.

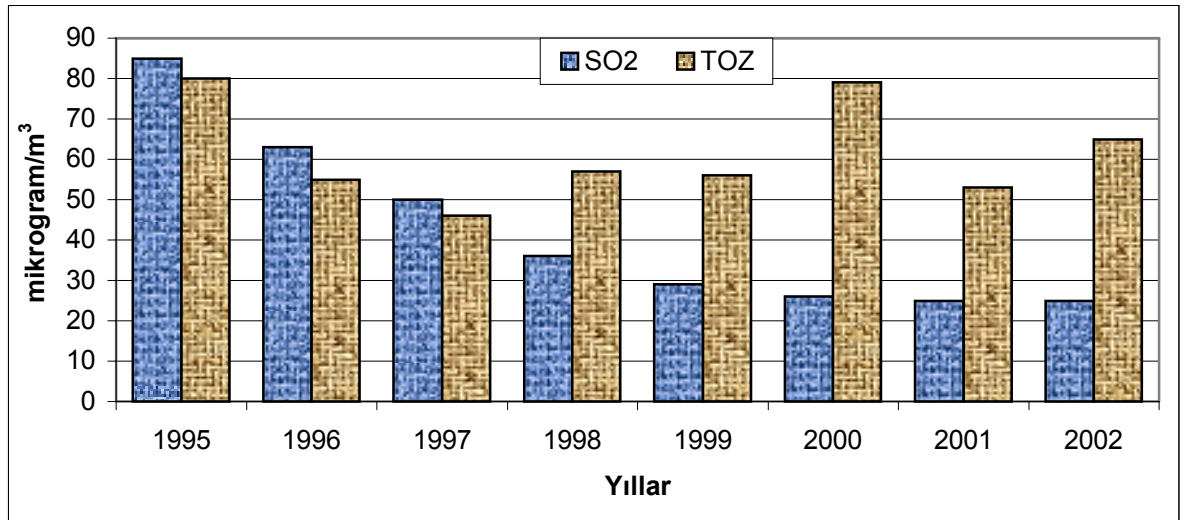
5. İSTANBUL İMİSYON ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 İstanbul'da NO_x, HC, SO₂, CO Konsantrasyonlarının Yıllara Göre Değişimi

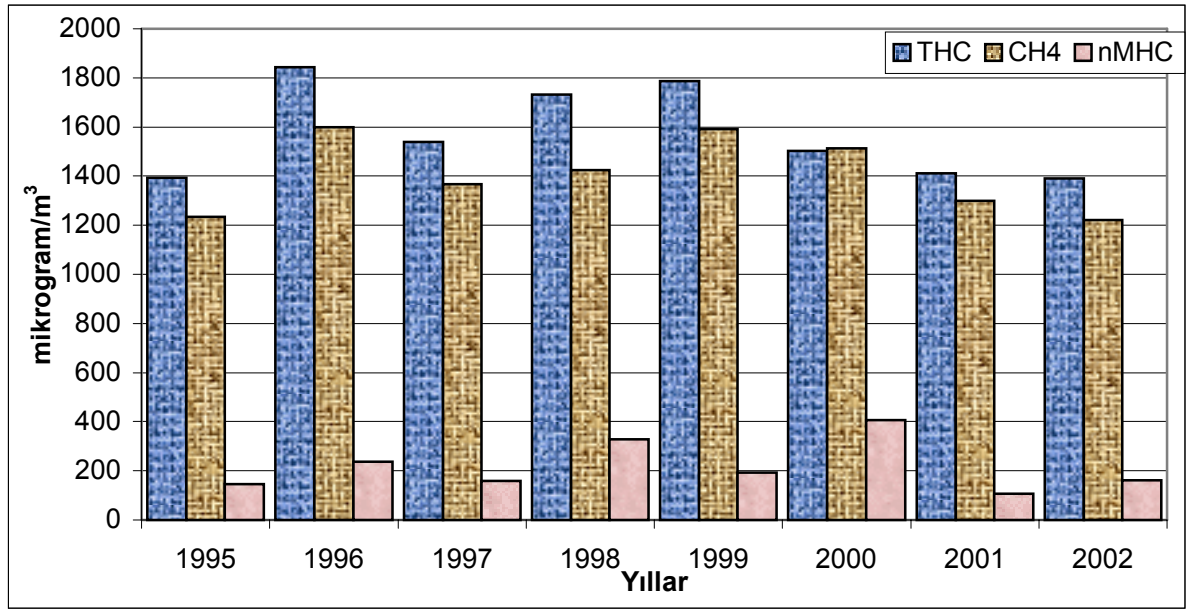
İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü'nce ölçülmüş olan 1995-2002 yılları arasındaki kirletici parametre konsantrasyonlarındaki değişim aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



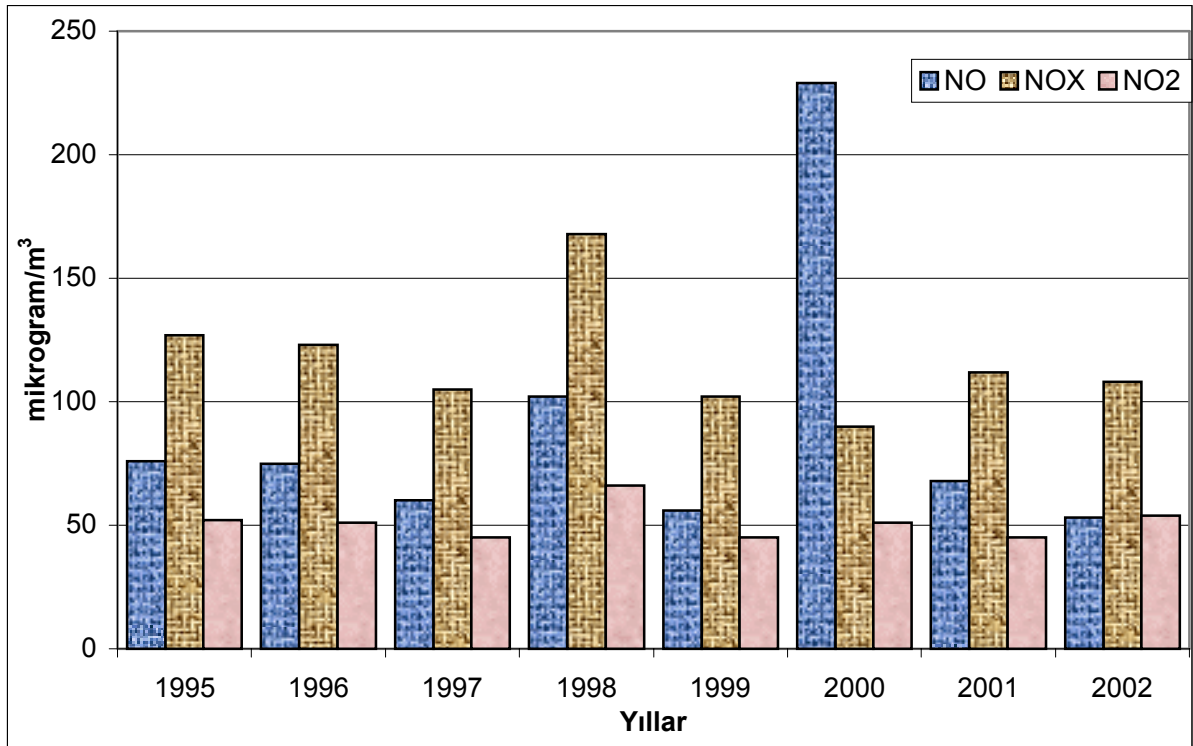
Şekil 5.1 CO konsantrasyonunun yıllara göre değişimi.



Şekil 5.2 SO₂ ve toz konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi.



Şekil 5.3 Hidrokarbon konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi.

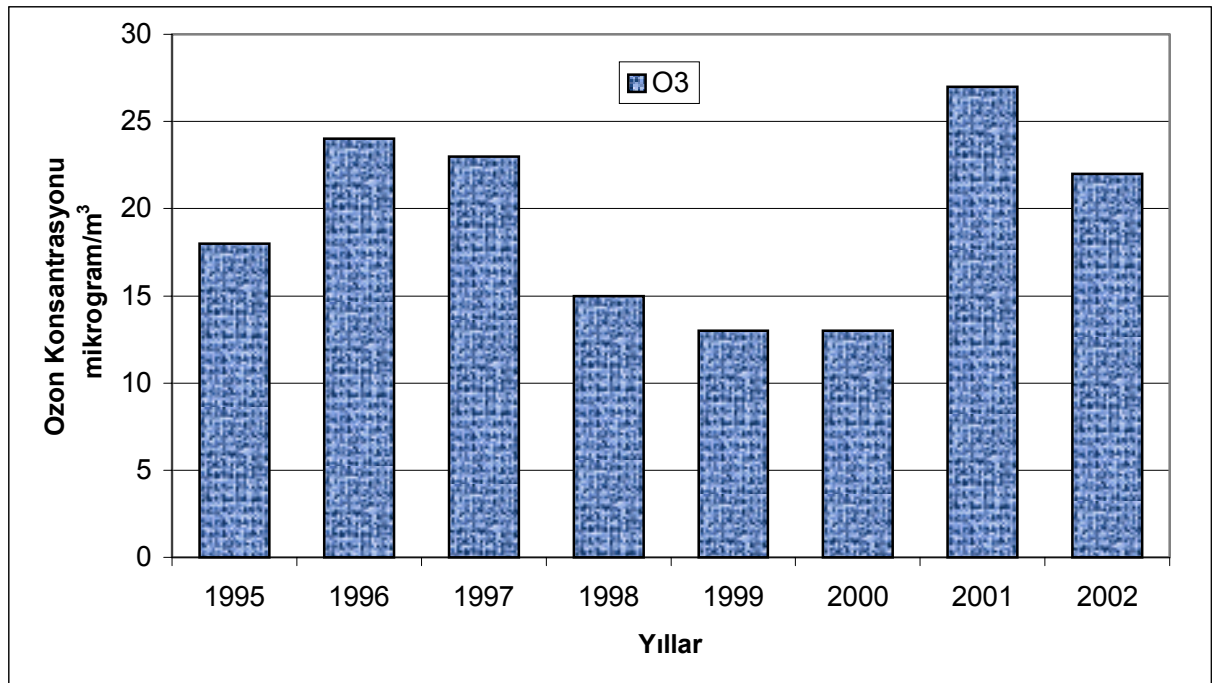


Şekil 5.4 Azotoksit konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi.

Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4 ‘den de görüldüğü gibi 1995 yılından itibaren CO, SO₂, HC ve NO_x konsantrasyonlarında hızlı bir düşüş seyredilmektedir. CO konsantrasyonunda 1995 yılına kıyasla 2002 yılında bir düşüş gözlenmekle birlikte 2001 yılına oranla önemli bir artış gözlenmektedir. SO₂ konsantrasyonunda 1995 yılından itibaren kömür yerine doğalgaza geçiş ve endüstriyel tesislerin şehir dışına taşınması sonucu önemli miktarda bir düşüş görülmekte SO₂ konsantrasyonu 1999, 2000, 2001 ve 2002 yıllarında artış göstermemiştir. HC ve NO_x konsantrasyonlarında ise 1995 yılına kıyasla 2002 yılında pek fazla değişim görülmemekle birlikte 1998, 1999, 2000 yıllarına kıyasla önemli bir düşüş görülmektedir.

5.2 İstanbul’da Ozon Konsantrasyonunun Yıllara Göre Değişimi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü’nce ölçülmüş olan 1995-2002 yılları arasındaki ozon konsantrasyonundaki değişim aşağıdaki grafikte verilmiştir.

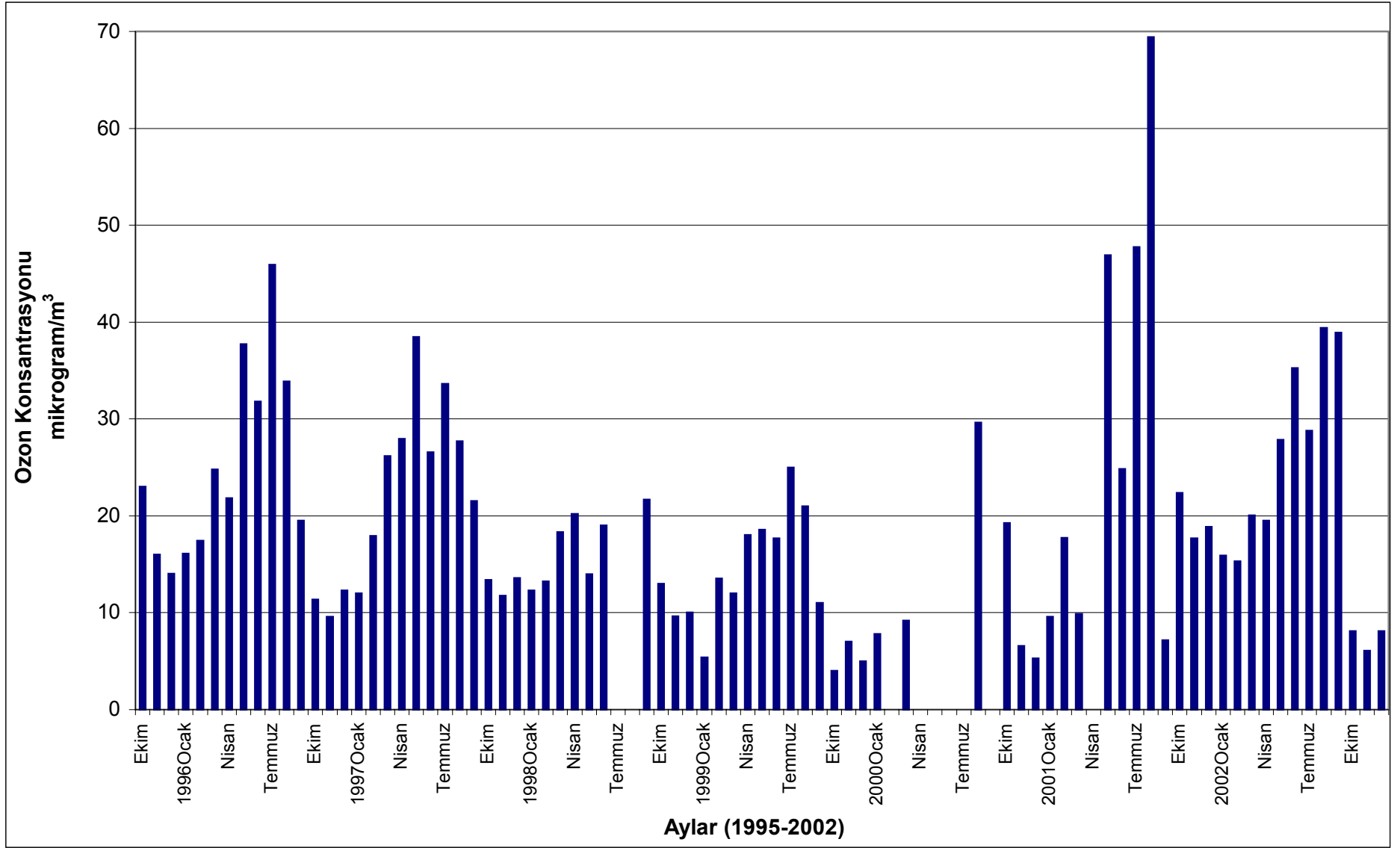


Şekil 5.5 Ozon konsantrasyonunun yıllara göre değişimi.

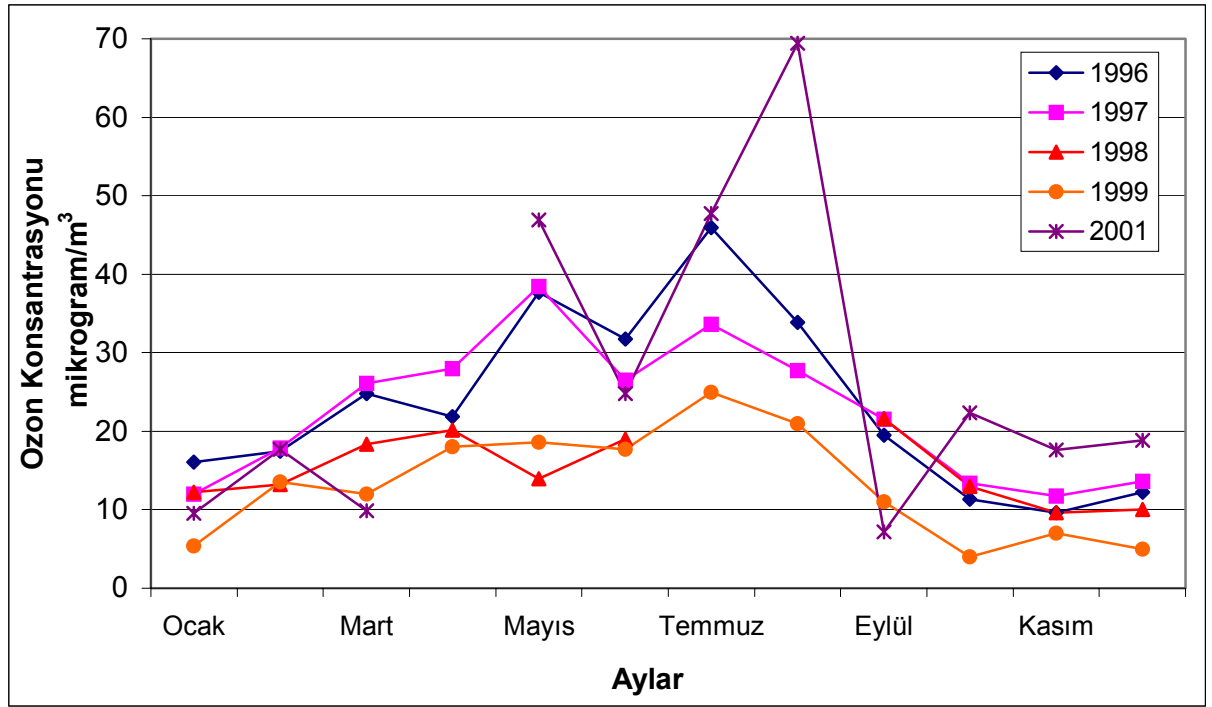
Şekil 5.5'den de görüldüğü gibi 1996 yılına ait yıllık ortalama ozon miktarının 1995 yılına göre daha yüksek, 2001 yılında ise diğer yıllara oranla maksimum değerini bulduğunu görmekteyiz. 1999 yılının yaz ayında yaşanan deprem ve bu olayın tatil mevsiminde olması ile kent dışına çıkmalarla trafikteki araç sayısı ve ozon ölçümlerinde düşüş olmuştur. 2000 yılı yaz aylarında ozon ölçümleri yapılamadığından kış ayları ortalamaları ile grafikte düşük değerler okunmaktadır, 2002 yılında ise 2001 yılında yaşanan ekonomik krize bağlı olarak azalan motorlu taşıt sayısı nedeniyle ozon konsantrasyonunda bir düşüş gözlenmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere İstanbul için şuan potansiyel bir ozon kirliliği mevcut değildir. Ancak gelecek yıllarda ozon konsantrasyonunun bir tehlike arz etmemesi için şimdiden önlemlerin alınması gerekmektedir.

Yer seviyesi ozon oluşumu çevrimsel bir mekanizmaya sahiptir. Güneşin doğuşuyla birlikte ozon sentezi başlar, solar radyasyonun artmasıyla gün içerisinde maksimum değerine ulaşır ve güneşin batmasına yakın bozunarak arka plan konsantrasyonu mertebesinde olması beklenir. Oysa geceleri özellikle gece yarısından sonra yer seviyesindeki ozon konsantrasyonunda artış olduğu ölçüm sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ölçümlerde genellikle saat 02:00-05:00 arasında gündüz ozon pikine benzer şekilde belirlenen ozona gece ozonu adı verilmektedir. Geceleri meydana gelen ozon miktarı gündüz ozon konsantrasyonunun artmasına neden olduğu için bunun dikkate alınması gerekmektedir.

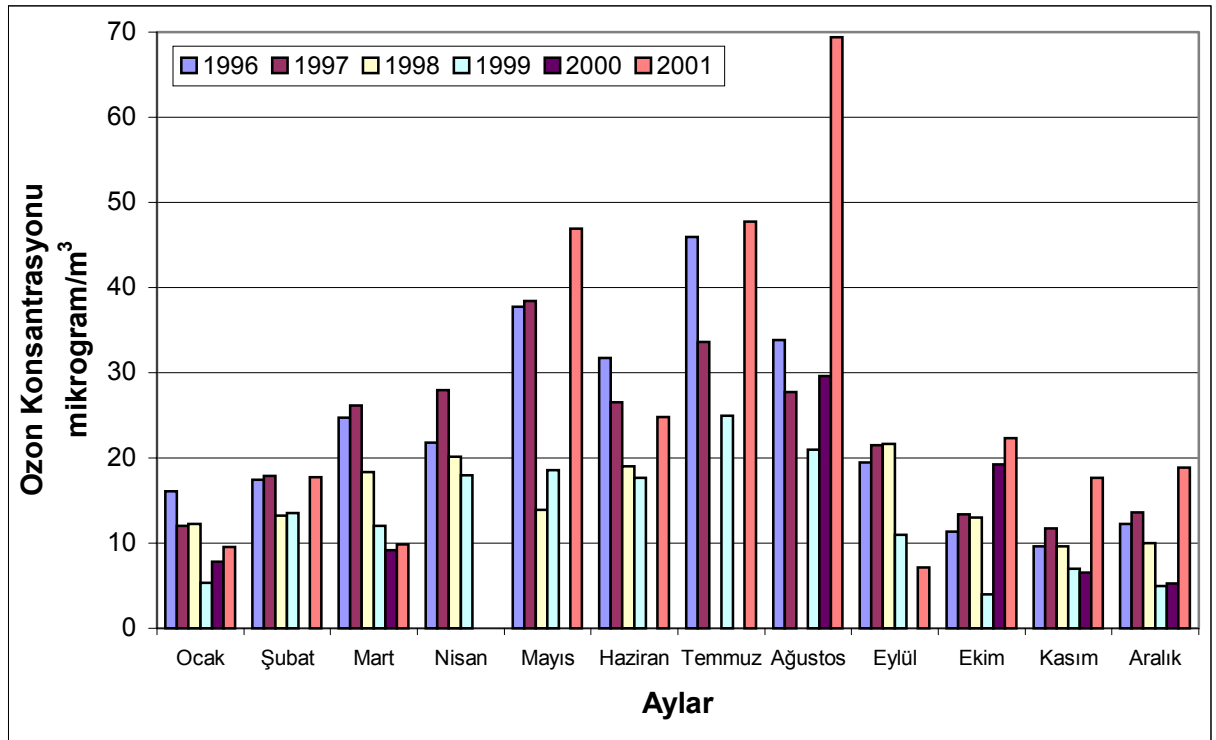
İstanbul iline ait 1996-2002 yıllarına ait aylık ortalama sonuçlarına ozonun mevsimsel değişimini Şekil 5.6'dan incelediğimizde ozonun yaz mevsimlerinde kış mevsimlerine oranla daha yüksek konsantrasyonlarda olduğunu görüyoruz. Bunun nedeni yaz sezonunda gün daha uzun olduğundan güneşlenme süresinin fazla olması, bulutsuz, yağmursuz zaman gibi ozon oluşumuna artı yönde etki eden meteorolojik şartların olmasıdır. Kış günlerinde öğleden sonra saat 5 civarında güneş çekilmekte iken yaz aylarında bu saatlerde güneş radyasyonu hala hissedilmekte olduğundan yaz günlerinde ozon sentezi için daha fazla zaman vardır.



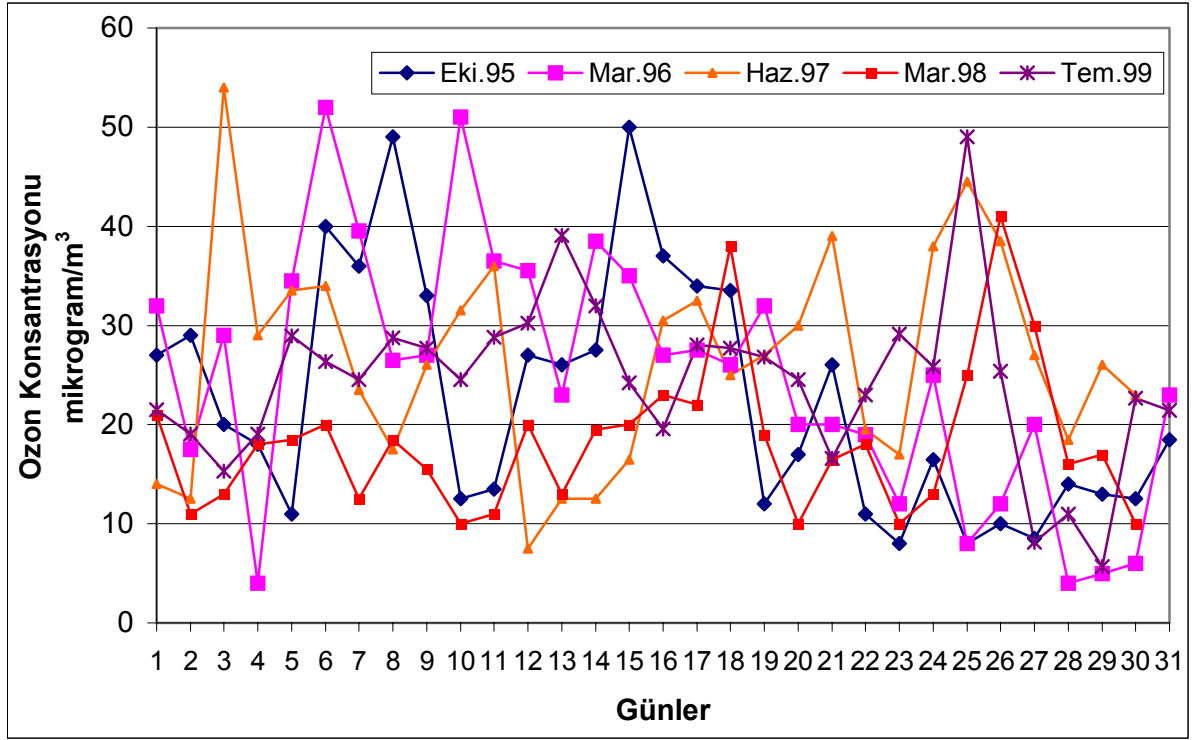
Şekil 5.6 Ozon konsantrasyonlarının aylık ortalama değerleri. (1996-2002)



Şekil 5.7 Ozon konsantrasyonlarının aylık ortalamalarının yıllara göre değişim eğrileri.



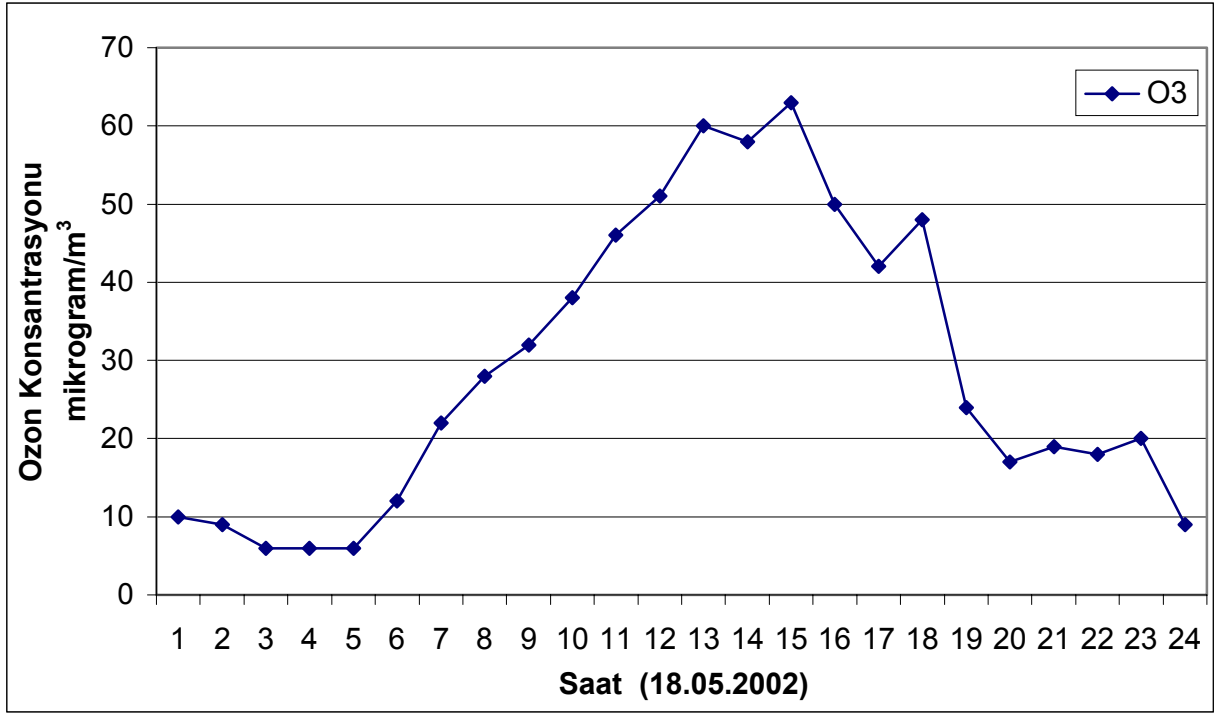
Şekil 5.8 Ozon Konsantrasyonlarının aylık ortalama değerleri.



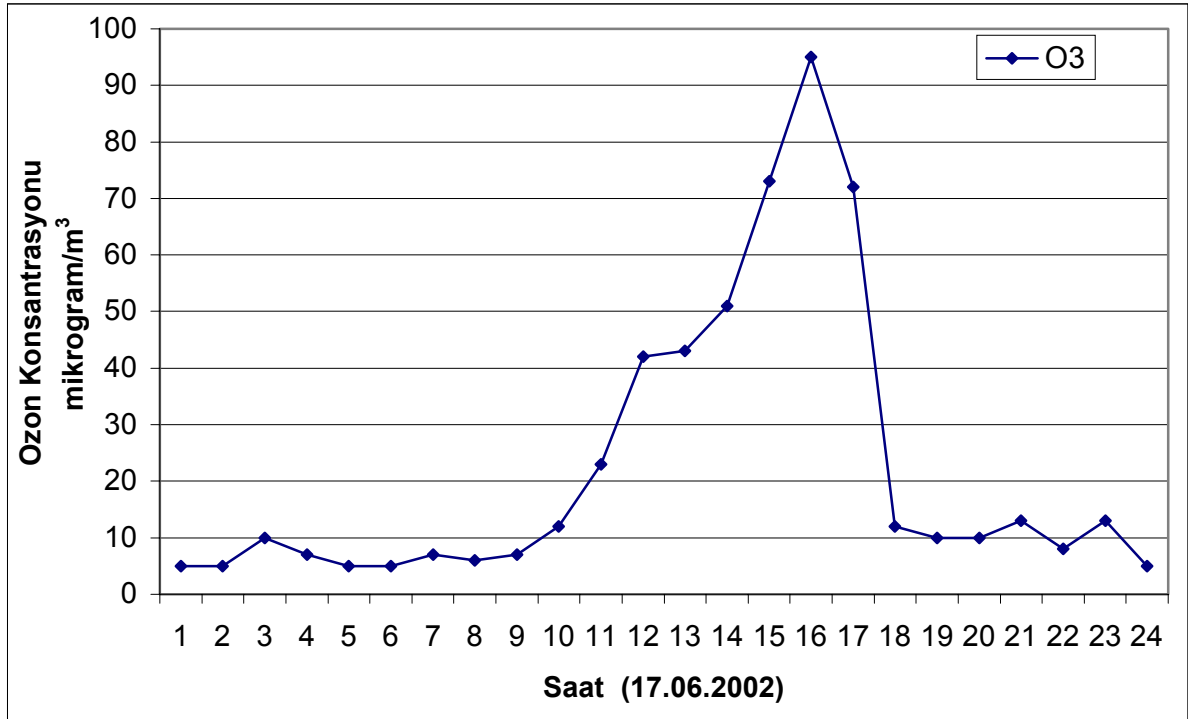
Şekil 5.9 Ekim 1995, Mart 1996, Haziran 1997, Mart 1998, Temmuz 1999 tarihlerindeki ozon değişim eğrileri.

Şekil 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14’de İstanbul’da 2002 yılında bir gün içinde ölçülmüş ozonun saatlik değişimleri verilmiştir. 2002 yılında ölçülmüş olan farklı günlere ait sonuçlar öğle ve öğleden sonraki güneşli zamanlarda fotokimyasal reaksiyonun ürün vermeye başlamasıyla ozonun maksimum konsantrasyona ulaştığı, güneşin çekildiği saatlerde ise düşük ölçümler verdiğini göstermektedir. Bu durum yaz aylarında olduğu gibi kış aylarında da öğle saatlerinde pik yapan ozonun karakteristik eğrileriyle kendini göstermektedir.

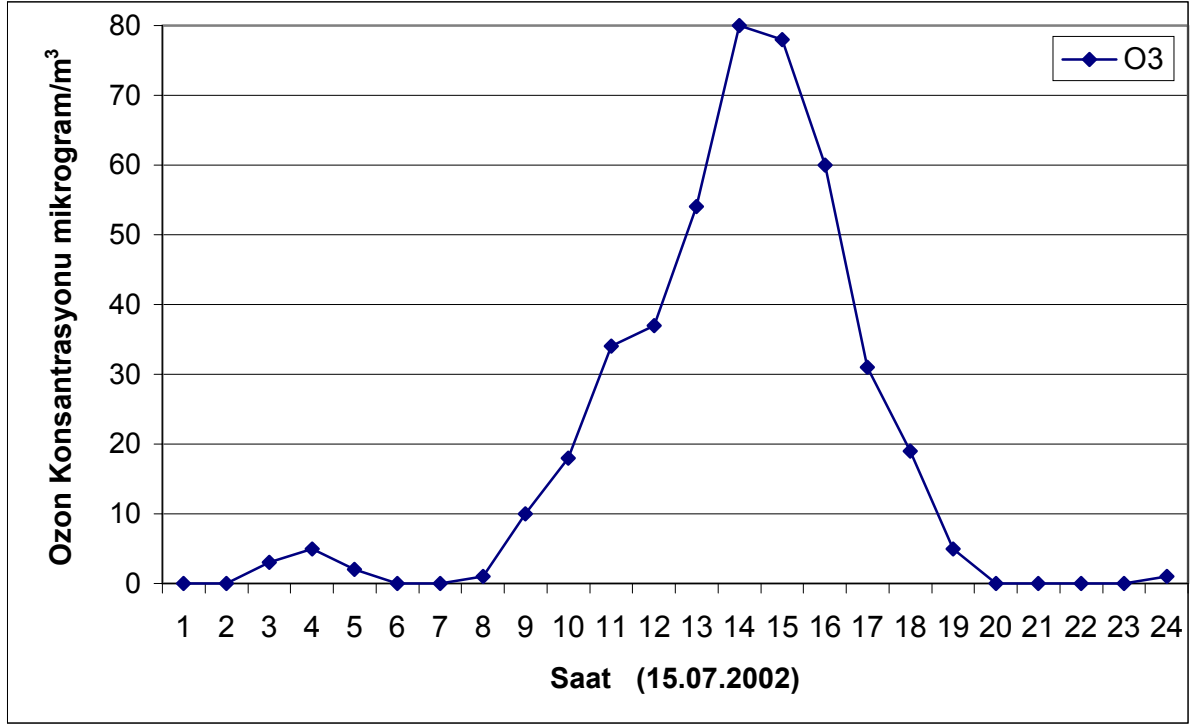
Şekil 5.15 ve 5.16’da 2002 yılına ait kış ve yaz ayları karakteristik ozon grafikleri verilmiştir. (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, 2002). Bu grafiklerden de görüldüğü gibi öğlen saatlerinde güneş şiddetinin artmasıyla ozon konsantrasyonunda artış görülmektedir.



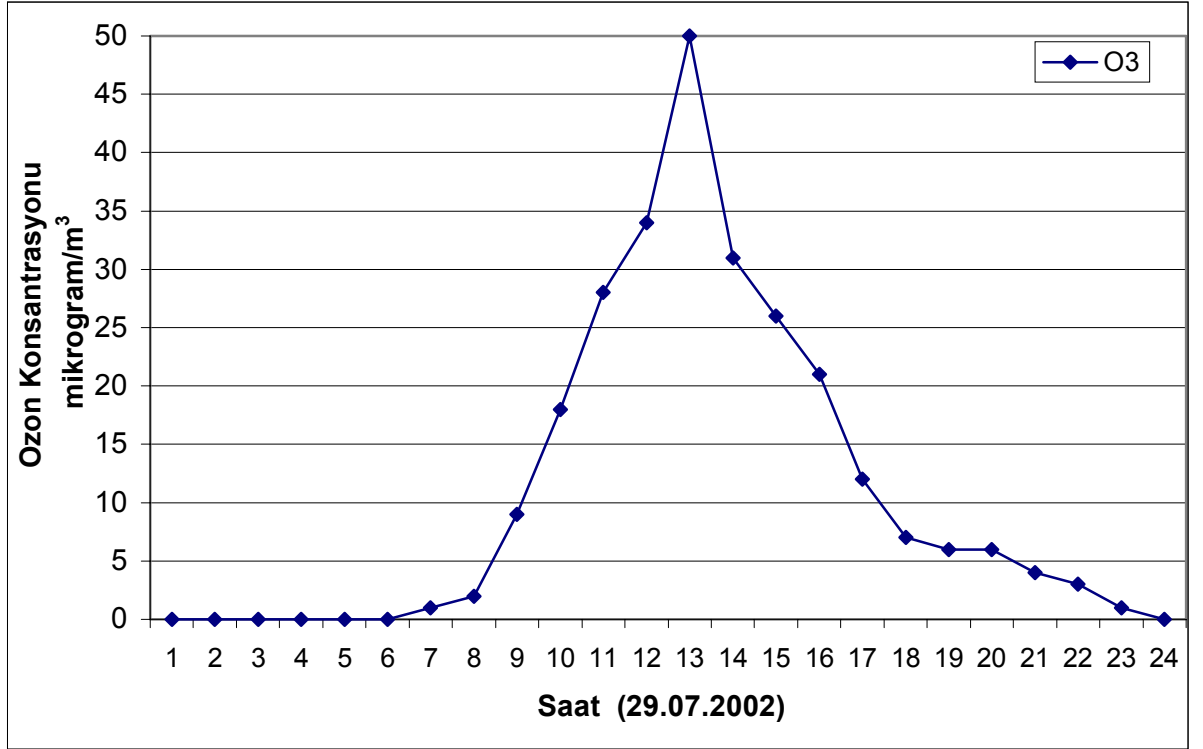
Şekil 5.10 Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.(18.05.2002)



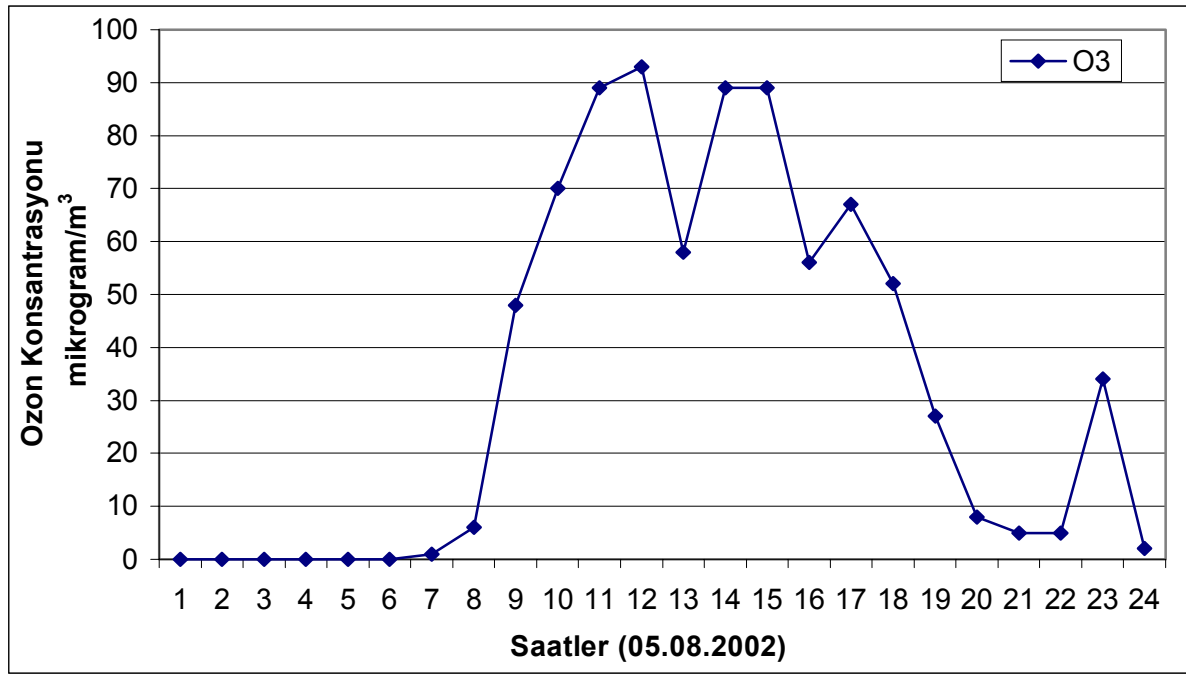
Şekil 5.11 Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.(17.06.2002)



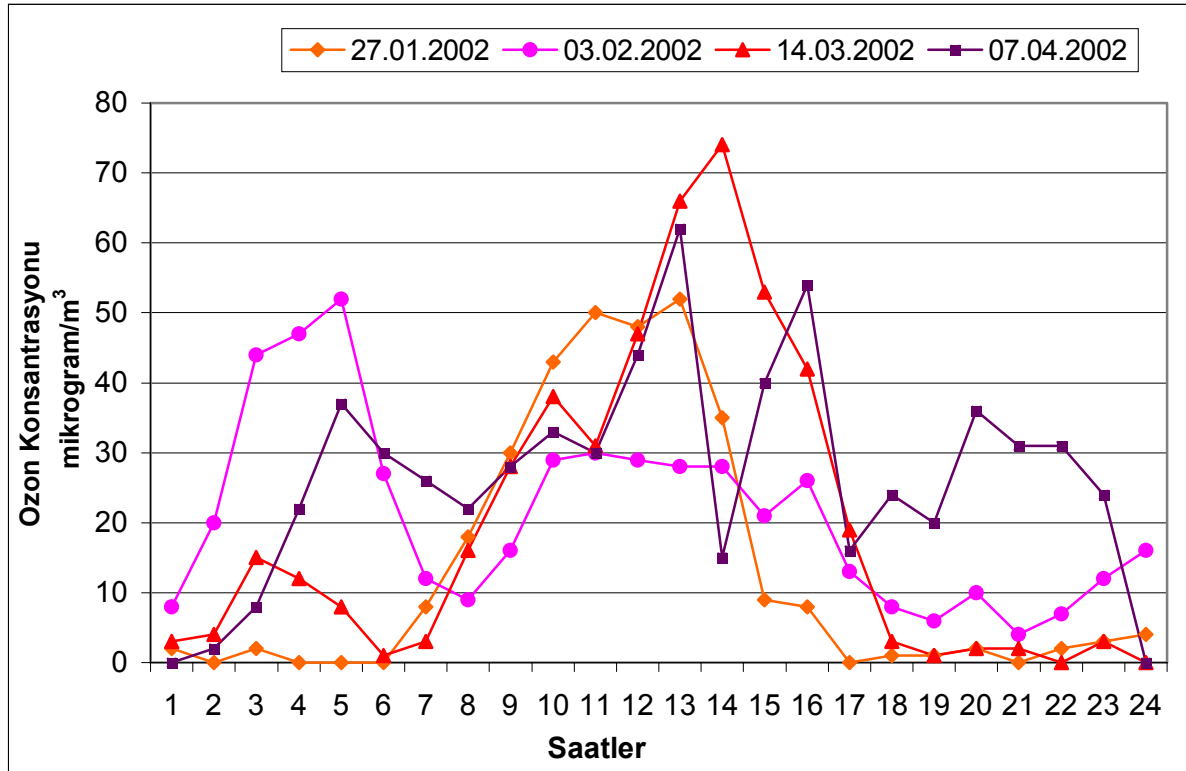
Şekil 5.12 Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.(15.07.2002)



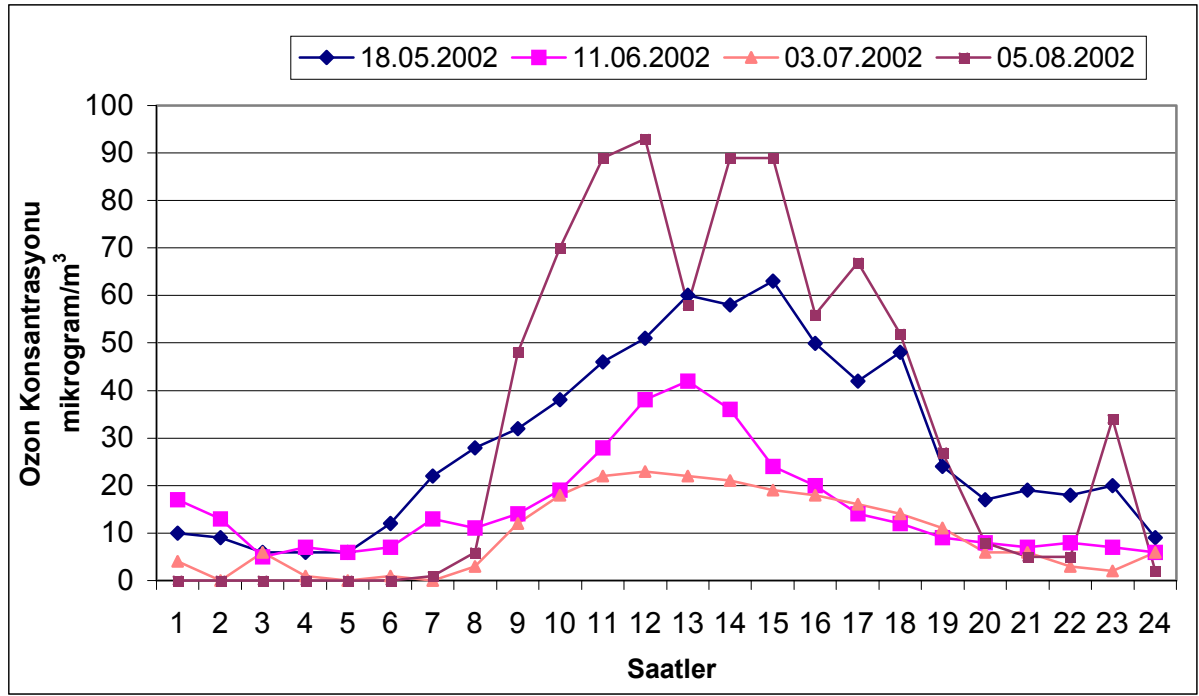
Şekil 5.13 Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.(29.07.2002)



Şekil 5.14 Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.(05.08.2002)



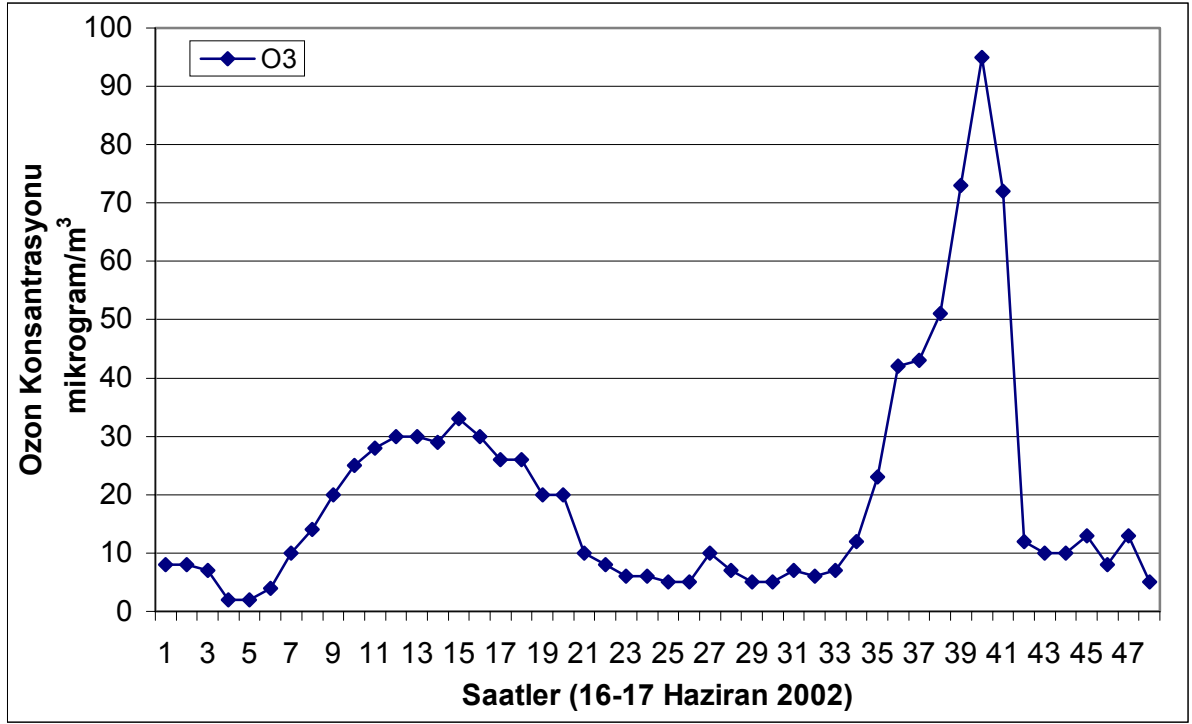
Şekil 5.15 2002 yılına ait kış ayları karakteristik ozon grafikleri.



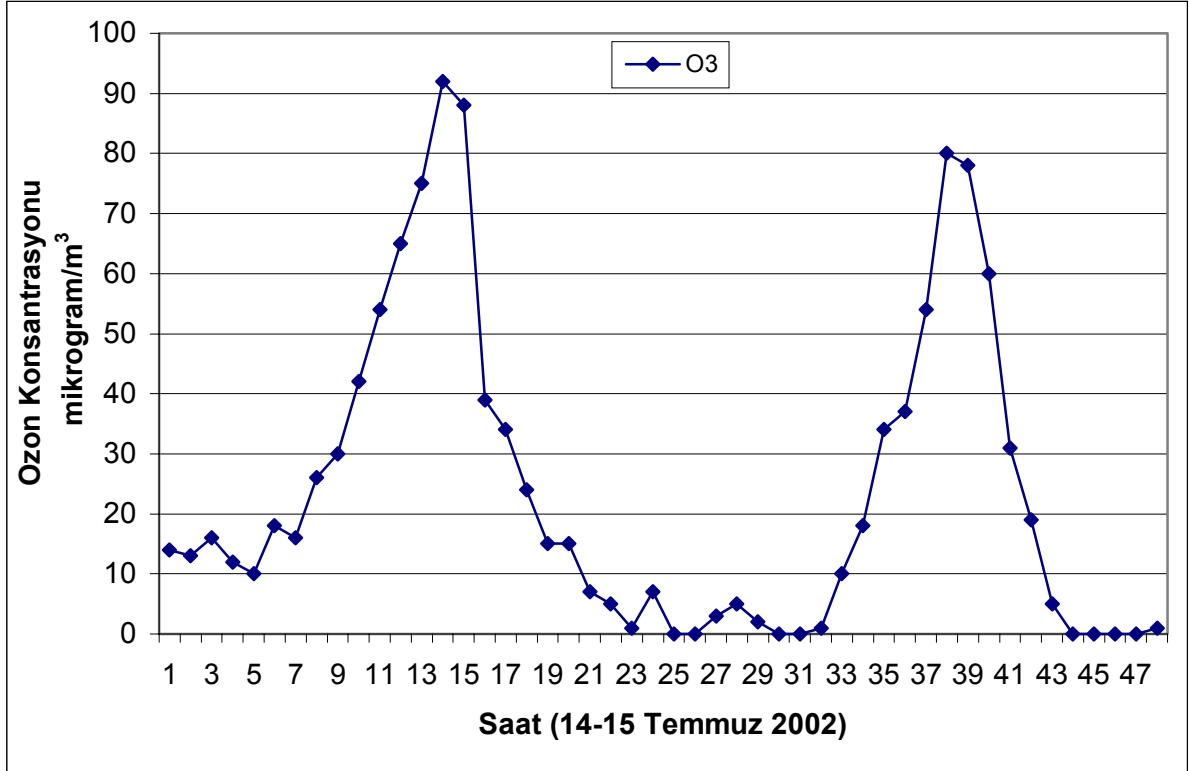
Şekil 5.16 2002 yılına ait yaz ayları karakteristik ozon grafikleri.

Şekil 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23’de İstanbul’da 2002 yılında ölçülmüş ozonun 42 ve 72 saatlik değişimlerini görmekteyiz (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, 2002). Bu grafiklerden de görüldüğü gibi ozon gün içinde gece saatlerinde oldukça düşük değerler verirken, öğlen saatlerinde en yüksek değerlerini bulmaktadır. Öğlen saatlerindeki bu artışa geceleri meydana gelen gece ozon piki de katkıda bulunmaktadır.

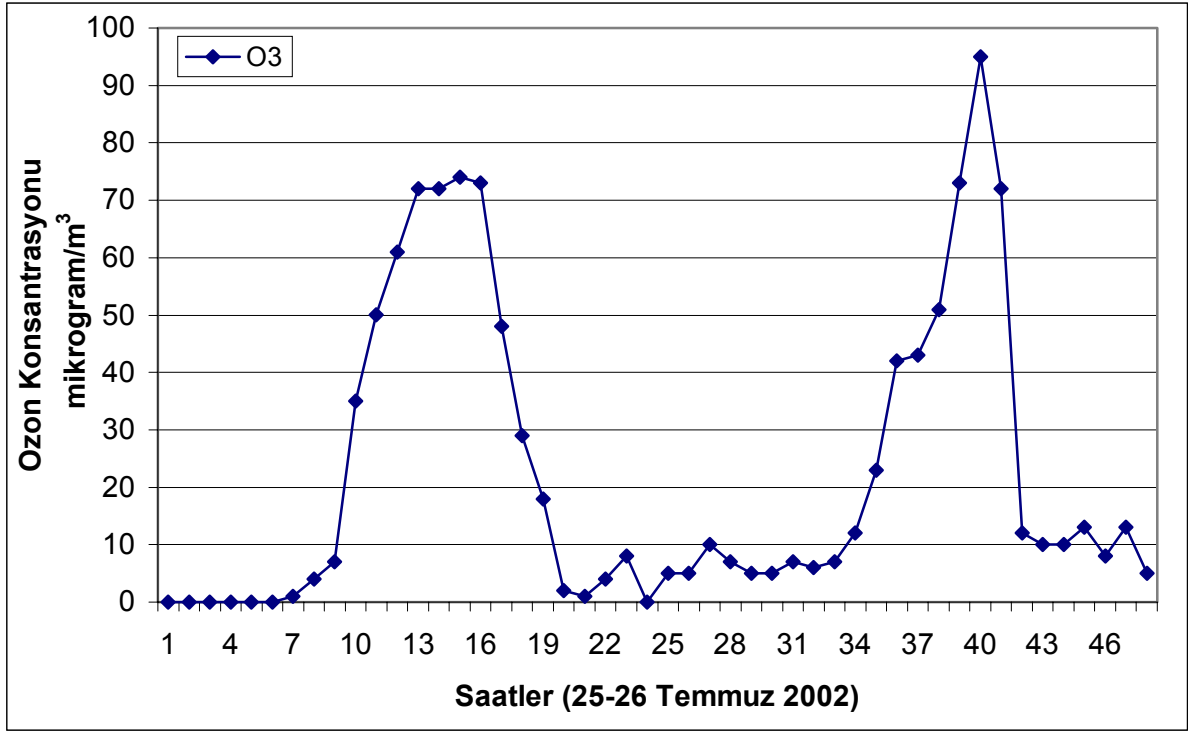
Şekil 5.24 ve 5.25’de İstanbul’da 2002 yılında ölçülmüş ozonun 96 ve 144 saatlik değişimlerini görmekteyiz (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, 2002). Grafiklerden de görüldüğü gibi sabah saatlerinde 07.00’den itibaren trafikteki araç sayısının artmasıyla birlikte azot oksit ve hidrokarbon konsantrasyonu artmakta, öğlen saatlerinde de güneş radyasyonunun artmasıyla birlikte fotokimyasal reaksiyonlar hızlanmakta azot oksitler ve hidrokarbonlar ozon sentezine neden olmaktadır.



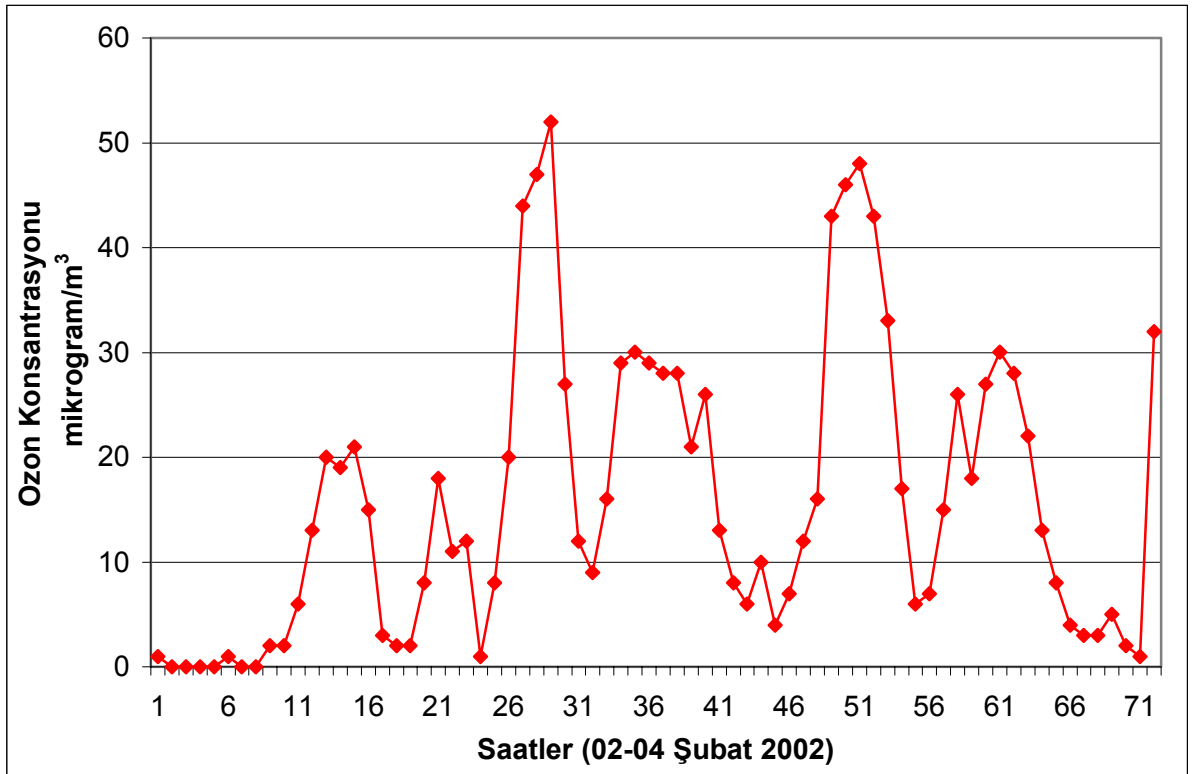
Şekil 5.17 Ozonun 48 saatlik periyottaki değişim eğrisi (16-17/06/2002).



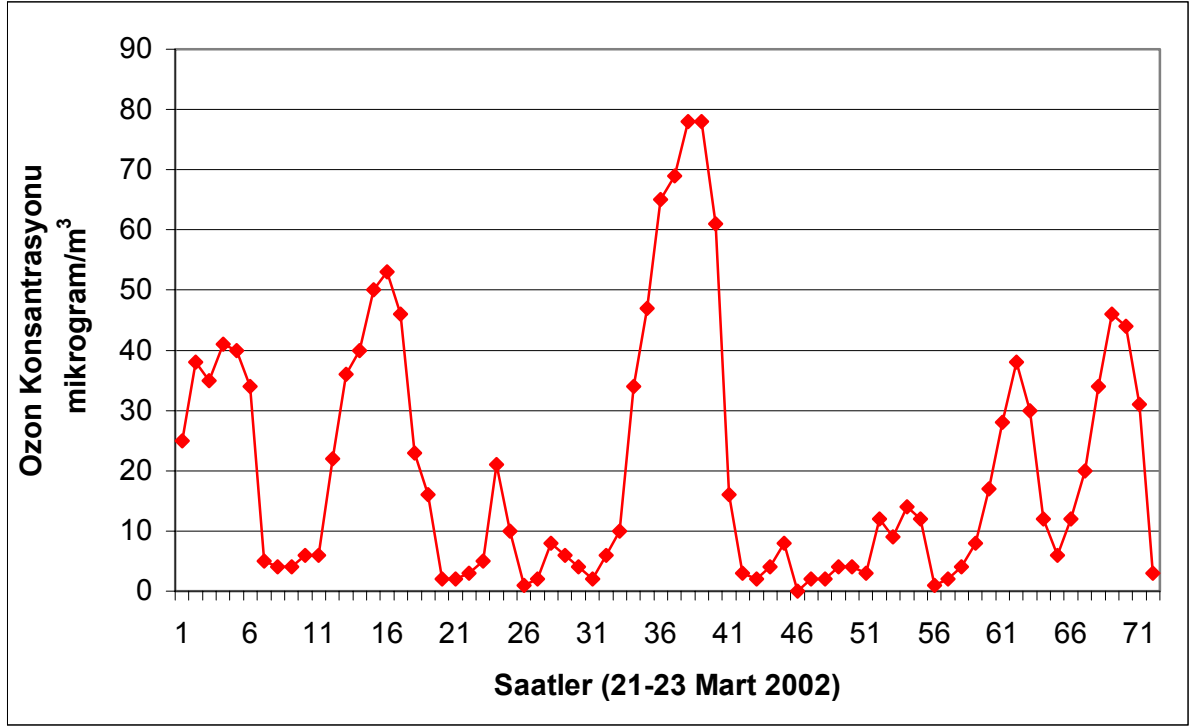
Şekil 5.18 Ozonun 48 saatlik periyottaki değişim eğrisi (14-15/07/2002).



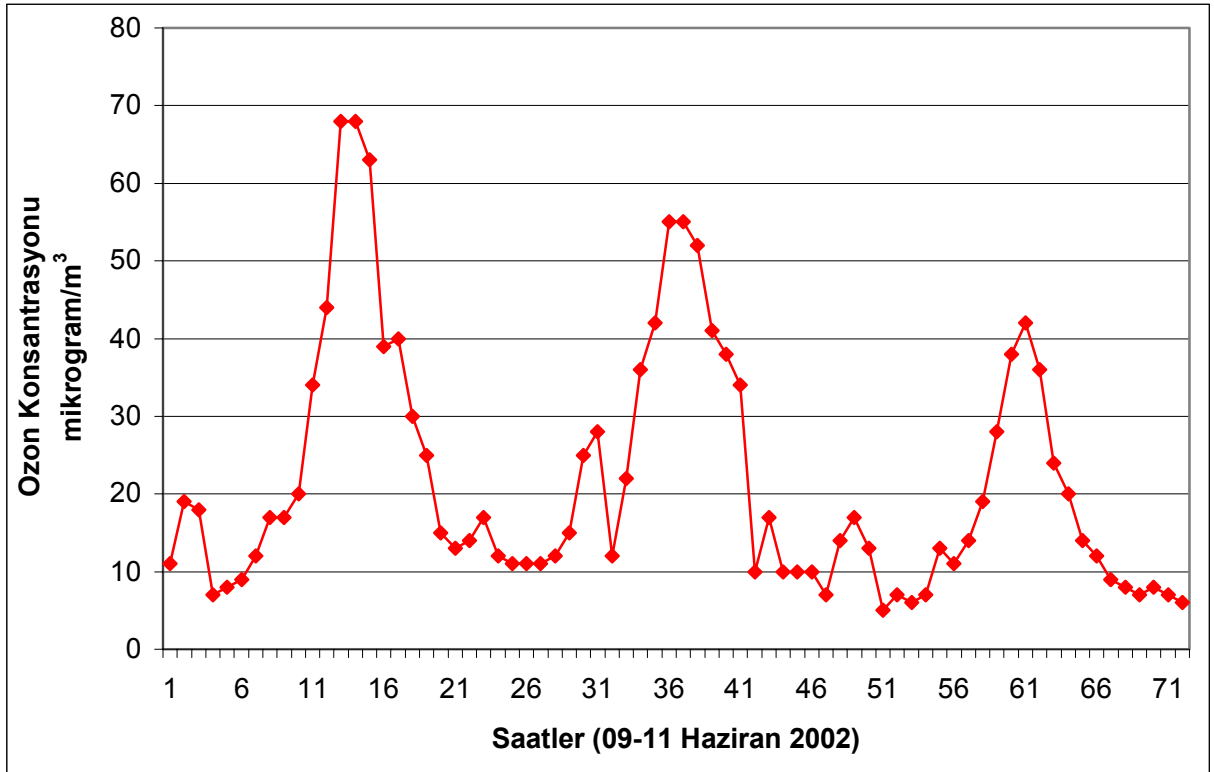
Şekil 5.19 Ozonun 48 saatlik periyottaki değişim eğrisi (25-26/07/2002).



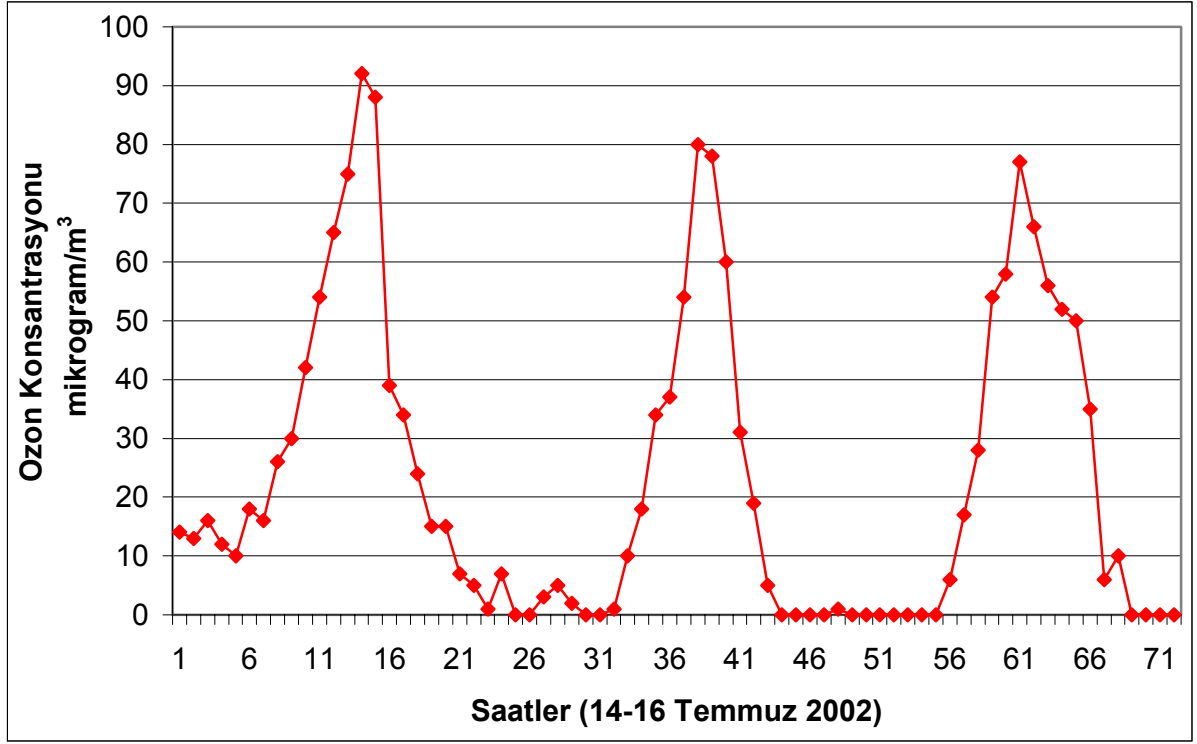
Şekil 5.20 Ozonun 72 saatlik periyottaki değişim eğrisi.(02-04/02/2002)



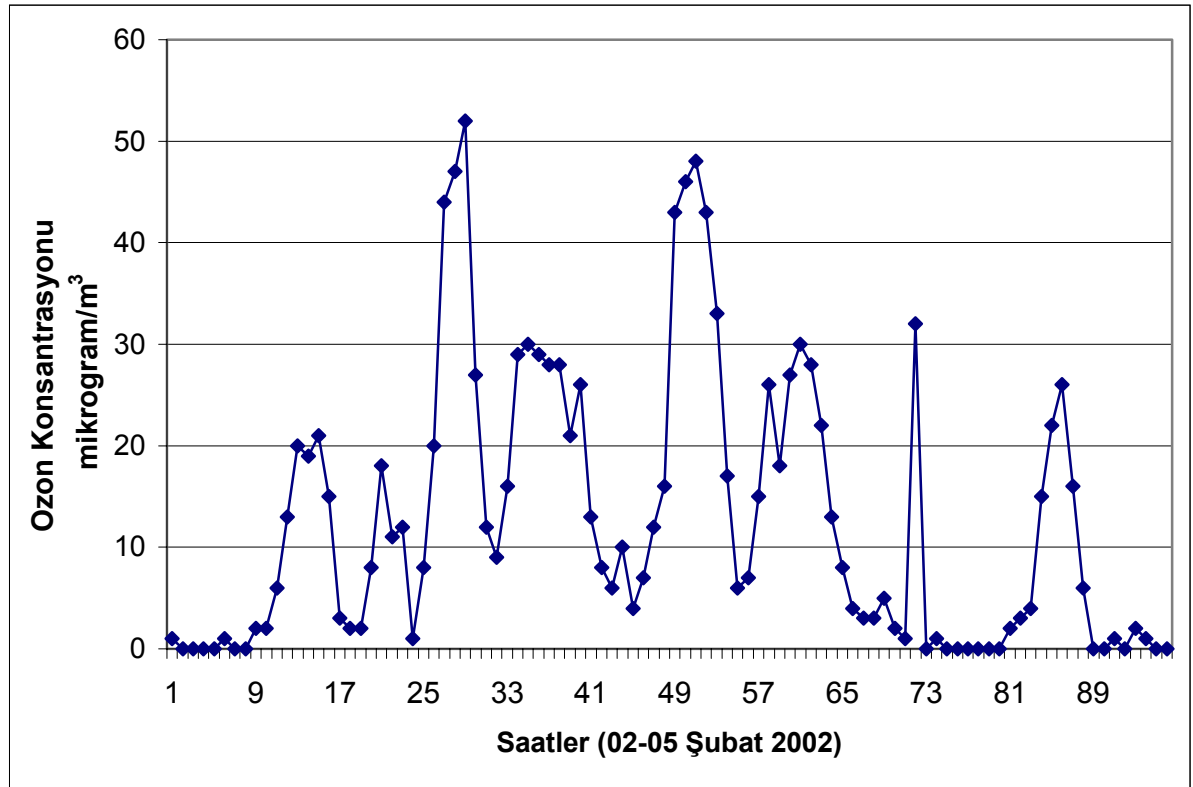
Şekil 5.21 Ozonun 72 saatlik periyottaki değişim eğrisi.(21-23/03/2002)



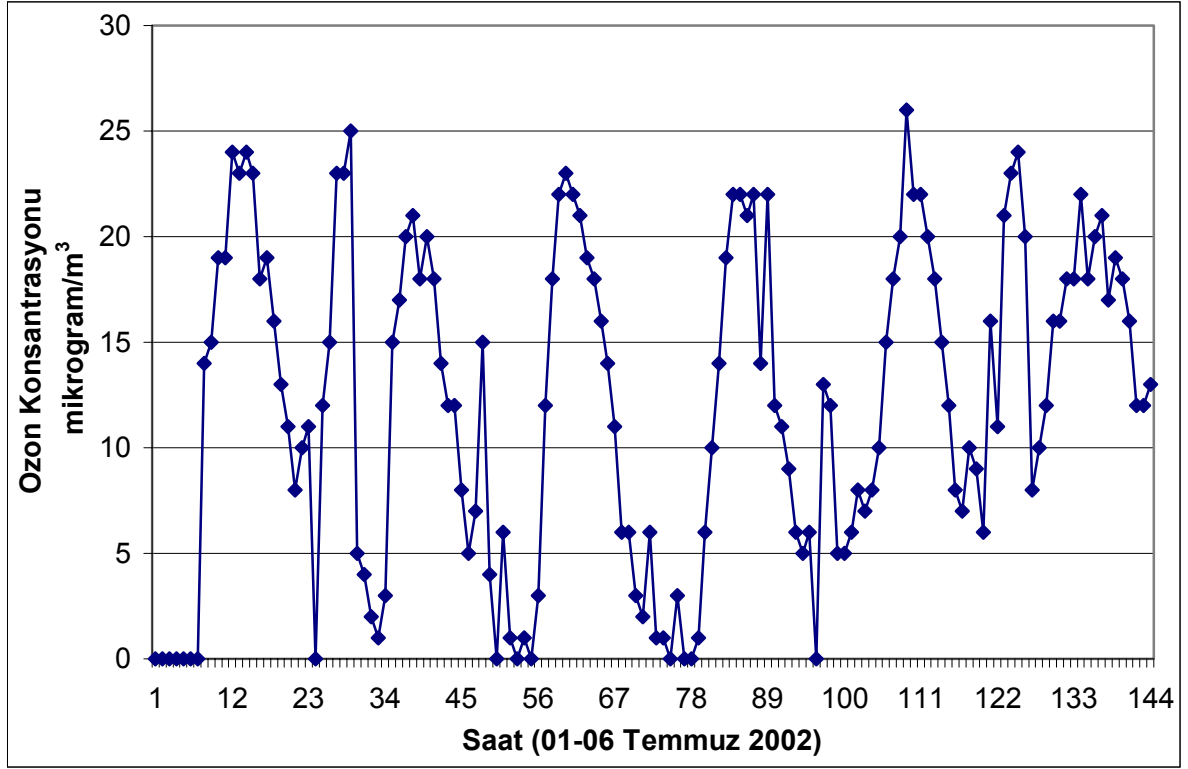
Şekil 5.22 Ozonun 72 saatlik periyottaki değişim eğrisi.(09-11/06/2002)



Şekil 5.23 Ozonun 72 saatlik periyottaki değişim eğrisi.(14-16/07/2002)



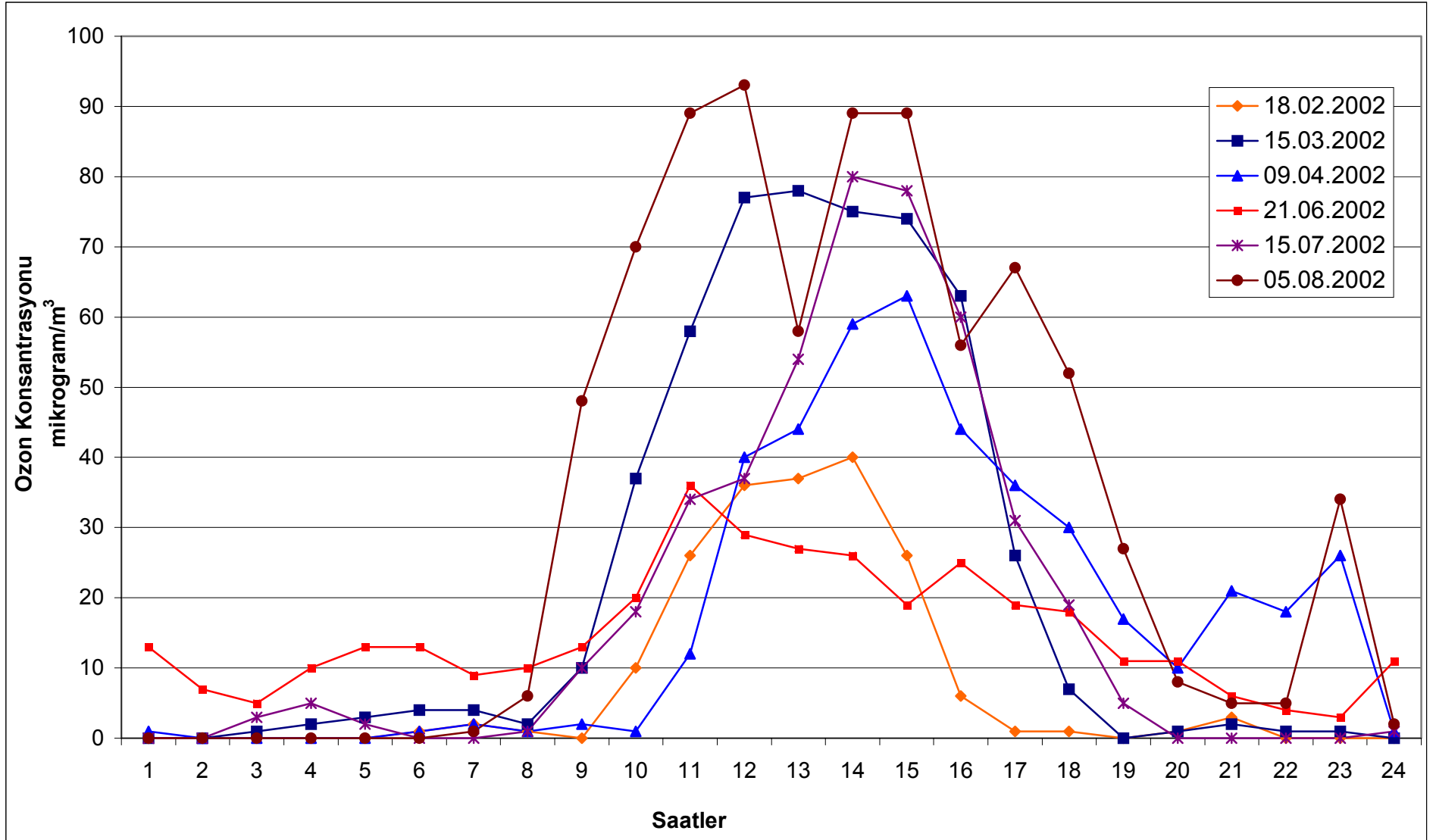
Şekil 5.24 Ozonun 96 saatlik periyottaki değişim eğrisi.(02-05/02/2002)



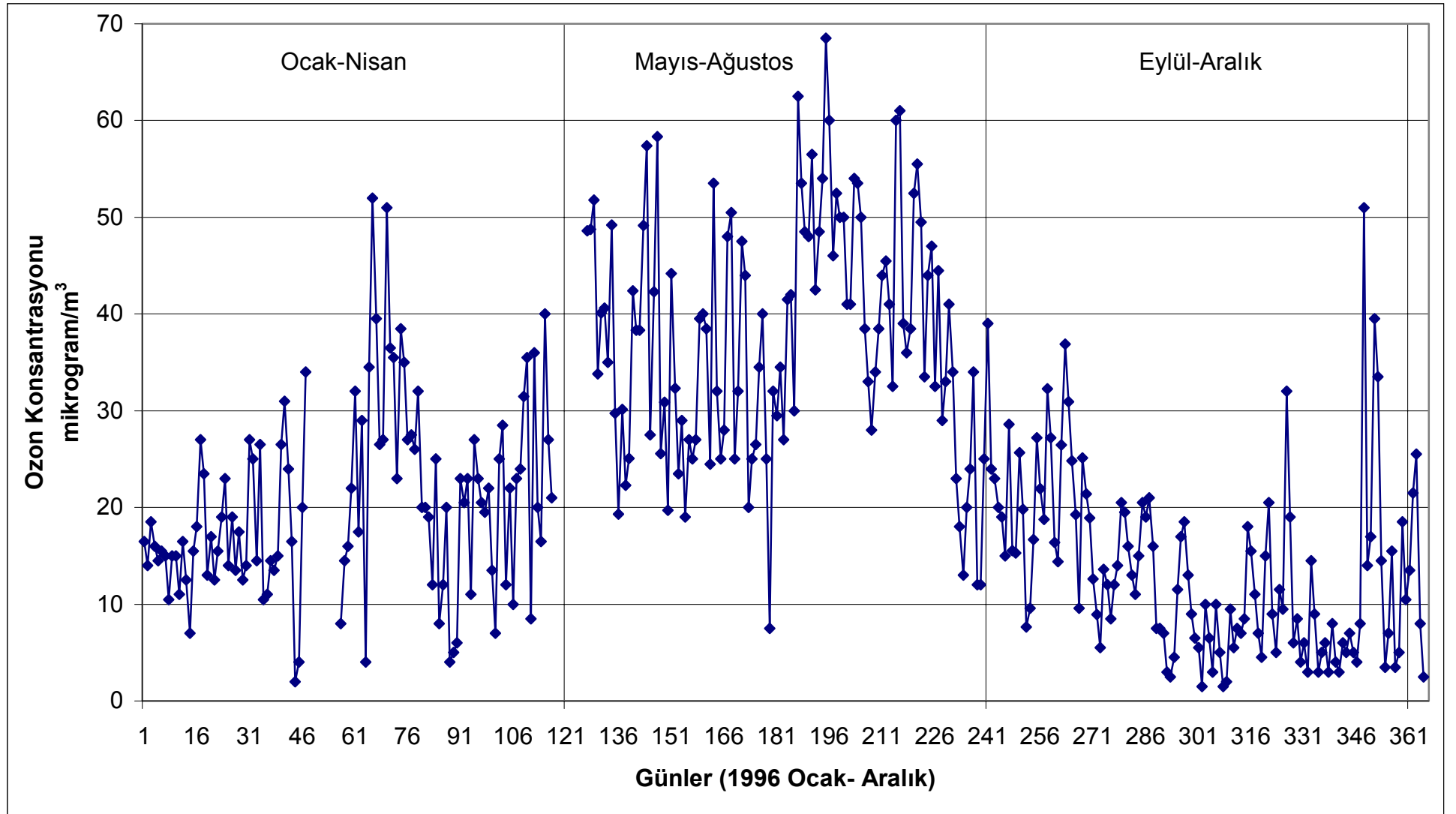
Şekil 5.25 Ozonun 144 saatlik periyottaki değişim eğrisi. (01-06/07/2002)

Şekil 5.26’de 2002 yılının belirli aylarının belirli günlerindeki ozon değişim eğrileri görülmektedir (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, 2002). Eğrilerden de görüldüğü gibi sabah saat 7’den itibaren ozon konsantrasyonu artmakta, öğlen saatlerinde maksimum seviyeye ulaşmakta ve akşam saat 7’den sonra ise azalmaktadır. Sabah saatlerinde trafikteki araç sayısının artmasıyla birlikte atmosfere verilen NO_x ve HC miktarı artmakta, öğlen saatlerine doğrudan artan solar radyasyon nedeniyle NO_x ve HC konsantrasyonu fotokimyasal reaksiyonlar sonucu ozon oluşumuna neden olmakta buda öğlen saatlerinde ozon konsantrasyonunun maksimum seviyeye ulaşmasına neden olmaktadır. Akşam saatlerinde ise trafikteki araç sayısının azalmasına ve güneş radyasyonunun azalmasına bağlı olarak ozon konsantrasyonunda azalma görülmektedir

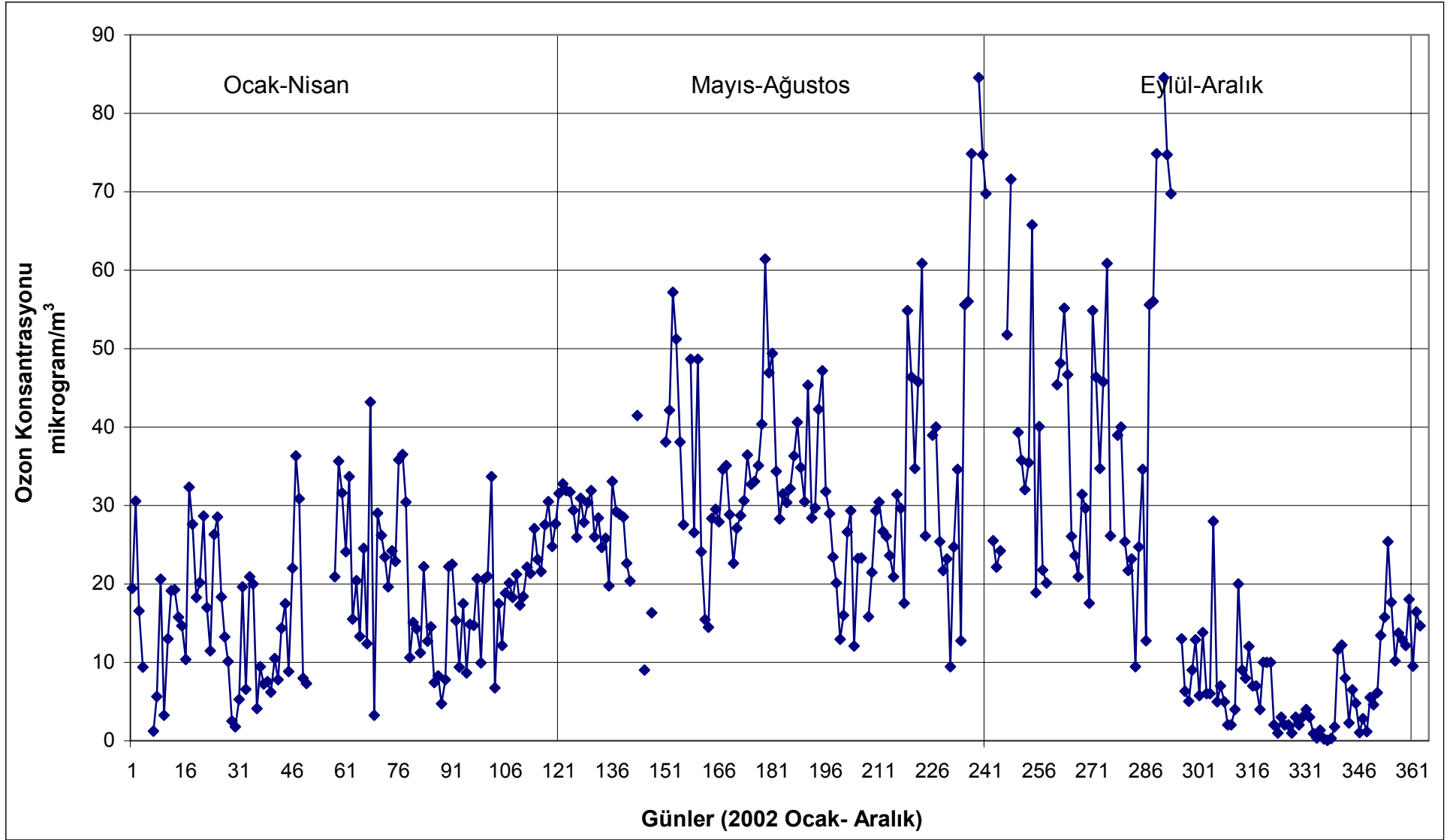
Şekil 5.27 ve 5.28’de 1996 ve 2002 yıllarındaki bir yıllık periyottaki ozon konsantrasyonu değişim grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerde de tüm yıl boyunca ozon konsantrasyonunun yaz aylarında maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir. Bu grafiklerden de anlaşılabacağı üzere sıcaklığın ve solar radyasyon şiddetinin ozon konsantrasyonu üzerinde önemli bir etkisi vardır.



Şekil 5.26 Ozon karakteristik eğrileri.



Şekil 5.27 Bir yıl içindeki ozon konsantrasyonu değişim grafiği. (1996)



Şekil 5.28 Bir yıl içindeki ozon konsantrasyonu değişim grafiği. (2002)

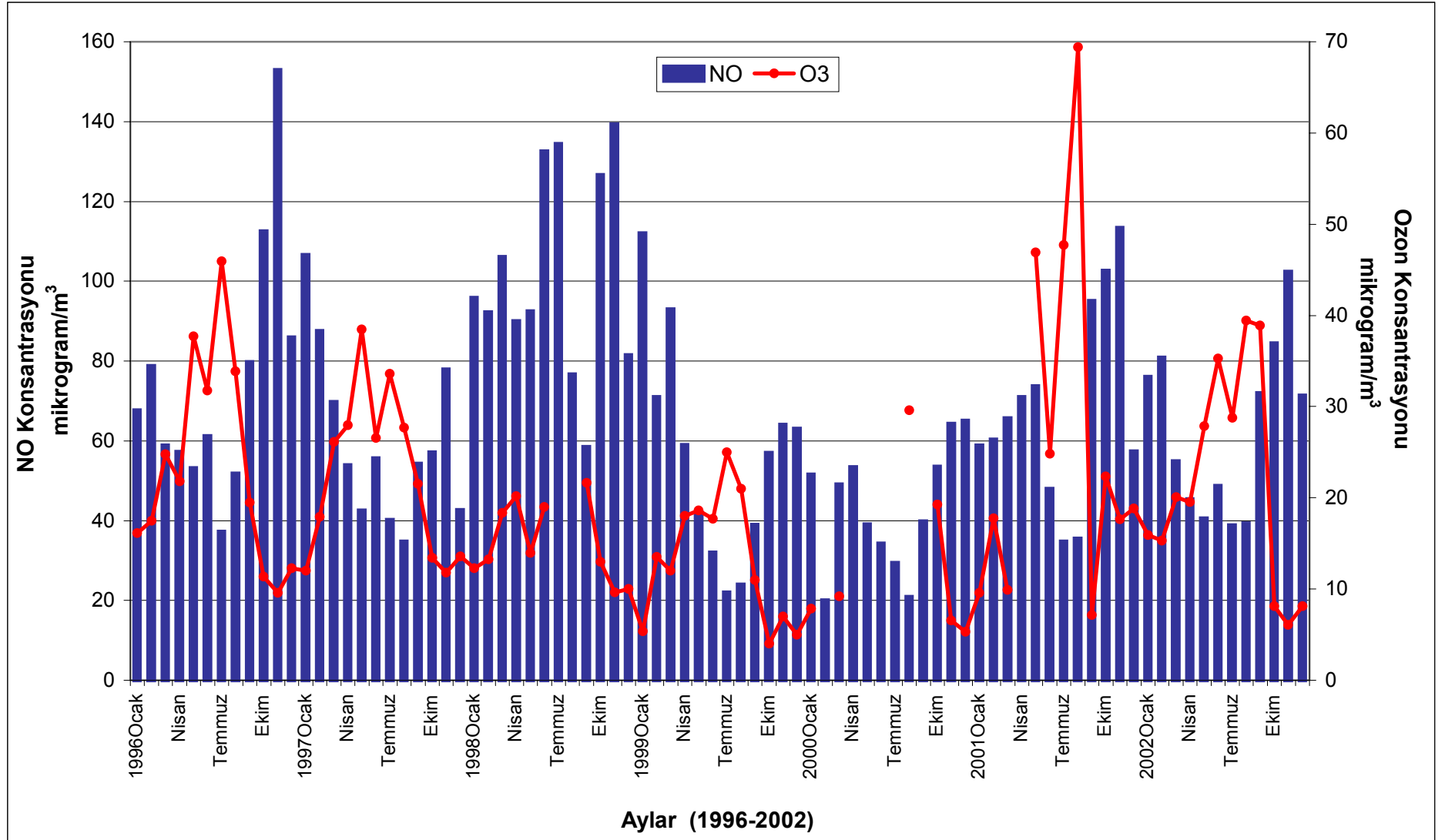
5.3 Ozon-Azotoksit İlişkisi

Azot oksitlerin kaynağı ulaşım ve endüstriyel faaliyetlerdir. Azot oksitler fotokimyasal reaksiyonlarla güneş ışığı mevcudiyetinde ozon oluşumuna sebep olmaktadır ve NO_2 bu reaksiyonların başlatılmasında rol oynamaktadır. Ozon sentezinde en önemli parametrelerden olması nedeniyle azotoksitlerin ozon ile olan ilişkisi iyi incelenip değerlendirilmelidir.

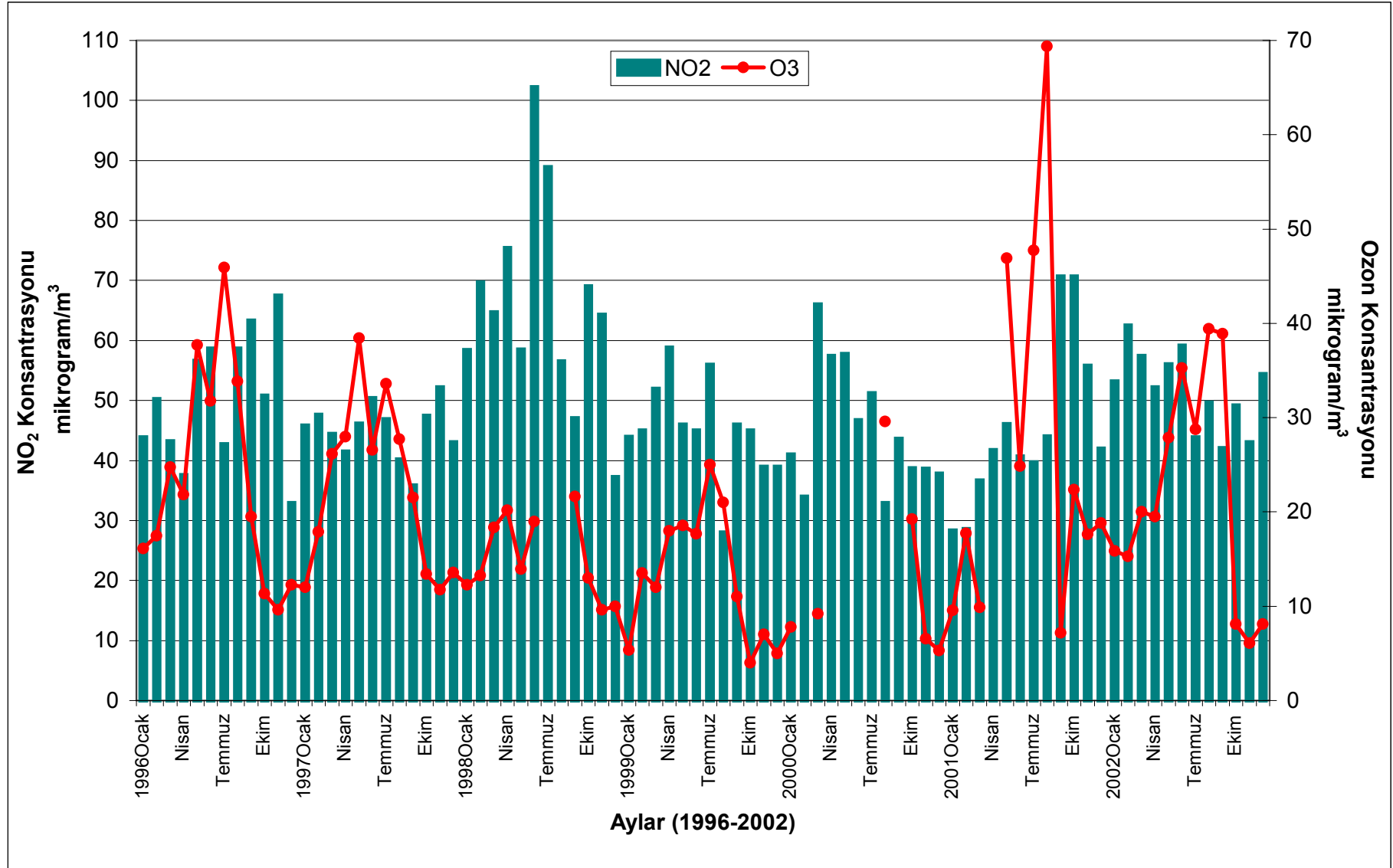
İstanbul'da yapılmış olan azotoksit ve ozon ölçüm sonuçlarına baktığımızda bu parametrelerin birbiri ile ters ilişki içinde olduklarını görüyoruz. Gerek mevsimsel gerekse gün içindeki sonuçların tetkiki NO_x ve O_3 'ün negatif ilişkisini göstermektedir.

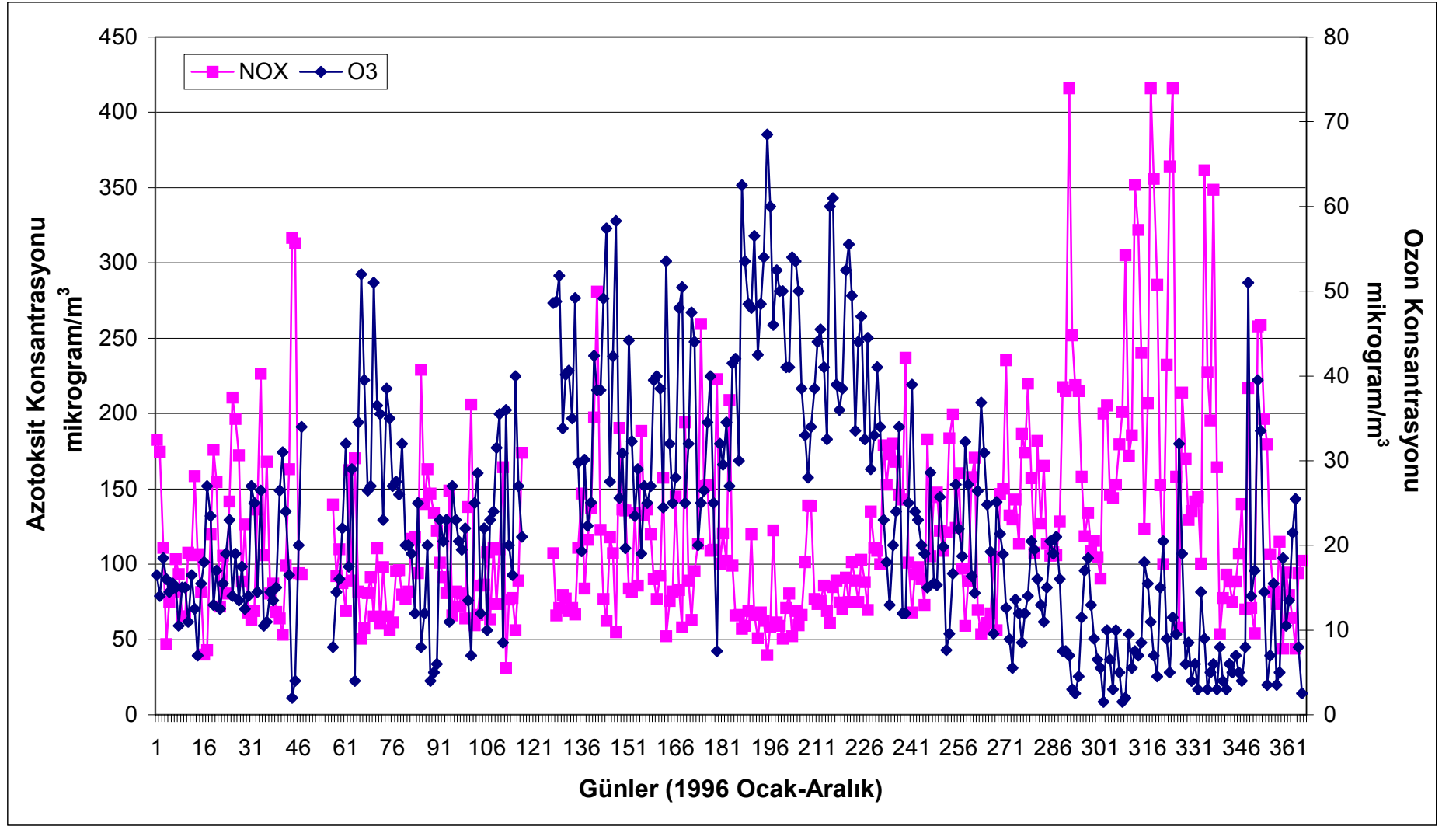
Şekil 5.29 ve 5.30'da İstanbul ilindeki yıllara göre ölçülmüş aylık ortalama NO - NO_2 - O_3 değişimleri grafiklerde verilmektedir. Grafikler incelendiğinde ozon pikinin oluşumundan önce NO_2 konsantrasyonunun maksimum değer aldığını ve ozonun artma trendine girmesiyle NO_2 konsantrasyonunda da bir azalmanın olduğu görülmektedir. Ozon konsantrasyonu maksimum değere ulaştığında ise NO_2 konsantrasyonu minimum değere inmektedir.

Şekil 5.31'de de 1996 yılına ait günlük azotoksit-ozon değişimi görülmektedir (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü Emisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, 1996). Azotoksit konsantrasyonu yaz aylarında daha düşük olmasına rağmen ozon konsantrasyonu kış aylarına göre daha fazladır. Azotoksitlerin iki önemli kaynağı ısınma amaçlı yakıt tüketimi ve araç emisyonları olup; nisan ayı itibariyle ısınma amaçlı yakıt tüketiminin kalkmasıyla şehirde ölçülen NO_x emisyonunda hakim pay ulaşım kaynaklı olan NO_x emisyonlarıdır. Yaz aylarında NO_x konsantrasyonunun az olmasına rağmen fotokimyasal reaksiyonu başlatacak meteorolojik şartların sağlanmasıyla yaz mevsiminde daha yüksek ozon konsantrasyon ölçümleri alınmaktadır.



Şekil 5.29 Azotmonoksit konsantrasyonunun aylara göre dağılımı.(1996-2002)

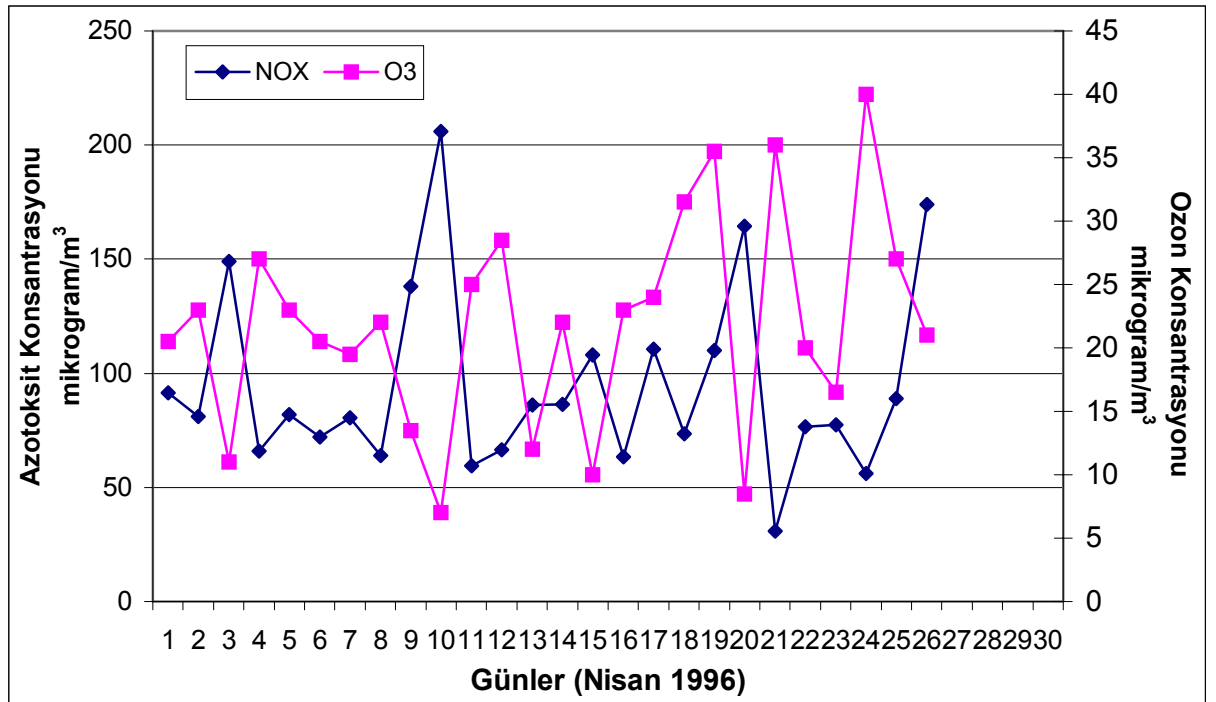




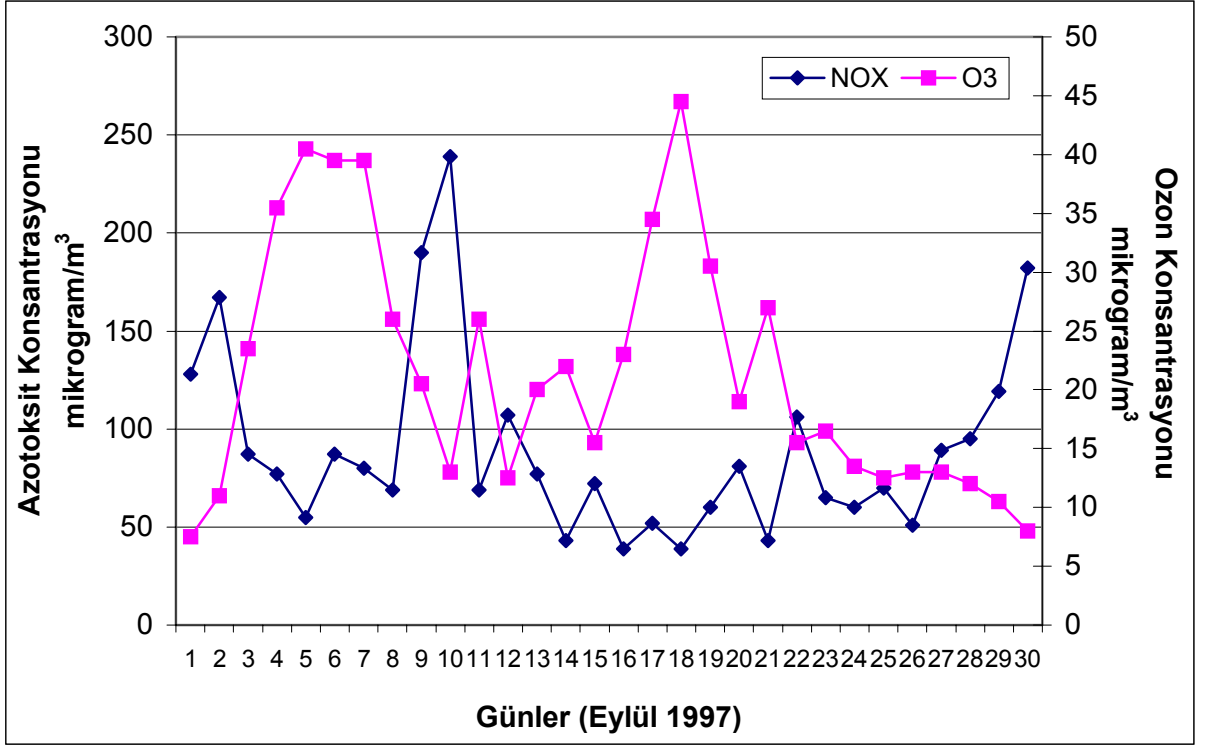
Şekil 5.31 Bir yıllık periyot içindeki günlük azotoksit-ozon değişimi. (1996)

NO₂ konsantrasyonunun NO ile hidrokarbonların yaptığı reaksiyonlar sonucu saat 7.00 civarında artmaya başladığı, saat 9'dan itibaren güneş radyasyonunun artmaya başlaması ile birlikte NO₂'nin parçalanarak azalmaya başladığı ve müteakiben NO'nın arttığı görülmektedir. Meydana gelen miktarında çok kısa süreli bir artış olsa da bu madenin daha sonra hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Saat 10.00'dan itibaren ise ozon konsantrasyonunun artma trendine girdiği görülmektedir. Güneş radyasyonunun en şiddetli olduğu öğlen saatlerinden sonra O₃ konsantrasyonu maksimum değerine ulaştığında NO₂ konsantrasyonu minimum değere inmektedir. Akşam saatlerinde güneş radyasyonunun şiddetinin azalması ile birlikte fotokimyasal reaksiyonların hızı azalmakta, O₃ oluşumu yavaşlamaktadır. Böylece O₃ konsantrasyonunun azalma trendine girdiği, NO₂'nin ise tekrar artmaya başladığı görülür.

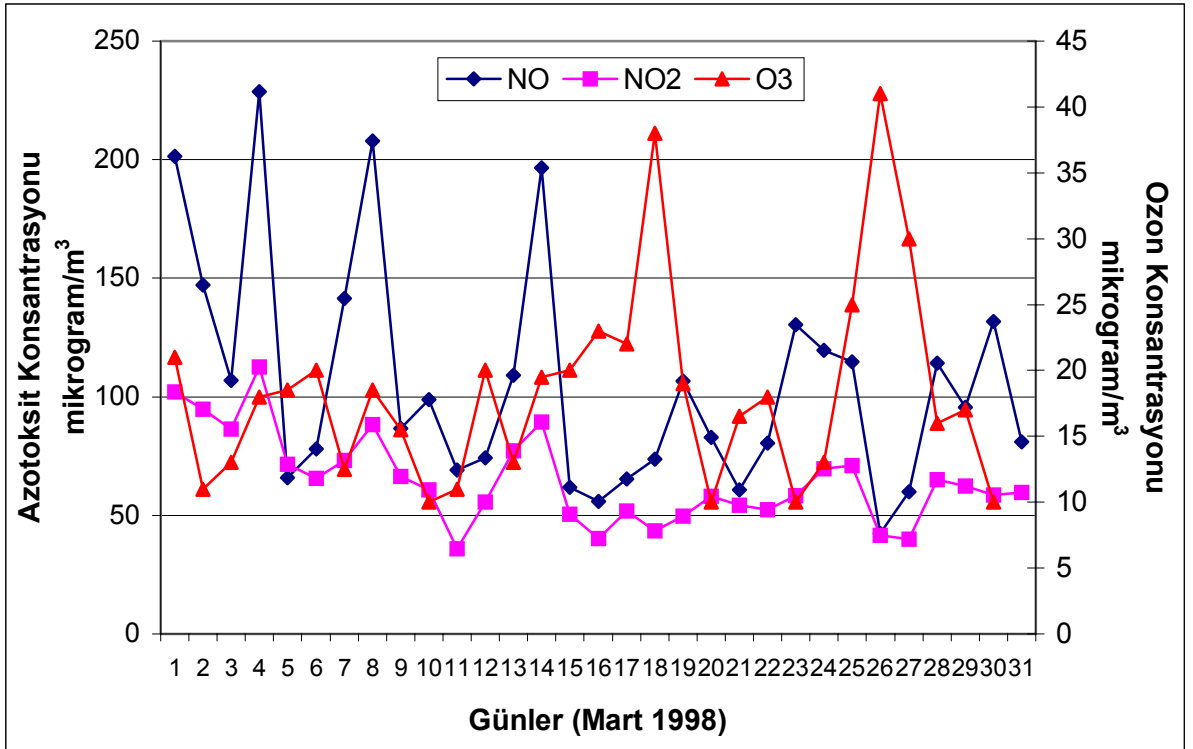
Şekil 5.32, 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, 5.37'deki İstanbul'da ölçülmüş olan ay içindeki günlük azotoksit-ozon değişim grafiklerini incelediğimizde tüm mevsimlerde gün içinde NO_x, NO, NO₂ konsantrasyonlarının ozon sentezinin artmasıyla düştüğünü görmekteyiz (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, 1996-2002). Azotoksitlerin güneş radyasyonu ile fotokimyasal reaksiyonu neticesinde azotoksitler ozon meydana gelirken tükenmektedir.



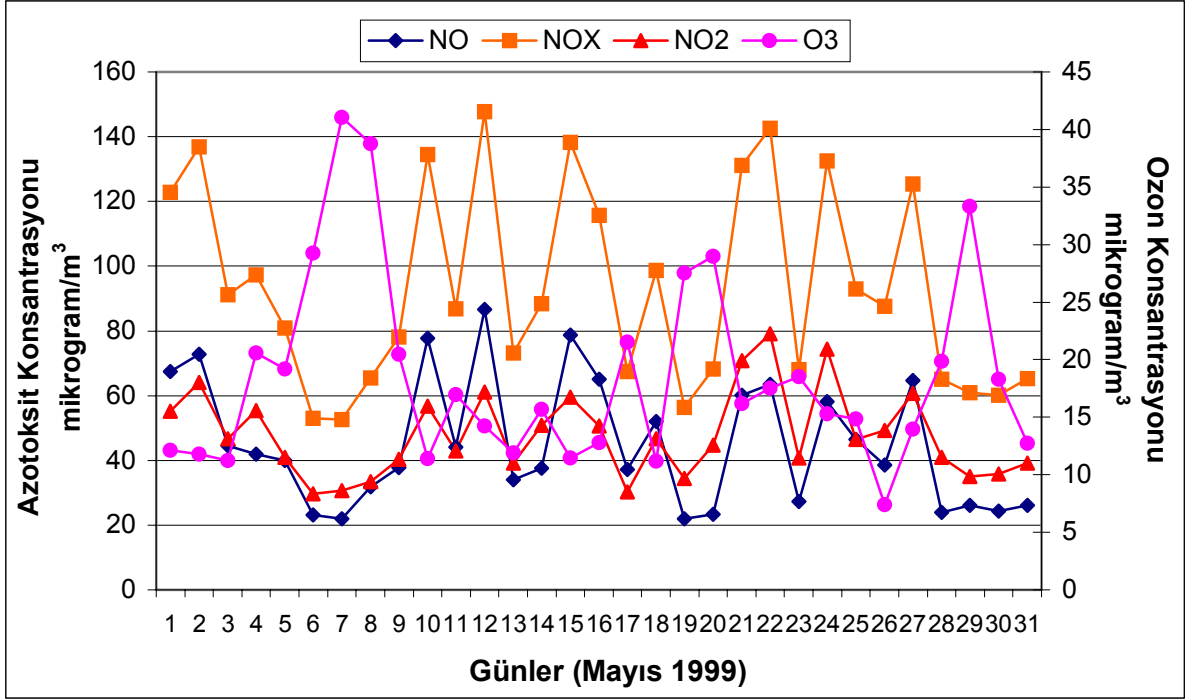
Şekil 5.32 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi.



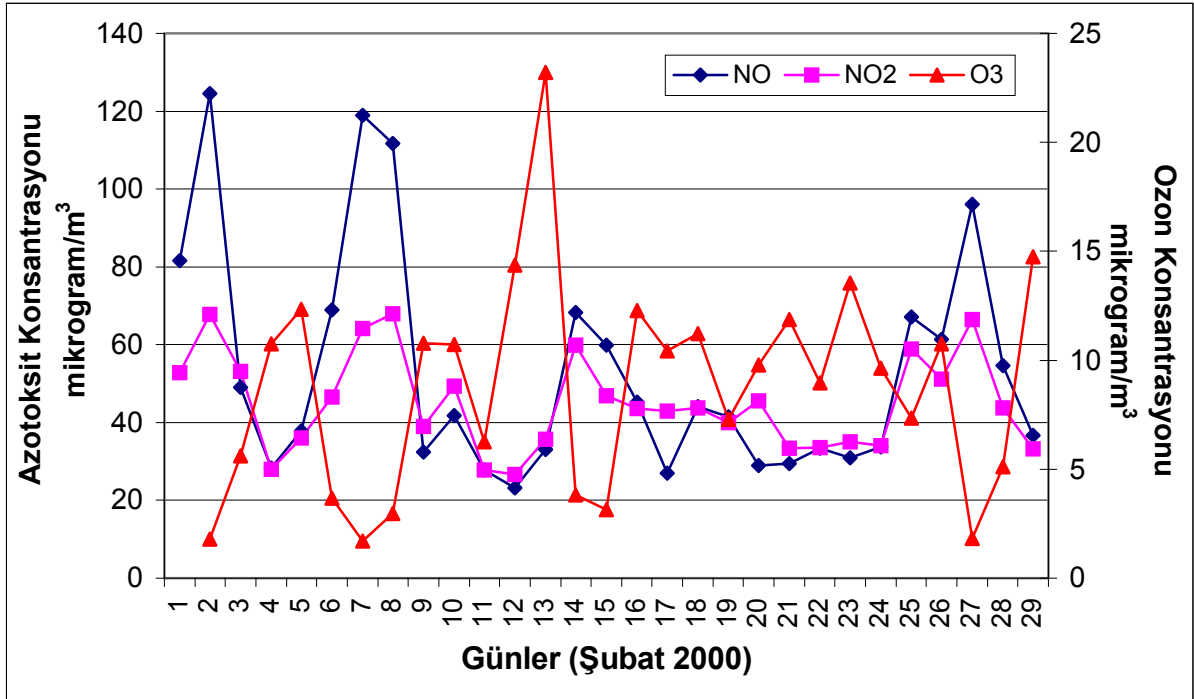
Şekil 5.33 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi.



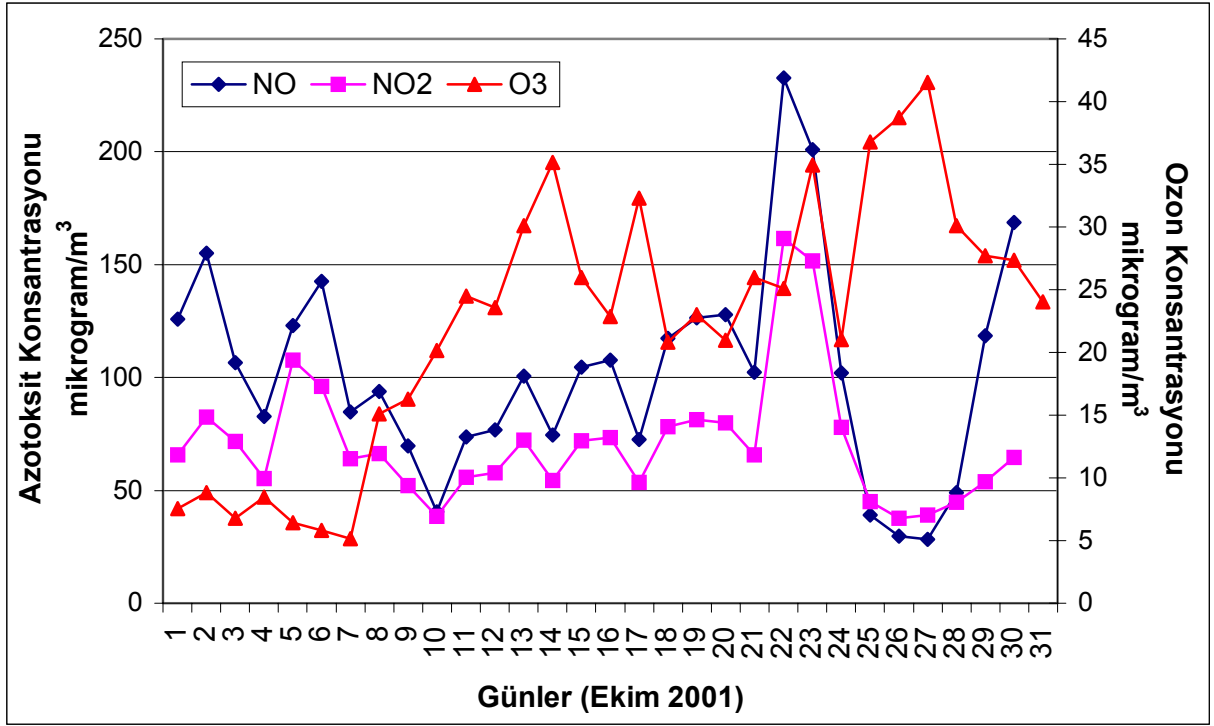
Şekil 5.34 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi.



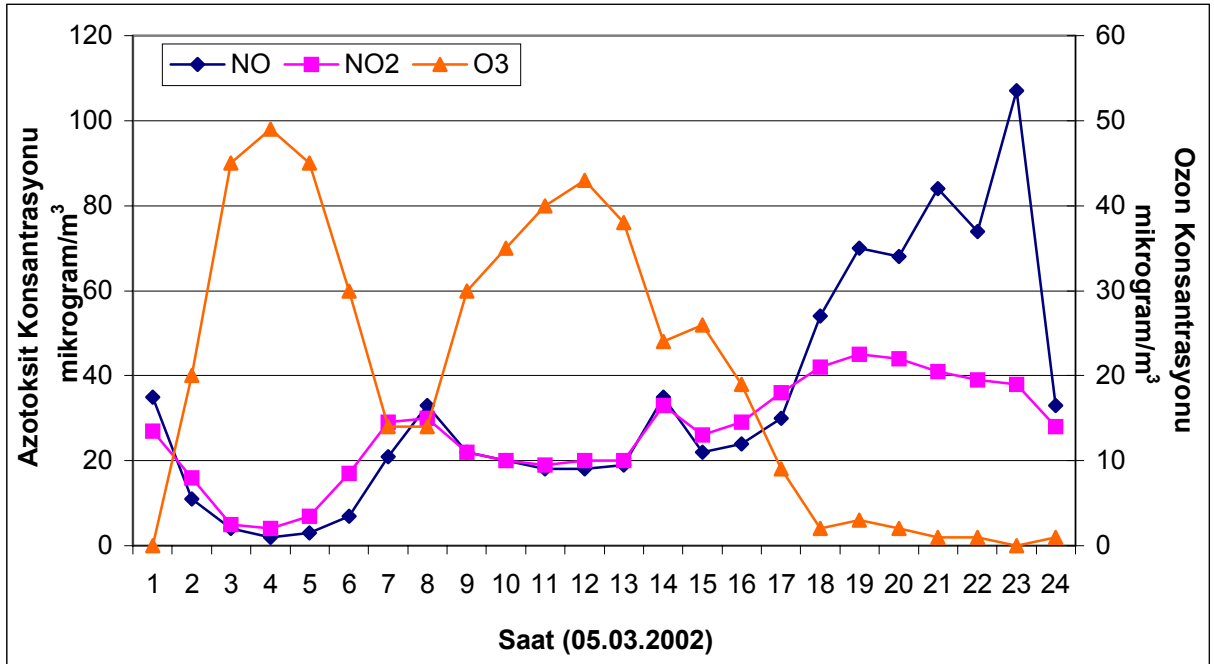
Şekil 5.35 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi.



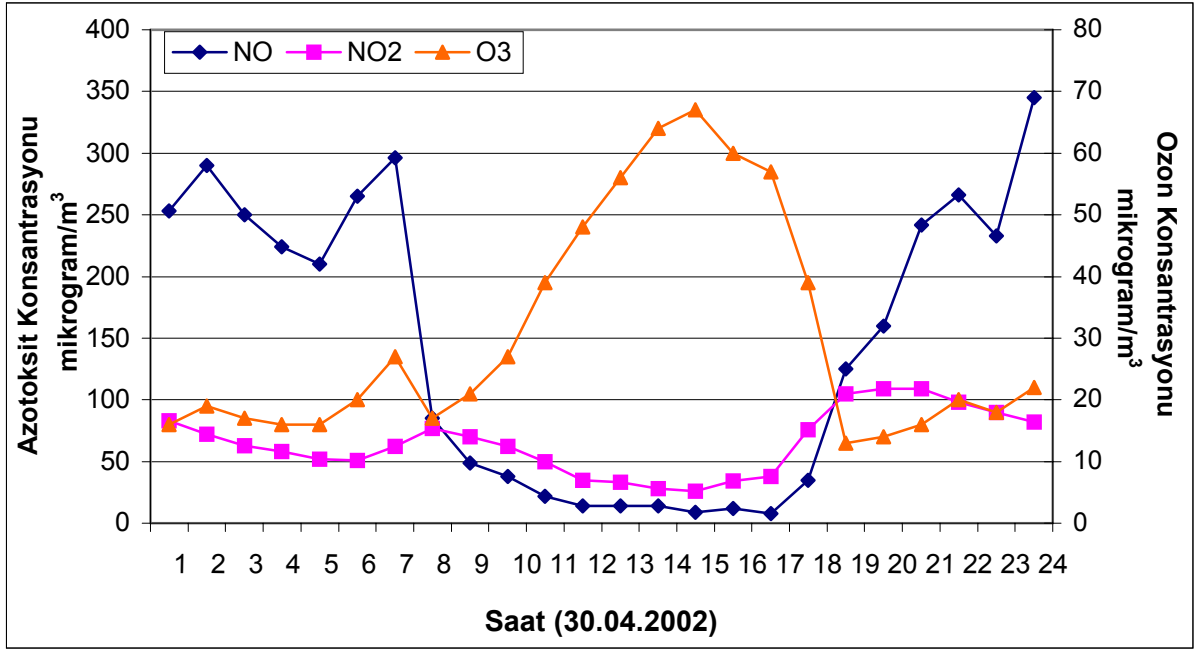
Şekil 5.36 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi.



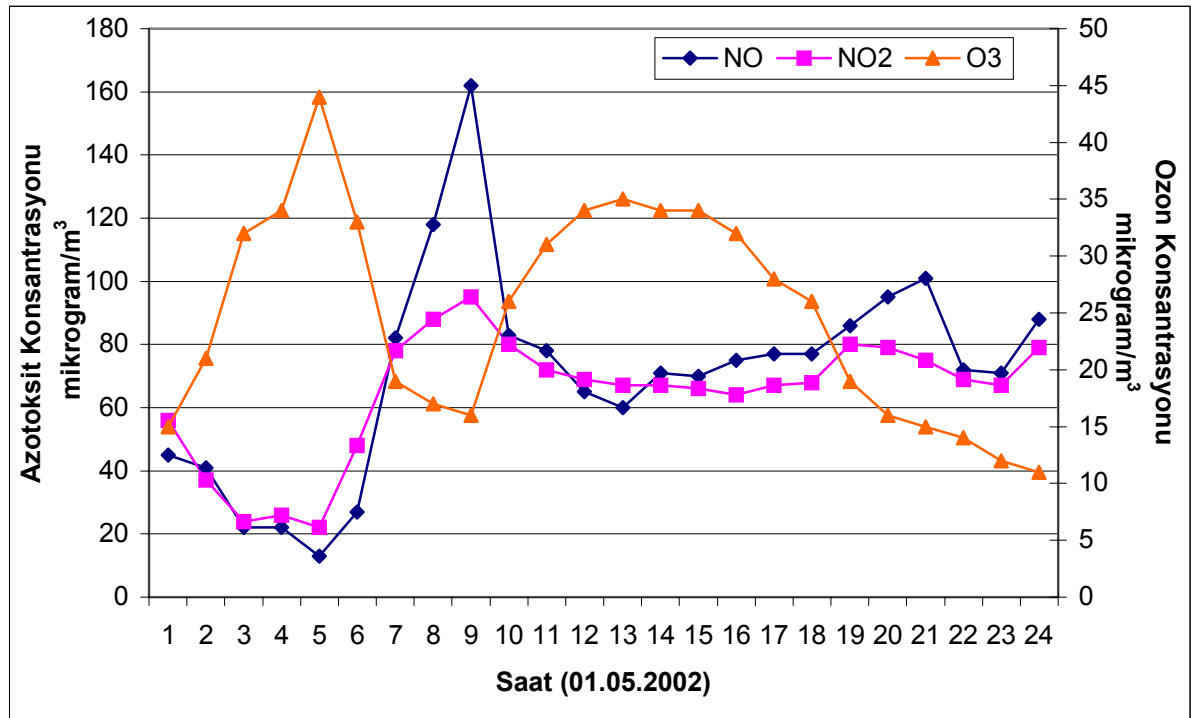
Şekil 5.37 Bir aylık periyottaki azotoksit-ozon değişimi.



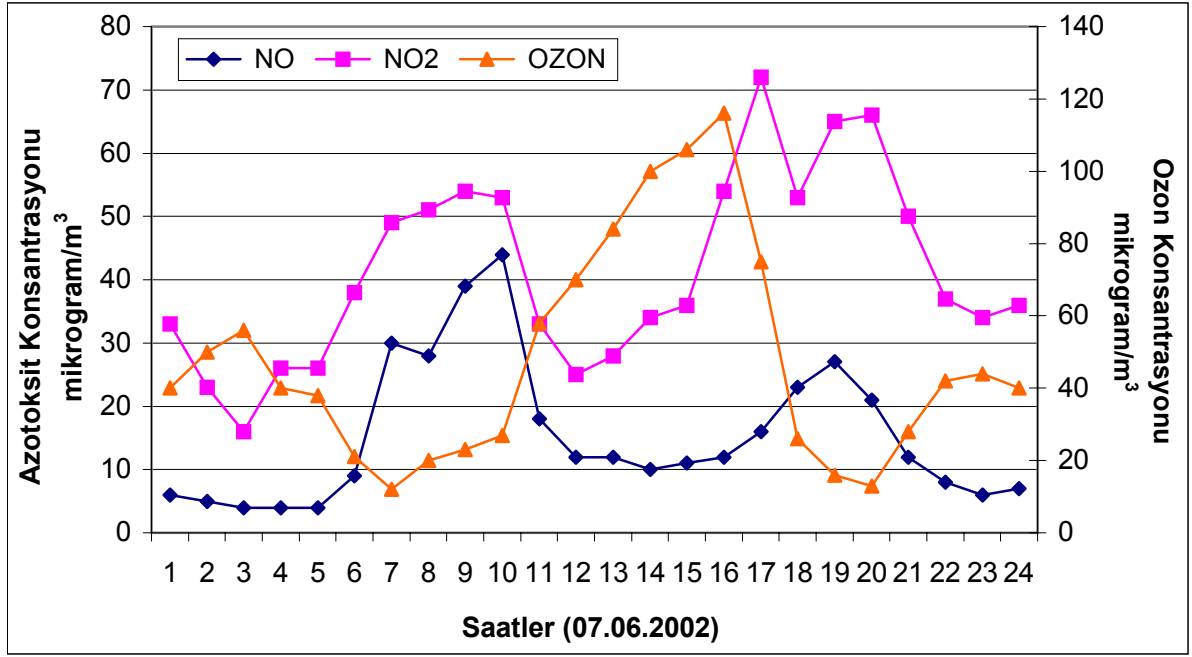
Şekil 5.38 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi.(5 Mart 2002)



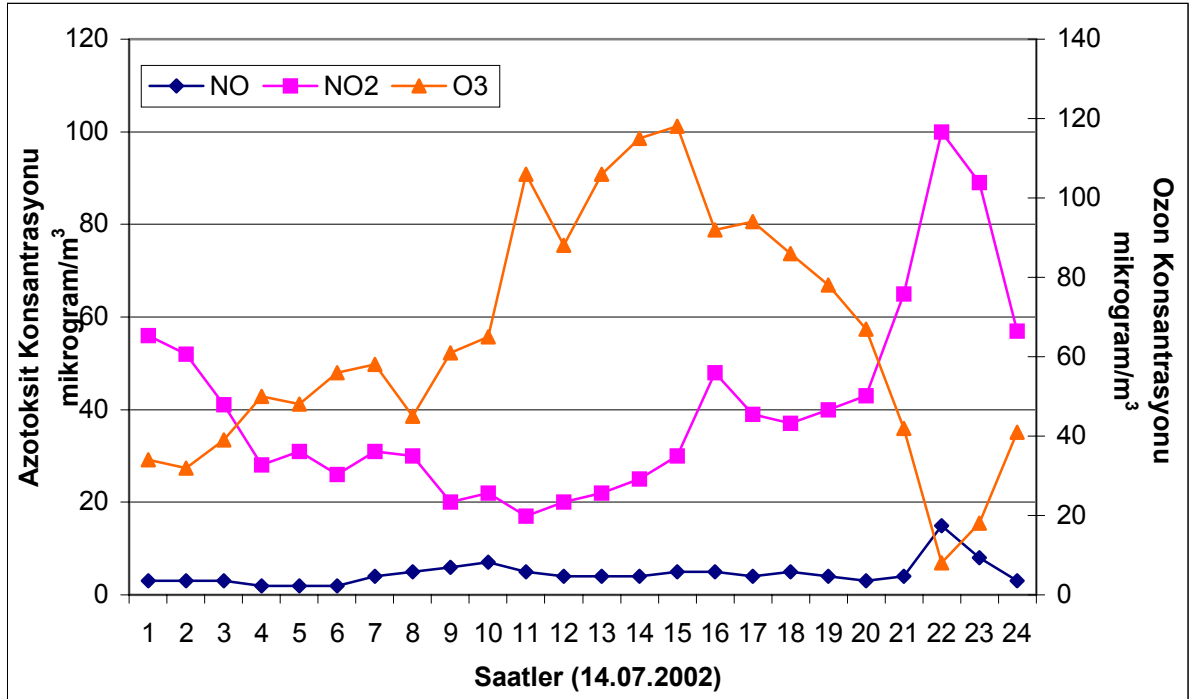
Şekil 5.39 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi.(30 Nisan 2002)



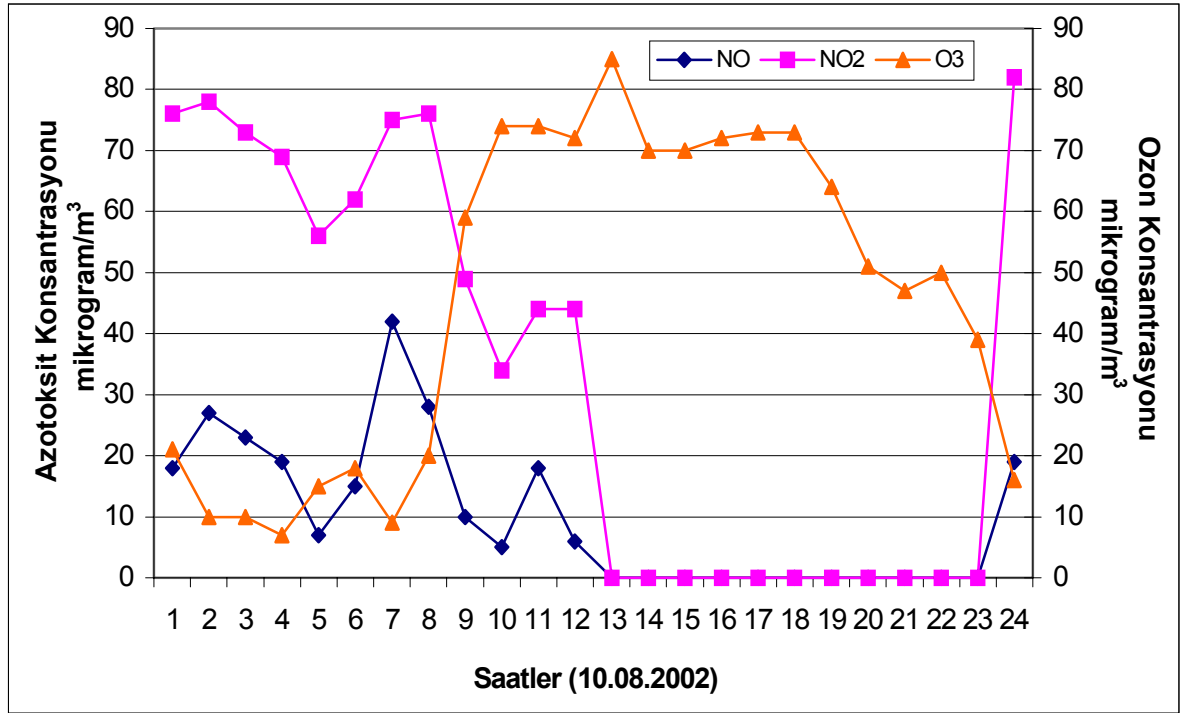
Şekil 5.40 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi.(1 Mayıs 2002)



Şekil 5.41 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi. (7 Haziran 2002)



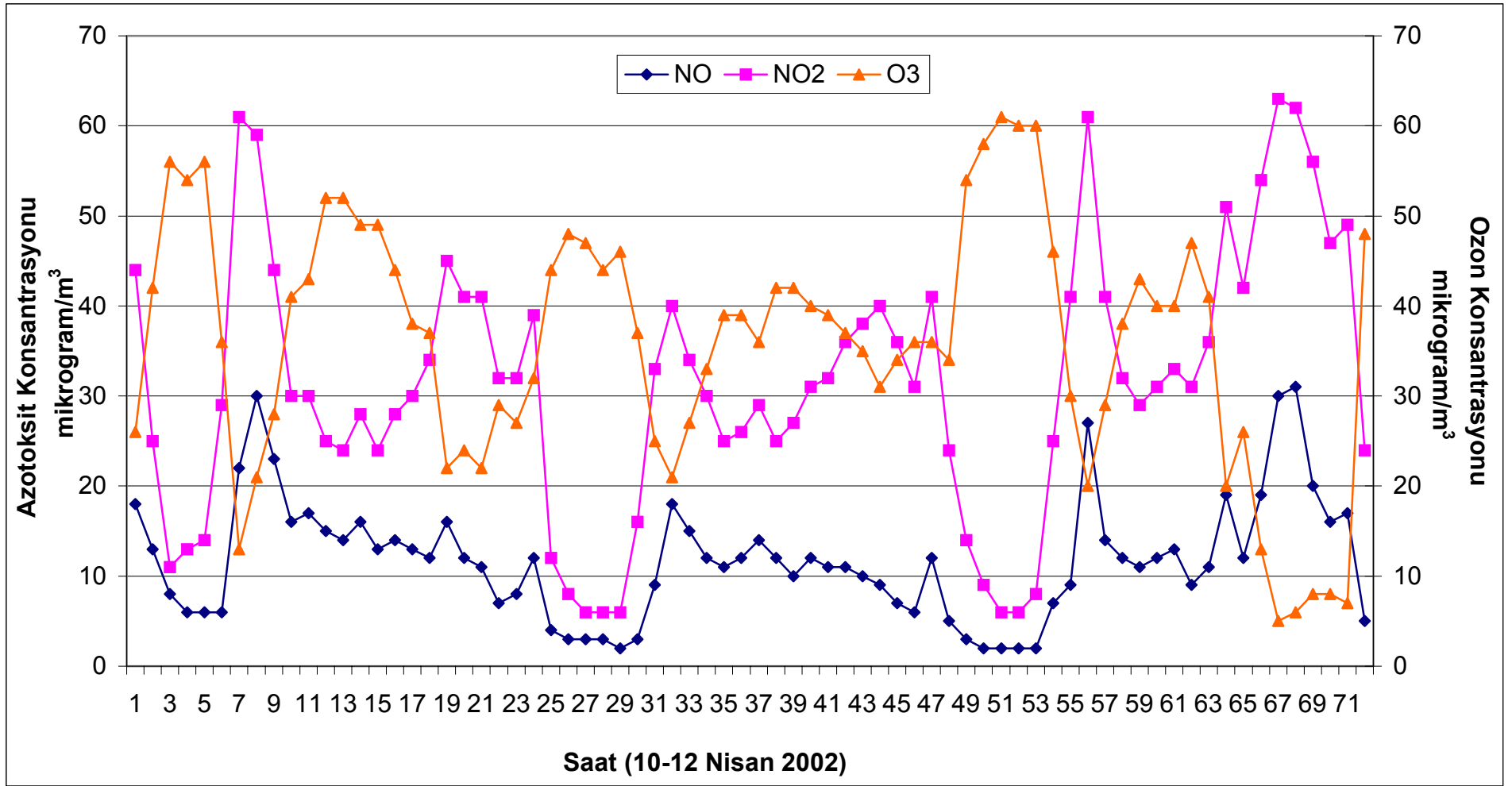
Şekil 5.42 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi. (14 Temmuz 2002)



Şekil 5.43 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi. (10 Ağustos 2002)

Şekil 5.38, 5.39, 5.40, 5.41, 5.42, 5.43’de İstanbul’da ölçülmüş olan gün içindeki saatlik NO_x , NO, NO_2 , O_3 değişim grafikleri görülmektedir. Çeşitli kaynaklardan özellikle taşıtların egzozundan atmosfere verilen NO, O_2 ile birleşerek NO_2 meydana getirir (Denklem 3.19). NO_2 gazı özellikle yaz aylarında güneşli ve sakin havalarda güneş ışığı yardımıyla fotolize olur ve atomik oksijen molekülü meydana getirir (Denklem 3.20). Atomik oksijen molekülü atmosferdeki O_2 molekülü ile reaksiyona girerek O_3 meydana getirir. (Denklem 3.21). Meydana gelen O_3 daha sonra NO ile reaksiyona girerek O_2 ve NO_2 molekülü oluşturur (Denklem 3.22). NO_2 ’nin NO’ye dönüşümü hızlı olduğu için NO_2 parçalanarak NO meydana getirir. NO ile O_3 arasındaki reaksiyon ise oldukça yavaş olması nedeniyle atmosferde O_3 birikimi gerçekleşir. Güneş battıktan sonra ise yeterli güneş ışığı olmadığından NO_2 ’nin NO’e dönüşümü durur. Dolayısıyla O_3 konsantrasyonu düşme trendine girer.

Şekil 5.44’de 10-12 Nisan 2002 tarihleri arasındaki NO_x -ozon değişimi görülmektedir. Eğrilerden de görüldüğü gibi azotoksitlerle ozon arasında negatif bir ilişki vardır. Azotoksit konsantrasyonunun pik değere ulaştığı noktada ozon oluşmaya başlamakta ve ozon konsantrasyonunun artmasıyla birlikte azotoksit konsantrasyonunda bir azalma görülmektedir. Fotokimyasal reaksiyonlar gereğince ozon belirli bir zaman sonra bozulmaya başlayıp azotoksit meydana getirmekte ve oluşan azotoksit tekrar ozon oluşturmakta ve döngü bu şekilde devam etmektedir.



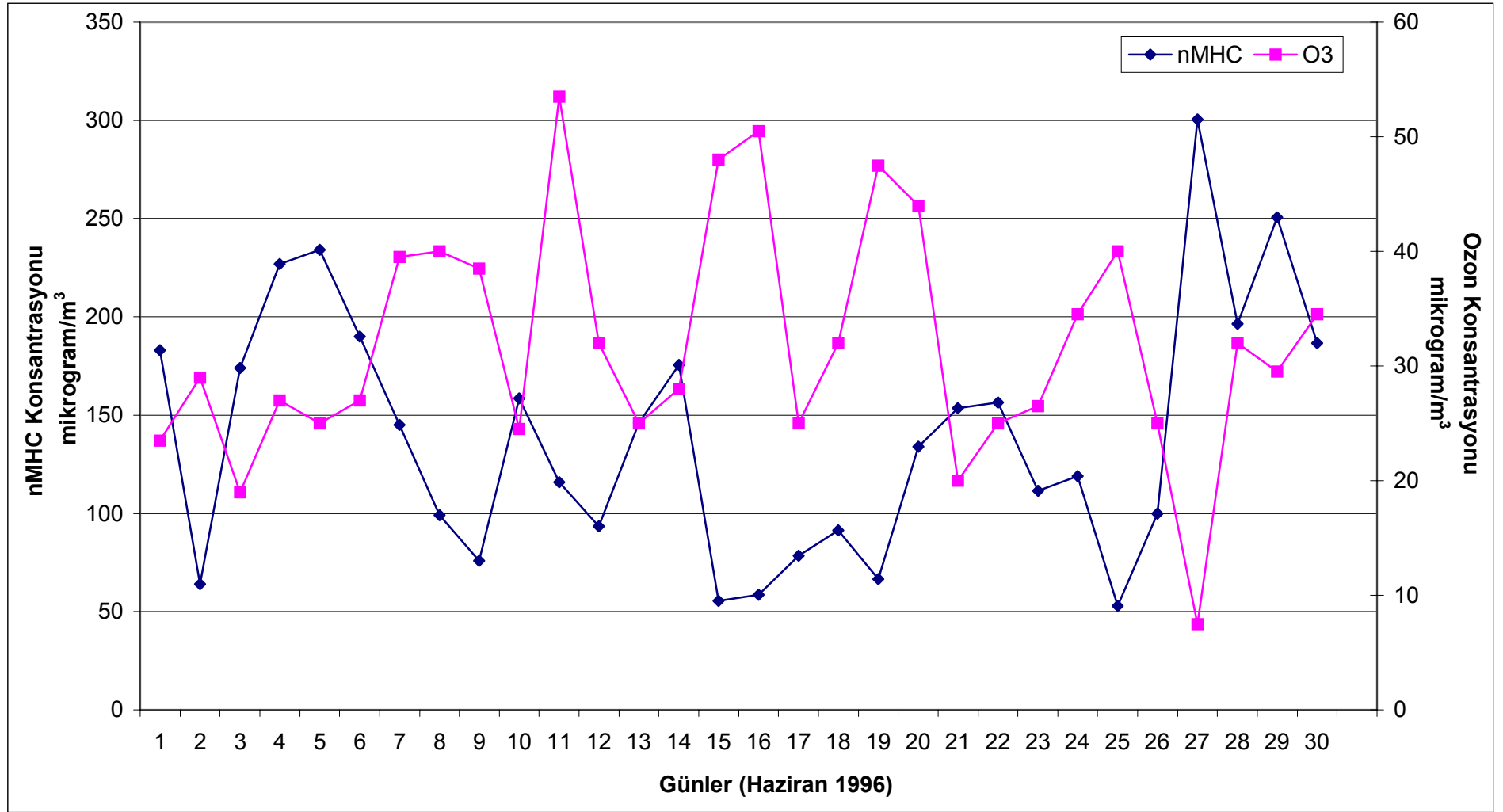
Şekil 5.44 72 saatlik periyottaki azotoksit-ozon değişimi

5.4 Ozon – Hidrokarbon İlişkisi

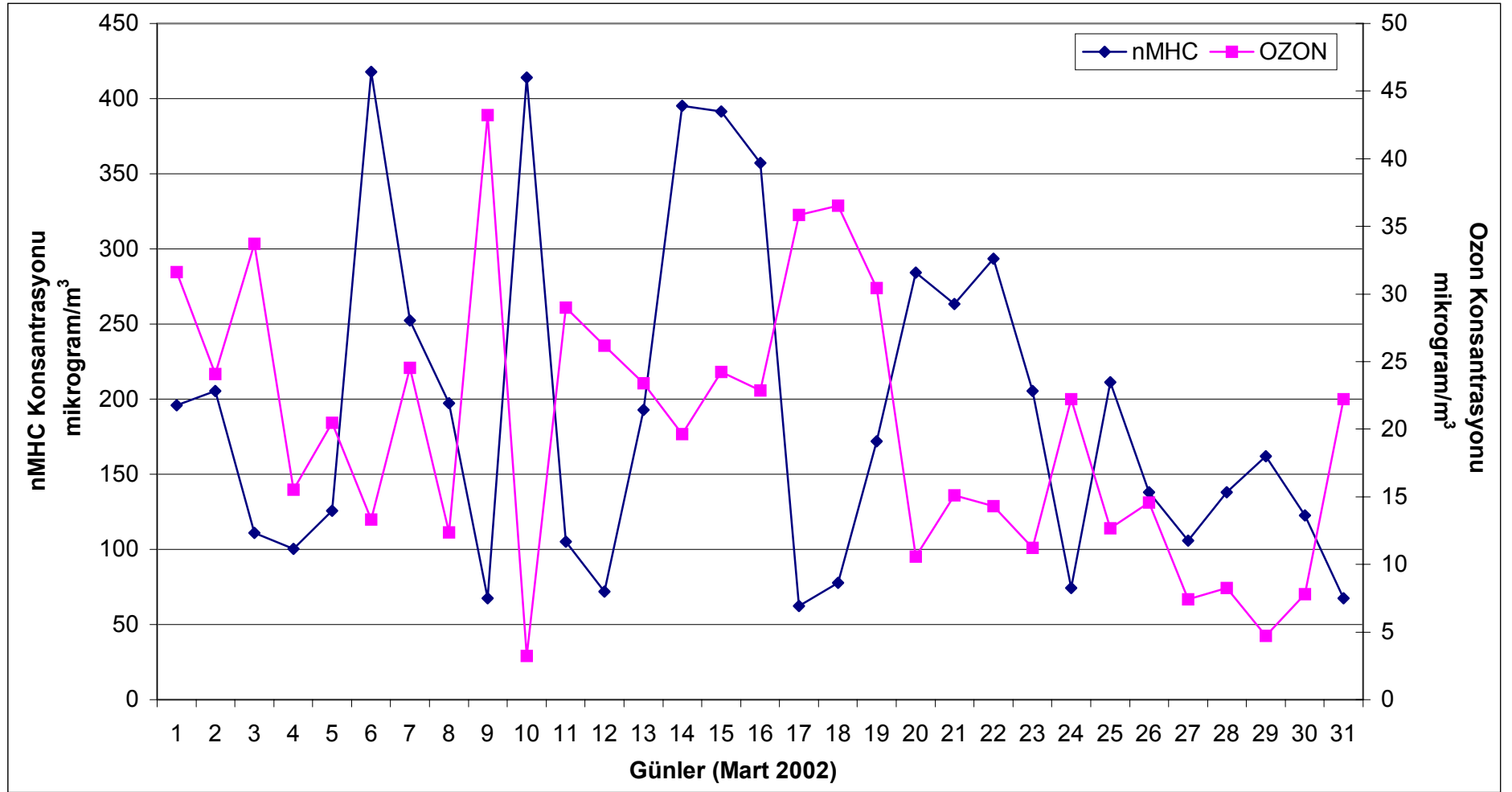
Hidrokarbon karbon ve hidrojenle meydana gelen organik bileşiklere verilen addır. Benzin ve diğer petrol ürünlerinde yer alan bileşiklerin çoğu hidrokarbon olup hidrokarbonlar alifatik ve aromatik hidrokarbonlar olarak iki sınıfa ayrılırlar. Hidrokarbonların oluşumu OH radikalinin oluşumuna bağlıdır. Hidroksil radikalinin oluşumunun ardından ikinci bir fotolitik çevrimle oluşan reaksiyonlar sonucundaki reaksiyonlarla reaktif VOC (uçucu organik karbon) oluşur. Bu çevrim sonunda NO_2 ve fotokimyasal oksidantların oluşumunda da bir artış gözlenir. NO_2 'nin artması ozon miktarında değişikliklere neden olmaktadır. Bu nedenle ozon sentezinde etkili parametrelerden olan hidrokarbonların ozon ile vermiş oldukları reaksiyonların iyi incelenip değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu bölümde de İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü emisyon ölçüm verileri kullanılarak hidrokarbon değişimlerinin ozon konsantrasyonuna etkisi değerlendirilmiştir.

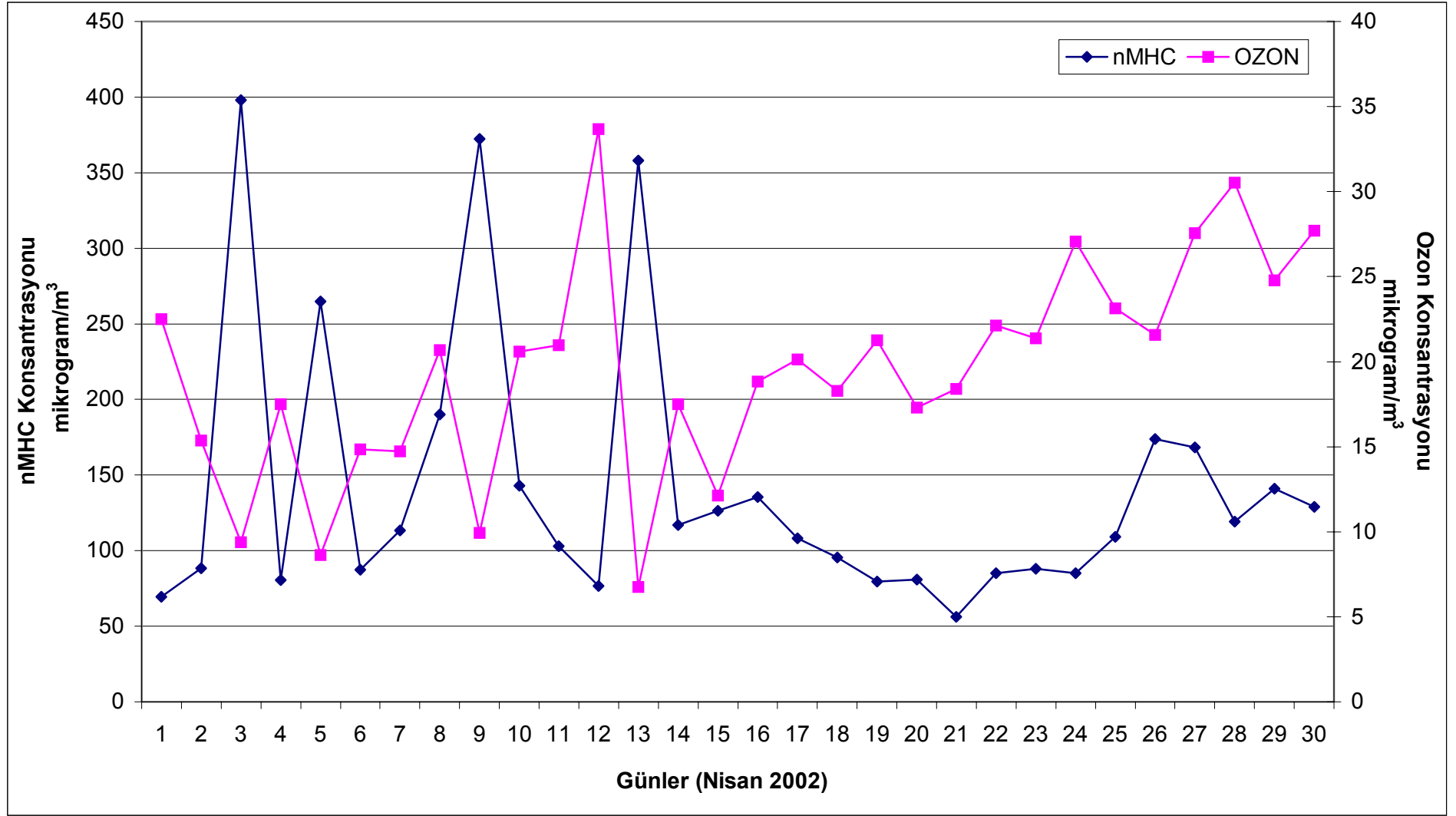
Şekil 5.45, 5.46, 5.47, 5.48, 5.49'da 1996 ve 2002 yıllarına ait saatlik ortalama sonuçlarından elde edilen günlük ozon ve hidrokarbon değişimleri verilmiş olup; şekil bize bu parametrelerin gün içindeki saatlik değişimlerini göstermektedir (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü Emisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, 1996-2002). Hidrokarbonların ozon sentezine etkisi incelenirken çok düşük reaktifliğe sahip olan metan göz önünde bulundurulmaz. Grafiklerden de görüldüğü gibi ozon ile metan olmayan hidrokarbonlar (nMHC) arasında negatif bir ilişki vardır. Atmosfere çeşitli faaliyetler sonucu özellikle motorlu taşıtların egzozundan atılan nMHC'lar yeterli konsantrasyona ulaştıklarında NO ile güneş ışığı varlığında reaksiyona girerek NO_2 oluşturur. NO_2 'de atmosferdeki O_2 ile birleşerek O_3 meydana getirir (Denklemler 4.1). Böylece O_3 maddesi tahrip edilmeden birikmeye devam ederken, nMHC konsantrasyonunda bir azalma gözlenmektedir.



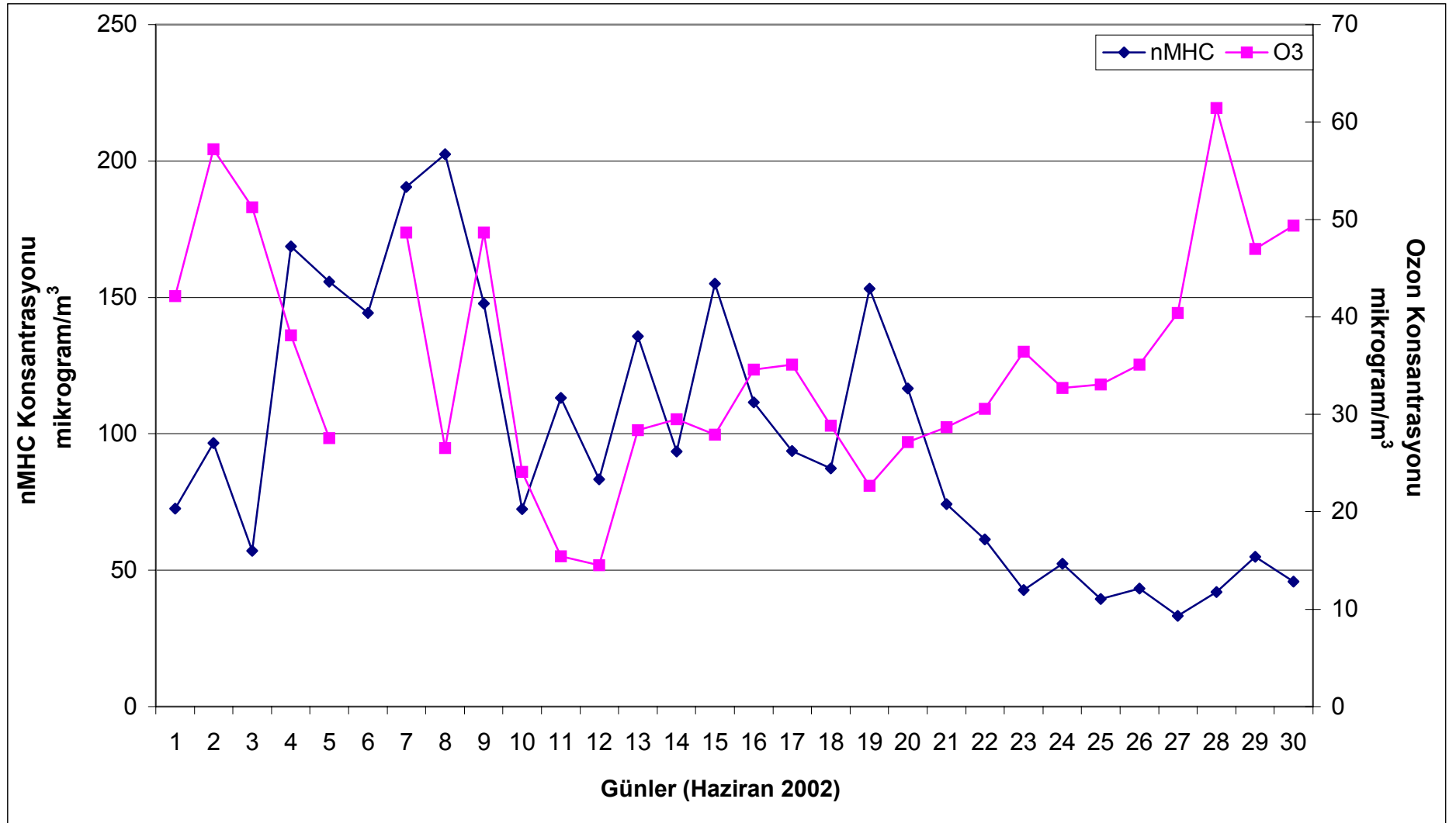
Şekil 5.45 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi.



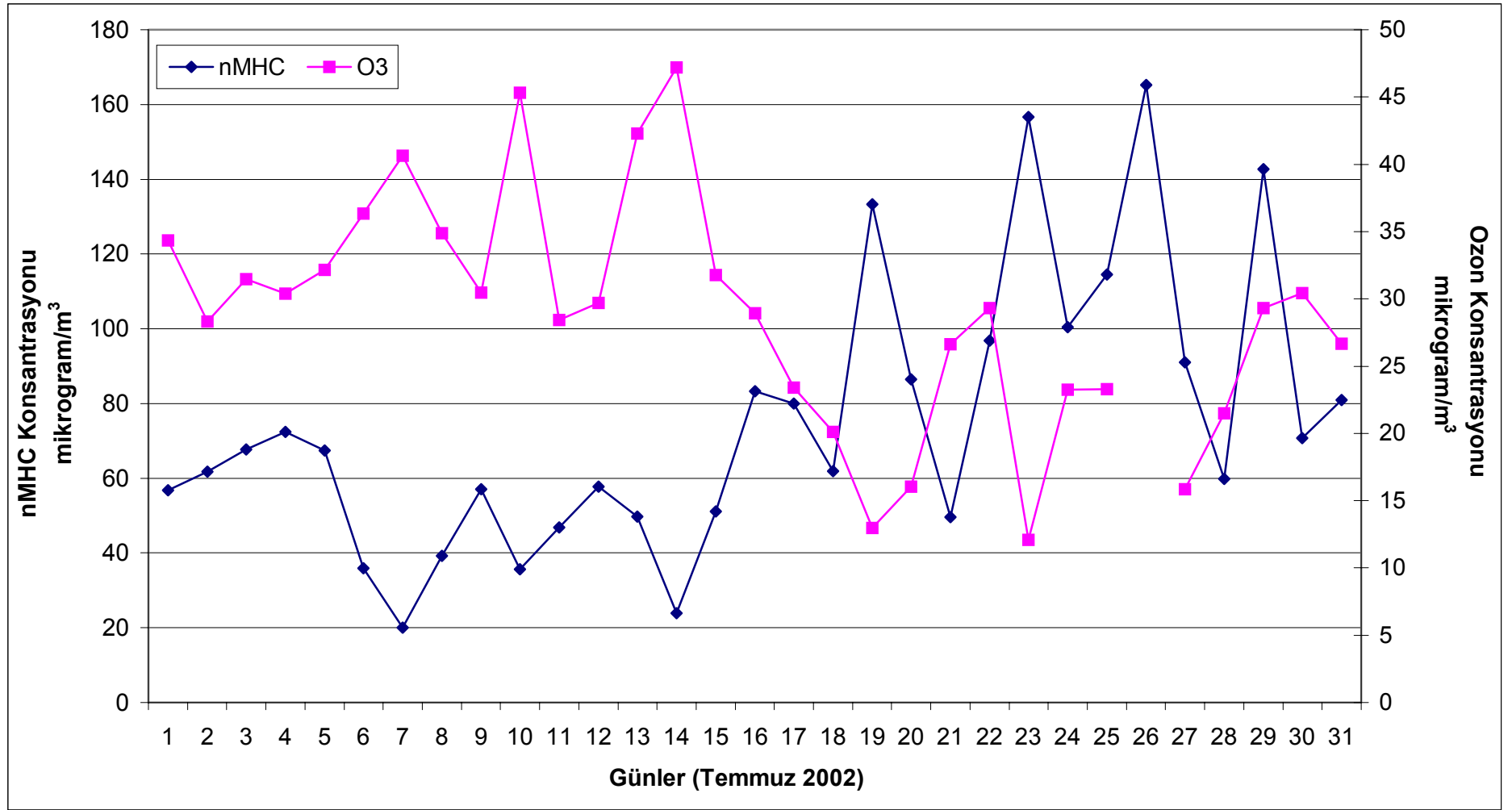
Şekil 5.46 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi.



Şekil 5.47 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi.



Şekil 5.48 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi.



Şekil 5.49 Günlere göre hidrokarbon-ozon değişimi.

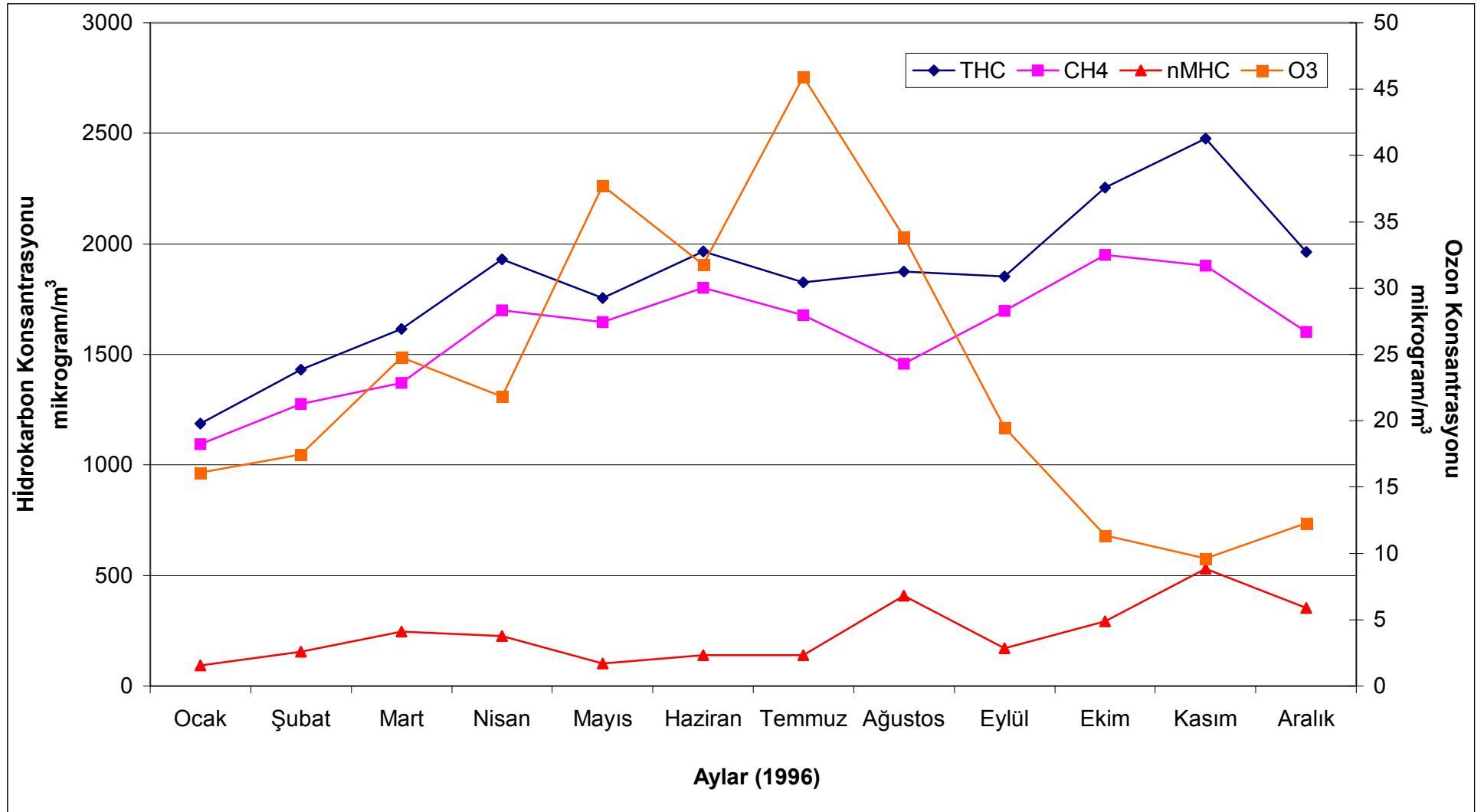
Şekil 5.50, 5.51, 5.52, 5.53 'de 1996, 1997, 1998, 1999 yıllarına ait günlük ortalama sonuçlarından elde edilen aylık ozon ve hidrokarbon değişimleri verilmiş olup, grafikler bize bu parametrelerin mevsimsel değişimini göstermektedir (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri). Yaz aylarına girişte ozon konsantrasyonu artarken hidrokarbon eğrilerinde azalış görülmektedir.

Şekil 5.54, 5.55, 5.56 'da İstanbul'da ölçülmüş hidrokarbon ve ozon konsantrasyonlarının saatlik değişimleri verilmektedir. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere hidrokarbon ve ozon negatif ilişkilidir. Ozon konsantrasyonunda artış kaydedildiği saatlerde hidrokarbonunda azalma görülmektedir.

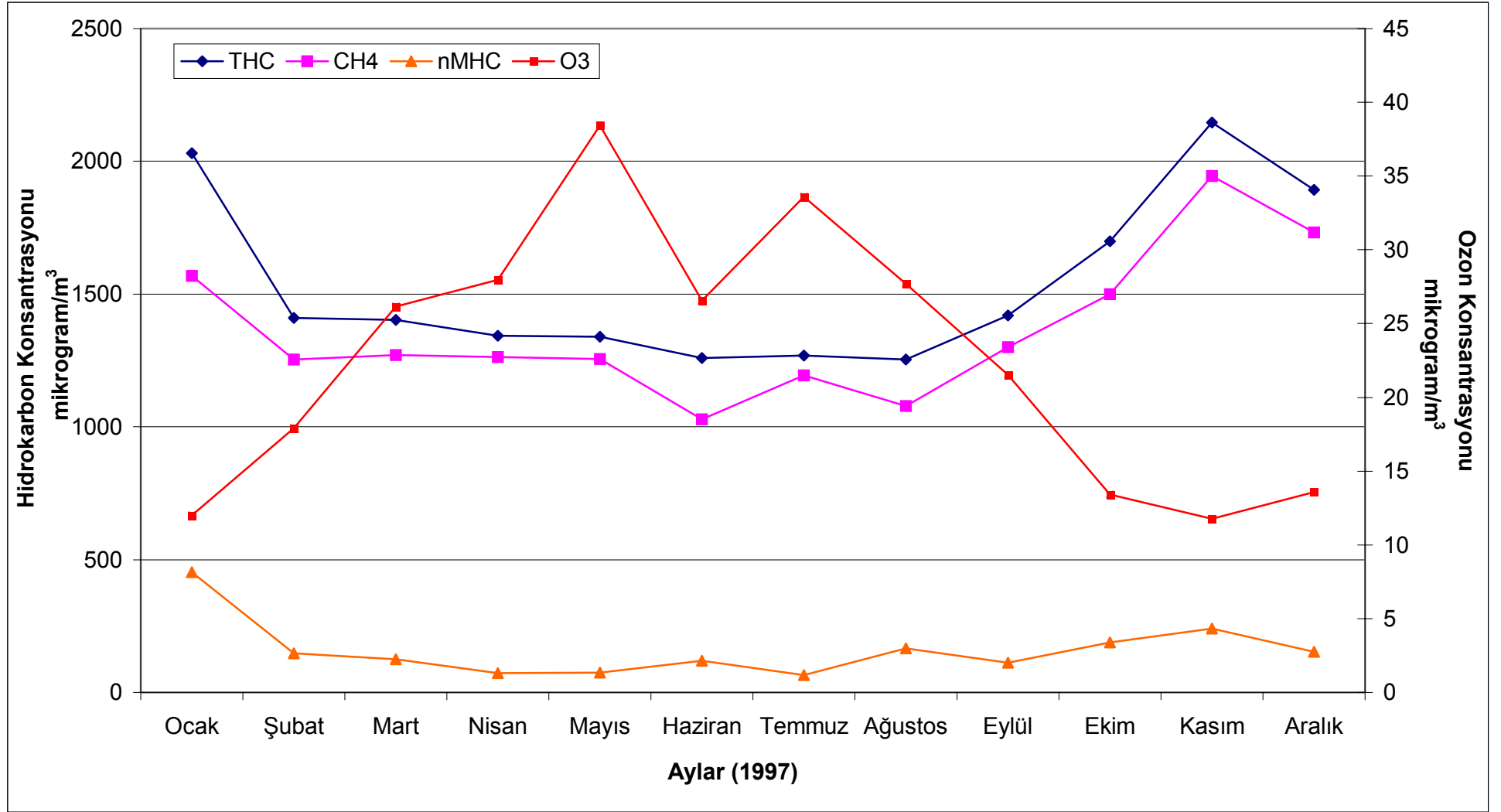
72 saatlik zaman diliminde takip edilmiş olan ozon ve hidrokarbon değişimi Şekil 5.57,5.58, 5.59'da verilmiş olup aynı karakteristik özellikler bu şekillerde de görülmektedir. Hidrokarbonların bir dizi kompleks reaksiyonlar boyunca NO'yu NO₂'ye dönüştürmesi ile ozon oluşumunu arttırması bu görüntüyü oluşturmaktadır.

Şekil 5.60'da 24 saatlik periyottaki azotoksit, hidrokarbon ve ozon konsantrasyonlarının değişimi görülmektedir (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, 2002). Öğle saatlerinde ozon konsantrasyonunun yükselmesine karşın azotoksit ve hidrokarbon konsantrasyonları azalmaktadır.

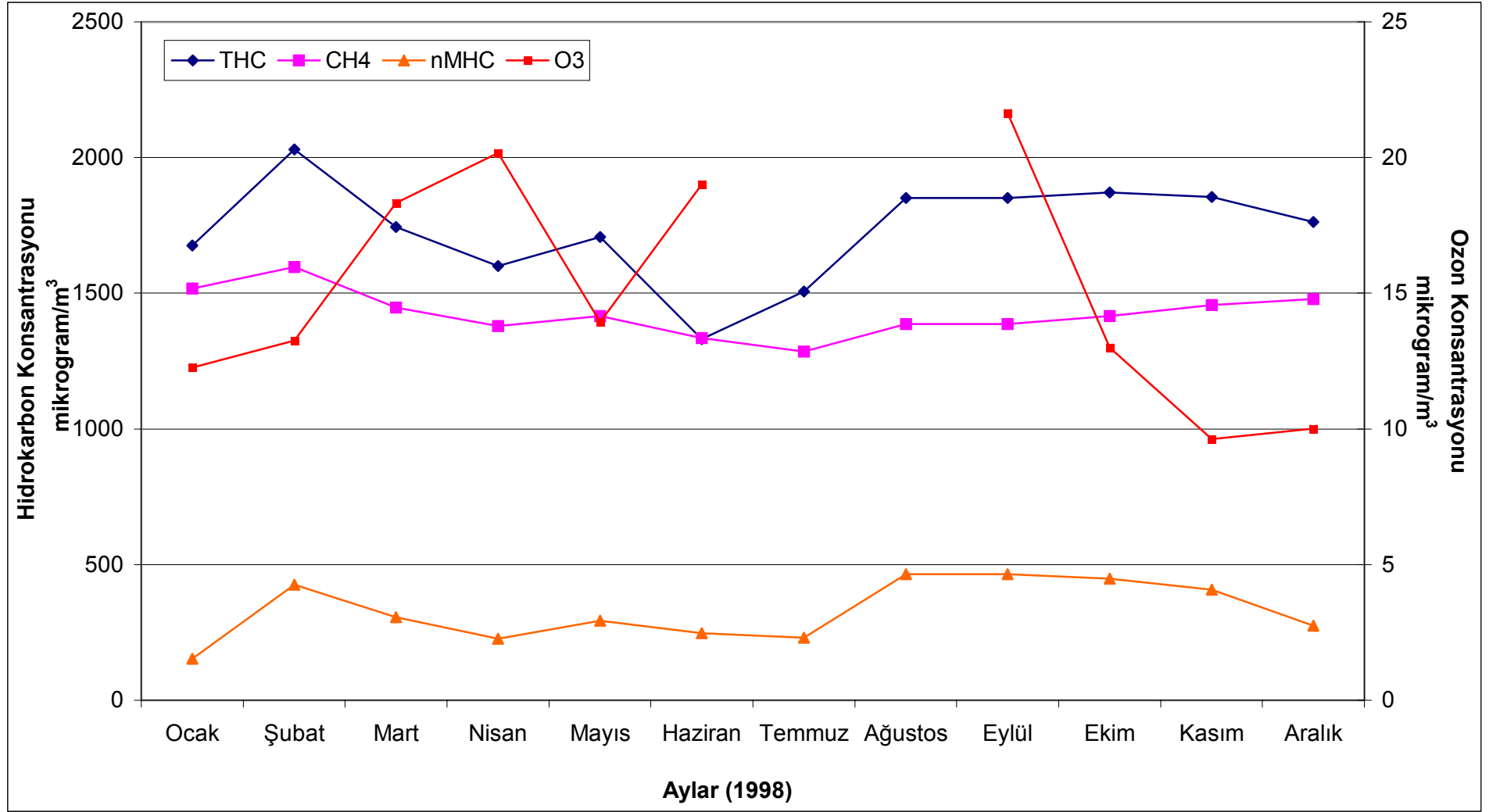
Şekil 5.61 ve 5.62'de 1996 ve 1997 yıllarındaki aylara göre nMHC ve ozon değişimi görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi hidrokarbonlar ve ozon arasında negatif bir ilişki vardır. Hidrokarbonlar fotokimyasal reaksiyonlar sonucu azotoksitlerle birlikte ozon meydana getirirler. Böylelikle hidrokarbon miktarında bir azalma ve ozon konsantrasyonunda bir artış gözlenmektedir.



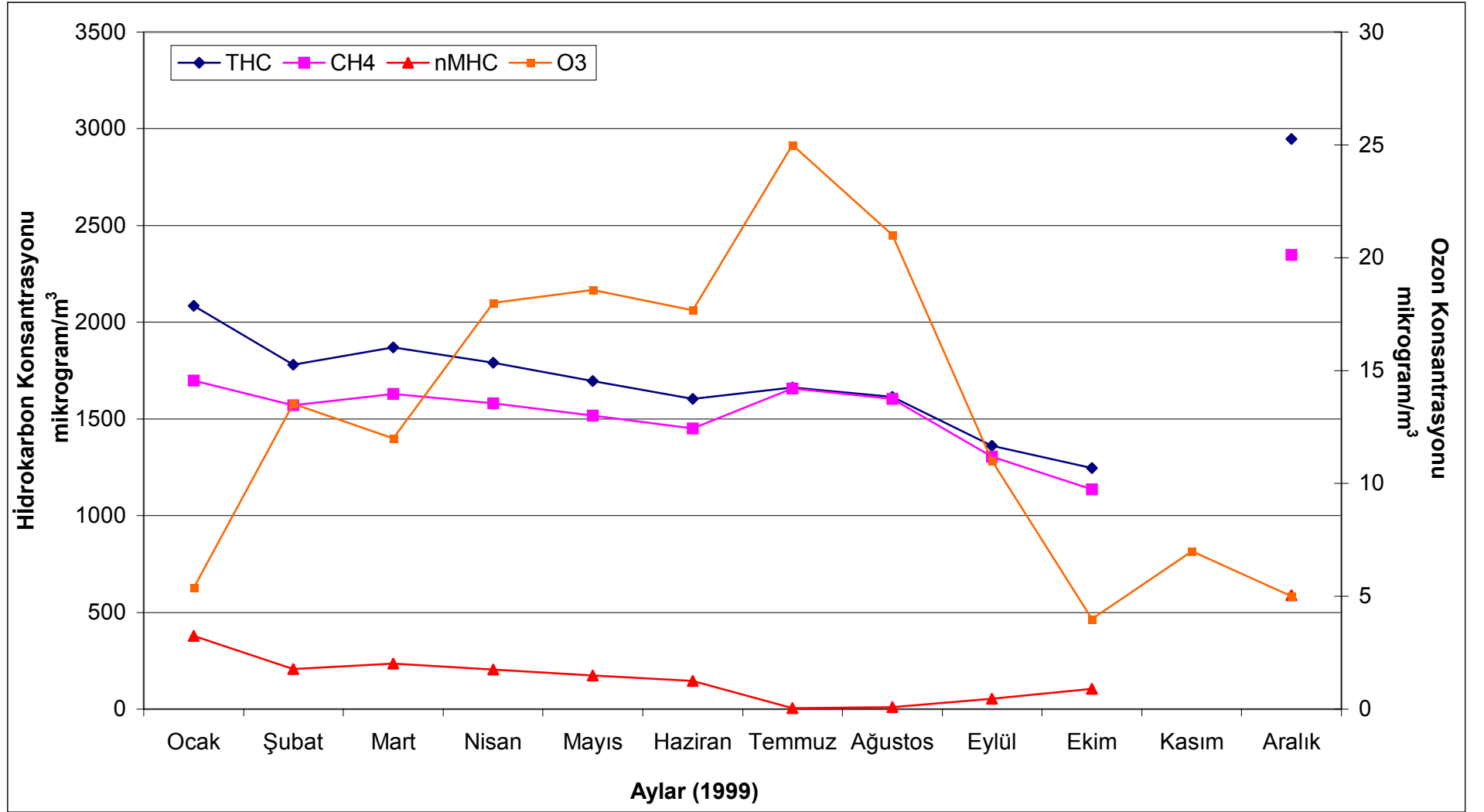
Şekil 5.50 Aylara göre hidrokarbon-ozon değişimi.



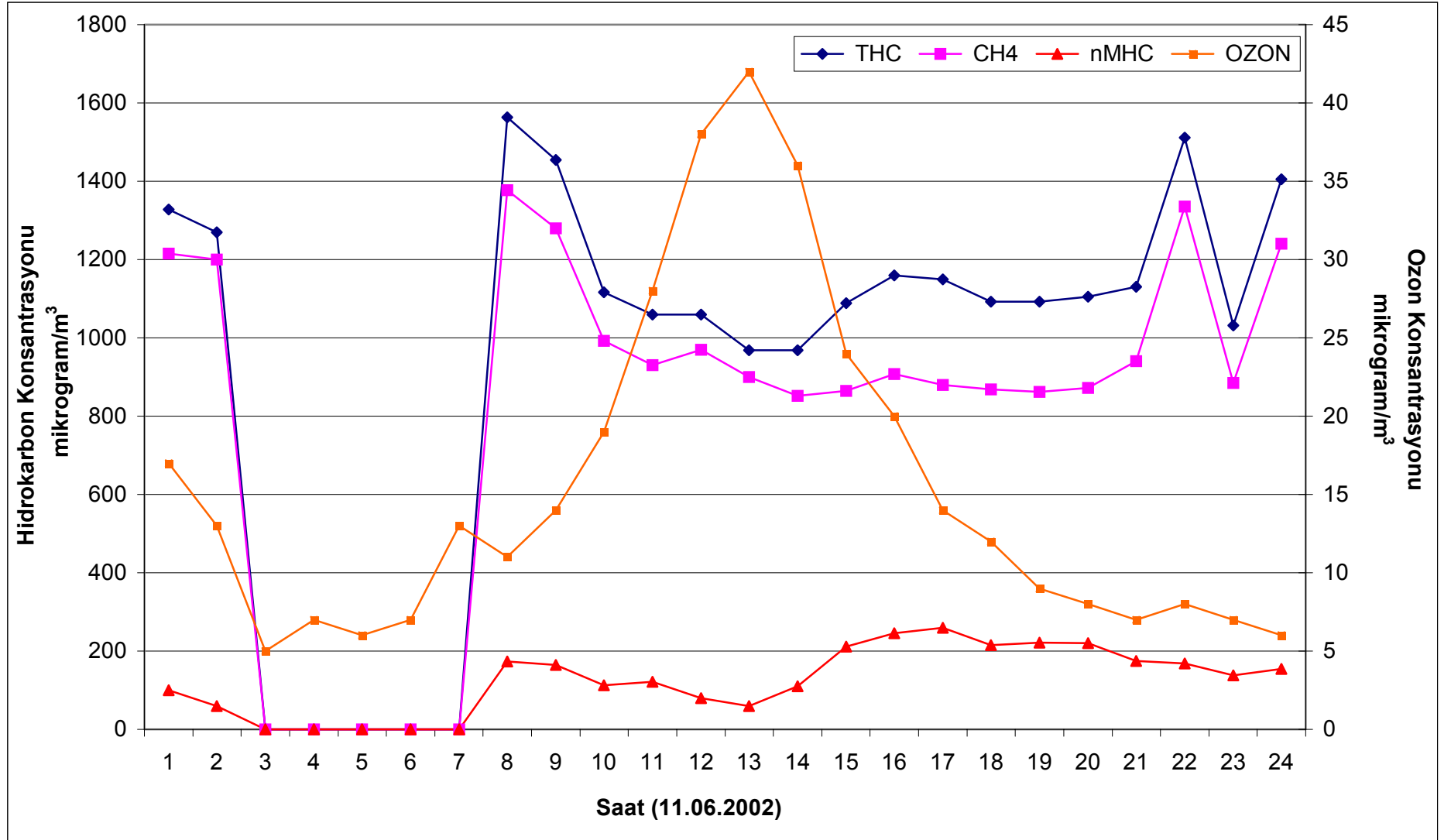
Şekil 5.51 Aylara göre hidrokarbon-ozon değişimi.



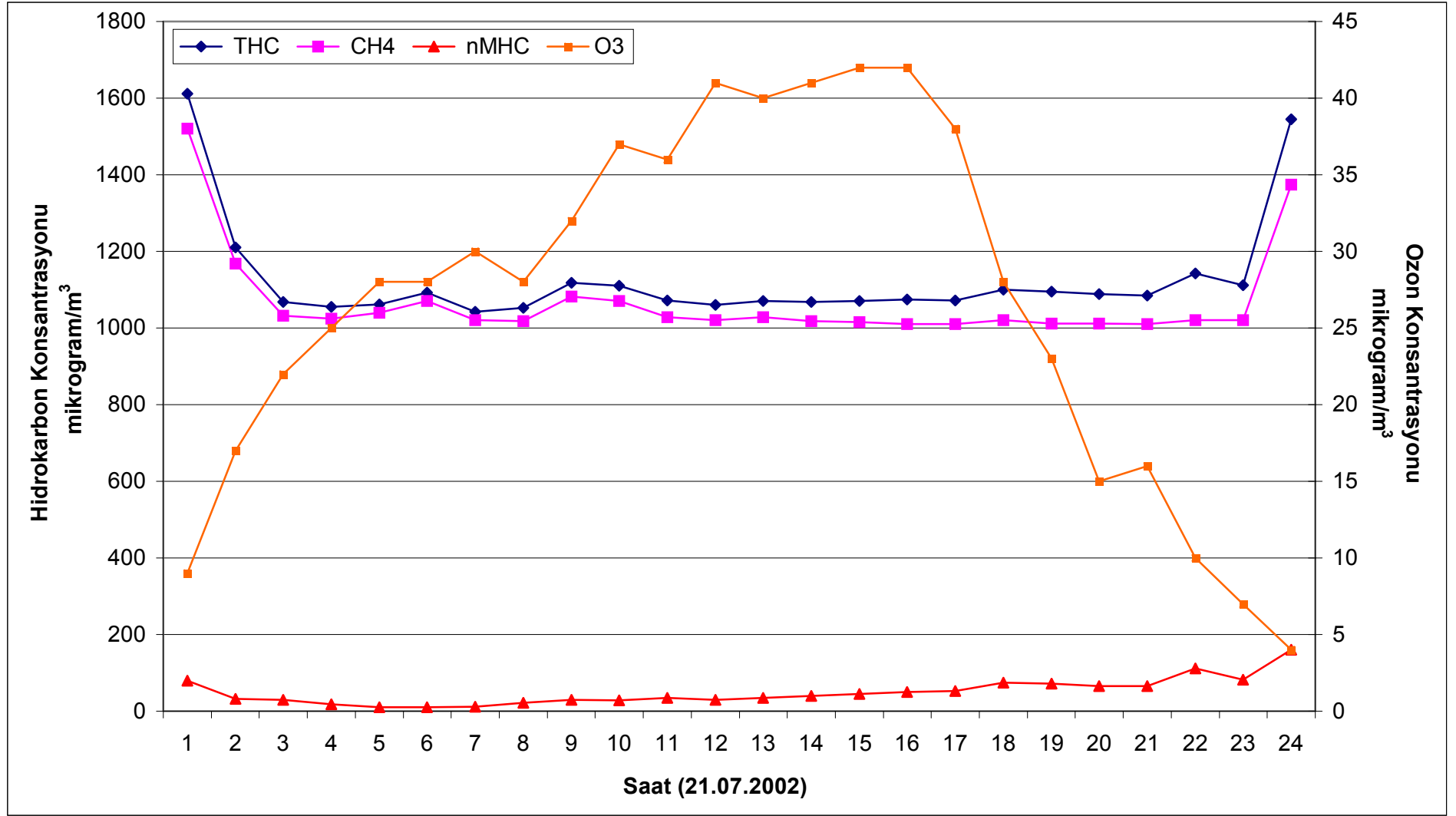
Şekil 5.52 Aylara göre hidrokarbon-ozon değişimi.



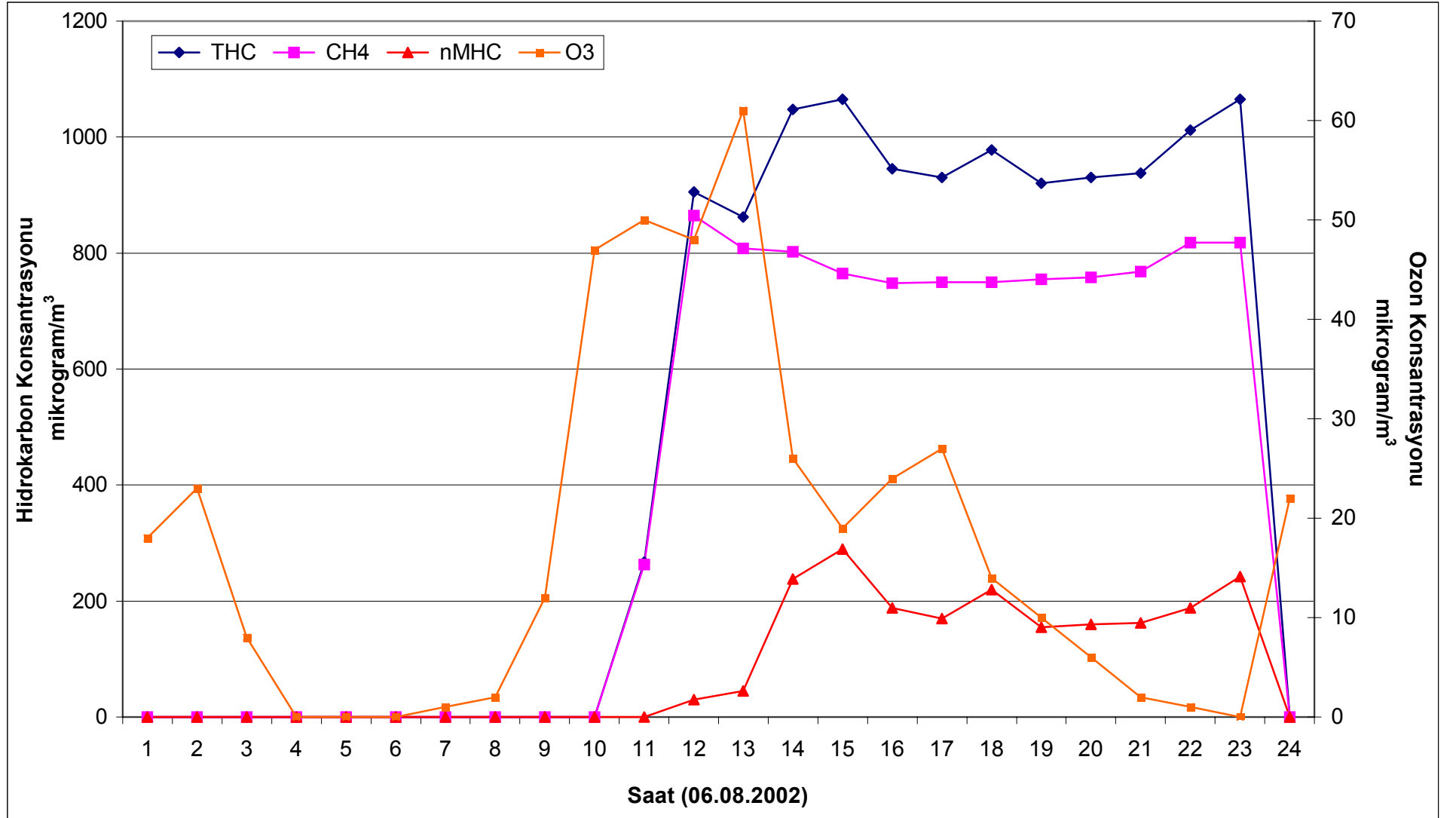
Şekil 5.53 Aylara göre hidrokarbon-ozon değişimi.



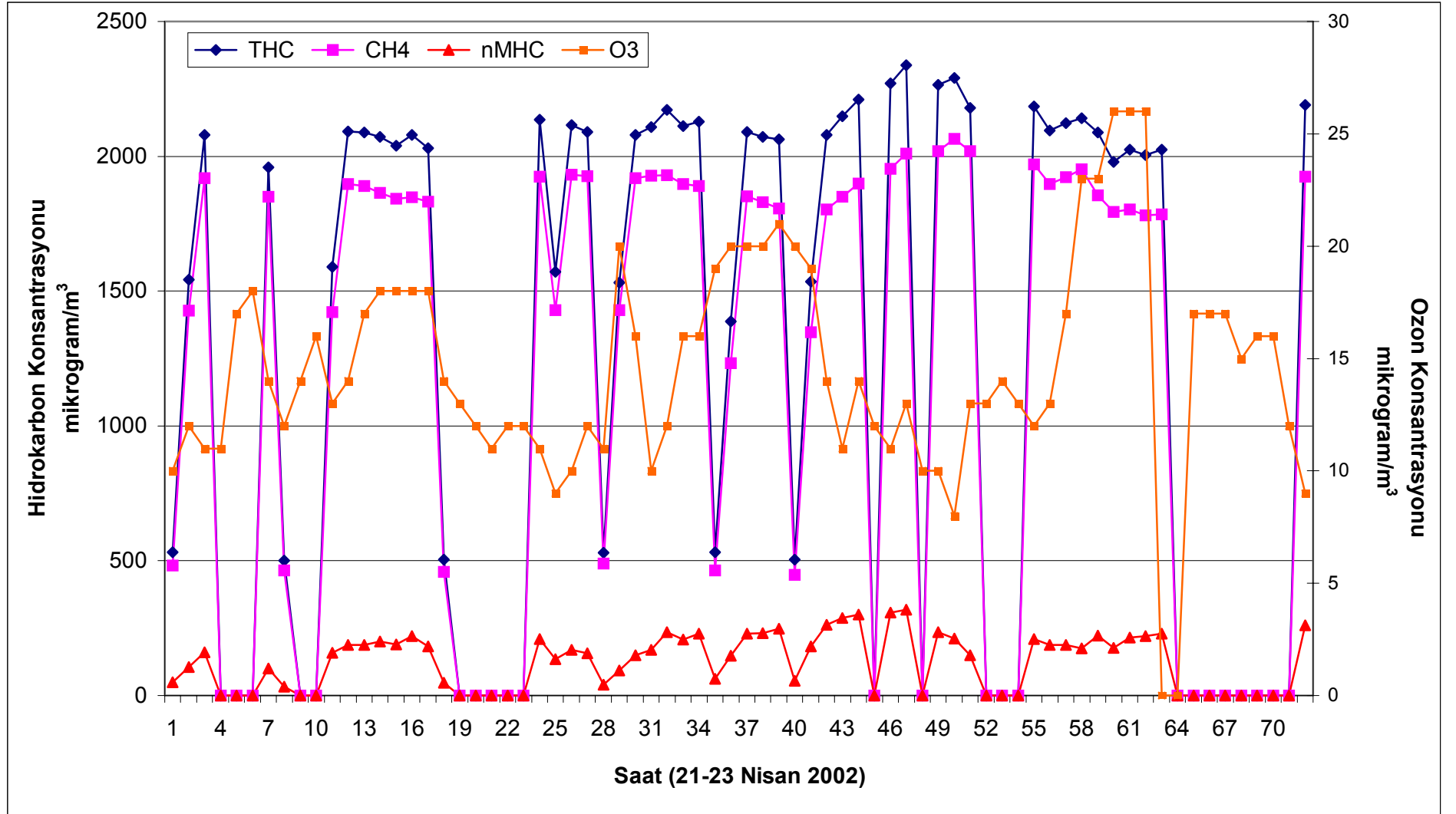
Şekil 5.54 24 saatlik periyotta saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.



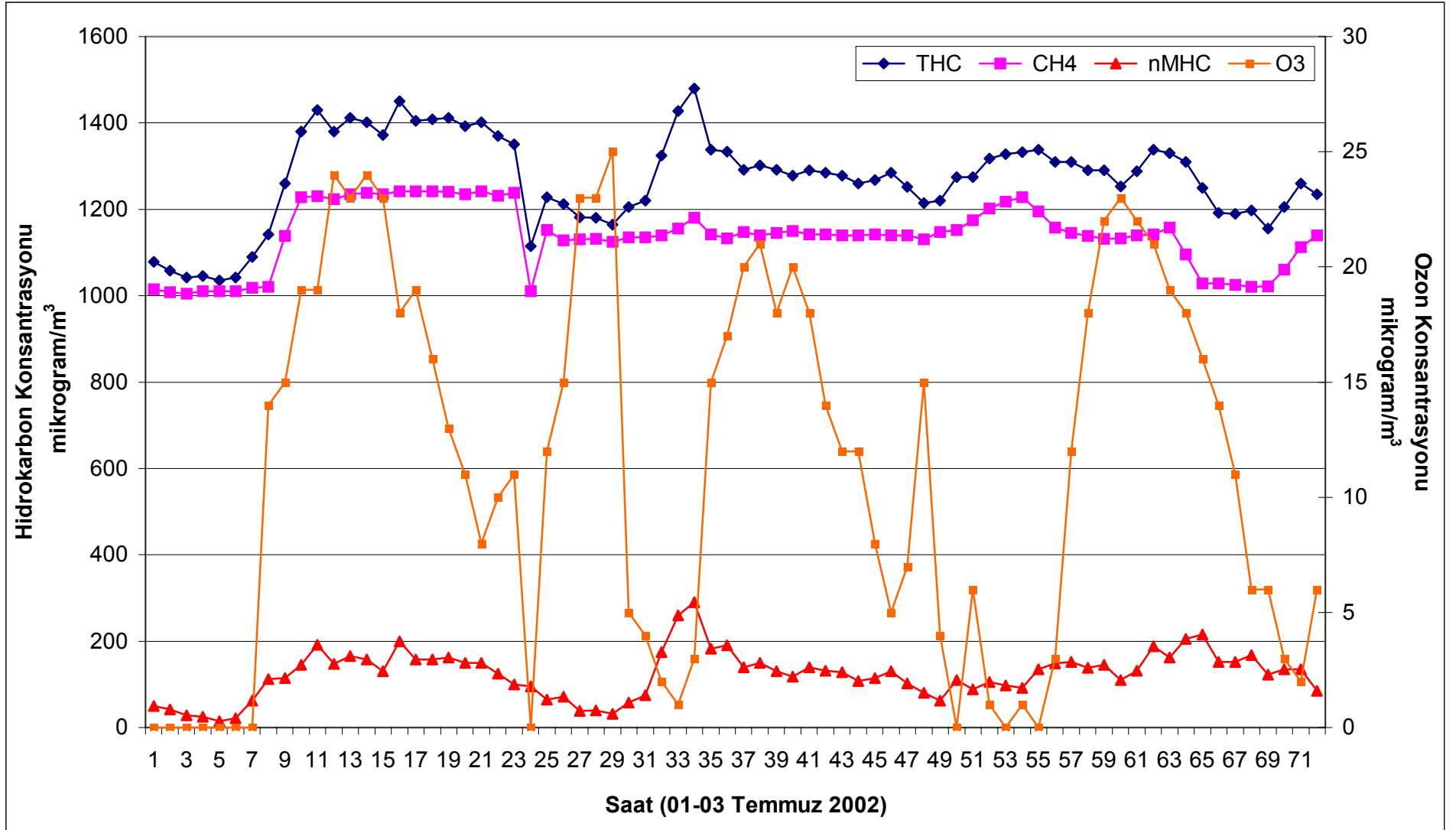
Şekil 5.55 24 saatlik periyotta saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.



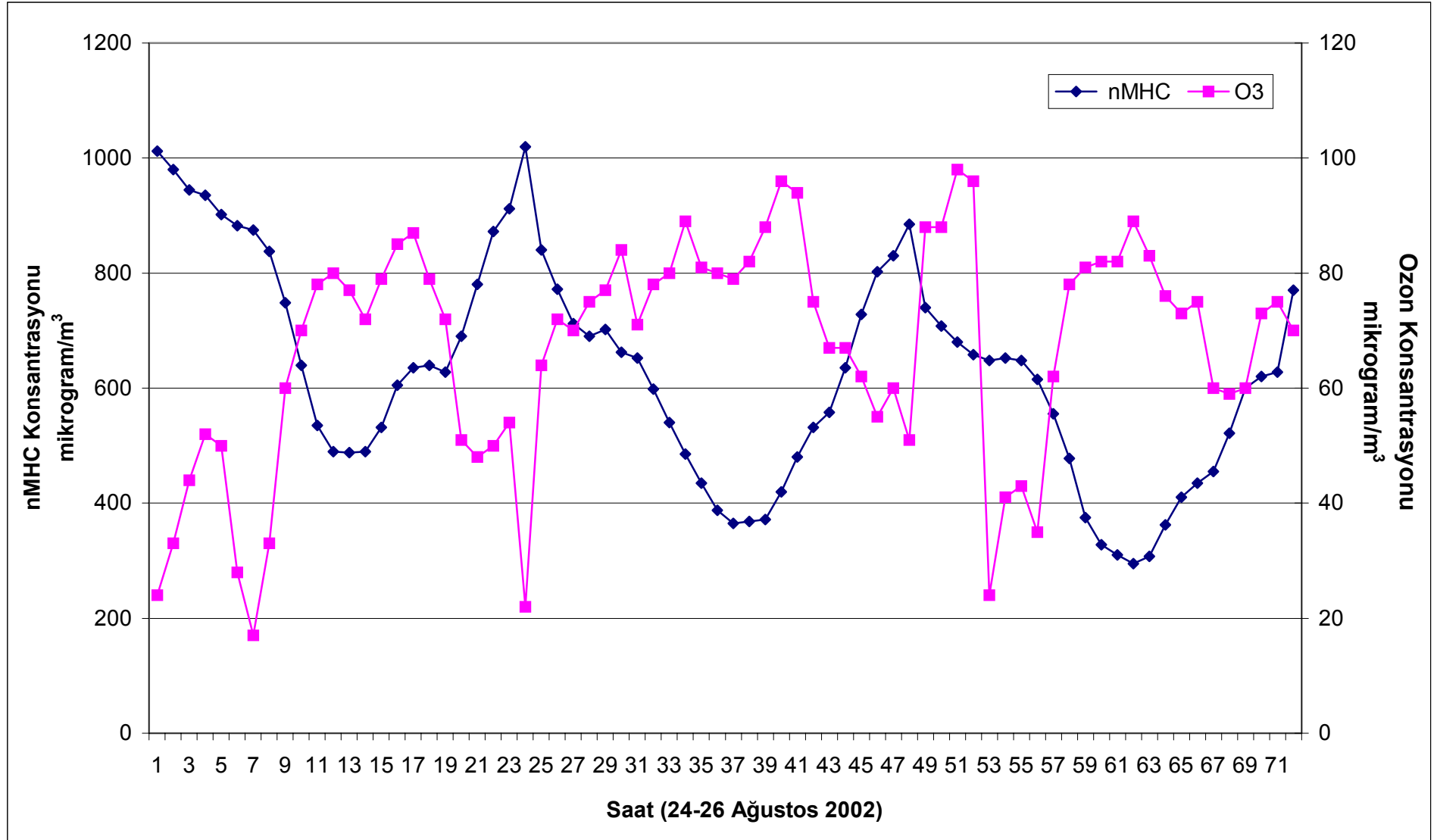
Şekil 5.56 24 saatlik periyotta saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.



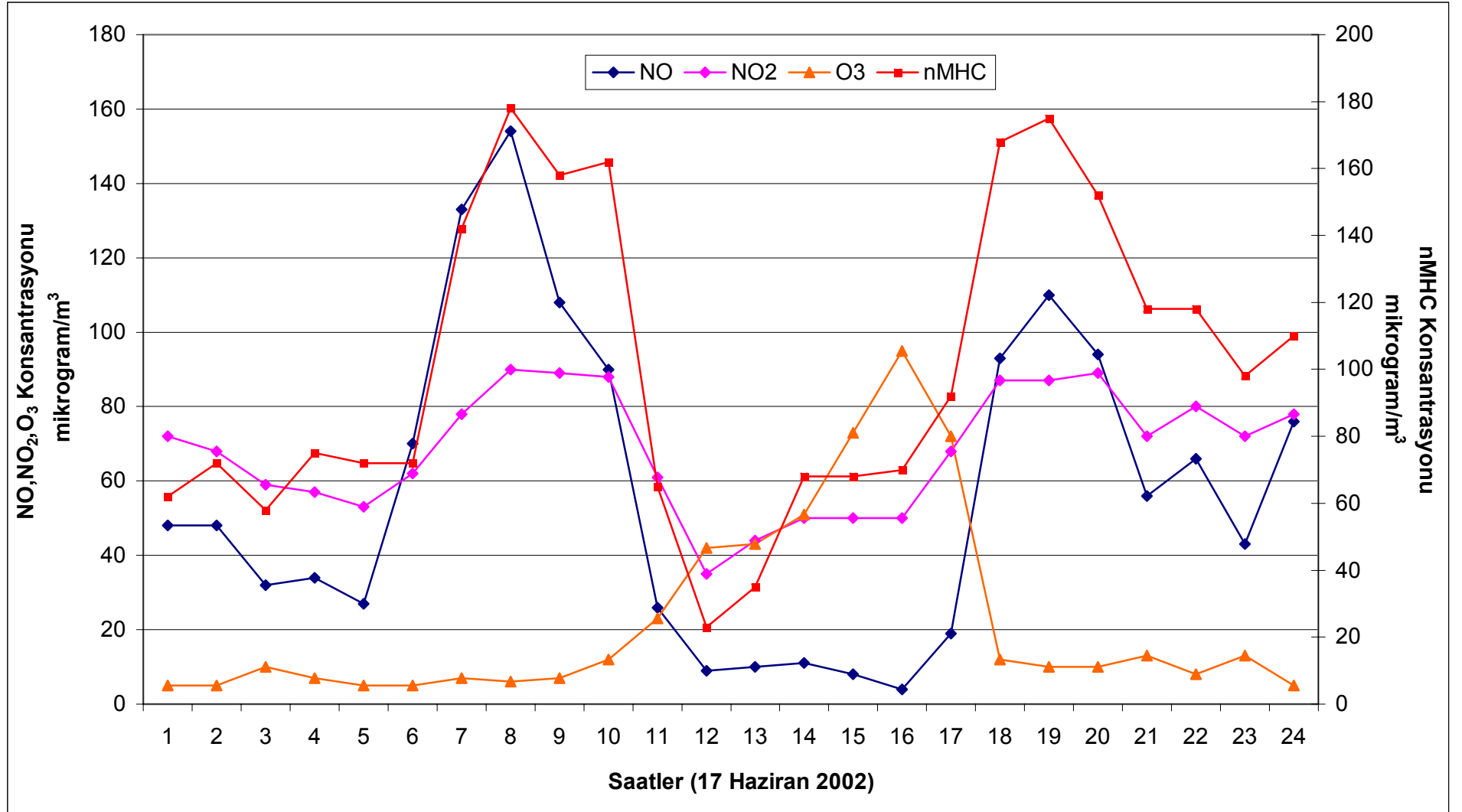
Şekil 5.57 72 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.(21-23/04/2002)



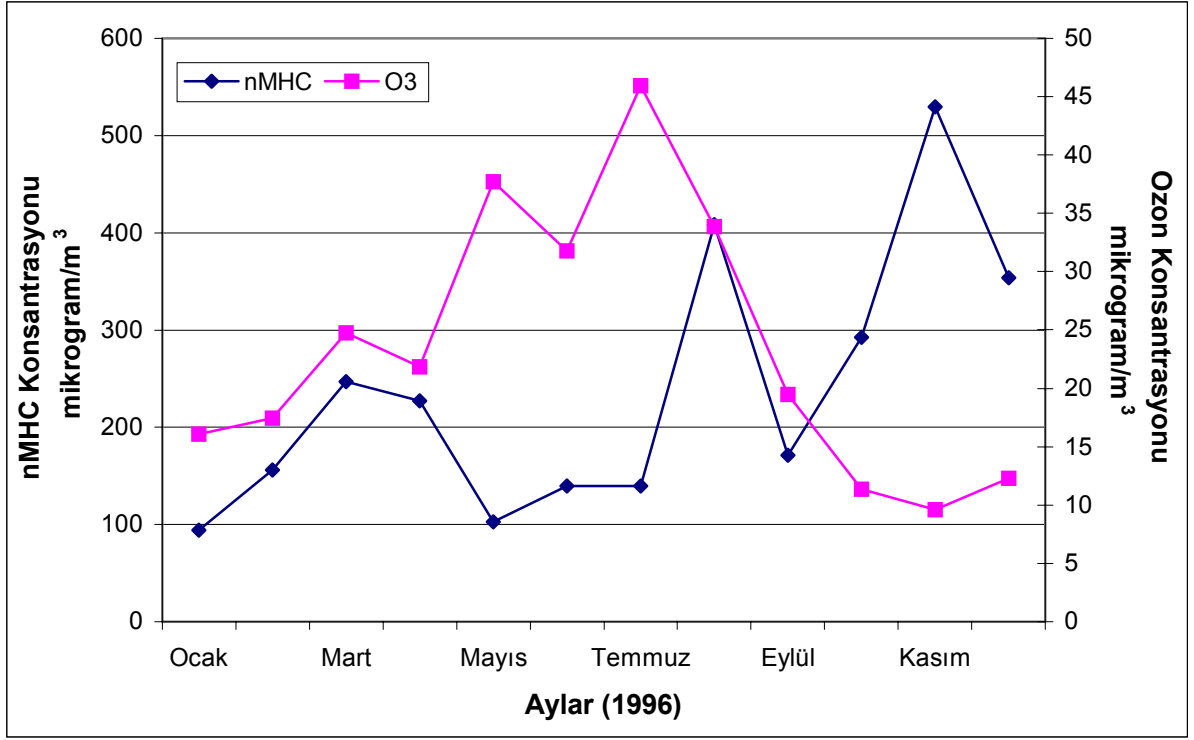
Şekil 5.58 72 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.(01-03/07/2002)



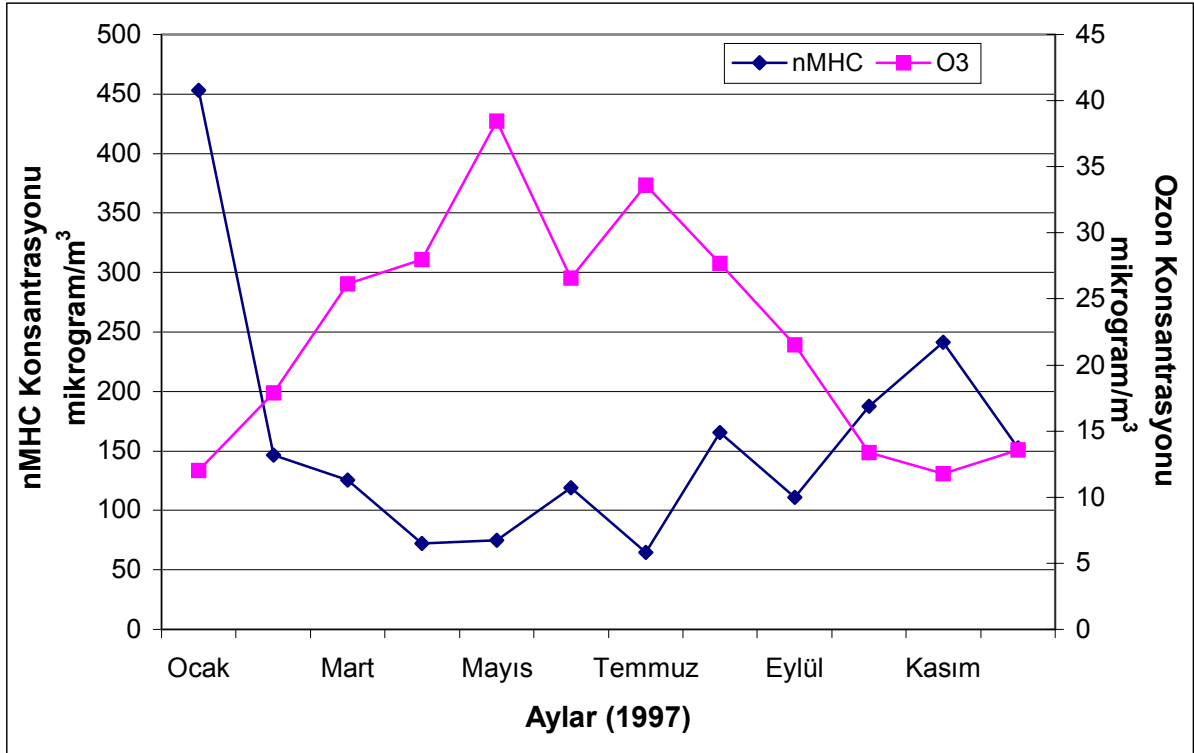
Şekil 5.59 72 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon-ozon değişimi.(24-26/08/2002)



Şekil 5.60 24 saatlik periyottaki saatlik azotoksit- hidrokarbon-ozon değişimi.



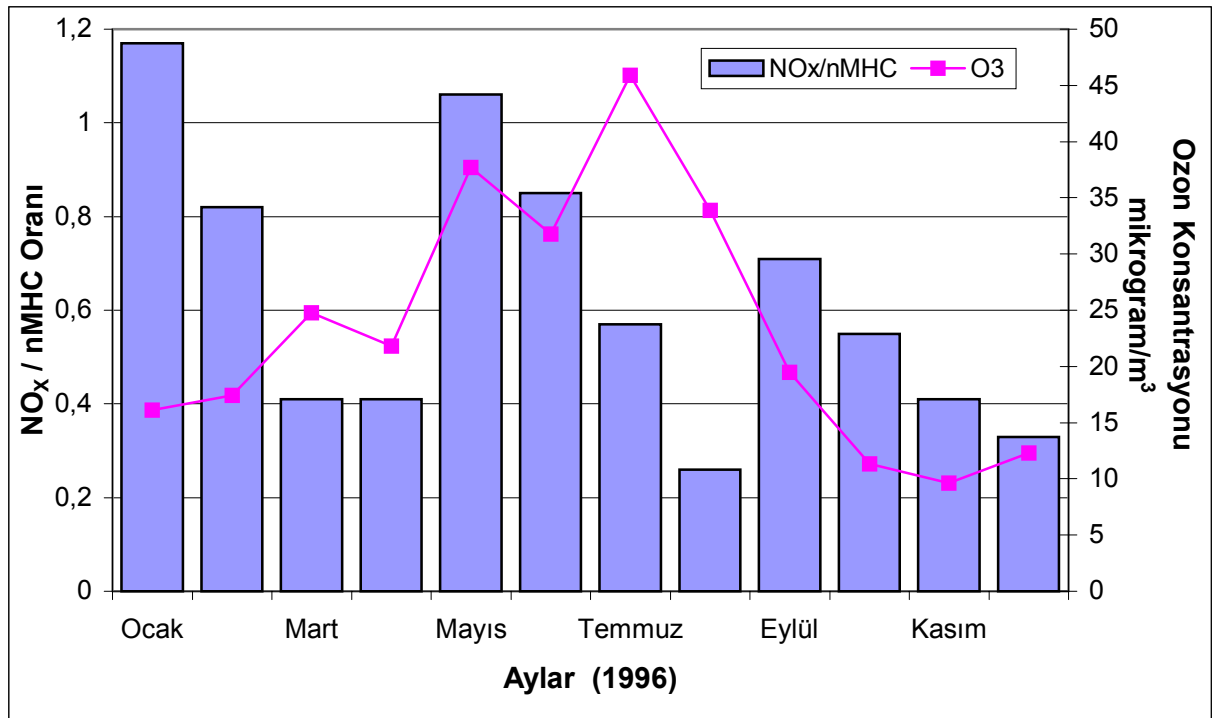
Şekil 5.61 Aylara göre nMHC-ozon değişimi (1996).



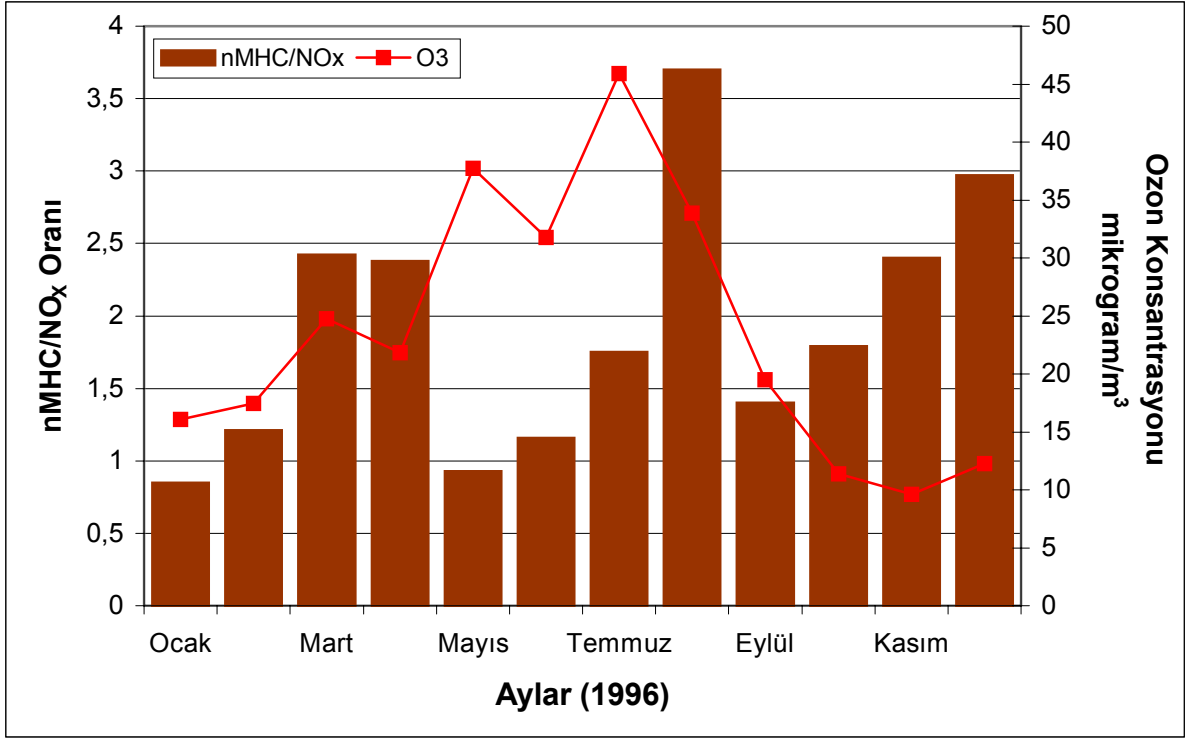
Şekil 5.62 Aylara göre nMHC-ozon değişimi (1997).

Şekil 5.63, 5.65, 5.67, 5.69, 5.71, 5.73’de yıllara göre aylık NO_x / nMHC oranları, Şekil 5.64, 5.66, 5.68, 5.70, 5.72, 5.74’de ise nMHC / NO_x oranlarının değişimleri verilmiştir (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri).

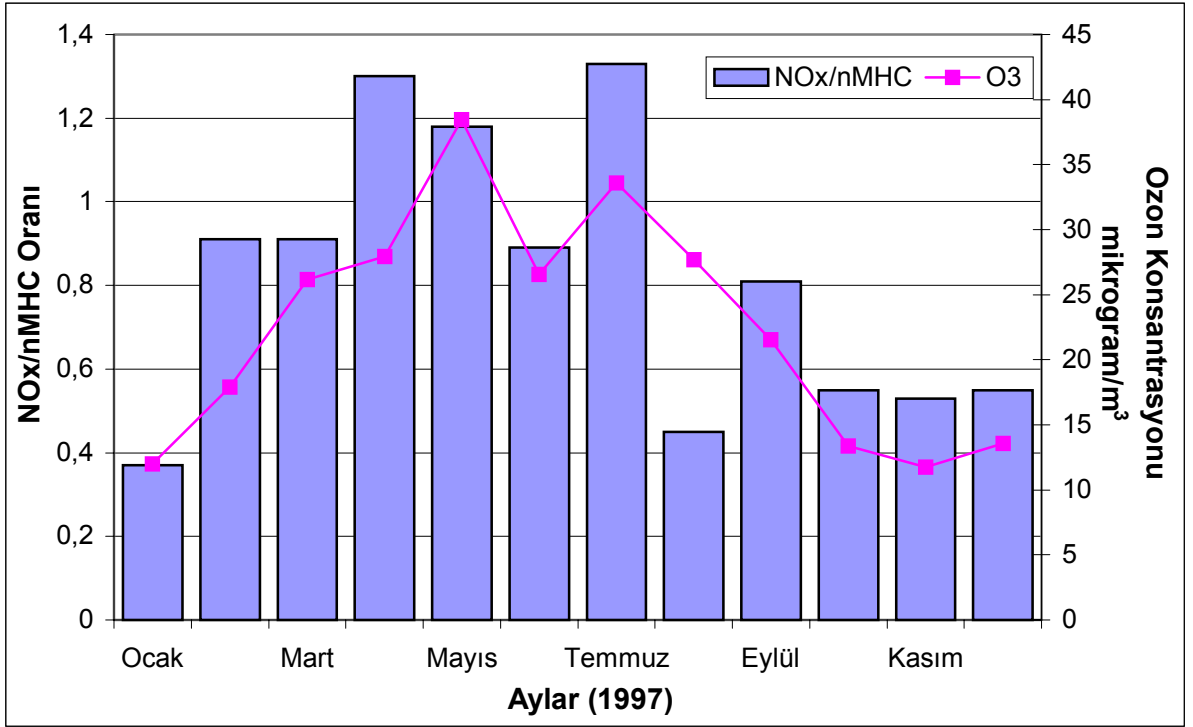
Ozon; atmosferde birincil kirletici olmayıp, ancak güneş ışığı varlığında uçucu organik bileşikler (VOC veya nMHC) ile NO_x gazlarının kimyasal reaksiyonu sonucu meydana gelmektedir. Ozon gazının atmosferdeki konsantrasyonunu azaltmak için nMHC ve NO_x gazlarının atmosferdeki konsantrasyonlarını sınırlandırmak gerekmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi NO_x / nMHC oranının ozon konsantrasyonuyla artması azot oksitlerin reaktifliklerinin daha yüksek olduğunu gösterir. Dolayısıyla ozon oluşumunda etkili kaynak bu durumda azotoksitlerdir. nMHC / NO_x oranlarının artmasıyla ozon konsantrasyonunun arttığı durumlarda ise hidrokarbonların reaktiflikleri daha yüksektir ve ozon oluşumunda azotoksitlerden daha etkili konumdadırlar. Ozon sentezini geciktirecek kadar düşük nMHC/ NO_x oranları kent merkezlerinde ve NO kaynağının rüzgar bölgelerinde olabilir. Kırsal bölgelerde nMHC / NO_x oranları yüksekse bunun nedeni güçlü yerel NO_x kaynaklarının bulunmasıdır. Şehir trafiğinin yoğun olduğu şehir içi bölgelerde nMHC / NO_x oranı 8/1 ile 15/1 arasında değişmektedir.



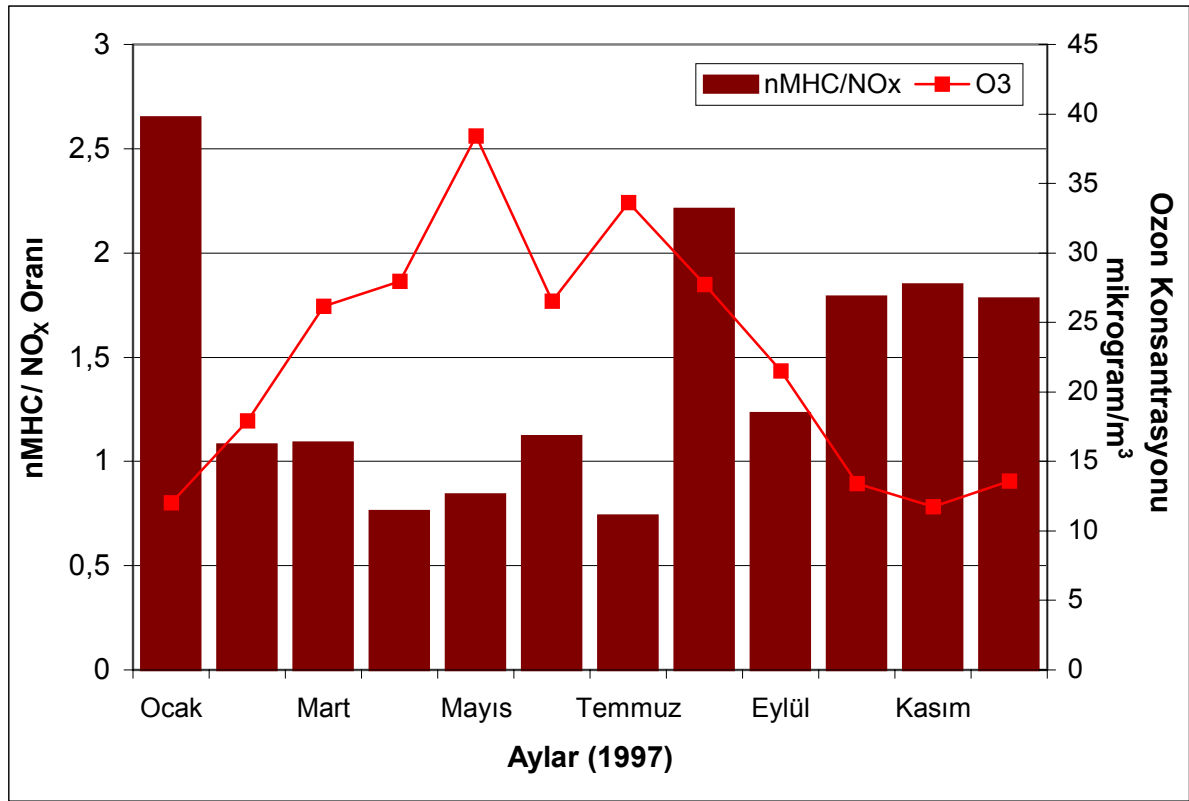
Şekil 5.63 NO_x / nMHC oranının aylara göre ozon ile değişimi. (1996)



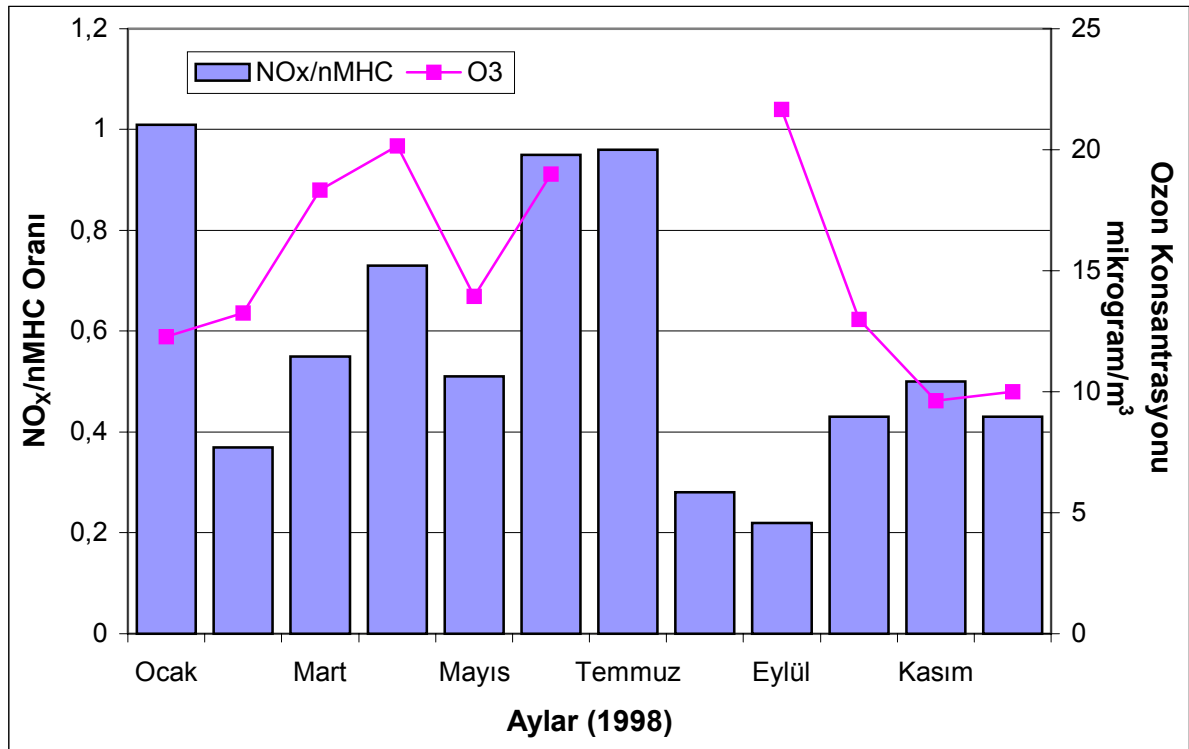
Şekil 5.64 nMHC / NO_x oranının aylara göre ozon ile değişimi. (1996)



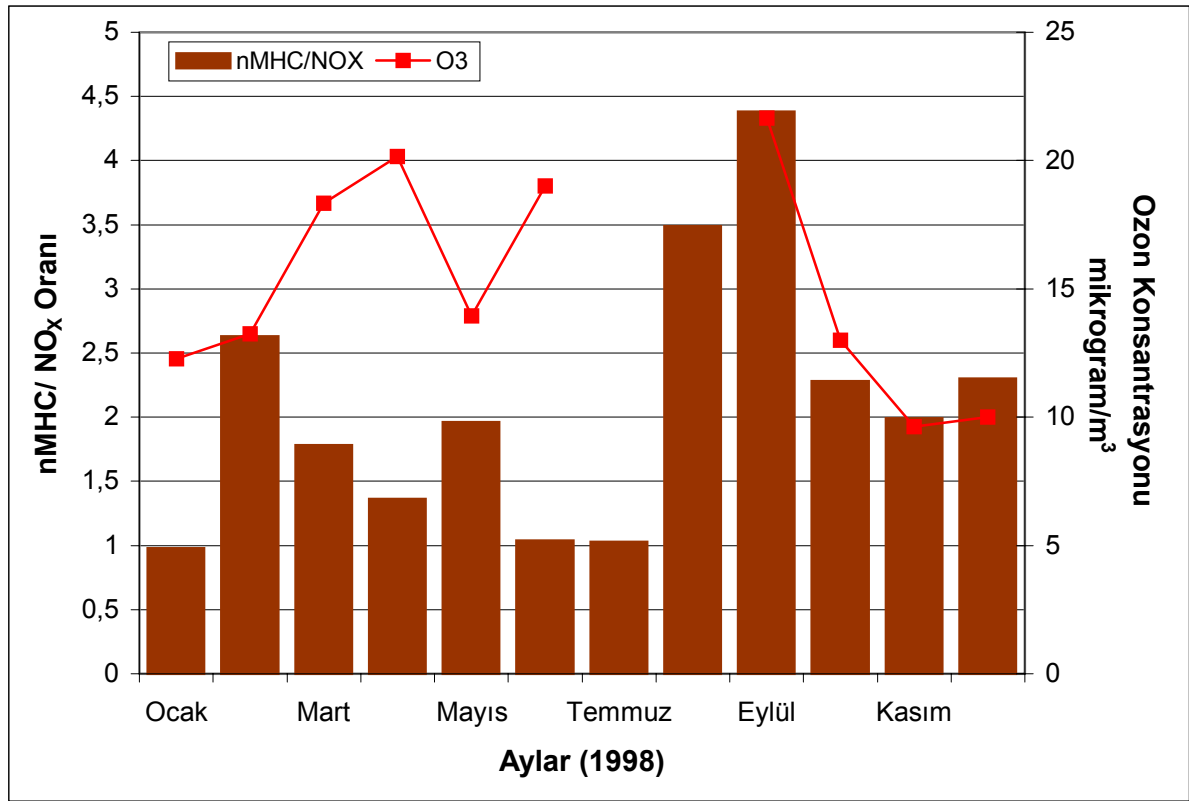
Şekil 5.65 NO_x/ nMHC oranının aylara göre ozon ile değişimi. (1997)



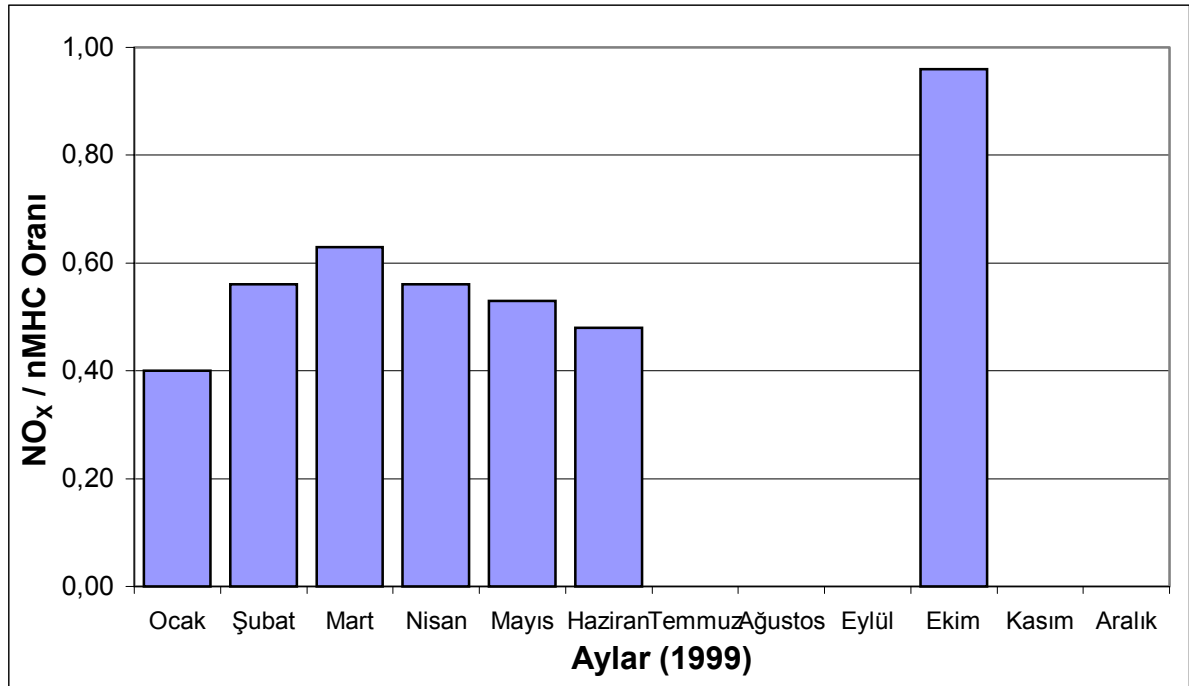
Şekil 5.66 nMHC / NO_x oranının aylara göre ozon ile değişimi. (1997)



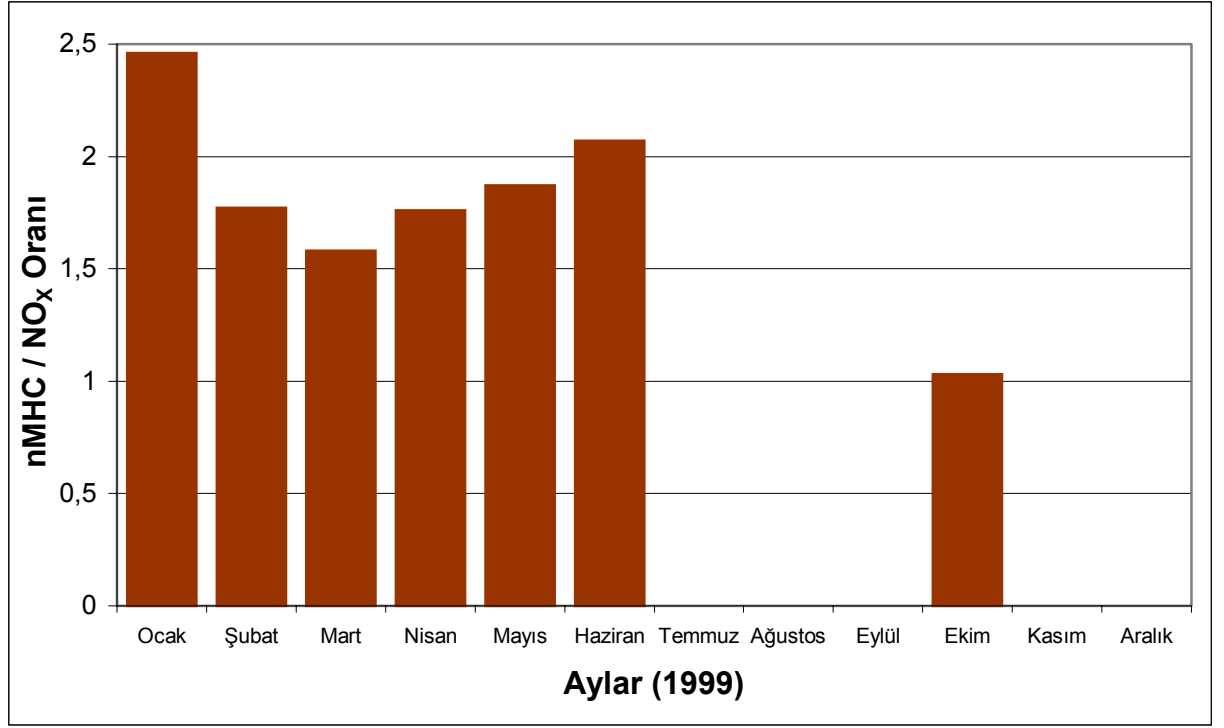
Şekil 5.67 NO_x/ nMHC oranının aylara göre ozon ile değişimi. (1998)



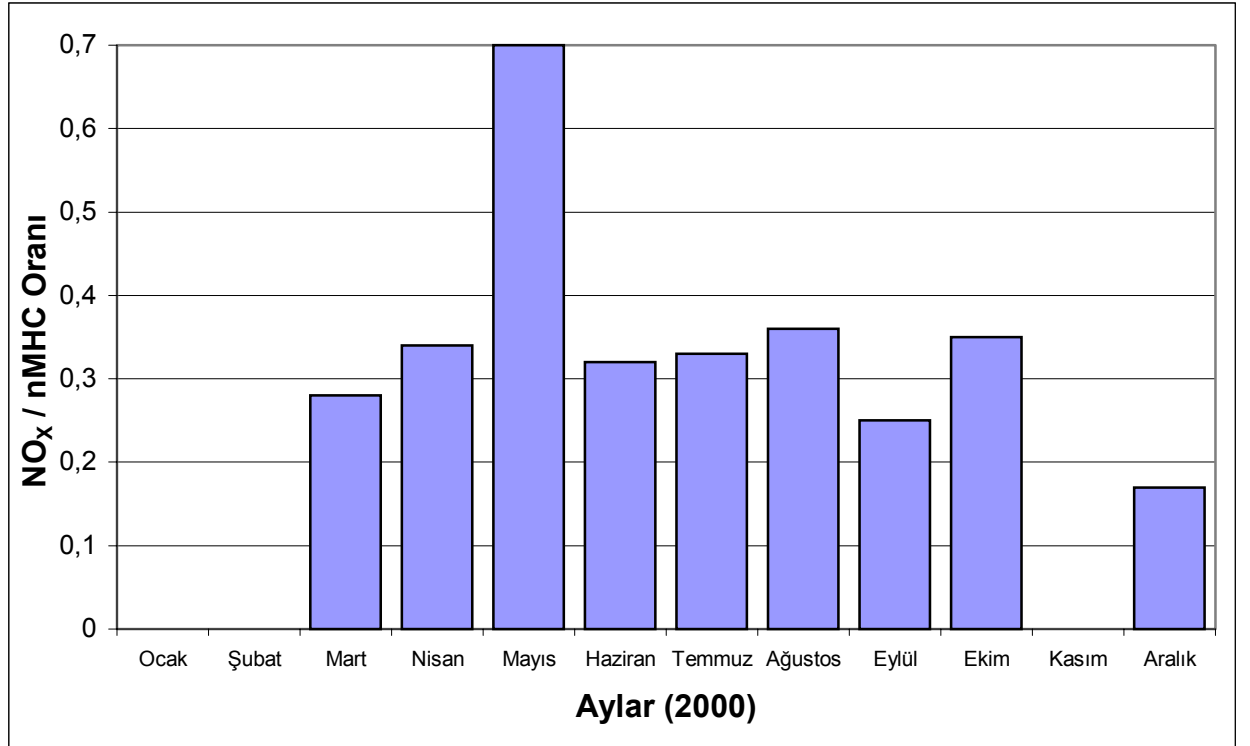
Şekil 5.68 nMHC / NO_x oranının aylara göre ozon ile değişimi. (1998)



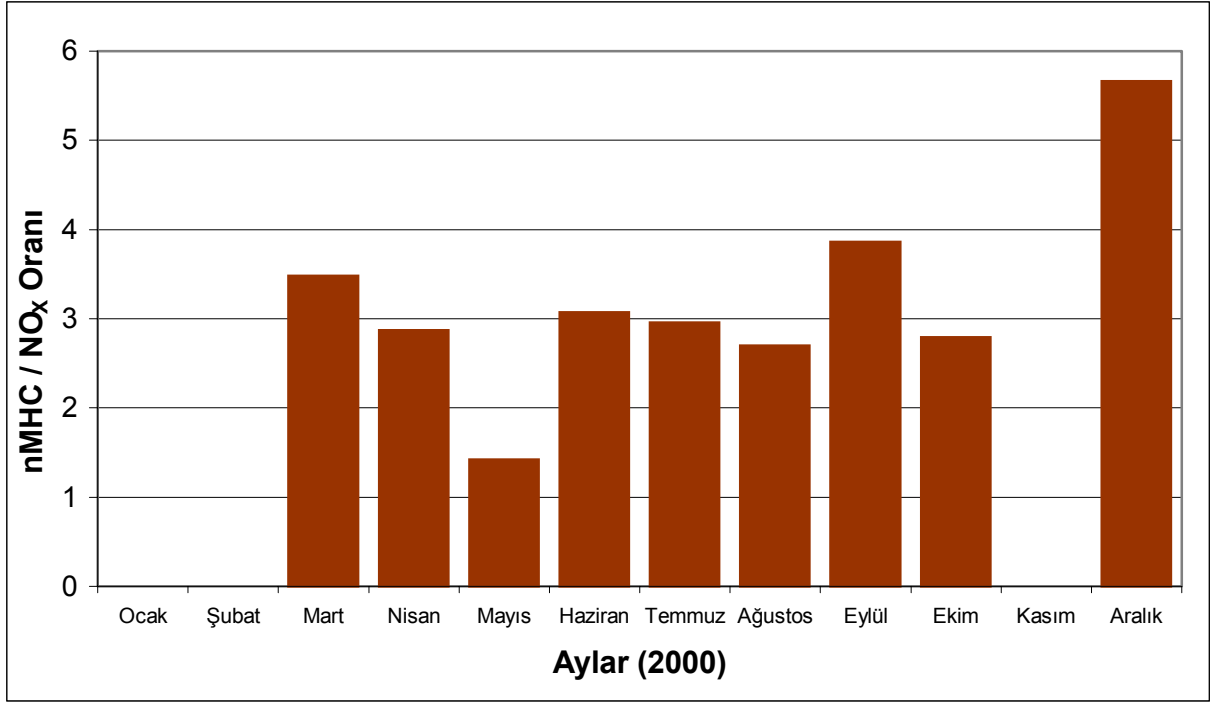
Şekil 5.69 NO_x/ nMHC oranının aylara göre dağılımı. (1999)



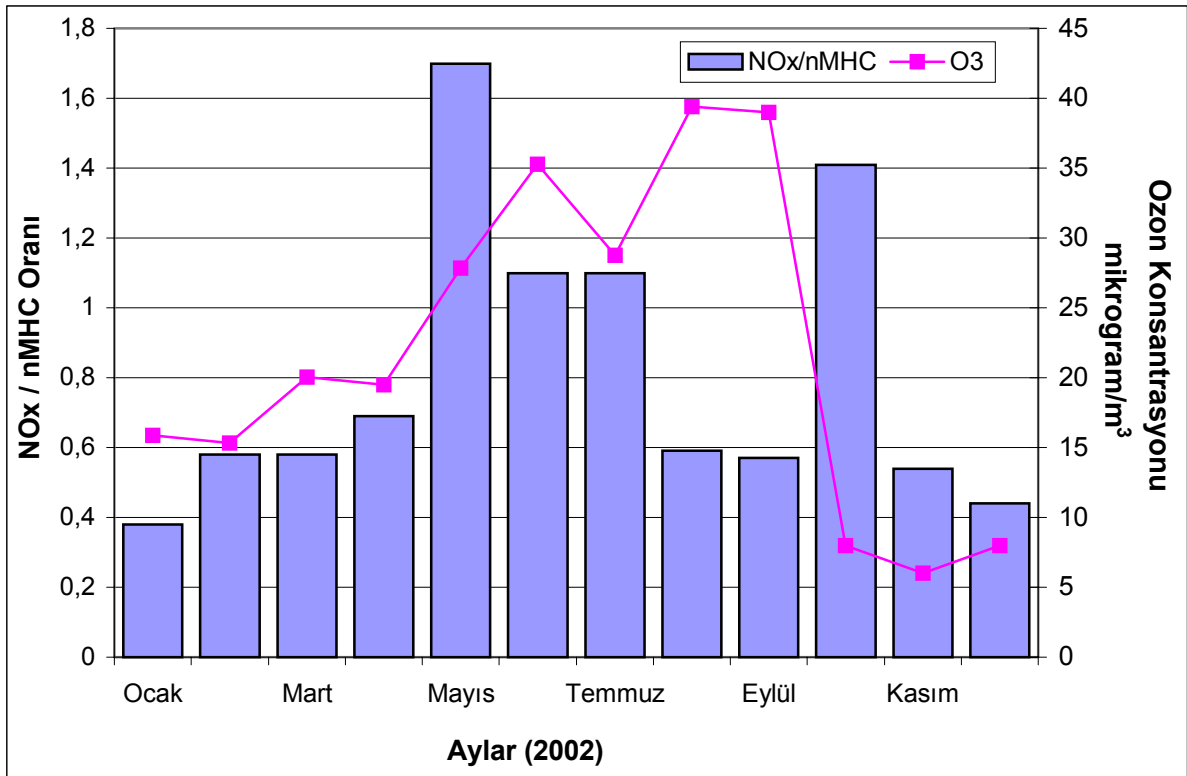
Şekil 5.70 nMHC / NO_x oranının aylara göre dağılımı. (1999)



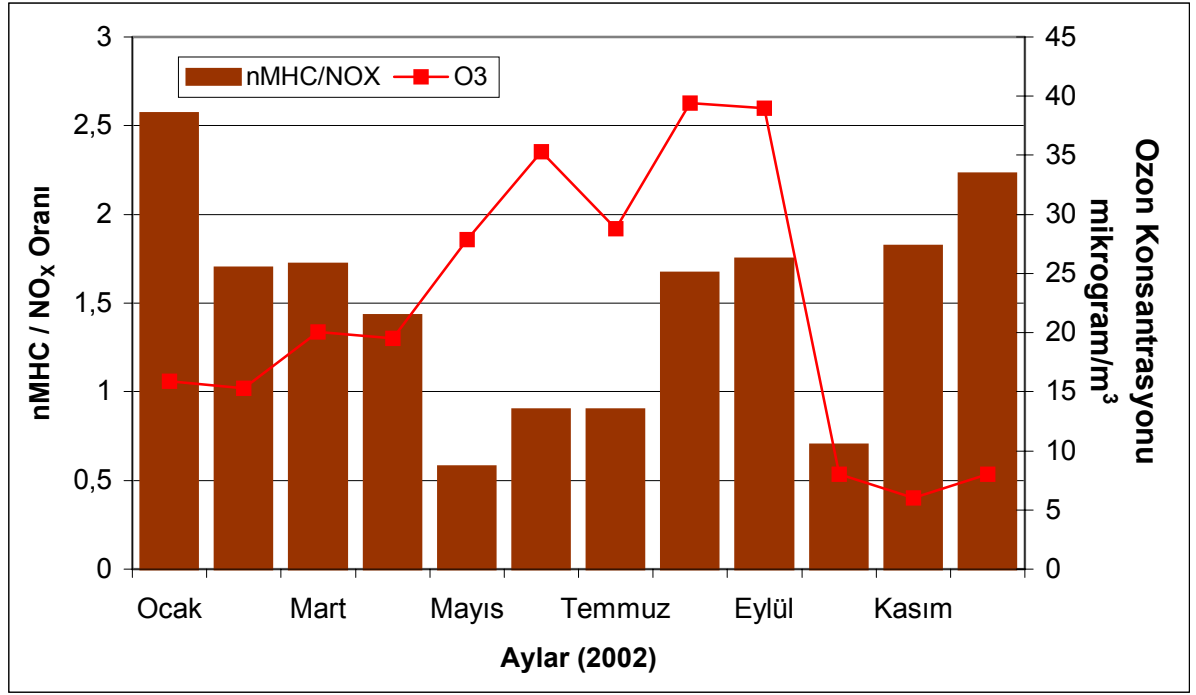
Şekil 5.71 NO_x / nMHC oranının aylara göre dağılımı. (2000)



Şekil 5.72 nMHC / NO_x oranının aylara göre dağılımı. (2000)



Şekil 5.73 NO_x / nMHC oranının aylara göre ozon ile değişimi. (2002)



Şekil 5.74 nMHC / NO_x oranının aylara göre ozon ile değişimi. (2002)

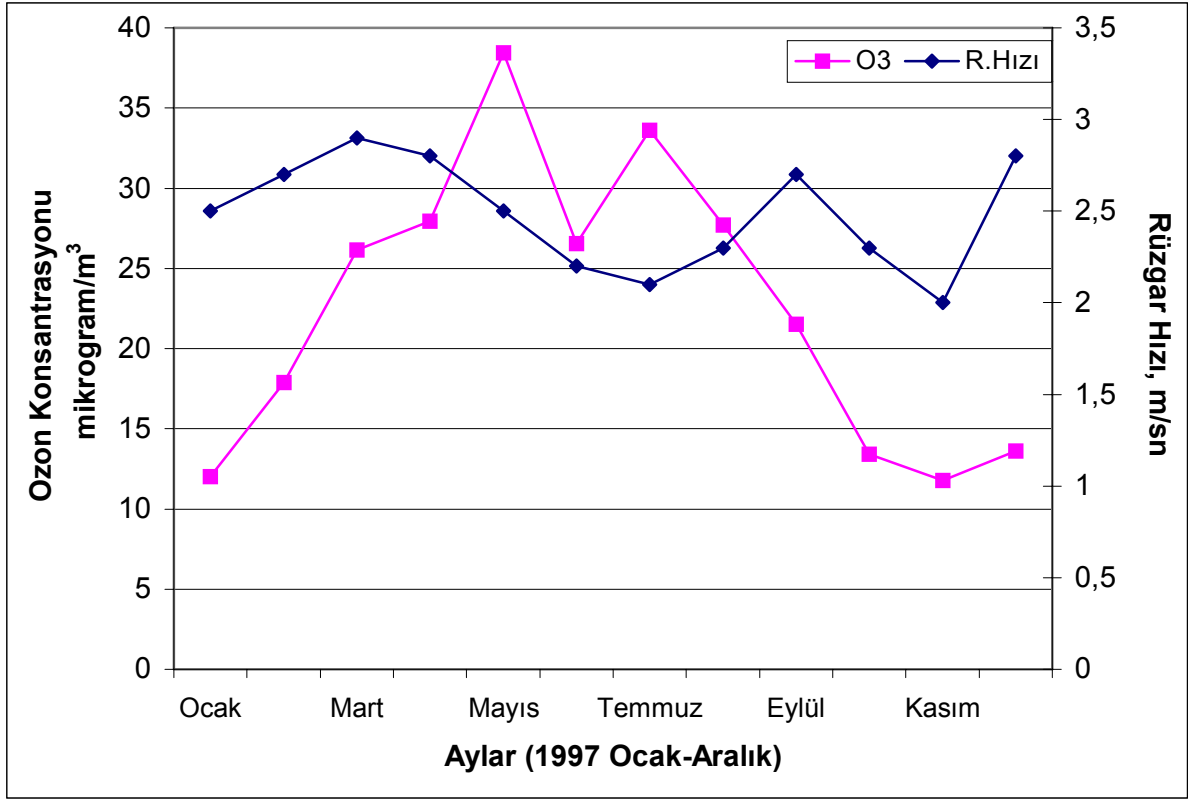
5. 5 Ozon – Rüzgar Hızı İlişkisi

Rüzgar hızı kirleticilerin atmosfer içindeki hareketlerini belirleyen en önemli mekanizmalardan biridir. Rüzgar hızının yatay ve düşey bileşeni kirleticilerin dağılımında rol oynar, kirleticilerin difüzyonunu, seyrelmesini ve taşınmasını sağlar. Ozon oluşumunda azotoksitler ve hidrokarbonların rüzgarla, bölgesel taşınması da ozonun önemli kaynaklarındandır. Bu özelliği ile rüzgar hızı ve esme yönü direkt olarak ozon oluşumuna etki etmez; ozon ve ozon oluşumuna etkisi olan parametrelerin taşınması ile ozon konsantrasyonu ikinci dereceden etkilenmektedir. Örneğin Trakya Bölgesinde bulunan termik santrallerden NO₂ kirleticilerinin yatay yönde taşınımı ile ozon oluşturuvcu kirleticilerin İstanbul Bölgesine hakim rüzgar yönünden dolayı taşınması mümkündür. Ozon kirleticisi gündüz saatlerinde atmosferde konvektif hareket sonucu atmosferin üst bölgelerine dikey yönde taşınması, birikmesi ve sakin gecelerde yere doğru dikey yönde taşınması sonucu zaman zaman gece ozon piklerine neden olmaktadır.

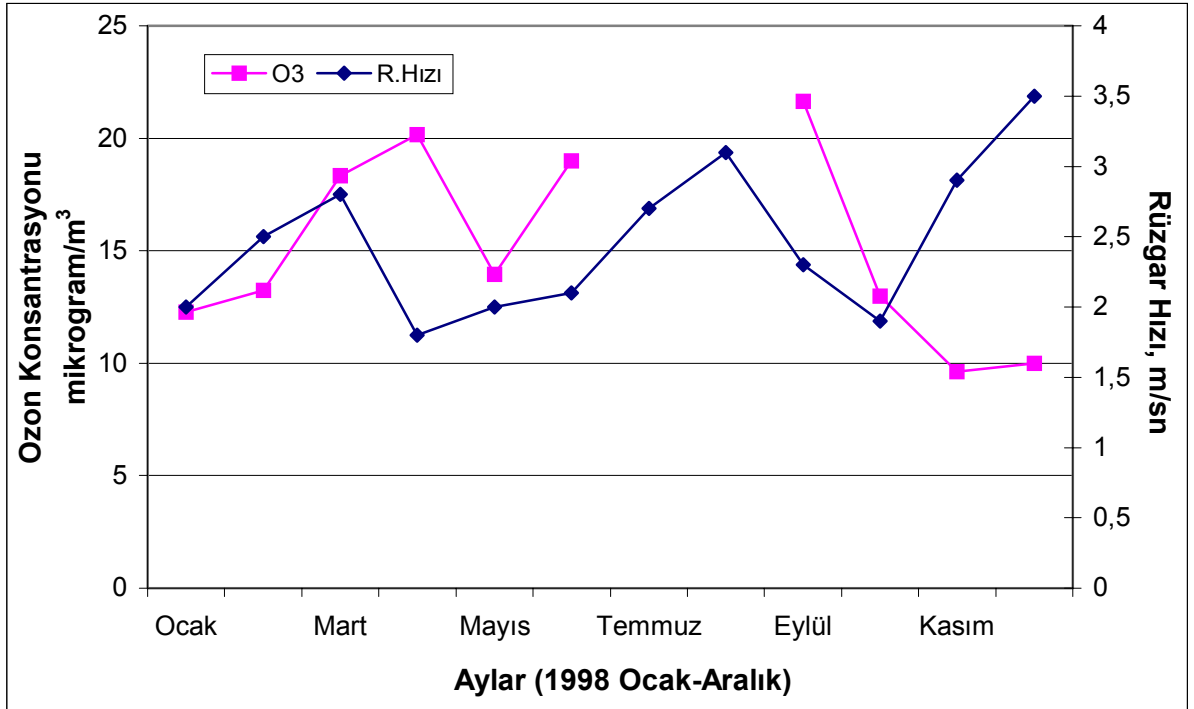
Bina bacaları, sanayi kuruluşları ve taşıt araçlarından çıkan gaz ve toz kirleticiler ya kent ortamında yayılmakta yada ısınan hava ile yükselerek rüzgar yönüne bağlı olarak yer değiştirmektedir. Rüzgarın doğal akımının kesintiye uğraması nedeniyle veya rüzgar hızının çok düşük olduğu durumlarda hava kirliliği nedeni olan gaz ve tozlar kent ortamında asılı kalmaktadır.

Şekil 5.75, 5.76, 5.77, 5.78’de ozon ile rüzgar hızının genelde ters orantılı olduğunu göstermektedir. Ancak bazı aylara ait ölçüm sonuçları İstanbul’da rüzgar hızının artmasıyla ozon seviyesinin arttığını göstermektedir. Bunun nedeninin rüzgarın ozonu diğer bölgelerden getirmesi olabilir.

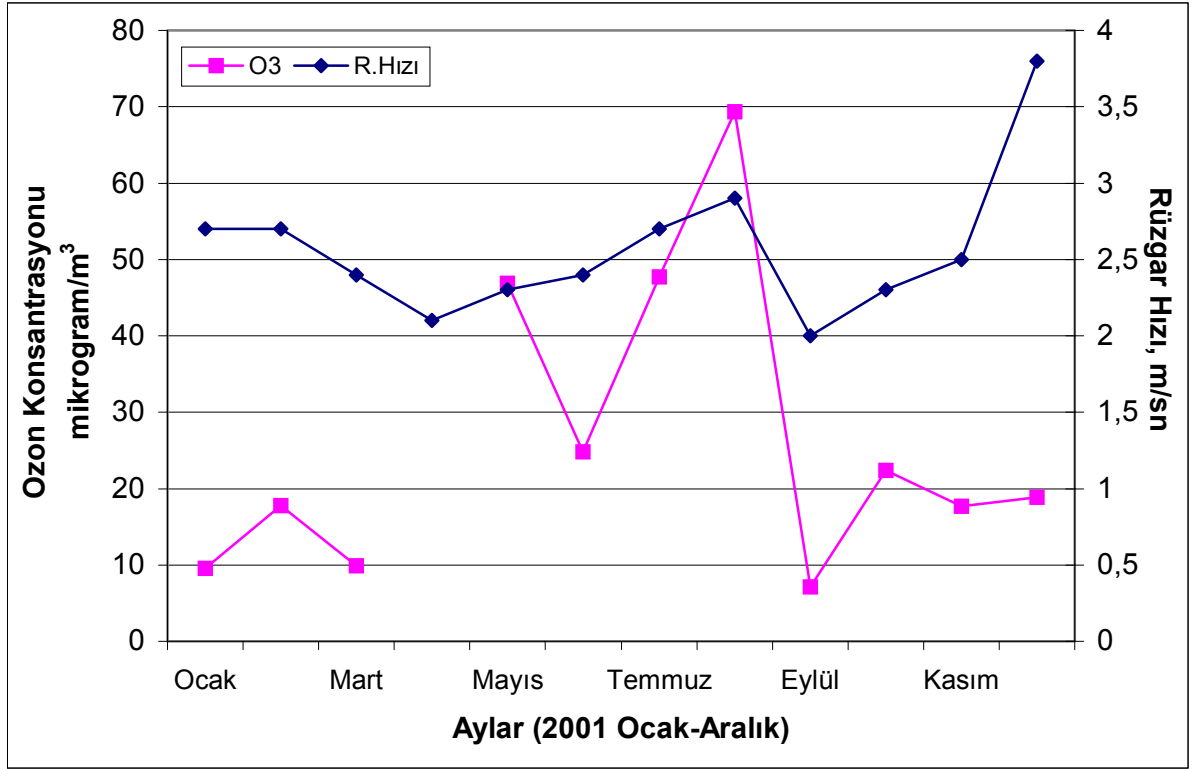
İstanbul’da Nisan ayından Ekim ayına kadar yer seviyesi rüzgar hızlarında genelde düşüşler söz konusudur. Rüzgar hızının özellikle yaz aylarında düşük değerler alması yaz aylarında ozon kirleticisinin birikmesine ve ozon piklerinin daha yüksek konsantrasyonlarda olmasına neden olmaktadır. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Göztepe İstasyonundan alınan rüzgar hızı verileri 24 saat ölçülmektedir. Bu 24 saatlik ölçümlerin ortalaması alınarak günlük rüzgar hızı verileri elde edilmektedir. 2002 yılı Mayıs-Eylül tarihleri arasında rüzgar hızı ortalama değeri 2,32 m/sn ve maksimum rüzgar hızı ortalama değeri 5,27 m/sn’dir. Şekil 5.79’da da görüldüğü gibi rüzgar hızının maksimum olduğu noktada ozon konsantrasyonu minimumdur.



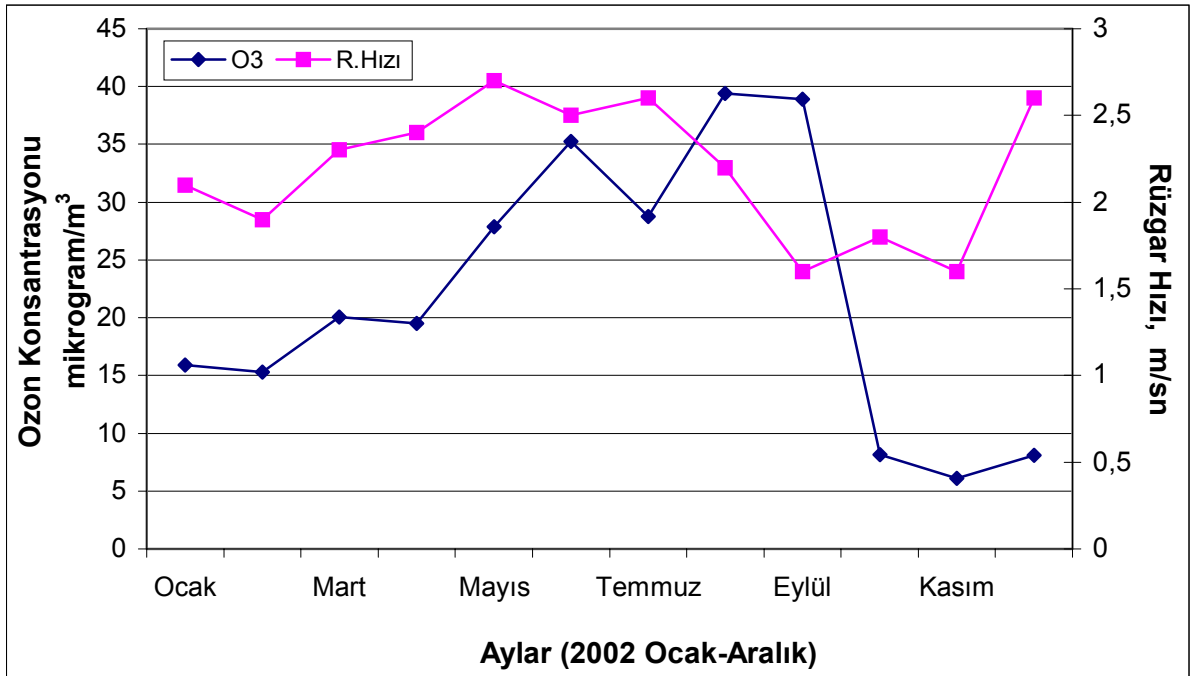
Şekil 5.75 Bir yıllık periyottaki ozon-rüzgar hızı değişimi (1997).



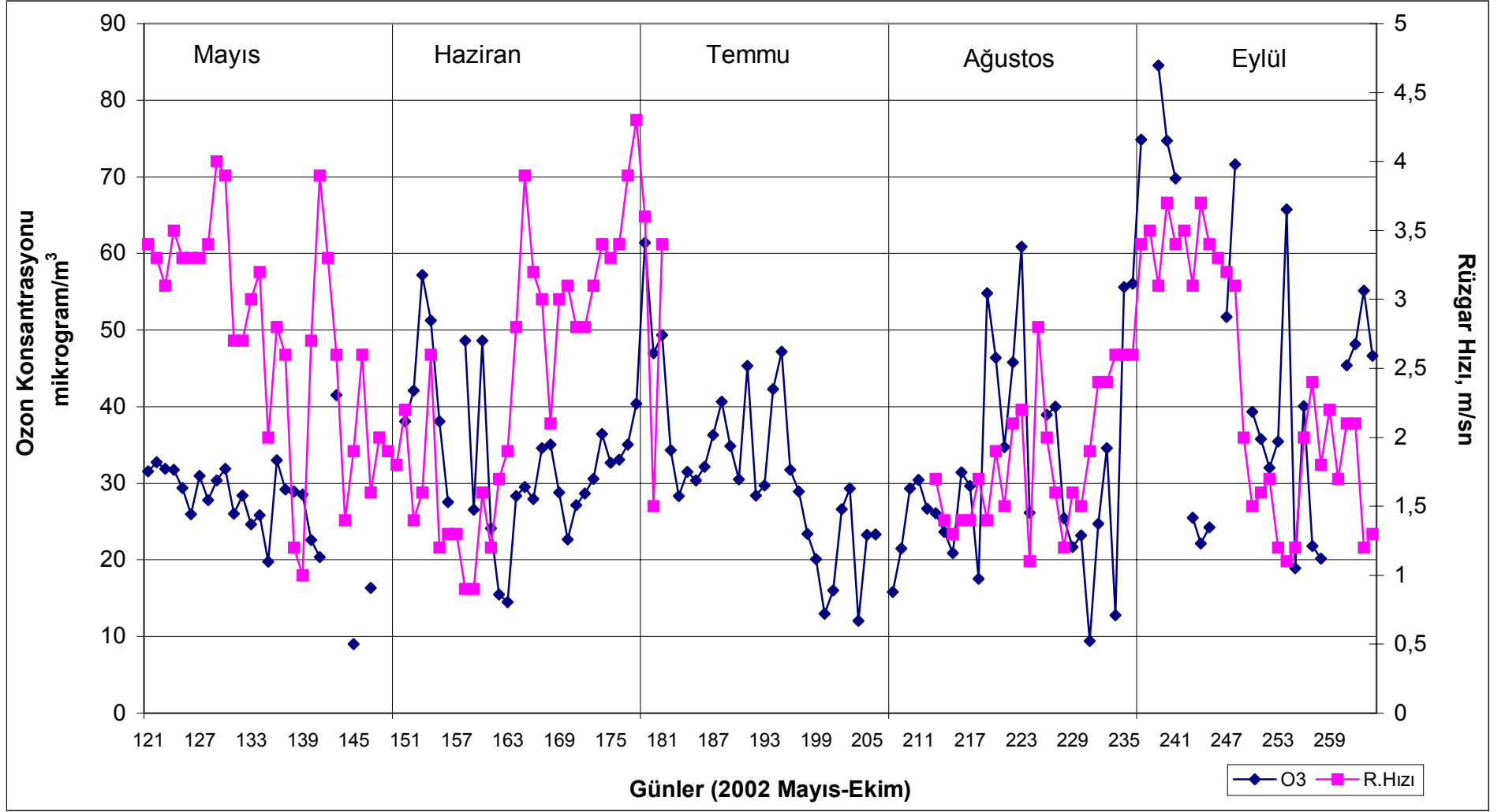
Şekil 5.76 Bir yıllık periyottaki ozon-rüzgar hızı değişimi (1998).



Şekil 5.77 Bir yıllık periyottaki ozon-rüzgar hızı değişimi (2001).



Şekil 5.78 Bir yıllık periyottaki ozon-rüzgar hızı değişimi (2002).

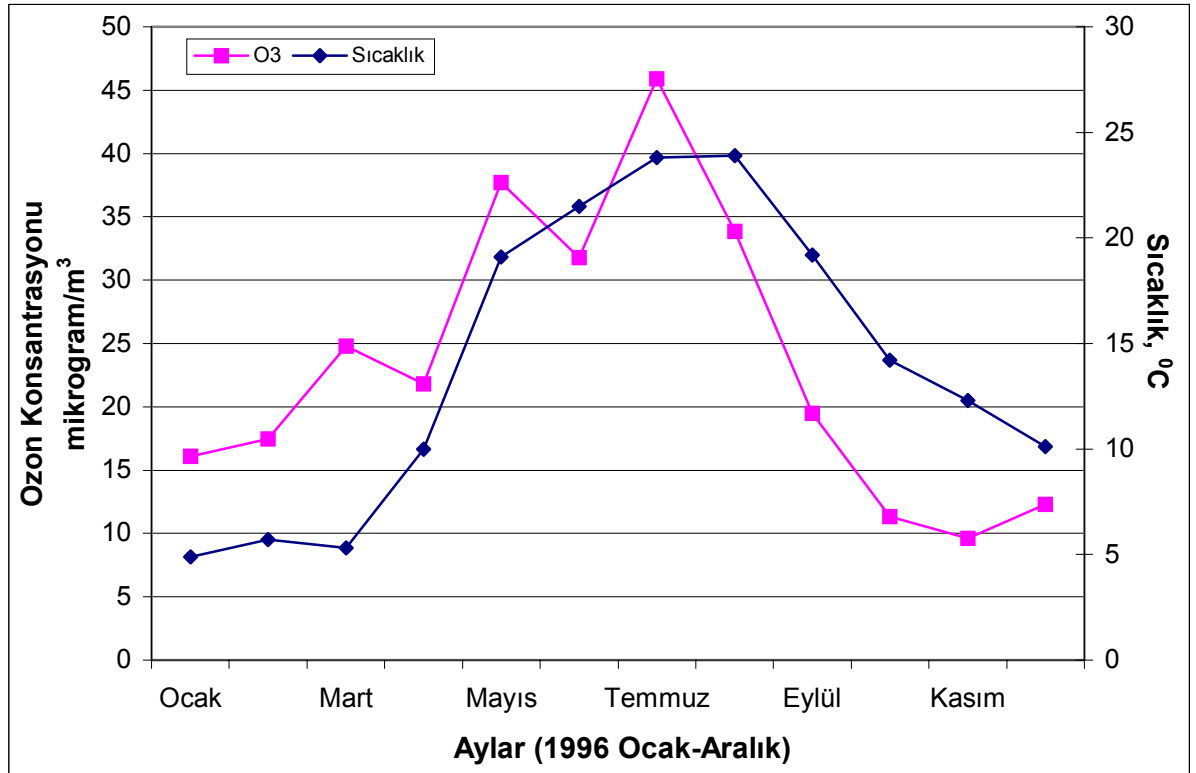


Şekil 5.79 2002 Mayıs-Ekim ayları arasındaki ozon-rüzgar hızı değişimi.

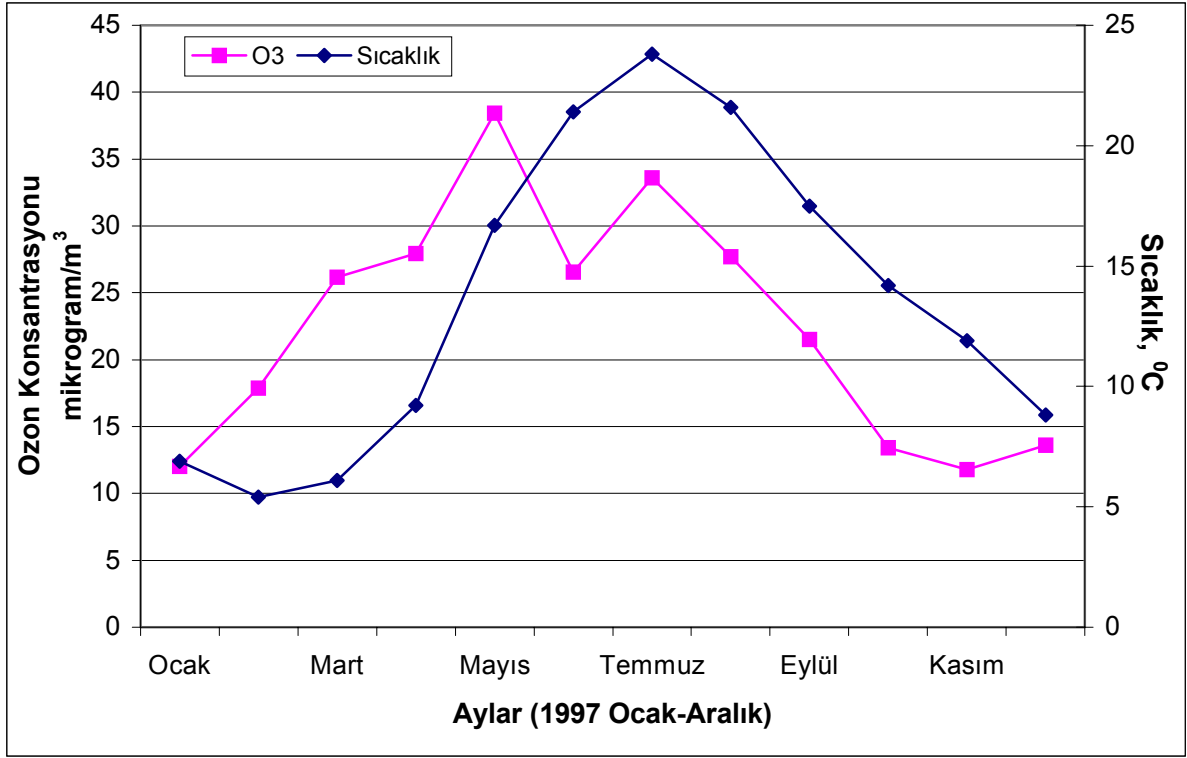
5.6 Ozon – Sıcaklık İlişkisi

Ozon oluşumunu etkileyen en önemli parametrelerden biri de sıcaklıktır. Bunun nedeni fotokimyasal reaksiyonların sıcaklığa duyarlı olmalarıdır. Sıcaklığın artması ile fotokimyasal reaksiyonlar için gerekli olan güneş enerjisi şiddeti de artmaktadır. Sıcaklık, ozon oluşum hızını, hidrokarbon ve azot oksitlerin tükenme hızlarını, NO-NO₂ dönüşümünü arttırmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda daha hızlı ozon oluşmakta ve ozon maksimum seviyeye ulaştıktan sonra bu seviyede bozunmadan daha uzun süreler kalmaktadır. Yüksek sıcaklık, güneşli günler ozon üretimi ve birikimini artırmaktadır. Sıcak hava şartlarında ozon konsantrasyonu belirgin bir artış göstermektedir. Bu sebeptendir ki yaz günleri ozon sentezi için ideal zamanlardır. Sıcaklık ozonun fotokimyasal reaksiyonları üzerine etkili bir meteorolojik değişkendir.

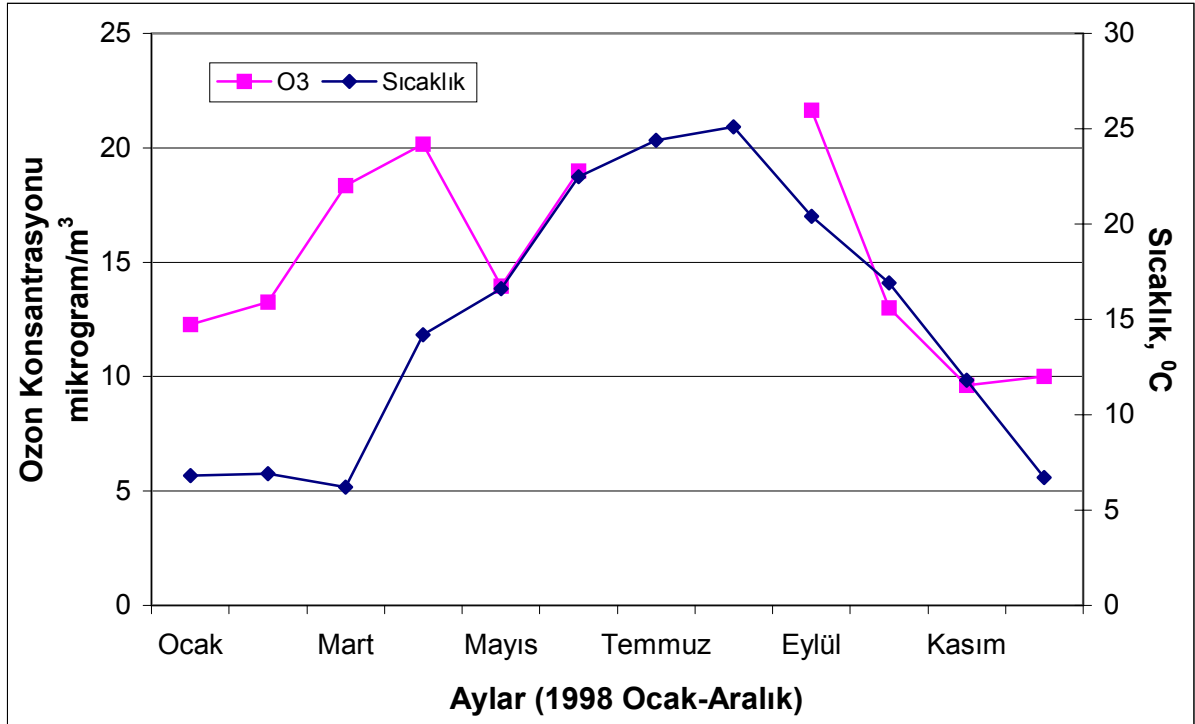
Şekil 5.80, 5.81, 5.82, 5.83, 5.84, 5.85’de değişik yıllara ait ozon-sıcaklık değişim grafikleri görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi sıcaklığın arttığı dönemlerde ozon konsantrasyonu da artmıştır. Buna karşın bazı aylarda sıcaklık ve ozon arasında negatif bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu aylarda görülen kuvvetli rüzgarlar olabilir.



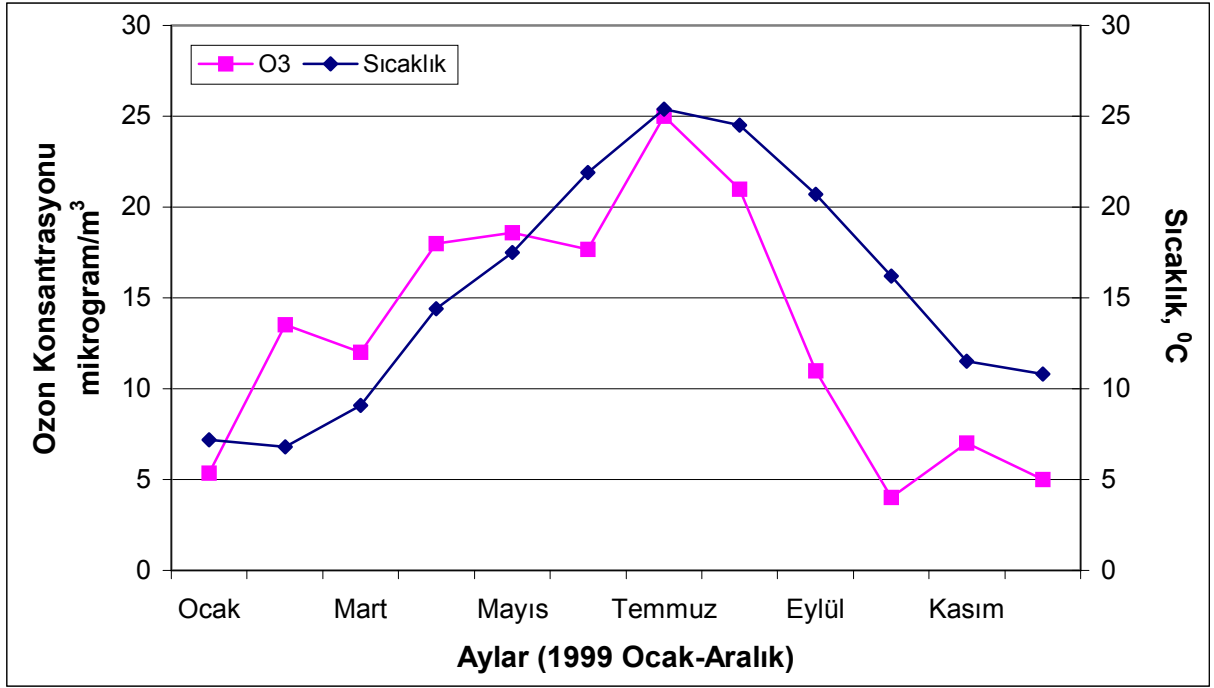
Şekil 5.80 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (1996).



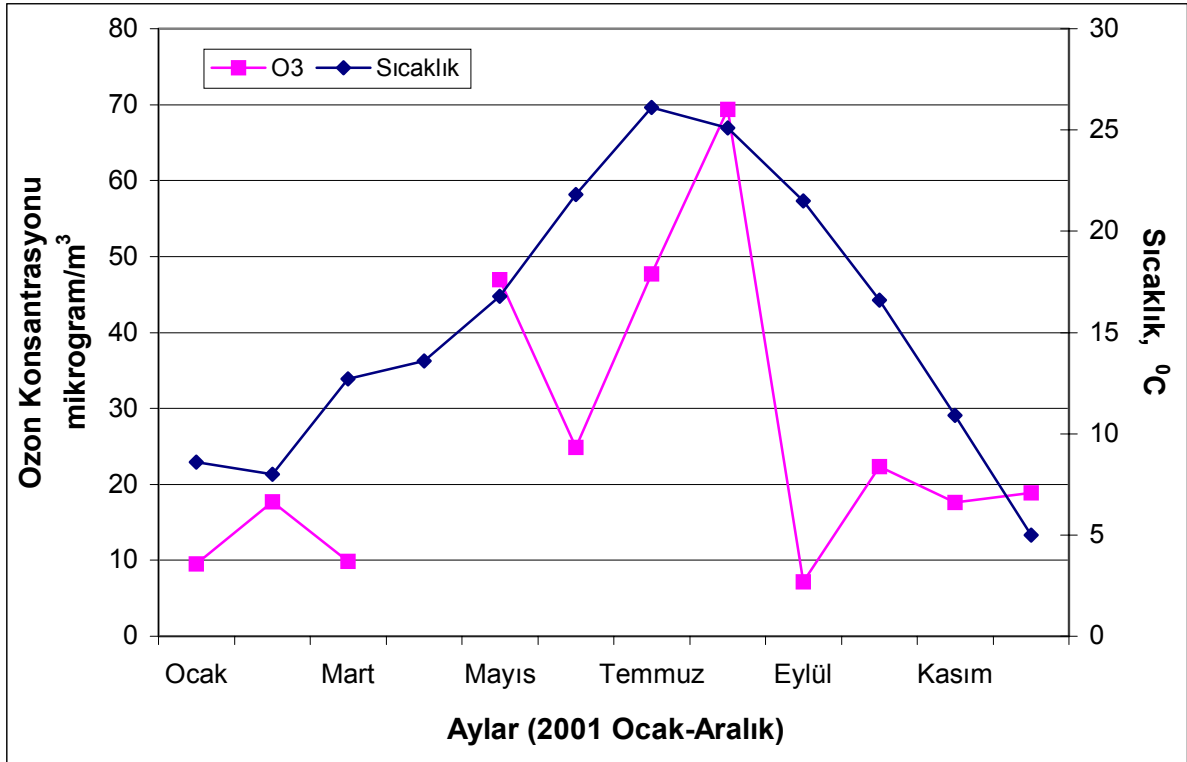
Şekil 5.81 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (1997).



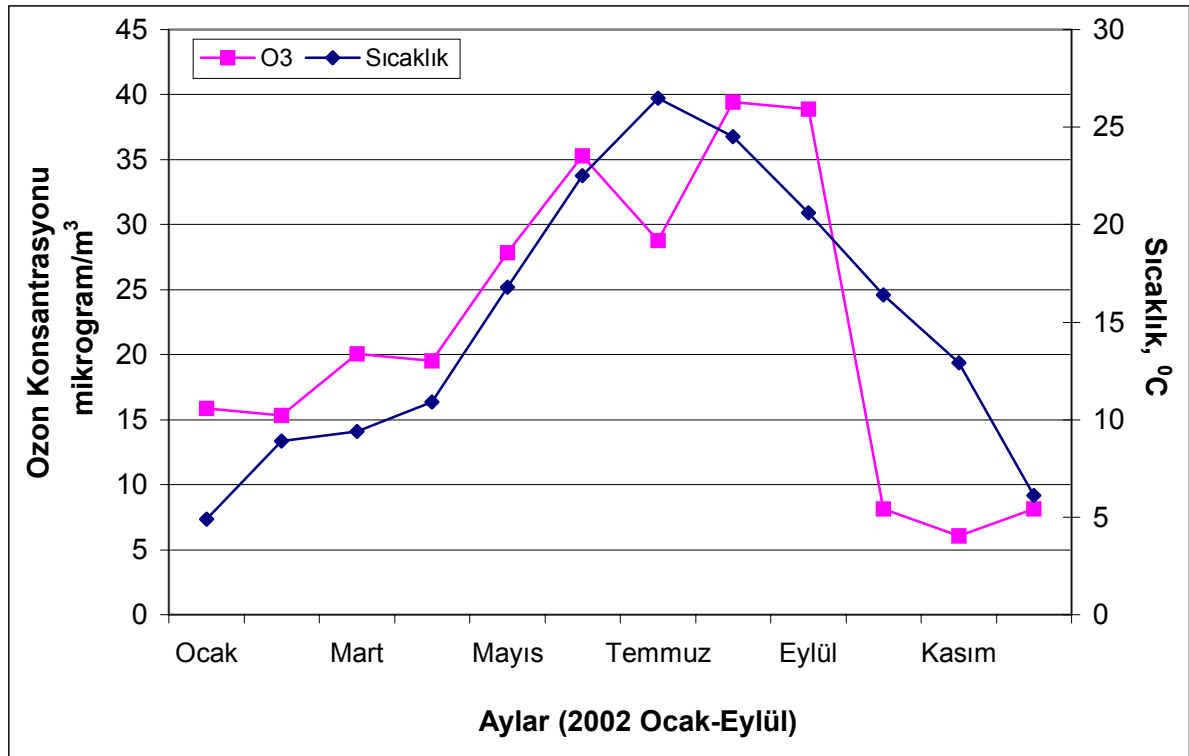
Şekil 5.82 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (1998).



Şekil 5.83 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (1999).

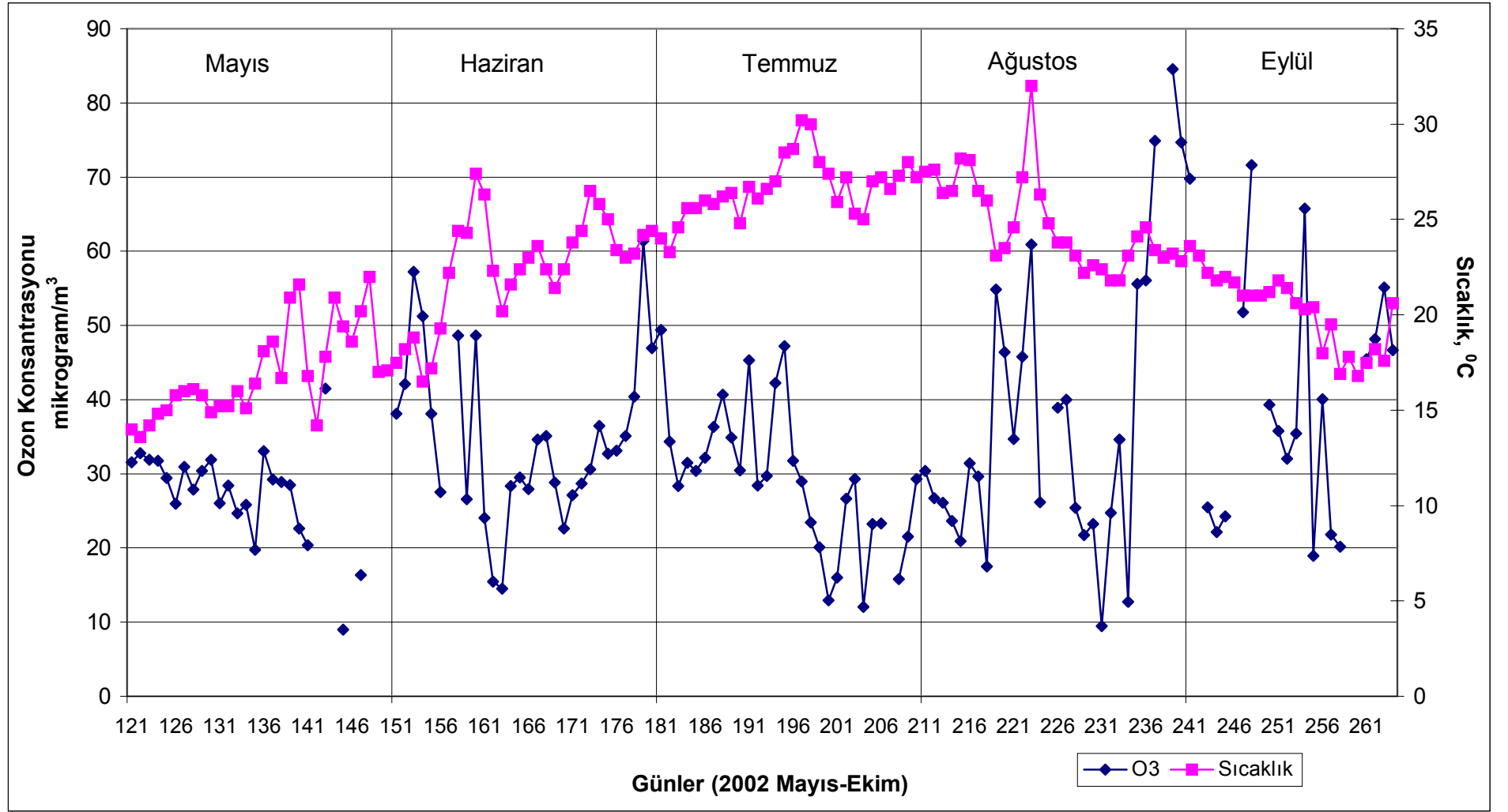


Şekil 5.84 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (2001).



Şekil 5.85 Bir yıllık periyottaki ozon-sıcaklık değişimi (2002).

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Göztepe İstasyonundan alınan sıcaklık verileri sabah saat 07.00, öğlen saat 14.00 ve akşam saat 21.00’de olmak üzere 3 kez ölçülüp ortalaması alınarak günlük sıcaklık verileri elde edilmektedir. 2002 yılı Mayıs-Eylül tarihleri arasında sıcaklık ortalama değeri 22,24 °C, maksimum sıcaklık 26,7 °C ve minimum sıcaklık 18,42 °C’dir. Şekil 5.86’dan da görüldüğü gibi sıcaklığın maksimum olduğu anda ozon konsantrasyonu da maksimum değerdedir (İ.B.B. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri ve Göztepe Meteoroloji İstasyonu Verileri) [8]. Sıcaklığın artmasına rağmen ozon konsantrasyonunda azalma görülen günlerde rüzgar hızının maksimum değerde olduğu görülmüştür. Buda rüzgarın ozonu çevre bölgelere taşımış olabileceğini düşündürmektedir.



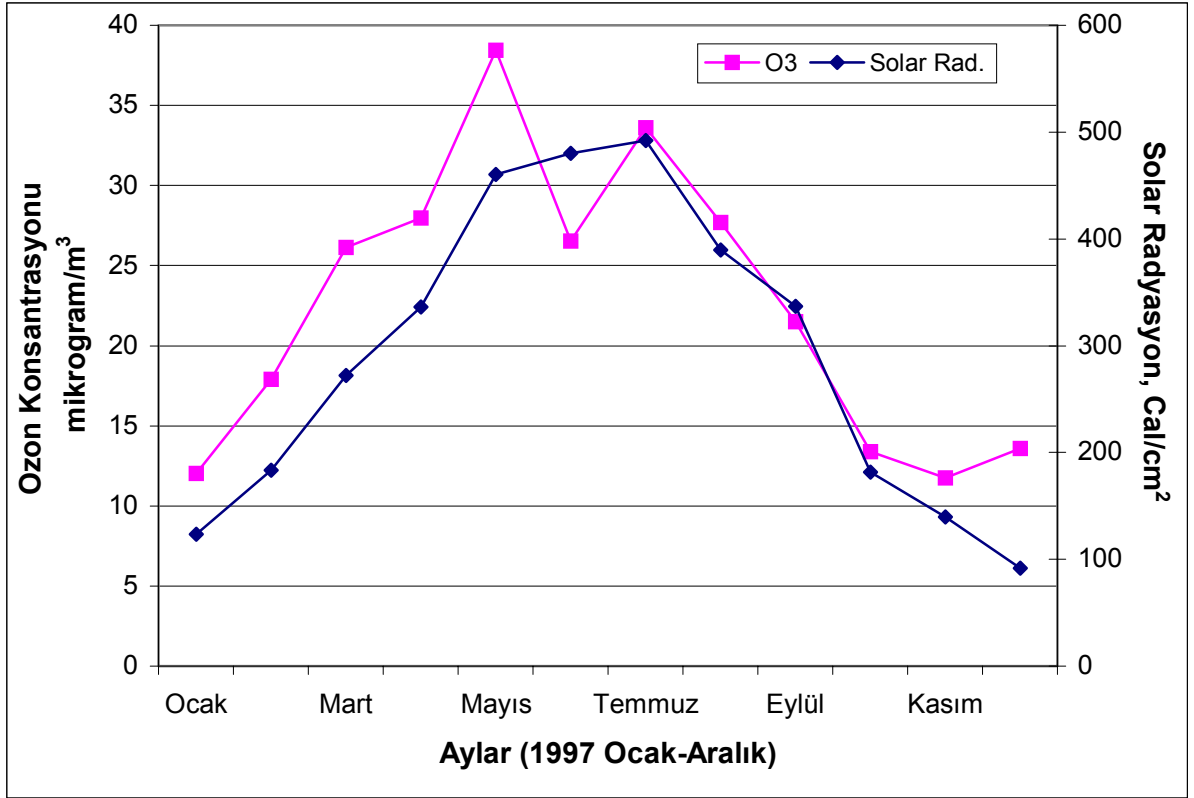
Şekil 5.86 2002 Mayıs-Ekim ayları arasındaki ozon-sıcaklık değişimi.

5.7 Ozon- Solar Radyasyon İlişkisi

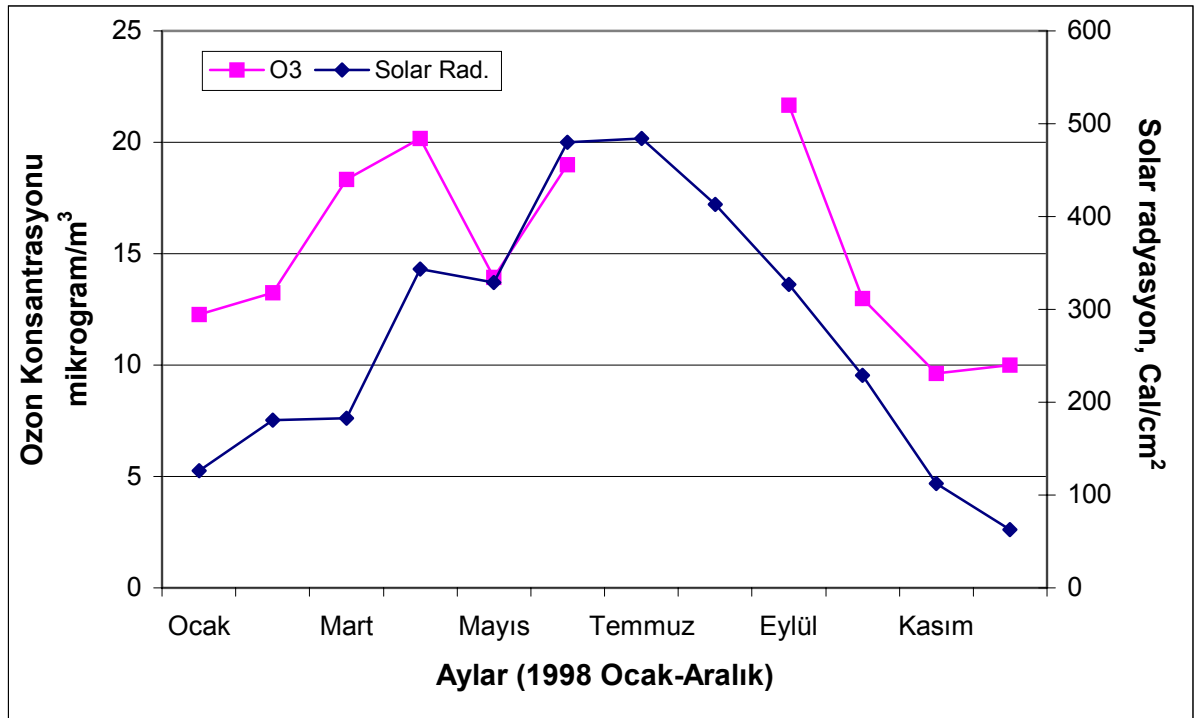
Ozon, hidrokarbonlar ve azotoksitlerin fotokimyasal reaksiyonları ile oluşmakta olup; solar radyasyon bu reaksiyonların başlaması için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Diğer bir ifadeyle solar radyasyon ozon üretim reaksiyonlarını başlatan ve sürdüren bir etkiye sahiptir. Ortamda solar radyasyonun ve HC, NO₂'nin varlığı yada artması ozon miktarını da arttırmaktadır. Bu da gösteriyor ki ozon ve solar radyasyon arasında pozitif bir ilişki vardır. Kış aylarında düşük solar radyasyon ve sıcaklık nedeniyle ozon üretimi nispeten düşük olmaktadır. Ancak yaz aylarında Nisandan başlayarak Ekim ayına kadar solar radyasyon ve sıcaklığın artmasıyla ozon seviyesi maksimum değerine ulaşmaktadır.

Şekil 5.87, 5.88, 5.89, 5.90'da bir yıllık periyottaki ozon ve solar radyasyon ilişkileri görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi solar radyasyon ile ozon konsantrasyonu arasında doğru orantı vardır. Solar radyasyonun artmasıyla birlikte ozon miktarında da bir artışın olduğu görülmektedir. Ancak bazı tarihlerde (Şekil 5.87 1997 Mayıs-Haziran) solar radyasyonun artmasına rağmen ozon miktarında bir azalmanın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu tarihlerde güney batı yönünden esen şiddetli rüzgarın ozonu çevre bölgelere taşımış olması olabilir. Şekil 5.89'da da 2001 yılı Şubat-Mart ve Mayıs-Haziran aylarında solar radyasyonun artmasına rağmen ozon konsantrasyonunda bir azalma görülmektedir. Bunun nedeni de 2001 yılı Şubat-Mart aylarında batı-güney batı yönünde esen rüzgarlar ve Mayıs-Haziran aylarında güney batı yönünde esen hakim rüzgarlar olabilir.

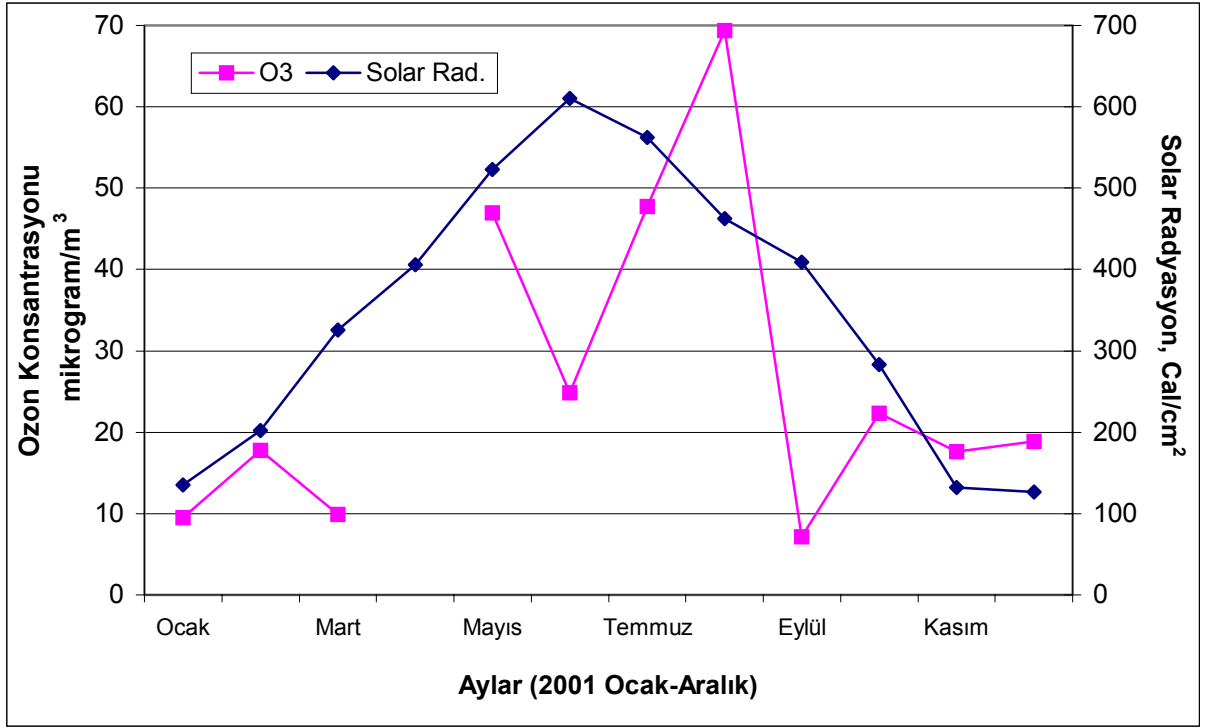
Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Göztepe İstasyonundan alınan solar radyasyon verileri güneşin doğmaya başladığı sabah saat 4 ile güneşin batmaya başladığı akşam saat 20.00 arasında saatlik olarak ölçülmektedir. 2002 yılı Mayıs-Eylül tarihleri arasında ortalama solar radyasyon değeri 511,13 cal/cm² ve maksimum ortalama solar radyasyon değeri 628,68 cal/cm² 'dir. Şekil 5.91'de de görüldüğü gibi solar radyasyon şiddetinin maksimum olduğu anda ozon konsantrasyonu da maksimum değerdedir.



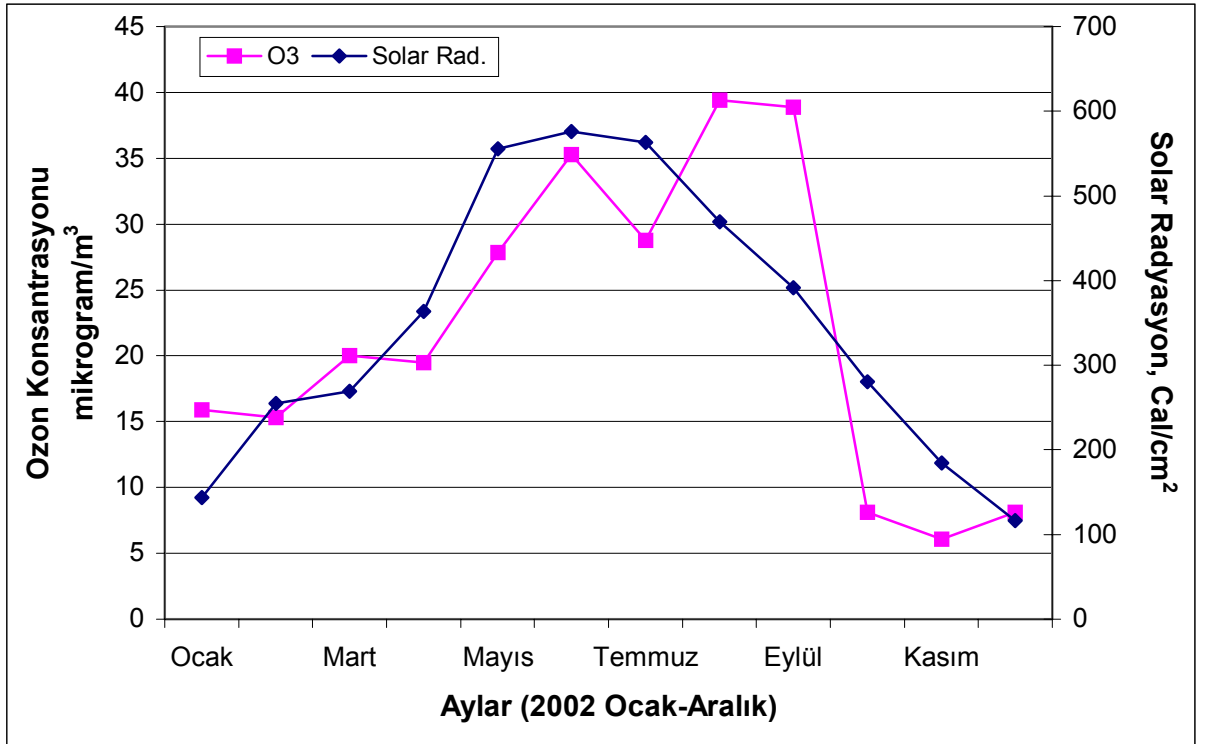
Şekil 5.87 Bir yıllık periyottaki ozon- solar radyasyon dağılımı (1997).



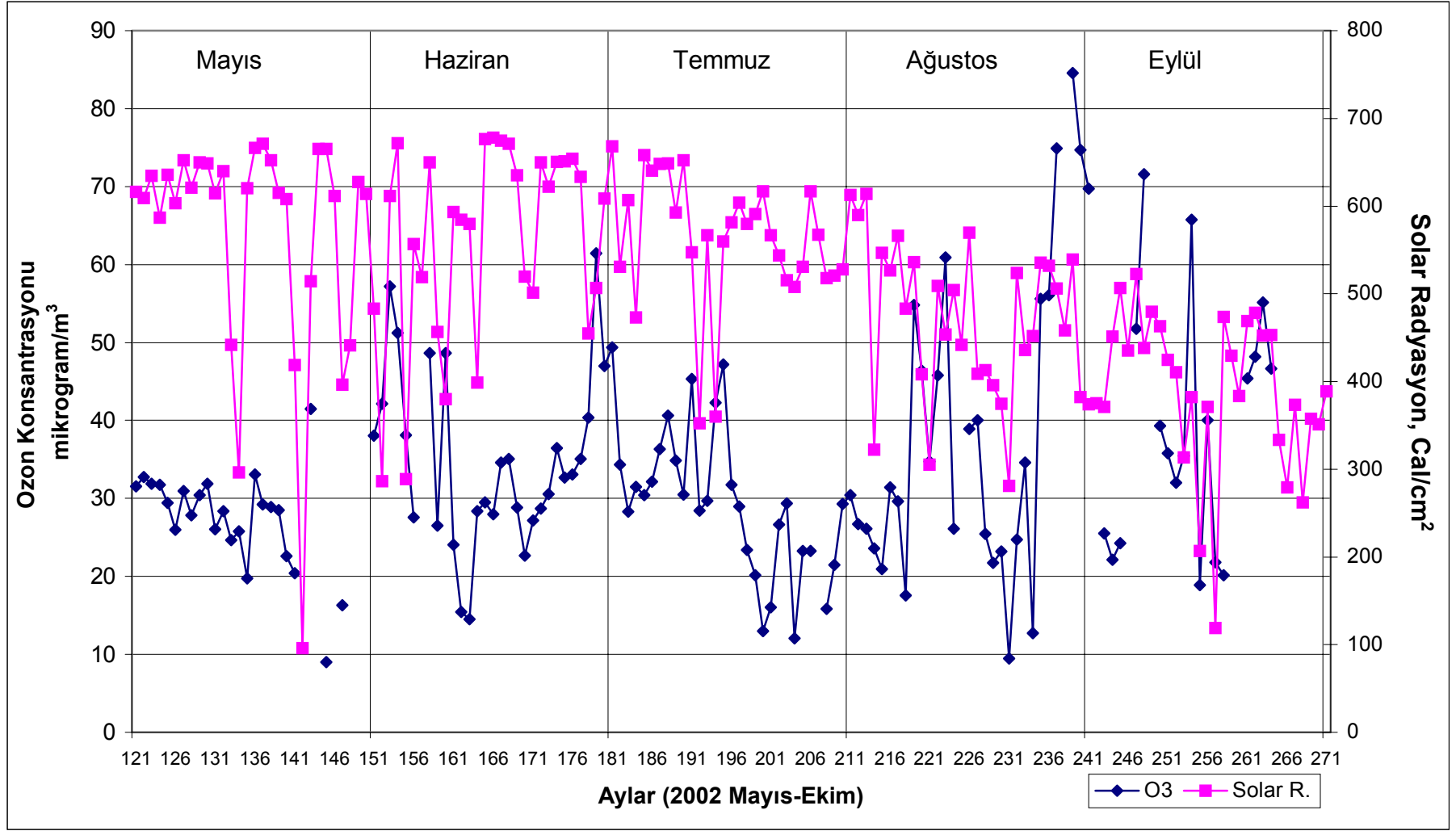
Şekil 5.88 Bir yıllık periyottaki ozon- solar radyasyon dağılımı (1998).



Şekil 5.89 Bir yıllık periyottaki ozon- solar radyasyon dağılımı (2001).



Şekil 5.90 Bir yıllık periyottaki ozon- solar radyasyon dağılımı (2002).



Şekil 5.91 2002 Mayıs-Ekim ayları arasındaki ozon-solar radyasyon değişimi.

6. OZON KİRLİLİĞİNİ AZALTMA YOLLARI

Günümüzde gelişmiş ülkelerde ozon kirleticisi artık sınır değerlerini aşan kirletici parametre olarak öne çıkmaktadır. Ozonun zararlı etkilerinin azaltılması için çevre politikalarında köklü değişiklikler ve yeni tedbirler alınması gerektiği ortaya çıkmıştır. Ozonun azaltılması yolu HC ve NO_x emisyonlarının kontrolünden geçmektedir. Ozon oluşumuna neden olan bu emisyonlar egzozda bulunduğundan bu emisyonların azaltılma çalışmaları ozon oluşumunu da azaltacaktır.

6.1 Benzinli Motorlu Araçlarda Emisyon Azaltmak İçin Alınan Önlemler

İçten yanmalı motorlarda mevcut yasaların öngördüğü emisyon sınır değerlerinin altına inmeye yönelik uygulamalar ve yeni proje tasarımları devam etmektedir. Taşıtlarda egzoz emisyonlarının azaltılması yönünde alınan önlemleri niteliklerine göre üç grupta inceleyebiliriz.

1-Birincil (primer) önlemler (Kaynak öncesi önlemler) : Taşıt motorunda kullanılan yakıtların bileşiminin kirletici emisyonu azaltıcı yönde hazırlanması.

2-İkincil (sekonder) önlemler (Kaynağında önlemler) : Kirletici bileşenlerin motorda yanma sırasında ve diğer motor içi kaynaklarda oluşumunu azaltmak.

3- Üçüncül önlemler (Kaynak sonrası önlemler) : Oluşumuna engel olunamayan kirletici bileşenlerin daha sonra egzoz gazı içinden temizlenmesi (katalitik konvertör, termik reaktörler...).

6.1.1 Birincil Önlemler (Kaynak Öncesi Önlemler)

Bu önlemlerde karışım kontrolü yapılmaktadır. Benzin motorlu araçlarda karışım kontrolü egzoz emisyonu, yakıt ekonomisi, taşıt kullanılabilirliği ve ilk hareket özelliklerine göre değişir. Motorda karışım hazırlama karbüratör yada enjeksiyon (yakıt püskürtmeli) sistemleriyle gerçekleştirilmektedir.

Karbüratörlü taşıtlarda karışım kontrolü tam sağlanamamaktadır. Karışım oranı silindirden silindire ± 0.20 kadar farklılık göstermektedir. Enjeksiyonlu sistemlerde, motorun çalışma koşullarına uygun ve stokiyometrik sınıra yakın oranda karışım hazırlandığından araçlarda tercih edilmekte, giderek karbüratörün yerini almaktadır.

6.1.1.1 Karbüratörlü Sistem

Karbüratörlü sistemde daha homojen ve daha verimli yanabilir karışım hazırlayıp emisyonları ve yakıt tüketimini azaltmak için bu sistemde alınan başlıca önlemler şunlardır;

- 1- Emme manifoldunun yapısal özellikleri geliştirilerek karışımın akışı ve silindirlere dağılımı belirli oranda iyileştirilebilmektedir.
- 2- Emme manifoldu, özellikle soğuk ortamlarda ısıtılarak karışımın yanabilirliği arttırılmaktadır.
- 3- Bazı karbüratörlere ikinci bir rölanti devresi ve CO ayar vidası eklenerek rölanti için daha düzenli fakir karışım sağlanmaktadır.
- 4- Yavaşlama sırasında karışım, düşen motor devrine karşı bir süre zengin kalmaktadır. Yetersiz yanma sonucu HC ve CO emisyonlarındaki artışı önlemek için bazı karbüratörlere hava dengeleme yada gaz keleşi kapanma hızı yavaşlatılarak hızlı kapanmadan doğan sakıncalar belli oranda azaltılmaktadır.
- 5- Mekanik karbüratörler yerine vakum kontrollü yada elektronik kumandalı karbüratörler geliştirilmiştir. Bu yolla karışım stokiyometrik koşullara daha uygun hazırlanmaktadır. Bu yöntemle emisyon, yakıt tüketiminde azalma, motor performansında artış sağlanmaktadır.

6.1.1.2 Enjeksiyonlu Yakıt Sistemi

Karbüratörlü sistemin yerine geliştirilen enjeksiyonlu yakıt sistemi, elektronik ateşleme ile birleşerek etkin bir karışım ve ateşleme kontrolü sağlamıştır.

Sistemde karışım oranı ve yanmayı etkileyen motor devri-yükü ve sıcaklığı emilen havanın sıcaklığı-basıncı ve debisi, gaz keleşi konumu, akü gerilimi, ateşleme avansı, egzoz oksijeni gibi değişkenler bir bilgisayar tarafından değerlendirilir. Sonrada bilgisayar belleğindeki programlarla oluşan uygun çözümler sinyaller halinde karışım ayarı, ateşleme zamanı, diğer çalışma evreleri için hava-yakıt ayar ünitesi, enjektör ve ateşleme sistemine gönderilir.

Sistemde karışım oranının belirlenmesinde egzoz manifoldu üzerine yerleştirilen lamda sondası (oksijen ölçer) önemli rol oynar. Sondanın görevi, egzoz gazındaki oksijen miktarını belirleyerek düşük gerilimli bir elektrik sinyali olarak bilgisayara iletmektir. Bu sinyal, egzoz gazındaki kullanılmayan oksijen, HFK : 1 koşullarına göre arttığında oluşur. Eğer egzoz gazında oksijen azsa (zengin karışım) sondanın gerilim sinyali yüksek (0.9 volt), oksijen fazla ise (fakir karışım) gerilim sinyali düşük (0.1 volt) olur.

Bu yolla karışım oranı stokiometrik sınıra yakın oranlarda tutularak karışım ve yanma daha iyi kontrol edilir. Bunun sonucunda çok zengin ve fakir karışımlar nedeniyle oluşan eksik yada yetersiz yanma önlenmekte, CO ve HC emisyonlarının yanı sıra yakıt tüketimi de alt seviyeye indirilmekte ve motor performansı arttırılmaktadır.

6.1.2 İkincil Önlemler (Kaynağında Önlem)

Bu grupta yanma kontrolü karter havalandırmasında, depo havalandırmasında önlemler sağlanır. Benzin motorlarında yanmayı, ateşleme sisteminin türü ve ateşleme zamanı, yanma odası biçimi, sıkıştırma oranı, motor devri ve yükü, sıkıştırma sonu sıcaklığı, egzoz gazı resürkilasyonu, buji sayısı gibi çeşitli değişkenler de etkiler.

6.1.2.1 Ateşleme Devri

Ateşleme sisteminin türü ve ateşleme zamanı, egzoz emisyonu, yakıt tüketimi ve motor gücünü önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek ateşleme enerjisi, hızlı ve dengeli bir yanma sağlar. Klasik ateşleme sistemi düşük ve yüksek devirde, ani hız değişimlerinde, fakir karışımlarda yetersiz kalır. Bu nedenle de yeterli yanma gerçekleşmez. Sonuçta CO ve HC emisyonlarında ve yakıt tüketiminde artma görülür. Elektronik ateşleme sistemlerindeyse

daha verimli bir yanma gerçekleşir. Sonuçta emisyonlarda ve yakıt tüketiminde belirgin bir azalma sağlanır.

6.1.2.2 Egzoz Gazı Geri Dolaşımı (Egzoz Gazı Sirkülasyonu-ERG)

Benzin motorlarında yanma sıcaklığı 1200 °C üzerine çıktığında, karışımdaki fazla oksijen, aşırı sıcak ortamlarda azotla birleşerek NO_x oluşturmaya başlar.

Azot oksitleri azaltmanın başlıca yolu, yanma sırasında oluşan yüksek sıcaklığı, NO_x emisyonunu en alt seviyede tutacak dereceye düşürmektir. Yanma odası içindeki karışımın inert gazlarla seyreltilmesi yanma sonucu sağlanan maksimum sıcaklığın düşmesine neden olacaktır. Bunun için egzoz gazının bir kısmı (%5-15) bir miktar soğuduktan sonra emme manifolduna geri gönderilir. Bu işlemde yeni dolgu ile birlikte yanma odasına gönderildiğinde karışım seyreltilecek, yanma sonu sıcaklığı düşecek ve üretilen NO_x miktarı azalacaktır. Bu yöntem egzoz gazı resirkülasyonu olarak adlandırılır. Bu metodla NO_x emisyon %50-60 azalmaktadır.

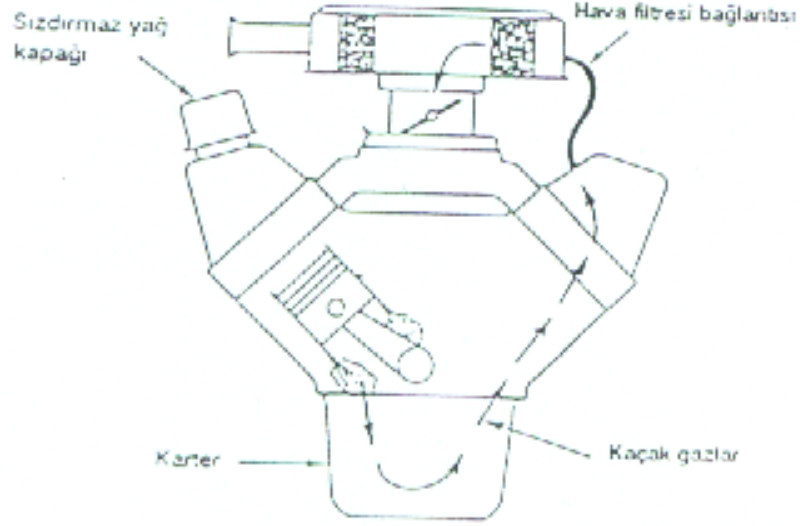
Emme manifoldunda verilen egzoz gazı arttıkça sıcaklık, yanma hızı ve NO_x düşmekte, buna karşın sıcaklığın düşmesine bağlı yetersiz ve eksik yanma, hava içindeki oksijen miktarının azalması sebebiyle CO ve HC emisyonlarında yakıt tüketiminde bir miktar artış olmakta karışım azalmasıyla motor gücünde düşme görülmektedir.

Bu yöntemde en eğilim ise “dahili ERG” diye de anılan sıcak egzoz gazlarının bir kısmının silindir içine bırakılmasıdır. Benzin motorunda bu yöntemin daha hızlı buharlaşarak karışımın oluşmasını hızlandırma ve tutuşmaya hazırlama gibi bir faydası vardır. Bu şekilde özellikle CO ve HC emisyonlarında iyileşme elde edilmektedir.

6.1.2.3 Karter Havalandırması

Karterden çıkan kirleticilerin atmosfere yayılmasını önlemek amacıyla ilk çalışmalar 1961 yılında California eyaletinde başlatılmıştır. Silindir ile segman arasından sızarak kartere geçip buradaki yağ buharı ile karışan yanma odası gazları motorun emme manifolduna geri

gönderilmektedir. Böylece karterdeki kirletici gazların dış ortama atılması önlenmiş olmaktadır. Bu yöntem pozitif karter havalandırması olarak bilinmektedir.



Şekil 6.1 Kapalı (pozitif) karter havalandırma sistemi

6.1.2.4 Yakıt Deposu Havalandırması

Benzinli taşıtlarda depoda buharlaşan yakıt buharı olarak depo havalandırmasından atmosfere atılmaktadır. Benzin buharı depolama sistemleriyle yakıt hava deposundan ve motorun yakıt sisteminden buharlaşan yakıt, borular yardımıyla bir aktif karbon filtre elemanına gönderilmektedir. Yakıt buharı filtrenin karbonuna emdirilir ve geriye kalan temiz hava dışarı atılır. Motor çalıştığı zaman ters akımla, filtreye emdirilmiş olan yakıt, motorun yakıt sisteminden geçer ve yakılır.

6.1.3 Egzoz Sisteminde Yakıt Kontrolü

Benzin motorlarında emisyonu azaltmak için yanma öncesi ve yanma sırasında alınabilecek önlemler oldukça sınırlıdır. Bunların çoğu motorun yapısal özelliklerinde değişim gerektirmektedir. Egzoz sisteminde uygulanan emisyon kontrolü oksitlenme ve indirgenme esaslıdır. İşlemler termik (ısı) reaktörler ve katalitik konvertörlerle yapılmaktadır.

6.1.3.1 Termik (Isıl) Reaktörler

Termik (Isıl) reaktörler sisteminde bir pompayla basılan yada vakumla emme kanalından sağlanan ek hava, egzoz subabı kapandıktan sonra akmakta olan egzoz gazının arkasına sevk edilerek hava ile CO ve HC'ların okside olması sağlanır. Oksitlenmenin gerçekleşmesi için havanın sevk edildiği manifold içindeki sıcaklığın 1050 °K'den aşağı olması gerekmektedir. Yanma sonunda karbonmonoksitten karbondioksit, hidrokarbonlardan su oluşarak zararsız hale gelir, NO_x emisyonunda ise bir değişiklik olmaz. 1970'li yılların başında güncel olan termik reaktörler bugün yerini katalizör sistemlerine bırakmıştır.

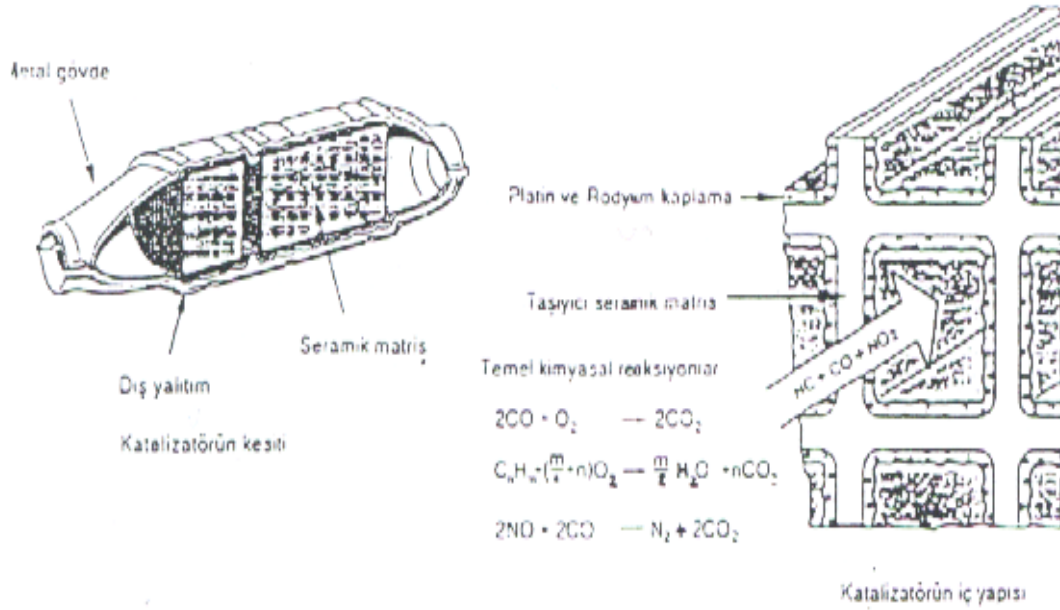
6.1.3.2 Katalitik Konvertörler (Katalizör)

Benzin motorlarında egzoz emisyonlarını azaltmada en etkili sonuçlar katalitik konvertörlerden alınmıştır. Termik reaktörlerin, NO_x için uygulanamamaları motor gücünü azaltmaları ve yakıt tüketimini arttırmaları kısıtlı uygulamaları katalitik konvertörlere yönelimi sağlamıştır. Katalitik konvertörlerle egzoz emisyonları %90-95'e varan oranlardaki dönüşümle zararsız hale getirilmektedir.

Egzoz gazları 3 yollu katalitik konvertörün içinden geçerken sağlığa zararlı olan NO_x'ler indirgenerek O₂ ve N₂'ye dönüştürülür. Aynı anda NO_x'lerin indirgenmesinden elde edilen O₂ yardımıyla CO ve HC okside olarak sağlığa doğrudan zararı olmayan CO₂ ve H₂O'ya dönüştürülür.

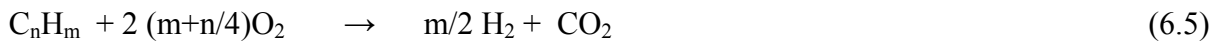
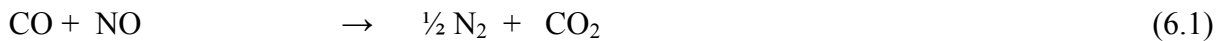
Katalitik konvertörlerde genellikle petek şeklinde, yüzey alanı çok geniş, seramikten (magnezyum-alüminyum silikat) veya metalden yapılmış taşıyıcı bir eleman bulunmaktadır. Petek yapıdaki kanal sayısı yoğunluğu 60-70 kanal/cm² kadardır. Bu taşıyıcının yüzeyi ayrıca pürüzlü ara tabaka (Mg-Al₂O₃) ile kaplanır. Böylece yüzey alanı 1 lt konvertör hacmi başına 20000 m²'ye ulaşır. Taşıyıcının üstünde bulunan yüzey genişletici ara tabakanın üstü ise egzoz gazlarındaki kirleticileri katalitik etkisiyle temizlemek için platin (Pt) ve radyum (Rd) ve palladyum (Pd) gibi soymetallerle kaplıdır. Bu metaller egzoz gazları ile reaksiyona girmeyip sadece normal egzoz şartlarında (düşük sıcaklık ve kısa zaman içinde) oluşmayacak reaksiyonların oluşması için aracılık ederler (Şekil 6.2). bu soymetallerin miktarı, ortalama

olarak katalitik konverter başına 1-2 gr'dır. Platin ve palladyum CO ve HC oksidasyonuna aracılık ederken, radyum NO_x indirgeyici reaksiyonlar için geçerlidir.



Şekil 6.2 Katalitik konvertörün (katalizörün) iç yapısı

3 yollu bir katalitik dönüştürücüde NO_x, N₂'ye HC ve CO ise H₂O ve CO₂'ye dönüştürülürken çok sayıda ara reaksiyon oluşturulmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda gösterilmiştir.



Her üç bileşenin katalizör yardımıyla temizlenebilmesi için en önemli şart hava yakıt karışım oranının HFK : 1 olacak şekilde ayarlanmasıdır. Çünkü, karışım fakir olursa egzoz gazı içerisindeki O₂ konsantrasyonu artacak ve (6.3) nolu reaksiyon hızlanacaktır. Bu durumda NO_x indirgeyici (6.1) nolu reaksiyonun oluşması için ortamda yeterli CO kalmayacak ve dönüşen NO miktarı azalacaktır. Eğer karışım zenginleşirse tam aksine O₂ miktarı azaldığı

için oksitlenen CO ve HC miktarı azalacaktır. 3 yollu katalitik konvertör, eğer HFK : 1 civarında ± 0.5 toleransla çalışırsa verimi %80'in üzerine çıkmaktadır. Bu ancak HFK : 1 olan benzin motorlarında kullanılmaktadır. Fakir karışımlı (HFK>1) benzin motorları ve dizel motorlarında ise oksidasyon katalizörü kullanılmaktadır. Oksidasyon katalizörü egzoz gazlarındaki oksijen fazlalığından dolayı sadece HC ve CO'yu dönüştürebilmektedir. Bu tip motorlarda NO_x için yanma sıcaklığını düşürerek egzoz gazı geri dolaşımı gibi önlemler almak gerekir.

6.2 Ozon Kirliliğini Azaltmak İçin Alınabilecek Diğer Önlemler

Ozon azaltım stratejisi, ozon oluşumunda etkili olan ve kontrol edilebilir kirleticilerin azaltılması şeklinde olmaktadır. Bu kapsamda azot oksit ve hidrokarbon emisyonlarında kontrol etkin bir metot olacaktır .

6.2.1 Trafik Üzerinde Alınabilecek Önlemler

1- Kurşunsuz benzin, LPG, CNG gibi yakıtların kullanımı yoluna gidilmeli, (Doğal gazlı taşıtlar normal benzinli taşıtlara göre %85-95 daha az HC deşarj etmektedir.).

2- Araç sayılarının yıllara göre dağılımlarından özel araç sayısında hızlı artış olduğu görülmektedir. Boğaz köprülerinde yapılan incelemelerde Boğaziçi Köprüsü'nden geçen araçların %80-85'ini otomobillerin oluşturduğu ve otomobillerin %65'inde tek kişinin bulunduğu, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nden geçen araçların ise %75-80'ini otomobillerin oluşturduğu ve %60'ında tek kişinin olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar İstanbul'da bireysel ulaşımın tercih edildiğini göstermektedir. Trafikteki araç sayısının azaltımı için bireysel ulaşım yerine toplu taşıma tercih edilmelidir. Merkez bölgelerde toplu taşıma ve raylı sistem öncelikli hale getirilmelidir. Şehir planlarında bu yönde düzenlemeler yapılmalıdır. Merkez bölge çevrelerine yapılacak otoparklara özel otomobillerin park edilmesi sağlanarak merkez bölgelere girişleri engellenebilir. Hızlı ve konforlu toplu taşıma ile özel otomobil sahipleri toplu taşımaya özendirilebilir. Toplu taşıma ile egzoz emisyonunda azalmanın yanında trafikteki araç sayısı düşüşüyle enerji tasarrufu, yolculuk süresinde azalma, stressiz yolculuk da sağlanacaktır.

3- Aynı veya yakın işyerlerine giden çalışanların tek tek araçlarla değil de servisler konulması suretiyle ulaşımlarının sağlanması ile trafikteki araç sayısı azaltılmalı.

4-Mesai saatlerinin başlayış ve bitiş zamanlarının düzenlenmesiyle emisyon miktarlarının daha geniş bir süreye yayılması sağlanmalı.

5- Taşıt yaşı arttıkça yakıt tüketimi ve egzozdan atılan emisyon miktarı da artmakta olduğundan taşıt yaşı ile ilgili sınırlamalar getirilmelidir. Toplu taşıma araçları 2 yaşından büyük olmamalıdır. Özel ve resmi araçlarda 15 yaşın üzerindeki araçlar trafikten men edilmeli veya vergiye tabi tutulmalıdır. Yaşı büyük araçtan daha fazla vergi alınmalıdır. Servis araçlarına yaş sınırı getirilmelidir. 10 yaş üzerindeki araçlar 5 yaşın altındakilere nispeten 2 kat daha fazla kirletici çıkarmaktadır. Yaşı büyük araçların egzoz emisyonları limitleri aşıyorsa trafikten men edilmelidir.

6- Egzoz muayenelerinde taşıtların 100 km'de tükettiklerin yakıt miktarları da rapor edilmelidir. Tüketilen yakıtla ilgili sınırlamalar getirilmelidir.

7- Trafikte motor işletim şartlarına dikkat edilmelidir. Araçlar 20 km/h'ten düşük hızda sürüldüğünde %20 daha fazla yakıt harcar. Aynı şekilde 90 km/h yerine 110 km/h hızla sürüldüğünde yine %20 daha fazla yakıt tüketmektedirler. 4 silindirli bir taşıtın rölantide 1 litre yakıt tükettiği tespit edilmiştir. Araç rölantide iken egzozdan yanmamış HC atmaktadır. Bilindiği gibi HC ozon öncüsüdür. Aracı ani olarak çalıştırıp hızlandırmanın da %60 daha fazla yakıt tüketimine neden olduğu kaydedilenler arasındadır. Araç hızı, emisyonu etkilediğinden trafik akışını engelleyen araçlara yaptırım gücü uygulanmalıdır.

8- Buharlaşmadan kaynaklanan emisyonların ozon oluşumunu artıracak etkilerinin azaltımı için dolumlar da akşam saatleri (18:00'dan sonrası) beklenmelidir.

9- Egzozlarda mutlaka katalitik konvertöre geçiş sağlanmalı, NO_x için egzoz gazı resirkülasyonu uygulanmalıdır.

6.2.2 Benzin İstasyonlarında Alınabilecek Önlemler

6.2.2.1 Kısa Vadeli Çözümler

- 1- Ozon kirliliğinin olduğu aylarda istasyonlardaki tanklara tankerlerle dolum gündüz yerine gece saatlerinde yapılmalı.
- 2- İstasyonlarda yerlere benzin ve motorin dökülmemeli.
- 3- Ozon kirliliğinin olduğu aylarda araç sahiplerinin gündüz yerine gece saatlerinde benzin almaları teşvik edilmeli.

6.2.2.2 Orta Vadeli Çözümler

- 1- İstasyondaki tanklar, sıçratmalı dolum yerine daldırılmalı dolum ile beslenmeli.
- 2- Tankerlerin istasyonlardaki benzin buharlarını geri kazanıcı düzeneği olmalı.
- 3- Benzine solvent ilavesi mutlaka önlenmeli.

6.2.3 Benzinli ve Motorinli Araçlarda Alınabilecek Önlemler

6.2.3.1 Kısa Vadeli Çözümler

- 1- Ozon kirliliğinin olduğu aylarda araç sahipleri gündüz yerine gece saatlerinde benzin almalılar.
- 2- Şehirlerarası yollarda kullanılan otobüslerin yıprandıktan sonra şehir trafiğinde servis aracı veya toplu taşıma aracı olarak kullanımı yasaklanmalı.
- 3-İstiap haddinin üzerinde yük veya yolcu taşıyan araçlar cezalandırılmalı ve trafikten men edilmeli.
- 4- Egzozundan siyah veya mavi renkli duman atan ve bakım onarımı yapılmamış araçlar trafikten men edilmeli, araç sahipleri cezalandırılmalı.

6.2.3.2 Orta Vadeli Çözümler

- 1- Karbüratörlü araçlar kullanımdan kaldırılmalı, yasaklanmalı.
- 2- Araçların yalına bakılmaksızın tüm araçlardan vergi alınmalı.

- 3- Fazla yakıt tüketen araçlardan fazla, az yakıt tüketen araçlarda az vergi alınmalı.
- 4- Şehir trafiğinde fazla seyri sefer yapan taksilerin ve dolmuşların az yakıt tüketen taksi modellerine geçmeleri zorlanmalı.
- 5- Şehiriçi trafiğinde kullanılan taksi, dolmuş, İ.E.T.T, Halk Otobüsü ve fazla km. yapan resmi ve özel araçlar, LPG veya doğal gaz kullanımları teşvik edilmeli ve yaygınlaştırılmalı.
- 6- Araçlarda egzoz muayenesi yıllık ve zaman zaman gözlem esasına göre de yapılmalı, egzozundan kirli gaz atan araç sürücüleri cezalandırılmalı.
- 7- Anadolu yakası Tuzla-Harem E-5 Tuzla-Harem orta refüj hafif raylı sistemle donatılarak egzoz gazı olmayan bacasız taşıma sistemi teşvik edilmeli.
- 8- Sirkeci-Ambarlı ve Haydarpaşa-Gebze TCDD raylı sistemi rehabilite edilmeli ve İstanbul trafiği ile uyumlu hale dönüştürülmeli.
- 9- Deniz trafiği yaygınlaştırılmalı ve kara trafiği ile uyumlu hale getirilmeli. Karada deniz trafiğini destekleyici ring sistemi kurulmalı.

6.2.4 Yakma Tesislerinde Alınabilecek Önlemler

- 1- Sanayilerde üretim esnasında enerji veya ısı olarak kullanılan yakma ünitelerinde baca gazında NO_x'ler sıkı şekilde denetlenmeli.
- 2- İstanbul'un kuzey bölgesinde bulunan termik santrallerin bacalarında NO_x kirleticileri sıkı şekilde denetlenmeli. Bu kirleticilerin İstanbul'a taşınması kuvvetle muhtemeldir.

6.2.5 Kuru Temizleme, Mobilya ve Sunta Tesislerinde Alınabilecek Önlemler

6.2.5.1 Orta Vadeli Çözümler

- 1- İşletmelerde kullanılan solventler ozon tabakasını tahrip edici olmamalı.
- 2- İşletme esnasında kuru temizleme, mobilya, boya ve sunta tesisleri üniteleri ortamdaki gazlar emilmeli. Ortam havası negatif basınçlı olmalı.
- 3- Kuru temizleme, mobilya, boya ve sunta sanayi ünitelerinde kullanılan solventler bacada artırılmalı. Bacalarda solvent kirliliği kontrol edilmeli. Kuru temizleme, mobilya, boya ve sunta tesisleri denetlenmeli.

6.2.6 Vatandaşların Yapması Gerekenler

6.2.6.1 Kısa Vadeli Çözümler

- 1- Saat 11.00 ile 17.00 arasında güneşli, sıcaklığın 25 °C'nin üzerinde olduğu havalarda fazlaca dışarı çıkılmamalı. Çıkılırsa başta şapka, gözde gözlük, sırtta kollu beyaz renkli elbise olmalı.
- 2- Saat 11.00 ile 17.00 arasında güneşli, sıcaklığın 25 °C'nin üzerinde olduğu havalarda renkli elbiseler, gölgede ve akşam saatlerinde kurutulmalı.
- 3- Kısa mesafeli yerlere yürüyerek ve toplu taşıma araçları ile gidilmeli.
- 4- Araçlara benzin alırken 20.00- 07.00 saatleri tercih edilmeli.
- 5- Hafta sonları piknik yaparken saat 11.00-17.00 arasında güneşte oturulmamalı, koşulmamalı ve dolaşılmamalı.
- 6- Ozonlu günlerde çamaşırlar akşam veya gece saatlerinde kurutulmalı.
- 7- Ev ve işyerinin çevresi ağaçlandırılmalı.
- 8- İşyerine kendi aracı ile giderken başkalarını da alarak trafik yükünü azaltmalıdırlar.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İstanbul, 5.512 m²'lik bir alanda kurulu bulunan coğrafi konumu ve yeryüzü özellikleriyle dikkati çeken, tarihin her döneminde doğal güzellikleri ve ekonomik potansiyeli ile sadece Türkiye'nin değil dünyanın da önemli kentleri arasında bulunan bir şehirdir. Kent hızla gelişmiş, hızlı gelişme hızlı değişimi de beraberinde getirmiştir. Hızla gelişen teknoloji, hayatımıza sağladığı avantajlarla çevre kirliliği gibi dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Bu değişimlerin en önemlilerinden biri kentin atmosfer bileşimindeki değişimdir. Son yarım asırdır stratosferde ozon tabakasında azalma olurken troposferde ozon seviyesinde artışların olduğu anlaşılmıştır. Ozonun insan sağlığı ve canlılar üzerinde olumsuz etkilerinin görülmesiyle bu konularda araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Bu çalışma kapsamında İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü ve Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Göztepe İstasyonu ölçüm sonuçları değerlendirilerek İstanbul'da yer seviyesi ozon konsantrasyonunun, azot oksitler ve hidrokarbonlar gibi kimyasal parametrelerle ve sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü ve solar radyasyon gibi meteorolojik parametrelerle olan ilişkileri incelenmiştir.

Yaz aylarında hava kirleticilerinin azalmasına rağmen ozon konsantrasyonlarında artış olmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda fotokimyasal olarak oluşan ozon kirliliği yaz aylarında dikkatleri çekmektedir. İstanbul'da yapılan ölçüm sonuçlarında yaz sezonunca ozon seviyesinin yüksek olduğu, özellikle öğle saatlerinde sıcaklığın ve solar radyasyon şiddetinin artmasıyla ozonun maksimum seviyelerde olduğu, akşam saatlerinde ise solar radyasyon ve sıcaklığın azalmasıyla ozon konsantrasyonlarında tekrar bir düşüşün olduğu belirlenmiştir. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Göztepe İstasyonu ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu sıcaklığın 25 °C'nin ve solar radyasyonun 550 cal/cm²'nin üzerinde olduğu, hafif rüzgarlı ve açık havalarda O₃ konsantrasyonunun maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir.

İstanbul'da Nisan ayından Ekim ayına kadar yer seviyesi rüzgar hızlarında genelde düşüşler söz konusudur. Rüzgar hızının özellikle yaz aylarında düşük değerler alması yaz aylarında ozon kirleticisinin birikmesine ve ozon piklerinin daha yüksek konsantrasyonlarda olmasına neden olmaktadır. 2002 yılı Mayıs-Eylül tarihleri arasında rüzgar hızı ortalama değerinin 2,32 m/sn ve maksimum rüzgar hızı ortalama değerinin 5,27 m/sn olduğu ve rüzgar hızının maksimum olduğu noktada ozon konsantrasyonunun minimum olduğu görülmüştür.

Yaz aylarında ısınma amaçlı yakıt tüketiminin kalkmasıyla motorlu araçlardan kaynaklanan emisyonlar hakim kirleticisi konumundadır. Yaz sezonunda kirleticisi emisyon azalmasına rağmen ozon ölçümleri yükselmektedir. Motorlu araçlardan kaynaklanan azotoksit ve hidrokarbonların güneş radyasyonu ile fotokimyasal reaksiyonu sonucunda ozon oluşmaktadır. Yaz aylarındaki şiddetli güneş radyasyonu fotokimyasal reaksiyonu başlatmakta ve bu reaksiyonla ozon oluşumu meydana gelmektedir. Hidrokarbonların da NO'yu NO₂'ye dönüştürmesiyle daha çok NO₂ ozon oluşturmak üzere reaksiyona girerek ozon miktarını arttırmaktadır.

Geçmişte hava kirliliğinin en önemli kaynağının endüstri olduğu düşünülürken İstanbul ili üzerinde yapılan çalışmalarda taşıt sayısındaki artmalarla, ozon miktarındaki artışın paralel olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümlerde trafiğin yoğun olduğu saatlerde ozon miktarının yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sıcak zamanlarda ölçümler daha yüksek değerlerdedir. Bu durumdan da görüyoruz ki yaz aylarında ozon oluşumunu motorlu araç emisyonu desteklemektedir.

Ozon kirliliğinin yaşandığı tüm şehirlerde ozon azaltım stratejisi, ozon oluşumunda etkili olan ve kontrol edilebilir kirleticilerin azaltılması şeklinde olmaktadır. Bu kapsamda ozon oluşumuna neden olan temel kirleticiler olan NO_x, HC ve nMHC emisyonlarında azaltmaya gitmek uygun bir kontrol stratejisi olacaktır. Bu emisyonların oluşmasında en fazla payı olan motorlu taşıtlarda emisyon kontrolü yapılması, şehir içi trafikte beklemelerin azaltılması, trafik akışında süreklilik sağlanması, sinyalizasyonun dikkatli yapılması, trafikteki araç sayısının azaltımı, yaşı büyük araçların egzoz emisyonları limitleri aşıyorsa trafikten men edilmeleri, buharlaşmadan kaynaklanan emisyonların ozon oluşumunu arttıracak etkilerinin azaltımı için dolunlar da akşam saatlerinin (18.00'den sonrası) beklenmesi, egzozlarda katalitik konvertöre geçiş sağlanması, yeni yapılacak yolların havanın rüzgar yönüne göre

düzenlenmesi, NO_x için egzoz gazı resirkülasyonu uygulanması ile emisyon kontrolüne yardım edilmelidir.

Taşıt yaşı arttıkça yakıt tüketimi ve egzozdan atılan emisyon miktarı da artmakta olduğundan taşıt yaşı ile ilgili sınırlamalar getirilmelidir. Toplu taşıma araçları 2 yaşından büyük olmamalı, özel ve resmi araçlardan 15 yaşın üzerindeki araçlar trafikten men edilmeli veya vergiye tabi tutulmalıdır. Yaşı büyük araçtan daha fazla vergi alınmalı, servis araçlarına yaş sınırı getirilmeli, 10 yaş üzerindeki araçların 5 yaşın altındakilere nispeten 2 kat daha fazla kirletici çıkartmaları nedeniyle yaşı büyük araçların egzoz emisyonları limitleri aşıyorsa trafikten men edilmelidirler.

Benzin istasyonlarında benzin buharı kontrolü yapılmalı, kuru temizleme, mobilya, boya ve sunta sanayi ünitelerinde kullanılan solventler bacada arıtılmalı, bacalarda solvent kirliliği kontrol edilmeli, kuru temizleme, mobilya, boya ve sunta tesisleri denetlenmelidir.

Doğal gazlı araçların normal benzinli taşıtlara göre %85-95 daha az HC deşarj etmeleri nedeniyle araçlarda kurşunsuz benzin, LPG, CNG gibi temiz yakıtların kullanılması ve metro sisteminin yaygınlaştırılarak toplu ulaşım sağlanması ile egzoz emisyonunda azalmanın yanında trafikteki araç sayısı düşüşüyle de emisyon kontrolüne yardım edilmelidir.

Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği'nde Avrupa topluluğu normlarına uygun düzenlemeler yapılarak şuan ozon için kısa vadeli sınır değer olan 240 µg/m³ değerine ilaveten bir uzun vadeli sınır değeri belirlenmeli, yaz aylarında halk ozon kirliliği hakkında bilgilendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Atmospheric Chemicals, Sources, Reactions, Transport and Sinks, Chapter 6, 243-252.

Atmospheric Photochemical Reactions, Chapter 9, 471-488.

Ayberk, S., (1999), Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Çevre Kirliliği ve Kontrol Yöntemleri Ders Notu, 17-28, İzmit.

Ayberk, S., (2000), Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Kentsel ve Bölgesel Gelişimin Çevre Üzerine Etkileri Ders Notu, 50-51, İzmit.

Bayat, C., (2000), İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Ders Notları, 10-12, İstanbul.

Bektaş, Ş., (2001), Benzin İstasyonlarında ve Araçlarda Benzin Buharlarının Hava Kirlenmesine Etkileri ve Alınması Gereken Önlemler, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bowman, F.M. and Seinfeld, J.H., (1994), "Ozone Productivity of Atmospheric Organics", Journal of Geophysical Research, Vol.99, No.D3, syf. 5309-5324.

Bridgman, H.A., (1994), Global Air Pollution: Problems for the 1990. John Wiley and Sons Ltd, England, syf. 255.

Carter, W.P.L., et al., (1995), "Environmental Chamber Study of Maximum Incremental Reactivities of Volatile Organic Compounds", Atmospheric Environment., Vol.29, No. 18, syf. 2499-2511.

Chemistry for The Troposphere, 298-309.

Çepel, N., (1992), Doğa-Çevre-Ekoloji ve İnsanlığın Ekolojik Sorunları, İstanbul.

Drewitt, G.B., Curren, K., et al., (1998), "Measurement of biogenic hydrocarbon emissions from vegetation in the Lower Fraser Valley, British Columbia", Atmospheric Environment, Vol 32, No 20, syf. 3457-3466.

Ertürk, F., Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Hava Kirliliği ve Kontrolü Ders Notları, İstanbul.

Eryılmaz, G., (2001), İstanbul'da Gece Ozonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hava Kalitesi Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı 19269, 2 Kasım 1986.

İkinci Çevre ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, (2001), 21-29, 15-17 Kasım 2001, İstanbul.

İncecik, S., (2002), "Surface Ozone Measurements and Meteorological Influences in The Urban Atmosphere of İstanbul", Int. J. Environment and Pollution, Vol 17, No 4

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı'nın "İstanbul'da Ozon Kirliliği" Adlı Çalışması, (2001), İstanbul.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü İmisyon Ölçüm Sonuçları Verileri, (1995-2002), İstanbul.

İstanbul İli Emniyet Müdürlüğü-Trafik Tescil Müdürlüğü İstatistik Bilgileri, (2002), İstanbul.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ruhsat Müdürlüğü İstatistik Verileri, (2002), İstanbul.

İstanbul Sanayi Odası Çevre Çalışmaları II.Baskı, 73-137, (Aralık 1995), İstanbul.

Karakuş, S., (2002), Benzinli Araçlardan Kaynaklanan Hidrokarbonların Ozon Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Korkmaz, İ., (2000), İstanbul'da Yer Seviyesinde Ozon Kirlenmesi, Bitirme Ödevi, İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Lud Coppens and Anne-France Woestyn, "Tropospheric Ozone, (2001).

Muslu, Y., (1985), Su Temini ve Çevre Sağlığı, Cilt 3, İstanbul.

Müezzinoğlu, A., (1987), Hava Kirliliği, İzmir.

Öztürk, M., (2002), "LPG'nin Ulaşımda Yakıt Olarak Kullanımı" Çalışması, İstanbul.

Rawland, F.S., (1991), " Stratospheric Ozone in the 21st Century, the Chlorofluorocarbon Problem", Environmental Science Technology., Vol.25, No.4,syf. 622-628.

Sarılioğlu, M., (2001), İstanbul'da Yer Seviyesi Ozon Kirlenmesi, Bitirme Ödevi, İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Scott.I.K. and Benjamin T.M., (2003), "Development of a biogenic volatile organic compound semission inventory for the SCOS97-NARSTO domain ",Atmospheric Environment, In Press.

TABGİS (Türkiye Akaryakıt Bayileri Petrol ve Gaz Şirketleri İşveren Sendikası) Bülteni, (2001), İstanbul.

Tecer, L. (2000), İstanbul Kenti Fotokimyasal Smog Mekanizmasının Modellenmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Türkiye Çevre Koruma ve Yeşillendirme Kurumu Çevre Koruma Dergisi, İstanbul.

T.C. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Göztepe İstasyonu 1996-2002 Meteoroloji Verileri, İstanbul.

T.C.Çevre Bakanlığı, Çevre Notları, (1998), Ankara.

Tünay,O., - Alp.,K., (1996), Hava Kirlenmesi Kontrolü, İstanbul Ticaret Odası Yayını, 1996/36 Çevre Mühendisliği Odası, İstanbul.

United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, (2000).

Velasco,E., (2003),”Estimates for biogenic non-methane hydrocarbons and nitric oxide emissions in the Valley of Mexico”, Atmospheric Environment, Vol 37, No 5, syf. 625-637.

Wark, K.,et al., (1998), Air Pollution.Its Origin and Control, Addison Wesley, Longman, Inc., U.S.A., syf. 687.

WHO Regional Office for Europe,(2000), Copenhagen, Denmark.

INTERNET KAYNAKLARI :

- [1] [http:// www.die.gov.tr](http://www.die.gov.tr)
- [2] [http:// www.iem.gov](http://www.iem.gov)
- [3] [http:// www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- [4] [http:// www.ibb.gov.tr](http://www.ibb.gov.tr)
- [5] [http:// www.environment.fgov.be](http://www.environment.fgov.be)
- [6] [http:// www.translator.go.com](http://www.translator.go.com)
- [7] [http:// www.arabul.com](http://www.arabul.com)
- [8] [http:// www.meteo.gov.tr](http://www.meteo.gov.tr)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 12.05.1979

Doğum Yeri Kocaeli

Lise 1993-1997 İzmit Süper Lisesi

Lisans 1997-2001 İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.
Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

2000-2001 Odak Bilgisayar

2001-2002 Arıtım Dünyası

