

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

128567

**BENZİNLİ ARAÇLARDAN KAYNAKLANAN
HİDROKARBONLARIN OZON OLUŞUMUNA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TAYIN MERKEZİ**

Çevre Müh. Safiye Züleyha KARAKUŞ

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

128567

Tez Savunma Tarihi :

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

: Prof Dr. Mustafa ÖZTÜRK

: Prof Dr. Ferruh Ertürk

: Doç. Dr. Atilla Akkoyunlu



İSTANBUL, 2002

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. BENZİN MOTORLU ARAÇLARDA OZON OLUŞUMUNA ETKİSİ OLAN NO _x ve HİDROKARBON EMİSYONLARI.....	4
2.1 Azotoksit Emisyonu	4
2.2 Hidrokarbon (HC) Oluşumu	7
2.3 İçten Yanmalı Motorlu Araçlarda Emisyon Kaynakları.....	9
2.3.1 Karter Havalandırması.....	10
2.3.2 Yakıt Deposu ve Karbüratörden Buharlaştan Emisyonlar.....	10
2.3.2.1 Yakıt Deposundaki Buharlaştan Kaynaklanan Emisyonlar.....	10
2.3.2.2 Karbüratörden Buharlaştırma İle Yayılan Emisyonlar	11
2.3.3 Egzoz Emisyonları	11
2.3.3.1 Hava/ Yakıt Karışımının Egzoz Emisyonuna Etkisi	12
2.3.3.2 Hava Fazlalık Kat Sayısının (HFK)Egzoz Emisyonuna Etkisi	15
2.3.3.3 Motorun Yapısal Özelliklerinin Egzoz Emisyonuna Etkisi	16
2.3.3.3.1 Yanma Odası biçimi ve Yüzey/ Hacim Oranı	16
2.3.3.3.2 Sıkıştırma Oranı	17
2.3.3.3.3 EmmeKanalı Şekli	17
2.3.3.3.4 Supap Zamanlaması (Supap bindirmesi)	18

2.3.3.3.5	Supap Sayısı.....	18
2.3.3.3.6	Ateşleme Sistemi (Buji Sayısı Konumu).....	18
2.3.3.3.7	Motor Devri.....	19
2.3.3.3.8	Motor Yüğü.....	19
2.3.3.3.9	Taşıt Yaşının Etkisi.....	20
2.3.3.4	Motor İşletme Şartlarının Emisyona Etkisi.....	20
2.3.3.4.1	Boşta Çalışma (Rölanti).....	21
2.3.3.4.2	İvmelenme (Hız arttırma)Rejimi.....	21
2.3.3.4.3	Hız Kesme (Yavaşlama) Rejimi.....	22
2.3.3.4.4	Sabit Hız Rejimi.....	23
2.3.4	Taşıt Hızının Emisyona Etkisi.....	23
3.	YER SEVİYESİ OZON KİRLENMESİ.....	26
3.1	Atmosfer.....	26
3.1.1	Hava kirletici Parametreler.....	27
3.2	Ozon Nedir ?	28
3.2.1	Ozon ve diğer Fotokimyasal Oksidantların Etkileri.....	30
3.2.1.1	İnsan Sağlığına Etkileri.....	30
3.2.1.2	Fotokimyasal Oksidantların Bitkilere Etkisi.....	31
3.2.2	Ozon Standartları.....	32
3.3	Yer Seviyesi Ozon Oluşumu.....	33
3.3.1	Azotoksitlerin Ozon Oluşumuna Etkisi.....	34
3.3.2	Hidrokarbonların Ozon Oluşumuna Etkisi	37
3.3.2.1	VOC/ NO _x Oranının Ozon Oluşumundaki Önemi	43
4.	İSTANBUL'DA EMİSYON ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİMİ ...	46
4.1	İstanbul ve Hava Kirliliği	46
4.2	İstanbul İçin Taşıt Emisyon Miktarı Hesapları.....	50
4.3	İstanbul'da Araç Yaşı ve Emisyon İlişkisi	55
4.4	İstanbul'da Araç Hızı - Emisyon İlişkisi	59
4.5	İstanbul'daki Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirmesi.....	61
4.6	İstanbul'da Ozon Ölçüm Sonuçlarına Etki Eden Parametrelerin Değerlendirmesi.....	65
4.6.1	Ozon - Zaman İlişkisi	65
4.6.2	Ozon - Azotoksit İlişkisi.....	74
4.6.3	Ozon - Hidrokarbon İlişkisi.....	85
4.6.4	Ozon - Sıcaklık - Solar Radyasyon İlişkisi.....	109
4.6.5	Ozon - Rüzgar Hızı İlişkisi	111

5.	EGZOZ EMİSYON STANDARTLARI	113
6.	OZON OLUŞUMUNU AZALTMA METODLARI	116
6.1	Benzin Motorlu Araçlarda Emisyon Azaltmak İçin Alınan Önlemler	116
6.1.1	Birincil Önlemler (kaynak öncesi önlemler)	116
6.1.1.1	Karbüratörlü Sistem.....	117
6.1.1.2	Enjeksiyonlu Yakıt Sistemi.....	118
6.1.2	İkincil Önlemler (kaynağında Önlem).....	118
6.1.2.1	Ateşleme Devri.....	119
6.1.2.2	Egzoz Gazı geri Dolaşımı(egzoz gazı sirkülasyonu - ERG).....	119
6.1.2.3	Karter Havalandırması.....	120
6.1.2.4	Yakıt Deposu Havalandırması.....	120
6.1.3	Egzoz Gazı Sisteminde Yakıt Kontrolü.....	121
6.1.3.1	Termik (Isıl) Reaktörler.....	121
6.1.3.2	Katalitik Konvertörler (katalizör).....	121
6.2	Ozon Azaltımında Diğer Önlemler.....	124
7.	SONUÇLAR.....	126
	KAYNAKLAR.....	128
	ÖZGEÇMİŞ.....	132

SİMGELER

CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
CH ₄	Metan
HC	Hidrokarbon
nMHC	Nonmetan hidrokarbon
NO	Azotmonoksit
NO ₂	Azotdioksit
NO _x	Azotoksitler
O ₃	Ozon
RO ₂	Peroksialkil
VOC	Uçucu organikler
λ	Hava fazlalık kat sayısı
h ν	Solar radyasyon şiddeti

KISALTMA LİSTESİ

CAA	Clean Air Act Amendmets (Temiz hava yönetmeliği)
CAFE	Coperate Average Fuel Consumption (Ortalama yakıt tüketimi)
ECE	Economic comission for Europe (Avrupa Ekonomik Komisyonu)
EEC	European ecenomic community (Ortak Pazar)
EGR	Egzoz Gazı Resirkülasyonu
HC	Hidrokarbonlar
HFK	Hava fazlalık kat sayısı
LEV	Low Emission Vechiles (Düşük emisyonlu araç)
NO _x	Azot oksitler
nMHC	Metan dışı hidrokarbon
TLEV	Transitional Low Emission Vechiles
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ULEV	Ultra Low Emission Vechiles (Ultra düşük emisyonlu araç)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Hava kirliliğine sebep olan sektörlerin yüzde oranları.	1
Şekil 2.1	Benzin motorlu araçta yanma ve ürünleri.....	5
Şekil 2.2	HCEmisyonunun hava fazlalık kat sayısına göre değişimi	8
Şekil 2.3	Motorlu taşıtlar tarafından üretilen kirlletici maddelerin kaynakları.....	9
Şekil 2.4	Hava - Yakıt oranının egzoz emisyonu, motor gücü ve yakıt tüketimi üzerine etkileri.....	14
Şekil 2.5	Benzin motorlarında hava fazlalık kat sayısının egzoz emisyonuna etkisi	15
Şekil 2.6	Taşıtlar hızının kirlleticiler üzerine etkisi.....	24
Şekil 2.7	Vites- hız yakıt tüketimi ilişkisi.....	25
Şekil 3.1	Atmosfer tabakaları ve sıcaklığın yükseklikle değişimi	27
Şekil 3.2	Atmosferde azotun fotolitik çevrimi.....	36
Şekil 3.3	İstanbul'da gün içinde ölçülmüş saatlik ozon&NO _x değişimi.	37
Şekil 3.4	Hidrokarbon etkisiyle atmosferik NO ₂ fotolitik çevrimi	41
Şekil 3.5	İstanbul'daki ozon & NO ₂ &NO&nMHC ilişkisi	42
Şekil 3.6	LosAngeles şehrine ait saatlik ozon & NO _x &hidrokarbon ilişkisi.....	43
Şekil 3.7	VOC/ NO _x oranı	44
Şekil 4.1	Yıllara göre İstanbul İli nüfus dağılımı.....	48
Şekil 4.2	İstanbul İlinde yıllara göre motorlu araç dağılımı	48
Şekil 4.3	Araç model yıllarına göre HC ve NO _x emisyonları	53
Şekil 4.4	Yıllara göre araç emisyon durumu (eklenik sonuçlarla)	54
Şekil 4.5	Ozon değişim eğrileri.....	54
Şekil 4.6	Araç yaşı fraksiyonu.	56
Şekil 4.7	Araç model yıllarına göre HC ve NO _x emisyonları & araç fraksiyonları.....	58
Şekil 4.8	Araç hızı - emisyon ilişkisi	60
Şekil 4.9	İstanbul'un sinyalizasyon haritası	62
Şekil 4.10	CO konsantrasyonunun yıllara göre değişimi	63
Şekil 4.11	SO ₂ ve toz konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi.....	63

Şekil 4.12	Hidrokarbon konsantrasyonunun yıllara göre değişimi	63
Şekil 4.13	Azotoksit konsantrasyonunun yıllara göre değişimi.....	64
Şekil 4.14	Ozon konsantrasyonunun yıllara göre değişimi	64
Şekil 4.15	Ozon konsantrasyonlarının aylık ortalama değer dağılımı (1996 - 2001)	66
Şekil 4.16	1996 yılına ait yaz ayları karakteristik ozon grafikleri	67
Şekil 4.17	1997 yılına ait yaz ayları karakteristik ozon grafikleri	67
Şekil 4.18	1998 yılına ait yaz ayları karakteristik ozon grafikleri	68
Şekil 4.19	1999 yılına ait yaz ayları karakteristik ozon grafikleri	68
Şekil 4.20	Ozonun gün içindeki saatlik değişimi	69
Şekil 4.21	Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.....	70
Şekil 4.22	Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.....	70
Şekil 4.23	Ozonun 72 saatlik periyottaki değişimi.....	71
Şekil 4.24	Ozonun 96 saatlik periyottaki değişimi.....	71
Şekil 4.25	Bir yıl içindeki ozon konsantrasyonu değişim grafiği	72
Şekil 4.26	Ozon karakteristik eğrileri	73
Şekil 4.27	Azotoksit konsantrasyonlarının aylara göre dağılımı (1996-2001)	75
Şekil 4.28	Bir yıllık periyot içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi	76
Şekil 4.29	Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.....	77
Şekil 4.30	Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.....	78
Şekil 4.31	Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.....	79
Şekil 4.32	Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.....	80
Şekil 4.33	Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.....	81
Şekil 4.34	Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.....	82
Şekil 4.35	Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.....	83
Şekil 4.36	72 saatlik periyottaki saatlik azotoksit ozon değişimi	84
Şekil 4.37	Aylara göre hidrokarbon ve ozon değişimi	86
Şekil 4.38	Hidrokarbon ve ozon değişim eğrileri.....	87
Şekil 4.39	24 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon& ozon değişimi.....	88

Şekil 4.40	24 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon& ozon değişimi.....	89
Şekil 4.41	24 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon& ozon değişimi.....	90
Şekil 4.42	24 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon& ozon değişimi.....	91
Şekil 4.43	24 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon& ozon değişimi.....	92
Şekil 4.44	48 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon& ozon değişimi.....	93
Şekil 4.45	48 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon& ozon değişimi.....	94
Şekil 4.46	48 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon& ozon değişimi.....	95
Şekil 4.47	24 saatlik periyottaki saatlik azotoksit& hidrokarbon& ozon değişimi.....	96
Şekil 4.48	NO _x / VOC oranının aylara göre dağılımı.(1996).....	98
Şekil 4.49	VOC / NO _x oranının aylara göre dağılımı.(1996).....	99
Şekil 4.50	NO _x / VOC oranının aylara göre dağılımı.(1997).....	100
Şekil 4.51	VOC/ NO _x oranının aylara göre dağılımı.(1997).....	101
Şekil 4.52	NO _x / VOC oranının aylara göre dağılımı.(1998).....	102
Şekil 4.53	VOC/NO _x oranının aylara göre dağılımı.(1998).....	103
Şekil 4.54	NO _x / VOC oranının aylara göre dağılımı.(1999).....	104
Şekil 4.55	VOC /NO _x oranının aylara göre dağılımı.(1996).....	105
Şekil 4.56	NO _x / VOC oranları ile ozon konsantrasyonları değerleri.....	106
Şekil 4.57	NO _x / VOC oranları ile ozon konsantrasyonları değerleri.....	107
Şekil 4.58	NO _x / VOC oranları ile ozon konsantrasyonları değerleri.....	108
Şekil 4.59	Ozonun sıcaklıkla değişimi	109
Şekil 4.60	Ozon - Solar radyasyon dağılımı (Ocak - Nisan 1999).....	110
Şekil 4.61	Ozon - Solar radyasyon dağılımı (Mayıs - Ekim 1999).....	110
Şekil 4.62	Rüzgar hızı ve ozon ilişkisi.....	111
Şekil 6.1	Kapalı (pozitif) karter havalandırma sistemi.....	120
Şekil 6.2	Katalitik konvertörün (katalizör) iç yapısı	122

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	Motordaki kirletici bileşenlerin kaynakları	2
Çizelge 2.1	ABD'de HC emisyon kaynakları	7
Çizelge 2.2	Benzin motorlu taşıtlarda kirleticilerin kaynaklara göre dağılımı.....	9
Çizelge 2.3	Benzin motorlarında işletme şartlarına göre egzoz gazı terkibi.....	20
Çizelge 2.4	İşletme şartlarına bağlı olarak yakıt tüketimi ve egzoz emisyon bağıntısı	21
Çizelge 2.5	Taşıt hız ve araç ağırlığına göre emisyon değerleri (gr/ km)	24
Çizelge 2.6	Trafik yoğunluğu - emisyon etkileşimi.....	25
Çizelge 3.1	Atmosferin temel gaz bileşeni	26
Çizelge 3.2	Hava Kirleticileri Standartları.....	28
Çizelge 3.3	Bölgelere göre ozon konsantrasyonu	30
Çizelge 3.4	Ozon ve fotokimyasal oksidantların insan sağlığına etkileri.....	31
Çizelge 3.5	VOC/NO _x Oranına göre Hesaplanmış Hidrokarbon Reaktivlik Değerleri	45
Çizelge 4.1	İstanbul'da 1990 yılına ait kirletici emisyon dağılımı.....	47
Çizelge 4.2	İstanbul iline ait yıllar itibariyle petrol ürünleri satışları (P.İ.G.M sonuçları).	49
Çizelge 4.3	100lt'lik benzin sarfiyatındaki HC ve NO _x değerleri.....	49
Çizelge 4.4	Benzin ve dizel motorlar için emisyon faktörü değerleri.....	50
Çizelge 4.5	İstanbul'da araç türlerinin yıllara göre dağılımı.....	52
Çizelge 4.6	Araç model yıllarına göre hesaplanmış NO _x ve HC konsantrasyonları.....	53
Çizelge 4.7	İstanbul'da trafiğe kayıtlı taşıtların model ve türlere göre dağılımı.....	55
Çizelge 4.8	Taşıt modelleri için bozulma ve emisyon faktörleri.....	57
Çizelge 4.9	Araç hızı-emisyon ilişkisi	59
Çizelge 4.10	Taşıt hızına göre hesaplanmışNO _x ve HC konsantrasyonları faktörleri.....	61
Çizelge 4.11	01.14 Ağustos 1997 tarihleri arasında İstanbul İline ait ölçüm sonuçları.....	112
Çizelge 5.1	ABD'deki yıllara göre emisyon sınır değerleri.....	113
Çizelge 5.2	ABD'de emisyon sınırları	113

Çizelge 5.3	Yıllara göre Avrupa'da kullanılan emisyon standartları	114
Çizelge 5.4	Avrupa Topluluğu Ülkelerinde araçlar için uygulanan egzoz emisyon sınır değerleri gelişimi	139



ÖNSÖZ

Bu çalışmada,yaz aylarında meydana gelen ve özellikle şehir merkezlerinde yüksek konsantrasyona sahip fotokimyasal olarak oluşan ozon kirliliği incelenmiş,benzinli araç emisyonlarının ozon oluşumuna etkisi araştırılmıştır. İstanbul'da ölçülmüş olan hidrokarbon, azotoksit ve ozon konsantrasyonları ile durum değerlendirilmesi yapılmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmamın başlamasından itibaren, tez konusunun belirlenmesi, verilerin temin edilmesi ve sonuçların yorumlanarak çalışmanın tamamlanmasına kadar olan aşamada yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK'e

Çalışmamın hazırlanması esnasındaki katkıları, görüş ve önerileri için Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK , Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU'ya ve yönlendirmelerinden dolayı Doç.Dr. Kadir ALP'e

Tezimde teorik sonuçları aydınlatacak verilerin temininde yardımcı olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı çalışanlarına teşekkür ederim.

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

tez çalışmam esnasında kaybettiğim anneme ithafen ...

ÖZET

Hızla gelişen teknoloji, hayatımıza sağladığı avantajlarla çevre kirliliği gibi dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Son yarım asırdır strotosferde ozon tabakasında azalma olurken troposferde ozon seviyesinde artışların olduğu anlaşılmıştır. Ozonun insan sağlığı ve canlılar üzerinde olumsuz etkilerinin görülmesiyle bu konularda araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Yaz aylarında hava kirleticilerinin azalmasına rağmen ozon konsantrasyonlarında artış olmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda fotokimyasal olarak oluşan ozon kirliliğine yaz aylarında dikkatleri çekmektedir.

İstanbul'da yapılan ölçüm sonuçlarında yaz sezonunca ozon seviyesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle öğle saatlerinde ozonun maksimum seviyelerde olduğu ölçülmüştür. Akşam saatlerinde ise ozon tekrar düşüş göstermektedir. Bu duruma sebep olan nedir?

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.

Bu çalışmamızda benzin motorlu araç emisyonları araştırılmış, ozon oluşumuna etkileri incelenmiştir. Motorlu araç emisyon standartları ve emisyon azaltma konusundaki çalışmalar araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

Hava kirliliği, benzin motorlu araçlar, ozon, NO_x, hidrokarbonlar, güneş radyasyonu.

ABSTRACT

Exceedingly developing technology brings many advantages to our life but there are some disadvantages such as pollution. Over the last half century, it is observed that there is a decrease in the ozone level in stratosphere where there is an increase in troposphere. The negative effects of ozone on human health and on living things caused an increase in investigations.

Although the pollutants are less in summer, than in winter there is an increase in ozone concentration. Especially in urban areas, the photochemically produced ozone pollution is investigated.

The indications in Istanbul shows us that during summer the ozone level is high. Especially at midday the level is maximum. At night hours the level decreases again. What is the factor causing this change?

The nitrogen oxide and the hydrocarbons produced from vehicle engine give a photochemical reaction with sun radiation and produce ozone. The excessive sun radiation in summer, starts the photochemical reactions and with this reaction ozone is formed. Hydrocarbons change NO to NO₂. This causes a lot of NO₂ to produce ozone. So the ozone level increases.

In this thesis, the emissions of vehicles working with gasoline and their effects on ozone production are investigated. The standards of emissions of vehicle engine and the observations on emission decrease are investigated.

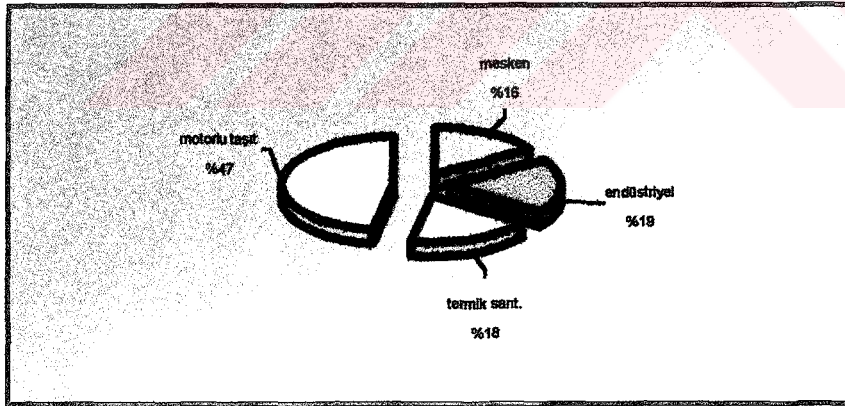
Key Words:

Air pollution, vehicles working with gasoline, ozone, NO_x, hydrocarbons, sun radiations.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hızla gelişen sanayileşme ve şehirleşme bir çok problemi de beraberinde getirmiştir. İnsanlık bir yandan sanayileşmenin getirdiklerinden yararlanmak ve tam bir refah içinde yaşamayı hedeflerken ihmal ettiği bazı değerlerin bedeli, doğal dengenin bozulması ve çevre kirlenmesi ağır bir fatura olarak karşısına çıkmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın tanımlamasıyla “Canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve ya maddi zararlar meydana getiren havadaki yabancı maddelerin, normalin üzerindeki yoğunluğu” olarak tarif edilen hava kirliliği sadece kaynağın olduğu yere zararı dokunan bölgesel bir kirlilik değildir. Hava kirliliği sınır tanımazlığıyla atmosfer altındaki tüm canlıların tehdit unsurudur. Açlığa 60 gün, susuzluğa 6 gün dayanabilen ancak havasızlığa 6 dakika dahi dayanamayan insan günde yaklaşık 12 m^3 (14.4 kg) hava solumaya ihtiyaç duyarken senede 10.000 km yol yapan bir taşıt günde 11 insanın tükettiği kadar oksijen kullanmaktadır.



Şekil 1.1 Hava kirliliğine sebep olan sektörlerin yüzde oranları.[4]

Hava kirliliğine sebep olan kaynaklara baktığımızda sanayileşme ve şehirleşmenin kirliliğe olan katkılarının büyüklüğü kadar motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirliliğin olduğunu ve endüstrinin % 19, termik santrallerin % 16, motorlu taşıtların %47'lik payla kirlilik çemberinde yer aldığını görmekteyiz. (Şekil 1.1)

Motorlu taşıt üretimi ve kullanımı, ulaştırma politikalarına, sosyoekonomik durum ve diğer birçok şartlarla beraber artmaktadır. Bu artışla yakıt tüketimi, buna bağlı olarak da hava kirliliğine katkıları ve sonuçlarının etki hızı da artmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon parametreleri gözle görülmez, kokusu hissedilmez ancak sonuçları bitkilerin zarara uğraması, üst solunum yollarında etki, fotokimyasal smog, sera etkisi olarak görülür.

Motorlu taşıtlar tarafından üretilen maddelerin kaynağını üç ana grupta toplayabiliriz.

1. Yanma sonucu oluşan egzoz gazları
2. Karter havalandırmasından atmosfere atılan gazlar
3. Yakıt deposu ve karbüratördeki buharlaşma

Çizelge 1.1 Motordaki kirletici bileşenlerin kaynakları
(yakıt enjeksiyonlu sistemlerde karbüratör kaçakları yoktur)

	MOTORDAKİ TOPLAM EMİSYONU, %
Karbüratör	5 – 10
Yakıt depo havalandırması	5 – 10
Karter havalandırması	18 – 22
Egzozdaki kirleticiler	65 – 85

İdeal şartlar altında yakıtın tam yanmasıyla CO₂, H₂O, NO₂ oluşacaktır. Ancak yanma sonucunda bu yanma ürünlerinin dışında yanmamış hidrokarbonlar, CO, NO_x, kükürtdioksit, kurşun bileşenleri, is ve partiküllerin de bulunduğunu görmekteyiz.

Los Angeles'de yapılan ölçümlerde (1981) CO kirliliğinin % 92'si, NO_x kirliliğinin %62'si, HC'ların % 44'ü, partiküler maddelerin %59'u, SO₂'nin de % 25'ine taşıtların yol açtığı belirlenmiştir. [11]

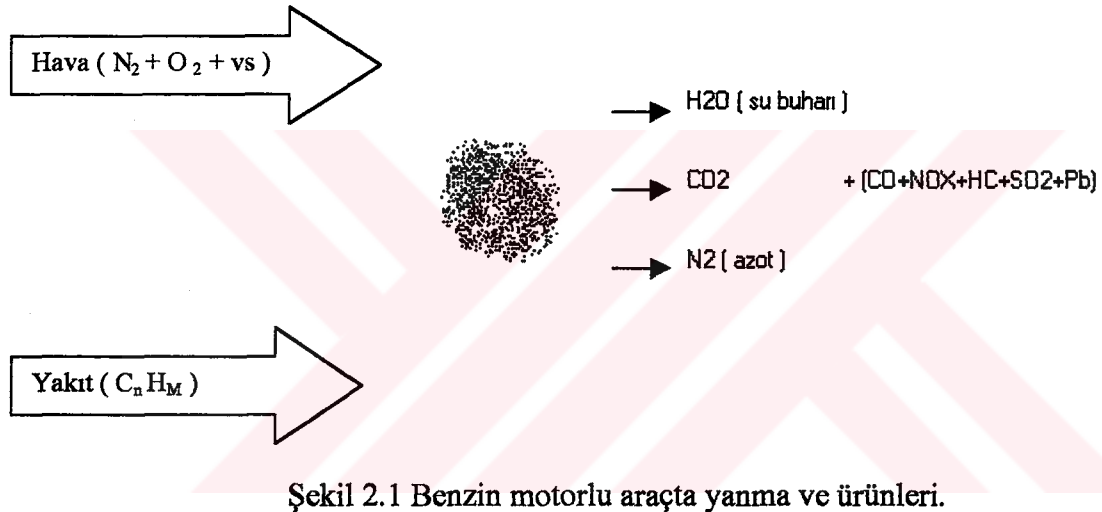
Ankara ili için 1969 - 1971 yıllarını kapsayan araştırma sonuçlarında kentteki hava kirliliğinin % 65'i ulaşım kaynaklı, % 35'i ısınma kaynaklı olduğu anlaşılmakta iken 1990 yılında ise bu oranın % 77'sinin ulaşım, % 23'ünün ise ısınma kaynaklı olarak değiştiği görülmektedir. 1969 - 1971 yıllarındaki araştırmalarda hava kirliliğine neden olan egzoz emisyonunda CO'nun %76, HC'nın % 59, NO_x'in % 39 oranında olduğu tespit edilmiştir. [11]

Troposfer tabakasında, NO_x ve HC'ların güneş radyasyonu ile fotokimyasal reaksiyonları sonucunda ozonun oluştuğu bilinmektedir. Atmosferdeki bu fotokimyasal smog oluşum mekanizmasının anlaşılabilmesi için atmosferin doğal yapısının ve davranışlarının iyi bilinmesi gerekir. Atmosfer ortamında bulunan kirleticilerin birbirleriyle olan reaksiyonlarının neticelerini, güneş radyasyonu, rüzgar hızı, iklim, nem gibi fiziksel faktörlerin ihmalıyla yorumlamak konuya doğru bakışı vermeyecektir. Yerküremizde pek çok şehirde fotokimyasal smog yaşanmaktadır. Fotokimyasal smog olayından olumsuz etkilenmeler bu konuda hava kalitesinin yükseltilmesi çalışmalarına eğilimi arttırmıştır. Ülkemizde de yoğun araç trafiğinin bulunduğu kentlerde bu türden kirlilik yaşanmaktadır. İstanbul'da yapılan ölçüm sonuçları yaz aylarında ozon konsantrasyonunun mevsim içine göre yüksek olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda önce taşıtlardan kaynaklanan ozon oluşumunda etkili emisyon parametreleri ve kaynakları incelenmiştir. Daha sonra ozon oluşum reaksiyonları verilerek bu emisyonların ozon oluşumuna etkisi araştırılmış ve bu bilgiler doğrultusunda İstanbul kentindeki azotoksit, hidrokarbon ve ozon ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. BENZİN MOTORLU ARAÇLARDA OZON OLUŞUMUNA ETKİSİ OLAN AZOTOKSİT VE HİDROKARBON EMİSYONLARI

İdeal yanma durumunda yanma ürünleri arasında zehirli etkisi olmayan CO_2 ve H_2O , N_2 varken, uygulamada yanmanın tam olmaması ve bozulma (disosiyasyon) nedeniyle oluşan ara ürünlerle egzoz gazları arasında NO_x 'ler, CO ve yanmamış yahut kısmen yanmış hidrokarbonlar bulunmaktadır. Ayrıca yakıt içinde bulunan katkı maddeleri de egzoz ürünlerinde tehlikeli maddelerin bulunmasına yol açmaktadır. Şekil.2.1'de yanma reaksiyonu şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.1 Benzın motorlu araçta yanma ve ürünleri.

2.1 Azotoksit Emisyonu

Normal şartlar altında hava içindeki azot (N_2) yanma sonucu reaksiyona girmez. Ancak motor içindeki yanmada ulaşılan yüksek sıcaklıklarda hava içindeki azotun oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. (NO_x 'ler genellikle 1800 K üzerindeki sıcaklıklarda teşekkül etmektedir) NO motor silindiri içinde üretilen azotun en önemli parametresidir. Egzoz gazlarının atmosfere atılması sonucu oksijen ile temasında NO'nun bir kısmı NO_2 ve öteki NO_x 'lere dönüşmektedir.

NO kimyasal dengeye ulaşmamış azot ve oksijen atomları ve moleküllerinin yüksek sıcaklıktaki yanmış gazlarla kimyasal reaksiyona girmesinden meydana gelmektedir. Yanmış

gaz sıcaklığı ne kadar artarsa NO oluşumunda da o nispette artış meydana gelir. NO değeri HFK 1.05 – 1.1 değerlerinde (yani azot ile birleşecek oksijenin bulunması durumu) ortaya çıkmaktadır. Ancak HFK 1.1 den büyük olursa (yani daha fakir bileşim halinde) silindir içi sıcaklık, reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve azotoksit emisyonunda azalma gözlenecektir.

Genellikle moleküler azottan (ve azot atomundan) NO oluşumuna sebebiyet veren stokiometrik hava – yakıt karışımındaki yanmadan oluşan temel reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.



NO'nun genel reaksiyon hızını;

$$d(NO)/dt = k (T) (N_2) (O_2) \quad [2.4]$$

şeklinde gösterecek olursak, NO oluşumunun sıcaklık, zaman, oksijen üçlüsüne bağlılığını görmüş oluruz.

Kimyasal denge hesapları sonucu saptanan NO_x miktarı, motordaki yanma koşullarında elde edilen miktarlarla uyumaktadır. Çünkü motor koşullarında yanma ürünlerinin kimyasal dengeye ulaşması için yeterli zaman bulunmamaktadır. Benzinli motor silindirinde yanma strokunda sıcaklığın yükselmesiyle NO miktarında artış olurken genişleme strokunda yanmış gaz sıcaklığı soğuduğu için NO'nun tekrar N₂ ye ve O₂ ye ayrışması beklenirken reaksiyon hızının düşük sıcaklıkta düşük olmasıyla reaksiyon yavaşlar. Böylece yüksek sıcaklıkta oluşmuş olan NO miktarı dondurulmuş olur ve egzoz şartlarındaki dengeye bağlı olarak fazla

miktarda NO konsantrasyonu kalır. Ayrıca silindir basıncı tüm yanma işleminin büyük bir kısmı boyunca yükselmeye devam ettiğinden daha önceki yanma işleminden silindir içinde kalan yanmış gazlar yanmadan hemen sonra ulaşılan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklığa ulaşır ve bu işlemin hemen sonuna doğru NO miktarında ilk aşamadakine oranla artış olur. NO oluşumu oksijen miktarına da bağlı olduğundan zengin karışımlarda NO miktarı düşmektedir. Maksimum değere ise % 10 fakir karışımlarda ulaşılmaktadır. Karışımın hava miktarı daha da arttırıldığı zaman yanma sıcaklığı düşeceği için NO miktarı da birlikte azalacaktır.

Egzozdan atılan NO'nun NO₂'ye dönüşümü



motor içinde alev bölgesinde ise



reaksiyonu ile NO₂'ye dönüşmektedir. Alev içinde oluşan NO₂ soğutulmadığı sürece NO₂'den NO'ya dönüşümü



reaksiyonlarıyla devam edecektir.

Azotoksitlerin sağlık üzerine etkileri incelendiğinde NO'nun pek olumsuz etki oluşturmadığı, NO₂'nin keskin kokulu, boğucu bir gaz olduğu, ciğerde kanserojen etki yaptığı, anfizeme benzeyen septomlara neden olduğu, zatüreye karşı hassaslaştırdığı, solunumu zorlaştırdığı, göhüs sıkıştırması, gözlerde yanma ve baş ağrısına neden olduğu, 0.5 ppm değerlerine ulaştığında zararlı etkilerinin hissedilmeye başladığını görüyoruz.

Azot oksitlerin en önemli etkisi güneş ışınlarına maruz kaldıklarında hidrokarbonlarla birleşerek ikincil dereceden kirletici oluşturmalarıdır. Fotokimyasal smogun oluşumunda, ozon tabakası incelmesinde ve asit yağmurlarında önemli etkileri mevcuttur.

2.2 Hidrokarbon (HC) Oluşumu

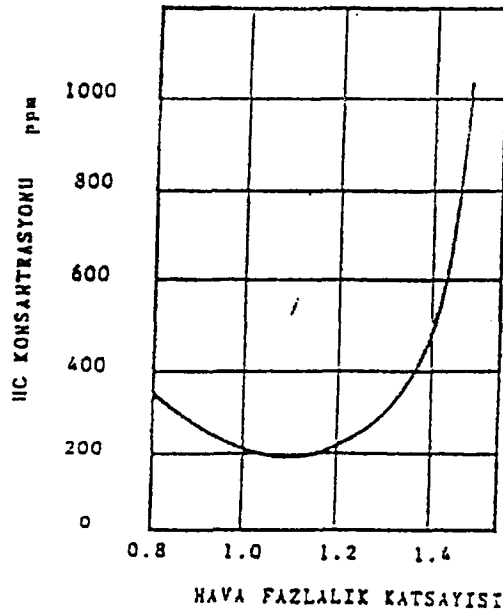
Hidrokarbon emisyonlarının en önemli kaynağı motorlu taşıtlardır. Motorlu taşıtlar arasında da benzin yakıtlı taşıtların emisyon yüzdesi daha fazladır. Çizelge 2.1’de hidrokarbon emisyonları kaynakları verilmekte olup, HC emisyonu açısından benzin motorlu araçların önemi de görülmektedir. Egzoz gazları içinde hidrokarbonların bulunuş nedeni NO_x’lerin aksine yüksek sıcaklıkların mevcudiyeti değildir. Sıcaklık ve oksijenin yetersiz olması gibi etkenlerle yanmanın tamamlanamamasıdır.

Çizelge 2.1 ABD’de HC emisyon kaynakları [8]

EMİSYON KAYNAĞI	EMİSYON 10 ⁶ TON/YIL	%
HAREKETLİ KAYNAKLAR	16.6	51.9
Motorlu taşıtlar	15.6	48.8
Benzin	<u>15.2</u>	<u>47.5</u>
Motorin	0.4	1.3
Uçaklar	0.3	0.9
Demiryolları	0.3	0.9
Gemiler	0.1	0.3
Taşımacılıkta kullanılmayan motor yakıtları	0.3	1.0
SABİT KAYNAKLARDA YAKIT YANMASI	0.7	2.2
Kömür	0.2	0.6
Fuel- oil	0.1	0.3
Doğalgaz	-	-
Odun	0.4	1.3
ENDÜSTRİYEL PROSESLER	4.6	14.4
KATI ATIKLARIN YAKILMASI	1.6	5.0
ÇEŞİTLİ KAYNAKLAR	8.5	26.5
Orman yangınları	2.2	6.9
Yapısal yangınlar	0.1	0.3
Kömür atıklarının yakılması	0.2	5.6
Tarımsal alanlarda yakma	1.7	5.3
Organik solventlerin buharlaşması	3.1	9.7
Benzin buharlaşması	1.2	3.7
TOPLAM	32.0	100

Karışımın zengin veya fakir olması ve emme ve sıkıştırma zamanında silindir çeperindeki yağ katmanının emdiği ve egzoz zamanında geri verdiği,, yanma odası, supap ve piston tepesinde oluşan birikintilerin emdiği, yanma odası, pistonbaşı, silindir yüzeyindeki pürüz, çizik ve çatlaklara girip de yanmadan kalan, soğuk çeperlerde yoğunlaşan (alev sönümü), yanmanın egzoz manifoldu ve egzoz borusunda devam edememesi sonucu artan hidrokarbonlar, emme ve sıkıştırma zamanlarında segman, pistonpimi ve pistonla silindir arasındaki boşluklara sızan yakıt buharı yada parçacıkları ile supap ve buji çevresinde yanmaya katılmayan ayrıca karbüratör ve yakıt deposundan buharlaşan hidrokarbonlar motorlu taşıtlarda eksik yanmanın yanı sıra diğer hidrokarbon kaynaklarıdır.

Karışımın zengin veya fakir olması HC emisyon miktarını etkileyen faktörlerdendir. Şekil 2.2'de HC emisyonunun hava fazlalık katsayısına bağlı değişimi gösterilmektedir. Hava fazlalık kat sayısının 1.1 değeri civarında HC değerleri minimumdan geçerek bu değerin her iki yanında da artış göstermektedir. Hava fazlalık kat sayısının büyük olması durumunda yanma odası sıcaklığı düşeceği için tam yanma olmaz ve HC emisyonu artar. Karışımın zengin olması durumunda ise yeterli oksijen bulunmadığı için yakıtın tümü yanamaz ve tekrar HC miktarında artış gözlenir.



Şekil 2.2 HC emisyonunun hava fazlalık kat sayısına göre değişimi.

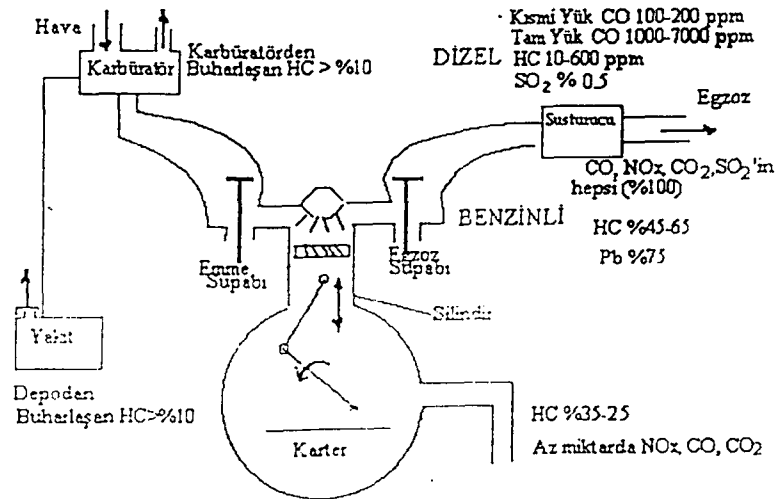
Hidrokarbonlar uzun süre atmosferde kalmazlar. İnsan sağlığı için yüksek konsantrasyonlarda olanları zararlıdır. Hidrokarbonların asıl etkileri, güneş ışığının etkisiyle tepkimeye girip fotokimyasal smog oluşumu, azotun tehlikeli boyutlara ulaşması gibi ikinci dereceden etkileridir. Hidrokarbonların atmosferde oluşturdukları bu ve benzeri zararlı ürünler insanın göz ve burnunda tahrişlere neden olmakta , solunum organlarını etkilemekte ve benzer kanser risklerine yol açmaktadır.

2.3 İçten Yanmalı Motorlu Araçlarda Emisyon Kaynakları

Benzin motorlu taşıtlarda kirleticilerin kaynaklarına göre dağılımı Çizelge 2.2’de verilmiş olup; Şekil 2.3’de de şekil üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Benzin motorlu taşıtlarda kirleticilerin kaynaklarına göre dağılımı. [11]

KİRLETİ KAYNAKLARI	KİRLETİCİLER %			
	HC	CO	NO _x	Pb
Yakıt donanımı (buharlaşma)	20	-	-	-
Karter havalandırması	20	-	-	-
Egzoz sistemi	60	100	100	100



Şekil 2.3 Motorlu taşıtlar tarafından üretilen kirletici maddelerin kaynakları.

2.3.1 Karter Havalandırması

Motor yağında bulunan hafif hidrokarbonların artan sıcaklık nedeniyle buharlaşması, sıkıştırma ve egzoz zamanlarında, sıkıştırılan karışım ve egzoz gazlarındaki bir kısım yakıt buharının kartere sızmasıyla oluşan hidrokarbon kaynaklı kirleticilere karter emisyonları denilmektedir.

Yanma odasında yanma sonucu oluşan gazlar segman ile silindir arasından kartere geçmekte ve daha sonra buradaki yağ buharı ile birlikte pistonun hareketi sonucu karter havalandırma açıklığından atmosfere atılmaktadır. Karterden atmosfere atılan gazların büyük bir bölümünü hidrokarbonlar kalanını ise CO₂, CO, H₂O, O₂, N₂ ve NO oluşturmaktadır. Önlem alınmamış taşıtlarda karter havalandırmasından kaynaklanan HC emisyonu tüm HC emisyonunun %20'si kadarını oluşturmaktadır. Bu emisyon günümüz motorlarında kapalı karter havalandırma sistemiyle kontrol altına alınabilmektedir.

2.3.2 Yakıt Deposu ve Karbüratörden Buharlaşan Emisyon

Yakıtın, yakıt deposu ve karbüratörden buharlaşmasında oluşan hidrokarbonlara buharlaşma emisyonları denilmektedir. Bu emisyon, geliştirilmiş teknolojilerle donatılmış motorlarda havayı kirletmeyecek şekilde kontrol altında tutulabilmektedir.

2.3.2.1 Yakıt Deposundaki Buharlaşmadan Kaynaklanan Emisyonlar

Önlem alınmaması halinde, sıcak havalarda, benzinli taşıtlarda taşıt dururken veya hareket halindeyken ve dolum sırasında depoda buharlaşan yakıt, yakıt depo havalandırmasından ve motor yakıt sisteminden çevreye atılmaktadır. Yakıt deposu havalandırmasından atmosfere atılan kirleticilerin tamamı hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Taşıtın toplam hidrokarbon emisyonunun % 5 – 10 kadarı yakıt deposundandır.

Benzinli araçların dolusunda yakıt ikmali yapılırken benzin sıcaklığı, araçların depo tankı sıcaklığına da bağlı olarak yakıt deposundan çıkan buhar ile birlikte dökülmeler, sızıntı sonucu atmosfere yayılan emisyon miktarı artmaktadır. Mazot içinde uçuşan bileşen miktarları benzine oranla çok daha az olması nedeniyle, dizel motorlarında yakıt buharlaşmasından oluşun HC emisyonu çok daha düşüktür.

2.3.2.2 Karbüratörden Buharlaşma ile Yayılan Emisyonlar

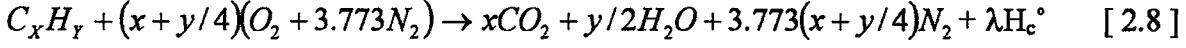
Kabüratör, emilen hava ile yakıt tankından alınan yakıtı karıştırarak yakıt – hava karışımının yanma odasına girmesini sağlayan elemandır.

Yakıt deposunda olduğı gibi hava sıcaklığı ile karbüratörden olan kaçak buharlaşma kayıpları da artmaktadır. Özellikle durup kalkma şeklindeki işletme şartlarında bu buharlaşma artar. Karbüratördeki emisyon tamamen hidrokarbonlardan oluşur. Karbüratördeki yakıt buharlaşması hava ile taşınan yakıt zerreciklerinin buharlaşması manifold içinde de devam etmektedir. Yakıt püskürtmeli benzin motorlarında (enjeksiyonlu) ve dizel motorlarda karbüratör olmayıp, enjektör ve enjektör pompası vardır. Hava-yakıt karışımı emme zamanında emme manifoldundan içeri hava alınırken bir yandan da benzin püskürtmesi ile sağlanır ve buharlaşmadan kaynaklanan emisyon oluşmaz. Karbüratördeki buharlaşmadan kaynaklanan HC emisyonu motor emisyonlarının % 5 – 10 kadarını teşkil etmektedir.

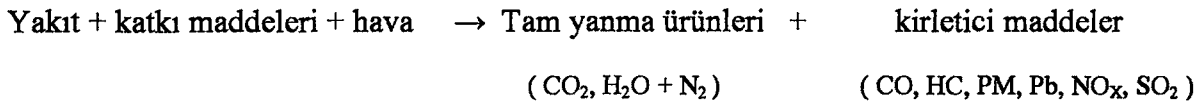
2.3.3 Egzoz Emisyonları

İçten yanmalı motorlarda yanma olayında yakıt ve havanın birleşmesiyle kimyasal enerji ısı enerjisi olarak açığa çıkar ve bir kısmı işe dönüşür; bir kısmı ise egzoz gazları ve soğutma sistemleriyle kayıp ısı olarak havaya verilir. Yanma odası içinde yakıtın kimyasal enerjisinin açığa çıkartılması olayı yakıtın hava ile girdiğı reaksiyonlar sonucu olmaktadır. Aslında, hava yakıt içindeki oksijenle reaksiyona girerek oksidasyona uğramaktadır. Fakat hava içinde bulunan diğerkimyasal bileşiklerde yanma olayını ve egzoz emisyonlarını etkilemektedir.

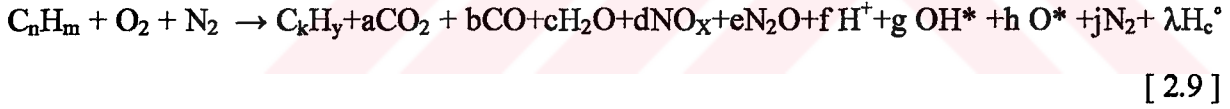
Kompozisyonu C_xH_y olan genel bir hidrokarbonun (yakıtın) hava ile yanmasının kimyasal denklemi [2.8] aşağıdaki gibidir.



Bu denklem aynı zamanda yakıt ve havanın “stokiyometrik (teorik)” oranlarını göstermektedir. Denklemden de görüldüğü gibi motorlu araçta yakıtın yanmasıyla CO_2 , H_2O ve N_2 ’nin açığa çıkması beklenir. Ancak uygulamada yanmanın tam gerçekleşmemesiyle



denkleminde gösterildiği gibi denklem tamamlanır ve tam yanma ürünlerinin dışında zararlı maddelerde oluşur.



Bu denklemden;

C_kH_y : hiç yanmamış veya tam olarak yanmış hidrokarbon yakıt,

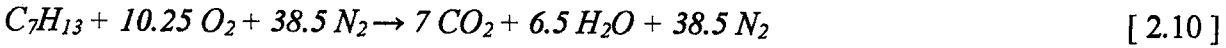
λH_c° : ideal olamayan şartlardaki yanma ısı (entalpi),

a, b, c, d, e, f, g, h, j yakıt ve işletme şartına bağlı değişen kat sayılardır.

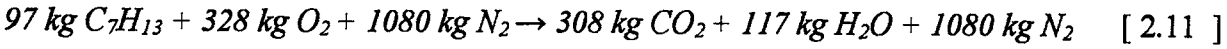
2.3.3.1 Hava/Yakıt Karışımının Egzoz Emisyonuna Etkisi

Hava/yakıt oranı; karışımdaki havanın yakıtla kütleli ya da molar oranıdır. Bu oran karışımın stokiyometrik, zengin ya da fakir olduğunu gösterir.

Benzin yakıtını temsil eden teorik bir yakıt C_7H_{13} olarak kabul edilirse havanın tam yanması için gerekli olan teorik hava miktarı aşağıdaki şekilde bulunabilir:



veya kütleli ifade ile



birim yakıt kütlesi için gerekli hava kütlesi olarak tanımladığımız karışım oranı bu denklemlerden,

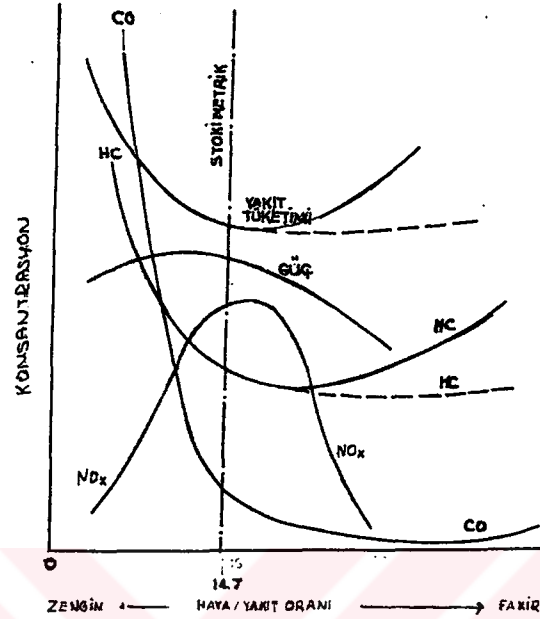
Karışım oranı = hava kütlesi/ yakıt kütlesi

$$H/Y = (328 + 1080) / 97 = 14.5 \quad \text{olarak bulunmaktadır.}$$

Yakıt - hava karışımları stokiyometrik hava miktarından daha düşük ve ya daha yüksek hava miktarlarıyla da yakılabilmektedir. Stokiyometrik hava miktarından daha fazla kullanıldığı anlamına gelen fazla hava ile yanma durumunda bu hava reaksiyona girmeden yanma ürünlerinde kendini gösterirken Stokiyometrik hava miktarında az hava kullanıldığında yakıt içindeki karbon ve hidrojenin tamamını CO_2 ve H_2O 'ya dönüştürerek yeterli oksijen bulunmadığından yanma ürünleri CO_2 , H_2O , CO , H_2 ve N_2 den oluşacaktır.

Hava/ yakıt oranının egzoz emisyonu, güç ve yakıt tüketimi üzerine etkisi Şekil 2.4'de gösterilmiş olup; hava/ yakıt oranının 14.7 olduğu yer stokiyometrik (ideal) karışımı, 14.7 den büyük olduğu değerler fakir karışımı, 14.7 den küçük değerler ise zengin karışımı belirtmektedir. Başlangıçta zengin olan karışım yakıldıkça giderek fakirleşir. Stokiyometrik oran ve bu orana yakın olan karışımlarda yanma, tam yanma koşullarında gerçekleşmektedir. Stokiyometrik oran teorik yanmayı belirler. Bu oran ticari süper benzin için 14.7/1, normal benzin için 14.8/1 dir. Stokiyometrik sınırdan uzaklaştıkça, düşük sıcaklık ve zaman

yetersizliği, yakıt veya aşırı hava fazlalığı gibi nedenlerle yanma verimi azalmaya başlar ve eksik yanma oluşur. Bu yetersizlik veya eksik yanma, HC emisyonunun temel nedenidir.



Şekil 2.4 Hava – Yakıt oranının egzoz emisyonu, motor gücü ve yakıt tüketimi üzerine etkileri.

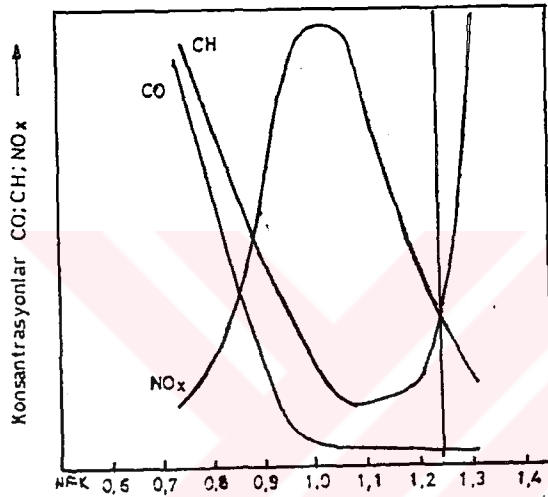
Zengin karışımda, HC emisyonu karışımın zenginliği ve sıcaklığın düşüklüğü oranında artar. Karışımın hava miktarı stokiyometrik değere yakın olduğu zaman HC değerleri düşer. Bu durumda yanma veriminin artmasıyla yanma sıcaklığı yükselir; sonuçta NO_x 'ler artar. Fakir karışımla HC düzeyi belirli bir oranda azaltılabilmektedir. Karışım fakirleştikçe, yanma yetersizliği nedeniyle HC düzeyinde artış, motor gücünde düşme ve karışımın silindirlere dağılımında düzensizlik görölmektedir.

HC emisyonu; zengin karışımın başlangıcında hava azlığı nedeniyle en yüksek değerde, 16/ 1 karışım oranı civarında ise en düşük değerdedir. 16/ 1 karışım oranından sonra karışım fakirleştikçe, eksik yanma nedeniyle tekrar artmaya başlar. Aşırı fakir karışımda ise ateşlenme zorlaşır, bir kısım yakıt yanmadan egzozla havaya atılır. Ayrıca motorun düzensiz çalışması

da HC emisyon miktarını arttırmaktadır. NO_x emisyonu hava/ yakıt oranı 15/1 civarında en yüksek değerine ulaşmakta olup, karışım zenginleştikçe ve fakirleştikçe azalmaktadır.

2.3.3.2 Hava Fazlalık Kat Sayısının (HFK) Egzoz Emisyonuna Etkisi

Hava fazlalık kat sayısı birim miktardaki yakıt için kullanılan gerçek hava miktarının, teorik yanma için gerekli en az hava miktarına oranıdır. Hava fazlalık kat sayısının (HFK) egzoz emisyonu, yakıt tüketimi ve molar gücü üzerinde önemli bir etkisi vardır.



Şekil 2.5 Benzin motorlarında hava fazlalık kat sayısının egzoz emisyonuna etkisi.

HFK = 1 koşulu stokiyometrik karışım oranını belirtir. Bu sınır ve oranda oksijen yeterli olduğundan , tam yanma koşulları oluşur. O nedenle HC emisyonu düşük, NO_x ise yüksek oranda gerçekleşir. Önemli olan karışım ve yanmayı bu hava fazlalığı oranında tutmaktır. Bu koşul klasik ateşleme ve karbüratörlü sisteme göre elektronik ateşleme ve yakıt enjeksiyon sistemiyle daha iyi sağlanmaktadır. Bu hava sınırında yanma verimi arttığından yanma sıcaklığı da oldukça yükselir.

HFK < 1 (hava azlığı) koşulunda karışım zengindir. Maksimum güç 0.8 - 0.95 hava azlığı sınırları içinde elde edilir. Zengin karışımın başlangıcında (HFK = 0.7), oksijen yetersizliği nedeniyle HC emisyonu en üst, NO_x emisyonu en alt düzeydedir. Hava fazlalık kat sayısı 1'e yaklaştıkça HC emisyonunda azalma, NO_x emisyonunda ise artma görülür.

HFK >1 (hava fazlalığı) koşulunda karışım fakirdir. En az yakıt tüketimi bu devrede ve 1.05 – 1.2 değerinde sağlanır, verimde düşme görülür. Hava oranı arttıkça karışım giderek fakirleşir. Belli bir sınıra kadar NO_x emisyonunda ise hızlı bir azalma görülür.

HFK >1.2 koşulunda karışım aşırı fakirleşir, ateşleme zayıflar, yetersiz yanma sonucu yakıt tüketimi, HC emisyonları hızla artar. Hava fazlalığı 1.25 olduğunda ise tutuşma ve yanma gerçekleşmeyebilir.

2.3.3.3 Motorun Yapısal Özelliklerinin Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Benzin ve dizel motorlarda, motor tasarımına ilişkin çeşitli parametrelerin değişimi motor performansını egzoz gazları içindeki HC,NO_x miktarını önemli ölçüde etkilemektedir.

2.3.3.3.1. Yanma Odası Biçimi ve Yüzey/ Hacim Oranı

Yanma odası, piston silindir içinde en üst konuma (üst ölü nokta) geldiği zaman, piston ile silindir kafası arasında kalan kısım olup, bu odanın şeklini piston üst yüzeyi ile motor kafasının alt yüzeyi belirlemektedir. Yanma odasının yüzey hacim oranı emisyon açısından önemli bir parametredir. Yanma odasının şekli yuvarlak (küre benzeri) ise hacmi büyük buna karşı ise yüzeyi az olur ve yanma odasında dışarı iletilen ısı az olacağından sıcaklıklar yüksek olur. Aksi durumda, yanma odasının uzun ve ince şekle sahip olması durumunda sıcaklık düşük olacaktır. Yüzey/hacim oranı yanma odasının geometrisine, yani çap/strok orantısına ve sıkıştırma oranına bağlıdır. Yanma odasının yüzey sıcaklığı malzemenin dayanma sınırı nedeniyle, dizel motorlarında 350 °C, benzin motorlarında ise 250 °C'yi aşmamalıdır. Ancak bu kadar düşük sıcaklıklarda yanmanın yüzeye kadar ilerlemesi mümkün olmamakta ve alev yüzeye yakın bölgelerde sönmektedir. Böylece yanma tamamlanamadığından egzozdan tam yanmamış yakıt atılmaktadır.

Sonuç olarak, alev sönme bölgesindeki artış doğrudan HC emisyonunu arttırmaktadır. Burada HC emisyonundaki artış dizel motorunda, benzin motorundakine göre çok daha azdır. Bunun

nedeni ise, dizel motorunda silindire sadece havanın emilip yakıtın ise sıkıştırma sonuna doğru püskürtülmesi ve püskürtülen yakıtın soğuk cidarlara yaklaşmadan yakılmasıdır. Buna karşılık benzin motorunda homojen yakıt hava karışımı (yakıt ile hava silindir içinde her bölgeye eşit olarak dağılır) emildiğinden soğuk cidarlara yakın bölgelerde de oldukça çok yakıt buharı bulunmaktadır. Yüzey alanının hacme oranı artınca ısı kayıpları da arttığından yanma odası içindeki sıcaklıklar düşecek ve böylece egzozdaki NO_x azalacaktır.

Benzin motorundan kaynaklanan emisyon miktarı ayrıca yanma odası içindeki hava hareketlerine, bu hareketlerin miktarı ve yapısı ise yanma odası geometrisine bağlıdır. Yanma odasındaki hava hareketlerinin artması alev hızını arttırmakta ve böylece alev sönme bölgesinin kalınlığı azalarak HC emisyonu olumlu, sıcaklık arttığında ise NO_x emisyonu olumsuz etkilenmektedir.

2.3.3.3.2 Sıkıştırma Oranı

Motorun sıkıştırma oranının artırılması, ısı verimi ve hava yakıt karışımını, özgül yakıt tüketimini arttırmakta ve motorda elde edilen maksimum gücün artmasını sağlamaktadır. Sıkıştırma oranının artışı yüzey/ hacim oranını arttırdığından alev sönme bölgesi büyümekte ve HC emisyonu artmaktadır. Bununla beraber sıkışma oranının artışı ile yanma odası sıcaklığı arttığında NO_x emisyonu da artmaktadır.

2.3.3.3.3 Emme Kanalı Şekli

Emme kanalının şeklinin uygun seçilmesi ile, gaz hareketleri ve türbülans etkilenecek, motorlarda karışım oluşumu ve yanma olaylarının iyileştirilmesi mümkün olur. Emme kanalı yanma olayının iyileştirimi için hava hareketleri ve türbülansı arttıracak şekilde tasarlandığında volümetrik verimi ve motor gücünü düşüreceğinden amaca uygun bir şekilde optimize edilmelidir.

2.3.3.3.4. Supap Zamanlaması (Supap bindirmesi)

Emme ve egzoz supaplarında açılma ve kapanma zamanlamasında, motorun çalışma koşullarını etkileyen parametrelerden biri, egzoz supaplarının kapanma ve emme supabının açılma zamanıdır.. Egzoz ve emme supaplarının birlikte açık kalma süresi emisyonu büyük ölçüde etkilemektedir (supap bindirmesi, egzoz ve emme supaplarının aynı anda açık kalmasıdır).

Egzoz ve emme olayının kesişmesinin uzaması yüksek devirde egzoz gazlarının atılımını kolaylaştırır ve motor gücünü artırır. Ancak düşük devirde motor düzgün çalışmayabilir ve benzin motorlarında taze karışımın bir bölümünün egzozdan kaçması ile HC emisyonunun artmasına neden olur. Supap bindirme süresi kısa tutulursa (egzoz supabının erken kapanması) egzoz gazlarının bir kısmı dışarı atılmayarak silindirde kalır. Dışarı atılamayan egzoz gazları emme kanalından giren taze dolgu ile karışır ve yanma hızı ile sıcaklığı düşer. Bu da NO_x emisyonunu azaltıcı yönde etkiler. Silindirde fazla atık gaz kalması yanmayı kötüleştirerek HC emisyonlarını artırır. Egzoz supabının erken açılması ile de yanmanın tamamlanamamasından egzozda HC emisyonunda artış gözlenir. Bu nedenle supap bindirme süresinin dengeli bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

2.3.3.3.5 Supap Sayısı

Emme ve egzoz supaplarının konum ve sayıları egzoz emisyonunu etkilemektedir. Bir silindirde birer supap yerine daha küçük çaplı ve geniş açılı iki emme ve iki egzoz supabı kullanılması emme ve egzoz verimini arttırmaktadır. Ayrıca dolgu ve gaz akışı hızlandığından yanma iyileşmekte ve böylece HC emisyonunda ve yakıt tüketiminde azalma görülmektedir.

2.3.3.3.6 Ateşleme Sistemi (Buji sayısı konumu)

Benzin motorlu araçlarda ateşleme elemanı olan bujinin motor kafasındaki yeri ve silindir başına buji sayısı ve bujinin cinsi (sıcak ve ya soğuk buji) motorun HC ve NO_x

emisyonlarını, gücünü ve vurutuyu doğrudan etkilemektedir. Buji yanma odası içinde mümkün olduğu kadar orta noktalarda ve en sıcak bölgeye yakın olmalıdır. Böylece yanma hızlanırken vurutu olasılığı azalır. Buji sayısının artması halinde (iki ve ya üç buji) fakir karışımla çalışan motorlarda yakıt tüketimi ve yanma kararsızlığı azalacağından HC emisyonu azalır; ancak yanmanın iyileşmesi ile artan sıcaklığa bağlı olarak NO_x emisyonu artar.

2. 3.3.3.7. Motor Devri

Motorun dönme sayısının artışı yanma odasındaki akışkan hareketlerini hızlandıracak ve türbülans şiddetini arttıracaktır. Sonuç olarak daha iyi karışım sağlanacak ve yanma hızı artacaktır. Yanmanın iyileşmesiyle HC emisyonu da azalacaktır. Motor devri arttıkça, iç sürtünme kayıpları ve yardımcı sistemlerin tükettiği güç de artar; ancak belli bir sınırdan sonra yararlı güç azalmaya başlar. Bu nedenle daha düşük devirde elde edilen güç daha yüksek bir devirde elde etmek için karışımın zenginleştirilmesi gerekir. Bu da egzoz emisyonu ve yakıt tüketimini belli ölçülerde arttırır. Ayrıca düşük devir ve zengin karışımda HC emisyonunda artış olurken, devir artıp stokiyometrik sınıra yaklaştıkça emisyonda azalma olur. Devir daha da yükselip karışım fakirleştikçe zaman yetersizliği ve ateşleme zorluğu nedenleriyle HC’de yükselme görülmektedir.

2.3.3.3.8 Motor Yüğü

Artan motor yüğü yanma sıcaklığını arttırırken, yanma odası çeperinde sönüm karmanı kalınlığı azalır. Bunun sonucu yanma iyileşir. Genişleme ve egzoz zamanında tepkimelerin devamı sağlanarak karbonmonoksidin (CO) karbonmonokside dönüşümü hızlanır, yanma HC emisyonu azalır, buna karşın NO_x ’lerde artış olur. Yüğün aşırı derecede artmasında ise emisyonda ve yakıt tüketiminde artış olur.

2.3.3.3.9 Taşıt Yaşının Etkisi

Taşıt yaşının etkisi iki şekilde incelenebilir. Biri aracın yaşlanması nedeniyle aşınma gibi nedenlerle verim düşüklükleri sonucu kirletici emisyonlarda genelde bir artışın olması diğeri ise her yeni model araçta kirlenmeyi önlemek üzere giderek daha etkin önlemlerin bulunmasıdır. Araçların yaşlanması ile kirletici emisyonların değişimini belirtmek üzere kesin rakamların verilmesi zordur. Çünkü bu değişim pek çok faktöre bağlıdır. Ancak en azından yakıt kullanımı ve yağ yakma derecesi bir ölçü olarak ele alınabilir. Diğer taraftan araçların kirlenme kontrolü önemli olup yaş dağılımının bu açıdan değerlendirmesinde fayda sağlar.

2.3.3.4 Motor İşletme Şartlarının Emisyona Etkisi

Motorlu aracın sabit hızda ivmelenme ve hız kesme (motor freni, sürüklenme), boşta (rölanti) çalışması egzoz emisyonunu, yakıt tüketimini, motor gücünü önemli ölçüde etkilemektedir . Çizelge 2.3' de motor işletme şartları ve egzoz gazı ilişkisi gösterilmektedir .

Çizelge 2.3 Benzin motorlarında işletme şartlarına göre egzoz gazı terkibi. [18]

BİLEŞEN	RÖLANTİ (V = 0)	HIZLANMA (a > 0)	SABİT HIZ (V = SBT)	YAVAŞLAMA (a < 0)
HC, ppm	30 – 1000	300 – 800	250 – 550	3200 – 10000
CO, %	4 – 9	1 – 8	1 – 4	3 – 4
NO	10 – 50	1000 – 3000	1000 – 2000	5 – 40
HO, %	13	13.1	13.1	13.1
N, %	70 – 72	74 – 77	72 – 75	70 – 74
O, %	1 – 1.5	0.1 – 0.3	0.5 – 2.6	1 – 1.5
H, %	0.5 – 10	0.1 – 0.2	0.2 – 0.3	0.5 – 2.0
CO, %	6.5 – 10	9 – 12	10 – 13	5 – 10
Önemli kirleticiler	HC – CO	HC – CO - NO _x	HC – CO - NO _x	HC – CO

Aynı motorlu taşıt değişik işletme şartlarında çok farklı yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu değerleri verecektir . Çizelge 2.4'de bunları görmekteyiz.

Çizelge 2.4 İşletme şartlarına bağlı olarak yakıt tüketimi ve egzoz emisyon bağıntısı. [1]

İşletme Şartı	Bağıl yakıt tüketimi,%	Bağıl egzoz gazı emisyonu,%
Boşta çalışma	10 – 14	12
İvmelenme	45 – 51	47
Sabit hız	20 – 23	20
Hız kesme	8 - 12	21

2.3.3.4.1 Boşta Çalışma (Rölanti)

Taşıt boşta çalışmada faydalı bir taşıma işinde bulunmamaktadır. Fakat bu çalışma rejiminin yakıt tüketiminde ve toplam egzoz emisyonundaki payı oldukça büyüktür. Boşta çalışmada motor düzgün olarak çalışabileceği en düşük dönme sayısında dönmekte ve kendi iç sürtünmelerini yenecek kadar güç üretmektedir. Boşta çalışma (rölanti) düzeneği, ancak geniş bir aralıkta değişen ve genellikle zengin bir hava-yakıt (HFK = 0.8-1) karışımı sağlayabilmektedir. Bu şartlardaki eksik yanma, soğuk cidarlar ve düşük silindir basıncı, düşük motor devri sonucunda HC ve CO emisyonlarında (püskürtmeli benzin motorlarında bu durum karbüratörlü motora göre daha iyidir) ve yakıt tüketiminde artış gözükmemektedir. NO_x 'ler ise silindir içinde bir önceki çevrimden kalan atık gazlar yüzdesinin büyük olmasından ve buna bağlı olarak düşük yanma sıcaklıklarından dolayı, pratik olarak yoktur. Rölantide HC emisyonu ve yakıt tüketimin azaltmak için karışımın silindire girmeden önce ısıtılması, ateşleme avansının azaltılması, hava debisinin artırılması, motor devrinin yükseltilmesi, emme manifoldunun iyileştirimi gibi önlemlere başvurulmaktadır.

2.3.3.4.2 İvmelenme (Hız arttırma) Rejimi

Hızlanma, motorun bir üst devire yada taşıtın bir üst basamağa geçirilmesi sürecinde ortaya çıkan (t) ivmelenmesidir. Bu geçiş sırasında karışım zenginleştirildiğinden motor devri ve yanma hızı artar, hava fazlalık katsayı 0.90 - 0.95 arasında gerçekleşir. Buna karşın hızlanmada karışımın silindire dağılımı eşit olmaz, yakıt ve havanın ataleti nedeniyle orta

silindirlerde fakir, yan silindirlerde zengin karışım olur. Bu koşullarda egzozda, rölanti ve yavaşlamadan az, sabit hızla sürüşten fazla CO ve HC emisyonu oluşur .

Taşıtların ivmelenme rejiminde çalışma süresi toplam çalışma sürelerinin %42'si dolayındadır. Trafiğin yoğun olduğu saatlerde bu oran %10 - 20 artmaktadır ki bu da egzoz emisyonlarının artması anlamını taşımaktadır. Çünkü hızlanma sırasında motor hızlanmanın gerektirdiği yükseklikte bir güç üretmekte ve daha çok yakıt tüketerek daha çok kirletici yaymaktadır. Taşıt trafiğin durumuna göre kontrollü kullanılmalı, ani hızlanma ve frenlemelerden kaçınılmalıdır.

2.3.3.4.3 Hız Kesme (Yavaşlama) Rejimi

Yokuş aşağı inen taşıtta, virajlarda ve hız kesmek için yapılan frenlemede ya da ani gaz kesme durumunda (-) ivmelenme (yavaşlama) olur. Normal seyir şartlarında seyreden bir benzinli taşıtın gaz pedalından ayak çekilince gaz keleşbeği emme kanalını kapatmaktadır. Fakat motor dönmeye devam ettiğinden, silindirde; büyüklüğü motor hızıyla değişen çok düşük bir basınç oluşmaktadır. Bu olay ayak gaz pedalından çekili durumda taşıt viteste seyredilirken yani motor freni yapılırken ortaya çıkar. Gaz keleşbeği kapalı olduğundan oluşan karışım çok fakirdir. Yanma hızı ve sıcaklığı çok düşüktür. Bu ise eksik yanma ürünlerinin artmasına yol açar. Hatta silindirlere üniform dolgu dağılımı olmadığından çok fakir karışımlı orta silindirlerde ateşlenme hiç gerçekleşmemektedir. Dolayısıyla egzozda yanmamış HC'lar gönderilmektedir. Bu arada ateşlemesini tamamlayan, fakat düşük alev hızından dolayı yanması egzozda kadar uzayan bir silindirin egzoz gazları, egzoz sisteminde biriken bu yanmamış karışımı tutuşturabilir. Özellikle dönemeç ve yokuş aşağı inişlerdeki gaz kesmede duyulan egzoz patlamaları bu şekilde oluşmaktadır. Buna karşı önlem olarak rölanti çalışmasındaki yakıt miktarlarını arttırmak, yani karışımı zenginleştirmek gerekir. Bu ise boşta çalışmadaki emisyonları arttıracaktır. Benzin püskürtmeli taşıtlarda hız kesme sırasında yakıt püskürtmesi de durdurulduğundan emisyon ve yakıt tüketiminde azalma sağlanmaktadır.

2.3.3.4.4 Sabit Hız Rejimi

Bu rejimde taşıt sabit hızda seyretmektedir. Benzin motorlu bir taşıt motorunun ekonomik çalışması hedeflendiğinden hava fazlalık kat sayısının 1.0 - 1.1 değerleri arasında olması sağlanır. Karbüratörlü benzin motorlarında bu değerler sabit hız rejiminde oldukça iyi bir şekilde ayarlanabilirken elektronik kontrollü püskürtme sistemleri ile hassasiyet daha da arttırılabilir. Ayrıca karbüratörlü motorda silindirler arasında zengin ve fakir karışımda çalışanlar olduğundan buna bağlı olarak HC ve NO_x emisyonunda artışlar oluşabilir. Her silindire ayrı ayrı püskürtme yapan sistemlerde (multipoint injection-çok noktadan püskürtme) bu durum ortadan kalkmaktadır.

Ayrıca burada belirtilmesi gereken bir hususta taşıtın hangi hız ve vites kademesinde sürüldüğüdür. Çok düşük hızlarda ve viteslerde yakıt tüketimi ve birim yol başına egzoz emisyonları artış göstermektedir. 70 - 100 km/h hızlarında ve yüksek vites kademelerinde hem yakıt hem de egzoz emisyonu açısından iyi sonuçlar elde edilmektedir. Daha yüksek hızlarda yakıt tüketimi ve birim yol başına egzoz emisyonu artmaktadır. Sabit hızda devamlı sürüş egzoz emisyonlarını devamlı azaltmaktadır. Belli bir hızdan sonra, artan hıza paralel olarak, yetersiz yanma nedeniyle emisyonda artış görülmektedir.

Özetle; hızlanma ve sabit hız rejiminde egzoz emisyonun da genellikle düşme olmakta, rölanti ve yavaşlama koşullarında ise emisyonda artış görülmektedir. Yakıt püskürtmeli benzin motorlarında bu çalışma koşullarında emisyon değerleri daha düşüktür.

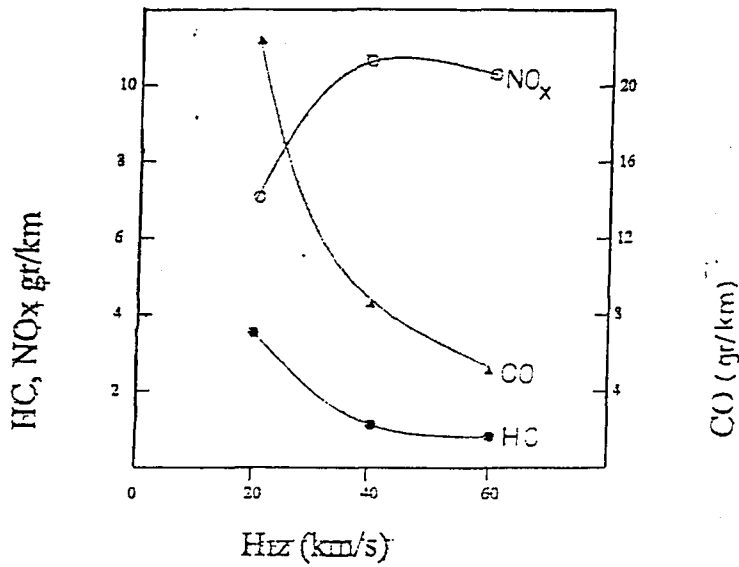
2.3.4 Taşıt Hızının Emisyona Etkisi

Çizelge 2.5'de de görüldüğü gibi hız arttıkça HC emisyonları azalırken NO_x emisyonu artmaktadır ve her iki yakıt türü için taşıt ağırlığındaki artışla orantılı olarak emisyonların yükseldiği görülmektedir.

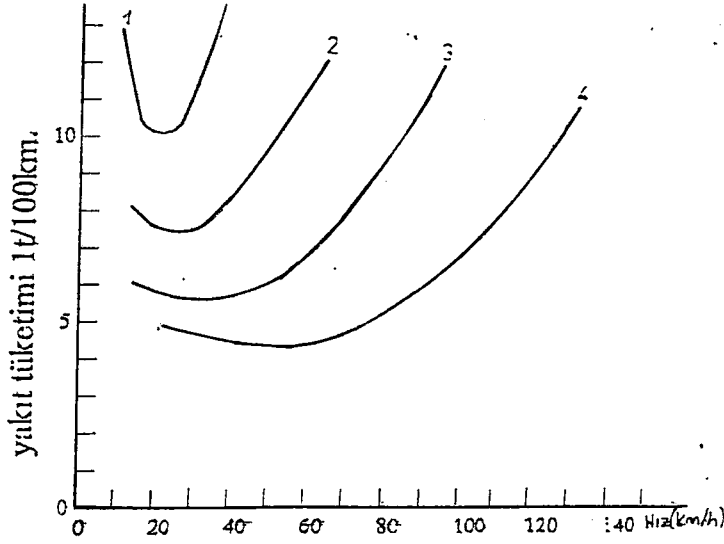
Çizelge 2.5 Taşıt hız ve ağırlığına göre emisyon değerleri (gr/ km).

	32 KM/H		60 KM/H		100 KM/H		KİRLETİCİ TÜRÜ
	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	
Otomobil	2.6	0.7	2.1	0.65	1.8	0.6	HC
	1.8	0.9	1.9	0.90	3.8	1.8	NO _x
Kamyonet (2tona kadar)	3.3	0.9	2.5	0.85	2.2	0.75	HC
	2.1	1.1	2.5	1.1	5.0	2.2	NO _x
Hafif Kamyon (2-3.5 ton)	3.9	0.6	3.0	0.5	2.6	0.5	HC
	5.0	1.7	7.0	2.4	11	3.8	NO _x
Orta Ağırlıkta Kamyon (4-10 ton)	4.8	0.7	3.7	0.6	2.2	0.6	HC
	8.0	2.6	10	3.3	14	4.7	NO _x
Ağır Kamyon ve Otobüs (10-40 ton)	-	1.5	-	1.3	-	1.2	HC
	-	15	-	15	-	16	NO _x

Şekil 2.6'de emisyon – araç hızı ilişkisi sonuçları grafik ortamına aktarılmıştır. Şekil 2.7'de ise hız ve kullanılan vitesle bağılı olarak yakıt tüketimi ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil. 2.6 Taşıt hızının kirleticiler üzerine etkisi.



Şekil 2.7 Vites – Hız - yakıt tüketimi ilişkisi.

Trafikte seyir esnasındaki taşıtın trafik yoğunluğuna bağlı olarak hızı ve bunun sonucunda da emisyon faktörleri etkilenmektedir. (Çizelge 2.6)

Çizelge 2.6 Trafik yoğunluğu – emisyon etkileşimi.

KİRLLETİCİ	HC	NO _x
Otoyolda 100 km/ h hızla akan trafik	1.3	3.6
Şehir İçi yolda 19 km/ h hızla akan trafik	4.7	1.6
Tıkanmış ve 6 km/h hızla akan trafik	9.0	1.3

BÖLÜM.3 YER SEVİYESİ OZON KİRLENMESİ

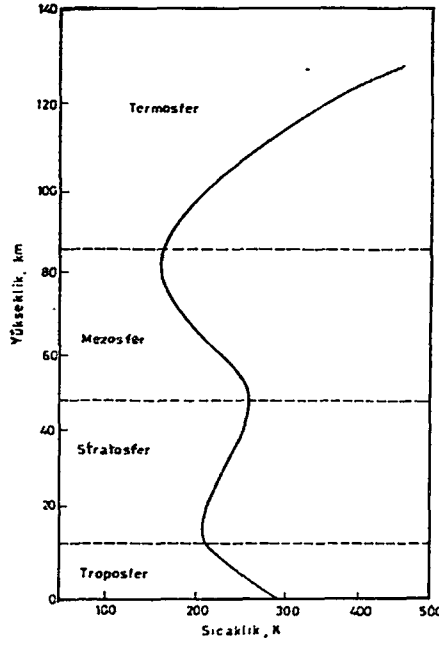
3.1 Atmosfer

Atmosferin hacimce % 78.09'unu azot, % 20.94'ünü oksijen oluşturmakta olup doğal kompozisyonu Çizelge 3.1 de verilmiştir. Atmosfere partiküler madde, azot, toz, duman, kurum, uçucu kül, is, mist ve atık gazlar verildiğinden atmosferin doğal bileşimi statik kalmayıp dinamik konumdadır. Bu değişimde önemli olan atmosfer doku konsantrasyonlarının insan ve diğer canlıların sağlığını etkileyecek miktarda olup olmamasıdır.

Çizelge 3.1 Atmosferin temel gaz bileşeni.

BİLEŞEN	KONSANTRASYON (PPM)	HACİMSEL ORAN %
Azot, N ₂	780900	78.09
Oksijen, O ₂	209400	20.94
Argon, Ar	9300	0.93
Karbon dioksit	318	0.0318
Su buharı	200	0.02
Neon, Ne	18	0.0018
Helyum, He	5.2	0.00052
Metan, CH ₄	1.5	0.00015
Kripton, Kr	1.0	0.0001
Hidrojen, H	0.5	0.00005

Atmosfer sıcaklık ve basıncına, kimyasal bileşimine, nem ilişkileri gibi özelliklerine tabakalı bir yapı sergilemekte olup tabakaların adlandırılmasında en çok sıcaklık profiline göre olan kullanılmaktadır.(Şekil 3.1)



Şekil 3.1 Atmosfer tabakaları ve sıcaklığın yükseklikle değişimi.

Troposfer, yeryüzü yüzeyinden 10km yükseğe kadar çıkan atmosfer tabakasıdır. İklim ile ilgili olaylar troposfer ve alt stratosfer arasında geçmektedir. Bu bölge atmosferin en aktif bölgesi olup; fotokimyasal reaksiyonlar bu tabakada oluşmaktadır.

3.1.1 Hava Kirleticisi Parametreler

Hava kirleticisi kaynaklar insan faaliyetleri esas alınarak doğal ve antropojenik kaynaklar; kaynak hareketine göre hareketli ve sabit kaynaklar; kaynak yapısına göre çizgisel, noktasal ve alan kaynaklar olarak sınıflandırılırlar. Atmosferdeki yer alış durumları ve fiziksel özelliklerine göre birincil ve ikincil kirleticiler olarak da sınıflandırılırlar.

Birincil kirleticiler doğrudan doğruya havaya verilmiş, havada bulunan ancak normal konsantrasyonun üzerindeki konsantrasyona sahip maddelerdir. Bunlar arasında kükürt oksitler, karbonmonoksitler, azotoksitler, partiküller yer alır. İkincil kirleticiler ise direkt olmayan ancak atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu teşekkül eden maddelerdir. Fotokimyasal oluşumlar ve ozon bu grupta yer alır.

Türkiye’de hava kirleticisi parametreleri için 02.11.1986 tarih 19269 sayılı resmi gazete de yayınlanarak yürürlüğe giren “Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği” ile standartlar

geliştirilmiş ve hava kirliliğinde kontrol çalışmaları başlamıştır. Çizelge 3.2’de çeşitli hava kirleticileri için uyulması gereken uzun ve kısa vadeli sınır değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Hava kirletici standartları (Hava Kalitesi Kontrol Yönetmeliği, 1986)

Kirletici parametre	UVS ($\mu\text{G}/\text{m}^3$)	KVS ($\mu\text{G}/\text{m}^3$)
Karbonmonoksit, CO	10.000	30.000
Azotdioksit, NO ₂	100	300
Azotmonoksit, NO	200	600
Ozon (O₃) Fotokimyasal oksitleyiciler	-	240
Hidrokarbonlar, HC	-	140

3.2. Ozon Nedir ?

Bilindiği gibi ozon, üç oksijen atomunun birleşerek oluşturduğu bir çeşit moleküler oksijen olup; kimyasal formül olarak O₃, simgesiyle gösterilen yüksek kimyasal reaktivlik özelliği taşıyan oksitleyicidir.

Troposferde kirletici olarak bulunan ozon direkt olarak oluşmamaktadır. Bunun anlamı, diğer kirleticiler gibi birincil kirletici olmayıp atmosfere direkt olarak yayılmazlar. Ozon oluşumu endotermik bir olaydır ve reaksiyonun başlayabilmesi için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Atmosfer kirliliğinin en benzersiz özelliği kimyasal reaksiyonların güneş radyasyonu ile başlatılmasıdır ki ozon oluşumunun fotokimyasal reaksiyonu için ihtiyaç duyulan enerjide güneş radyasyonu ile sağlanmaktadır. Ozon en önemli oksidantlardandır.

Gökyüzünde koruyucu perdeliğiyle anılan ozon son yarım asırdır iki tehditle gündeme oturmuştur. Stratosfer tabakasında solar ultraviyole ışınlarını perdelemek için ihtiyaç

duyulurken azalmakta; troposfer tabakasında ise artarak insan ve canlı sağlığı , tarım alanları, orman ve bitki örtüleri üzerine zararlı etkisiyle tehdit kar unsur haline gelmiştir.

Ozonun % 95'i stratosfer tabakasında yer almaktadır. Ozonun en önemli işlevi güneşten gelen ultraviyole radyasyonunu absorblamasıdır. Ultraviyole ışınları güneşten çıktıkları an güneş enerjisinin % 9'unu oluşturur. Ozon tabakası tarafından tutulmasıyla bunların ancak %2 – 4 oranının yer yüzüne ulaşması sağlanır. 1970'li yılların başından itibaren ise stratosferik ozon tabakasının, insan aktiviteleri sonucu atmosfere bırakılan gazlar ve bileşenlerinin ozonla reaksiyona girmesiyle azaldığı tespit edilmiştir.

Troposferik ozon ölçümleri ozonun günlük bir çevirim ile değiştiğini sabahın erken saatlerinde, gün doğmadan önce ozon konsantrasyonunun minimum, öğlen ve öğleden sonraki saatlerde maksimum olduğunu, akşam saatlerinde tekrar düşüşte olduğunu işaret eder. Mevsimsel çevirimde ise yaz aylarında yıl içine oranla pik değerlere çıktığı görülmektedir.

Fotokimyasal hava kirliliğini bize en güzel Los Angeles şehri anlatmaktadır. Hafif rüzgar alan yarı tropikal iklimli, bir tarafı dağlarla çevrili olan şehrin 7 milyon nüfusa ve 5 milyon motorlu taşıta sahip olduğu tarih fotokimyasal smog oluşumu için tüm koşulları sağlamaktadır. Motorlu araçlardan kaynaklanan azotdioksit ve hidrokarbon emisyonlarının yoğunluğu ve sahip olunan iklimiyle 1942- 1946 yıllarında şehir ciddi bir hava kirliliği yaşamıştır.[15]

Ozon konsantrasyonlarında şehirlerden kentsel alan dışına doğru gidildikçe azalma görülmektedir.(Çizelge 3.3) Teknolojiden kaynaklanan gaz atıklarının atmosfere verilmesiyle şehir bölgelerinde fotokimyasal reaksiyon için gerekli malzeme sağlandığından bu bölgelerde ozon konsantrasyonu daha yüksek değerlerdedir.

Çizelge 3.3 Bölgelere göre ozon konsantrasyonu. [21]

BÖLGE	OZON (ppb)
Kentsel bölgeler	100 – 400
Kırsal alanlar	50 – 120
Uzak tropikal bölgeler	20 – 40
Uzak denizsel bölgeler	20 – 40

3.2.1 Ozon (ve diğer Fotokimyasal Oksidantların) Etkisi

Fotokimyasal oksidantlar, ozon (O_3), peroksiasetil nitrat (PAN), peroksibenzal nitrat (PBN) gibi oksitleyicidirler. Fotokimyasal oksidantların % 90'ını ozon oluşturmakta olup bu oksidantların en zararlı etkisi olanlar ozon ve PAN dır. Etkileri; temas süresi, pik konsantrasyon ve etkiye maruz kalan türün özelliğine göre değişmektedir.

3.2.1.1 İnsan Sağlığına Etkileri

Fotokimyasal oksidantlar ,solunum yollarında problemlerin başlaması, nefes darlığı, burun ve boğazda tahriş, öksürük, aşırı yorgunluk, baş ağrısı, atletlerde performans düşüklüğü gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ayrıca bu etkilerinin yanında vücudu zararlı organizmalardan ve tümör hücrelerinden koruyan bağışıklık sistemine de zarar vermektedir. Bilimsel çalışmalardan elde edilen kanıtlara göre , yüksek değerlere ulaştığında astımlılar gibi sadece solunum yolları zayıf olan insanları değil, sağlıklı yetişkinleri ve çocukları da etkilemektedir.

Ozonun koku başlangıcı yaklaşık olarak 0.008 – 0.02 ppm (15 – 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dir. Fotokimyasal oksidantlar çok küçük konsantrasyonlarda dahi insan sağlığına olumsuz etki yapmaya başlamaktadır. 0.10 ppm (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) seviyesindeki ozona 1 saat maruz kalma ile akciğer fonksiyonlarında azalmaların başladığı klinik bulgular da tespit edilmiştir. Sağlıklı insanların egzersiz yaparken, düşük konsantrasyonlarda ozona birkaç saat maruz kalmaları akciğer

işlevlerinin zayıflamasına yol açmaktadır. Göğüs ağrıları, öksürük, nefes darlığı ve akciğerde su birikmesine neden olmaktadır. Ozonun insan sağlığına etkileri Çizelge 3.4 de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4 Ozonun insan sağlığına etkileri.[8]

OZON (PPM)	TEMAS SÜRESİ	ETKİLER
0.10 196 µg/ m ³	1 saat	Solunum yollarında direnç sorunlarının başlaması
0.30 588 µg/ m ³	8 saat	Burun ve boğazda tahriş, göğüs rahatsızlıkları, akciğer fonksiyonlarında bozulma
0.5 980 µg/ m ³		Göğüs daralması ve yanma, CO diffüzyon kapasitesinde azalma, akciğer performansında azalma
1.0		Öksürük ve semptomlarda artış, epitel permeabilitede artış, aşırı yorgunluk
2.0	2 saat	Şiddetli öksürük
FOTOKİMYASAL OKSİDANTLAR (ppm)		
0.03	1 saat	Atletik performansta azalma
0.05		Gözlerde tahriş
0.08	1 saatlik maksimum	Hava kalitesi standardı
0.13	1 günlük maksimum değer	Solunum yolu hastalıklarında artış

3.2.1.2 Fotokimyasal Oksidantların Bitkilere Etkisi

Oksidant grubu içinde bitkilere zarar veren en önemli bileşikler ozon ve PAN dır. Hassas bitki türlerinde 8 saat süresince 0.03 ppm'lik ozon konsantrasyonuna maruz kalma ile olumsuz etkiler görülmeye başlamaktadır.

Oksidantlar temas ettikleri bitkilerin özellikle yapraklarındaki hücre zarını tahrip ederek doğrudan doğruya zarar vermektedirler. Her iki oksidantta stoma boyunca bitki liflerine girerek metabolizmaya zarar verirler. Ayrıca yapraklardaki besin maddelerine ait tuzları

çözerek toprağa götürmekte, dolaylı olarak olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Ağaç köklerinin fizyolojilerine de zararlı etkileri tespit edilmiştir.

0.05 - 0.15 ppm seviyesinde çiçekli bitkilerin büyüme ve çiçeklenmelerini engellemektedir. 0.01 ppm den fazla konsantrasyonlarda ise marul, soğan gibi sebzelerde ürün alımında verim düşüklüğüne sebep olmaktadır. Tarımdan elde edilen hasılatı düşürmekte ve ekonomik açıdan son derece önemli olan buğday ve pamuk gibi tarımsal ürünlere hasar vermektedir. Bunlarla birlikte ormanlar üzerinde uzun vadeli zararları vardır. Su çevirimi ve mineral besin maddeleri çevirimi gibi önemli ekolojik dengeyi bozarak doğal yaşamı olumsuz etkilemektedir.

3.2.2. 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 tarımsal ürünlere ve insanlara olan zararlı etkileri anlaşılmış ve ozon konsantrasyonunun hava kalitesi standartları içerisine 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 ppm'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 yönetmeliğine göre gaz kirleticiler için uzun vadeli sınır değer ve kısa vadeli sınır değer baz alınarak standartlar belirlenmektedir. Türkiye de maksimum sınır değer için *ozon standardı 0.12 ppm (240 µg/m³)* olarak belirlenmiştir. Bu değer EPA'nın 1 saatlik ozon standardı ile uyumludur. Ancak ülkemizde 8 saatlik ozon standardı henüz bulunmamaktadır.

3.3 Yer Seviyesi Ozon Oluşumu

Atmosfer yapısı itibariyle fotokimyasal olaylara iyi bir zemin oluşturmaktadır. Atmosferik kimyasal reaksiyonlar solar enerjinin atmosferik türler tarafından kullanılmasının sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Yer seviyesi ozonu; hidrokarbonların ve azotoksitlerin solar radyasyon ve sıcaklıkla fotokimyasal reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Ozonun ve ya azotoksit VOC emisyonlarının rüzgarla taşınması ve atmosferin üst katmanlarından siklonlar ve ya diğer meteorolojik etkenlerle aşağılara inmeleri de yer seviyesi ozon oluşumunu etkilemektedir.

Fotokimyasal reaksiyonların oluşabilmesi için gerekli enerji güneşten sağlanmakta olup bu reaksiyonlar iki adımda gerçekleşmektedir. Birinci adımda belli bir tür enerji fotonlarını absorblayarak uyarılmış hale geçer. İkinci adımda ise bu uyarılmış türün iki farklı ürüne dönüşmesi gerçekleşir.



A molekülünün uyarılmış durumu olan A^* nın katılacağı reaksiyonlar şöyledir:



A* molekülünün katılmasıyla oluşabilecek [3.2], [3.3], [3.4], [3.5], [3.6] reaksiyonları troposferdeki fotokimyasal reaksiyonları kontrol eder.

Fotokimyasal oluşumların en önemli özelliği fotokimyasal reaksiyonlar da değişime uğrayan madde miktarının, absorblanan ışık miktarıyla orantılı olmasıdır. Bu durum aynı zamanda absorblanan foton sayısı ile de orantılı olacaktır.

Atmosferin üst kesimlerinde dalga boyu 0.2 µm olan yüksek enerjili fotonlar oksijen gazını [3. 7] reaksiyonu ile monatomik oksijene dönüştürürler.



Oluşan monatomik oksijen, yer seviyesinde tekrar oksijen oluşturmak için havadaki O₂ ve başka bir bileşik olan (M) ile birlikte ozon oluşumuna yol açar.



Troposfer kimyasında birincil ürünün ozon olduğu kabul edilebilir. Troposferde ozon ancak atomik oksijen ile moleküler oksijen (O₃) arasındaki reaksiyon sonucunda oluşur. 290 nm'nin altındaki dalga boyu radyasyon troposfere ulaşmadığından atomik oksijenin kaynağı O₂ olamaz. Çünkü O₂ 290 nm den daha kısa dalga boylarını absorblayarak atomik oksijen üretir. Troposferde atomik oksijenin kaynağı azotdioksittir.

3.3.1 Azotoksitlerin Ozon Oluşumuna Etkisi

Sabit ve hareketli kaynaklarda yanma reaksiyonlarının bir sonucu olarak troposferde azotoksit seviyesi yüksek değerlere ulaşmakta ve troposfer kimyasında anahtar rol oynamaktadırlar.

NO ve NO₂ atmosfer kimyasında önemli azotoksitlerdir ve egzoz gazı emisyonlarına baktığımızda bunların oldukça bir yer teşkil ettiğini görüyoruz. NO renksiz, kokusuz bir gaz olup atmosferde NO₂ den daha fazla yer tutmaktadır. NO, yanma işlemi sonucunda :



reaksiyonları ile meydana gelir. Ayrıca yanma proseslerinde atmosferik N₂ ve O₂'nin reaksiyonları neticesinde de oluşur.



NO atmosferde çeşitli şartlar altında dönüşüme uğrar. Atmosferik ozon da NO'nun NO₂'ye dönüşmesi için oksitleyici görevi yapar.



Yer seviyesinde NO₂'nin güneş radyasyonu ile fotokimyasal ayrışması Yer seviyesi ozon kaynağıdır. NO₂'nin fotolizi neticesinde NO ve serbest atomik oksijen meydana gelir.



Burada M; N₂, O₂ ve ya aşırı enerji depolayan üçüncü bir molekülü temsil etmektedir.

[3.15] denklemi atmosferdeki ozonun önemli bir kaynağıdır. NO₂'nin olmadığı bir durumda, atomik oksijen ve dolayısıyla ozon üretimi olmayacaktır.

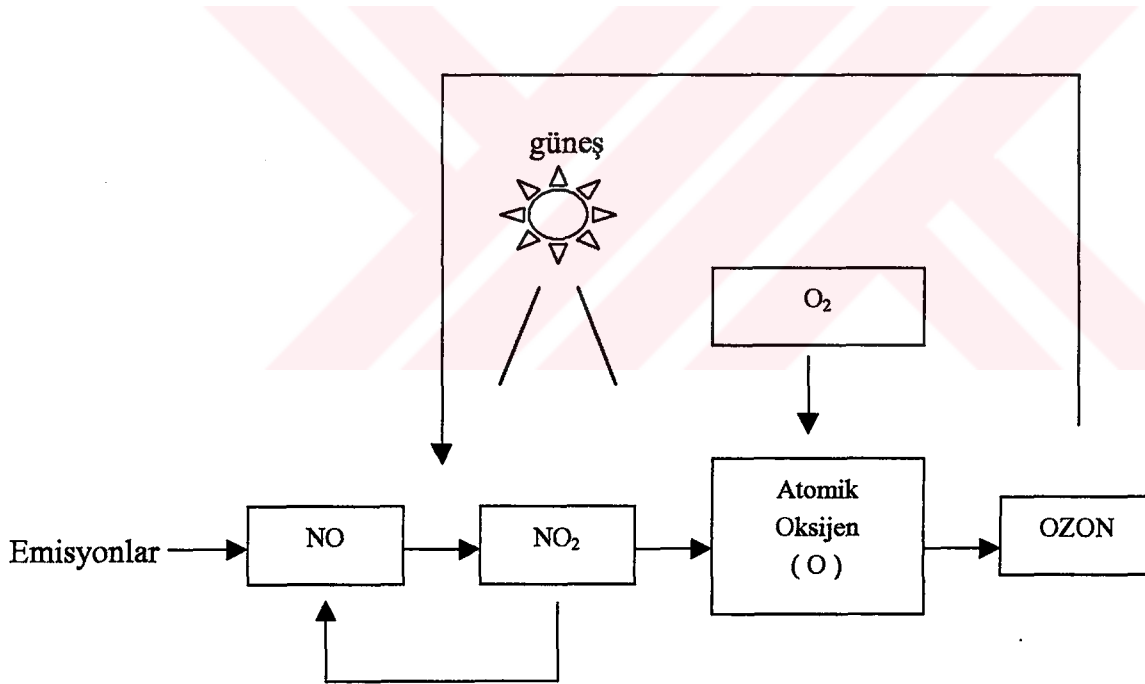
O₃ ün NO ile reaksiyona girmesiyle tekrar NO₂ oluşur ve azotoksit çevirimi de tamamlanmış olur. (Şekil 3.2)



[3.14], [3.15], [3.16] reaksiyonlarından hareketle, sistem kararlı hal yaklaşımında incelenirse; NO ve NO₂ nin başlangıç konsantrasyonlarının [NO]₀ ve [NO₂]₀ olduğu sabit hacim ve sıcaklıkta bulunduğu kabul edilirse ;

$$[\text{O}_3] = J_{[3.14]} [\text{NO}_2] / k_{[3.16]} [\text{NO}] \quad [3.17]$$

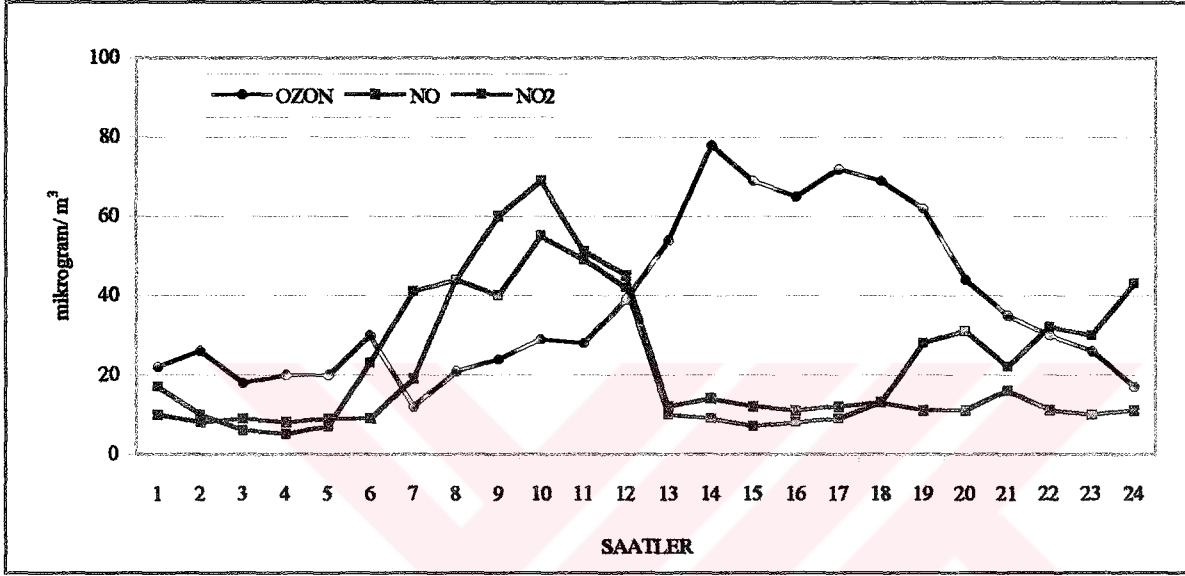
şeklinde O₃ ün kararlı denklemi yazılabilir. Burada [3.14] denkleminin hız sabiti J_[3.14], [3.15] denkleminin hız sabiti ise k_[3.16] dır.



Şekil 3.2 Atmosferde azotun fotolitik çevrimi.

Şekil 3.3’de İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü’nden alınan 02.08.1997 tarihine ait bir günlük (saatlik) azotoksit ve ozon ölçüm sonuçları grafik ortamına aktarılmıştır. [25] Güneşin doğuşundan başlamak üzere NO konsantrasyonları

maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bunu takiben [3.13] denklemini uyarınca NO_2 konsantrasyonu da NO 'nun maksimum seviyeyi bulduktan yaklaşık iki saat sonra maksimum değerini görür. Güneş radyasyonunun etkin olmaya başladığı saatlerde de NO_2 'nin fotoliz olayı ile ozon oluşmaya başlar. Güneş battıktan sonra fotoliz olayı için gerekli enerji bulunamadığından gece saatlerinde ozon konsantrasyonu düşmektedir.



Şekil 3.3 İstanbul'da gün içinde ölçülmüş saatlik Ozon & NO_x değişimi.(02.08.1997)

3.3.2 Hidrokarbonların Ozon Oluşumuna Etkisi

Uçucu organik bileşikler (VOC) ve ya nonmetan hidrokarbonlar, atmosferde buhar halinde bulunan organik bileşiklerin CO ve CO_2 olmak üzere, tümüne verilen isimdir. Hidrokarbonların en önemli kaynağı motorlu araçlardır.

Ozon oluşumunun NO_2 ve NO çeviriminden hesaplanan değerlerden daha fazla olduğunu görüyoruz. Bu durum ozon üretimine etkisi olan diğer etmenleri işaret etmektedir. Bu fazlalığı hidrokarbonların fotokimyasal reaksiyona etkisinin anlatılmasıyla açıklayabiliriz.

Hidrokarbonların atmosferik fotokimyasal reaksiyonlardaki etkisi hidroksil radikalının oluşumuyla ilgilidir. Hidroksil radikalının oluşması ve daha sonra reaktif VOC ile reaksiyonu ikinci bir fotolitik çevirim ortaya çıkarır. Bu çevirim NO₂ ve fotokimyasal oksidant oluşumunda artışa sebep olur.

Atmosfer özellikle O₂ varlığından dolayı doğal bir oksidasyon ortamıdır. Ozonun 319 nm den düşük dalga boylarında uyarılmış oksijen atomu O (¹D) veren fotolizi, yer seviyesi troposfer kimyasının başlangıcı olarak kabul edilir. Oluşan O (¹D) atomu H₂O ile OH radikalleri oluşturmak üzere reaksiyona girer.



Hidroksil radikalının oluşması ve sonrasındaki reaktif hidrokarbonların OH ile bozunumunu takiben NO_x varlığında ozon oluşmakta ve OH'ın tekrar yenilendiği zincirleme reaksiyonlarla bu durum devam eder. Şekil 3.4'de verilmiştir. Bu çevirimde hidrokarbonların etkileşimi, hidroksil radikalının oluşumuyla başlar, daha sonra OH radikali, reaktif hidrokarbonlarla reaksiyona girerek



şeklinde alkil peroksi RO₂ radikalleri oluşturur. Peroksi radikallerinin NO'yu NO₂'ye oksitleme yetenekleriyle peroksi radikaller NO ile hızlıca reaksiyona girerek NO₂



şeklinde NO₂ oluştururlar. Bu reaksiyonlar NO₂ oluşumunu arttırdığından azotdioksit çevirimiyle de ozon konsantrasyonu yükselir. Bu reaksiyonlar aşağıdaki şekilde devam eder.



Daha önce de söylediğimiz gibi ortamda HC'ların varlığında azotmonoksiti azotdioksite çeviren radikaller oluşur. NO'nun radikaller ile reaksiyonu sonucu oluşan NO₂ fotolizlenerek NO ve O'yu meydana getirir ki bu da O₃ oluşumunu artırır.

Metan, yer seviyesi troposfer kimyasının temel hidrokarbonudur. OH'ın CH₄ molekülüne saldırısıyla başlayıp ozon oluşumuna etkisi olan reaksiyonlar aşağıda görüldüğü gibidir.



[3.30] denkleminde meydana gelen CH₃, O₂ ile reaksiyona girerek [3.31] deki metil peroksi radikalini (CH₃O₂) oluşturur. CH₃O₂ radikali ile NO reaksiyonu metoksi (CH₃O) radikali oluşumuna neden olur.



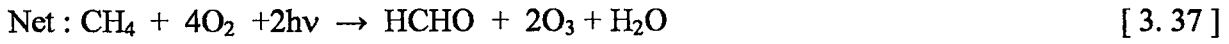
oluşan metoksi radikal (CH₃O) için en önemli reaksiyon O₂ ile formaldehit (HCHO) ve H₂O radikali oluşturan reaksiyondur.





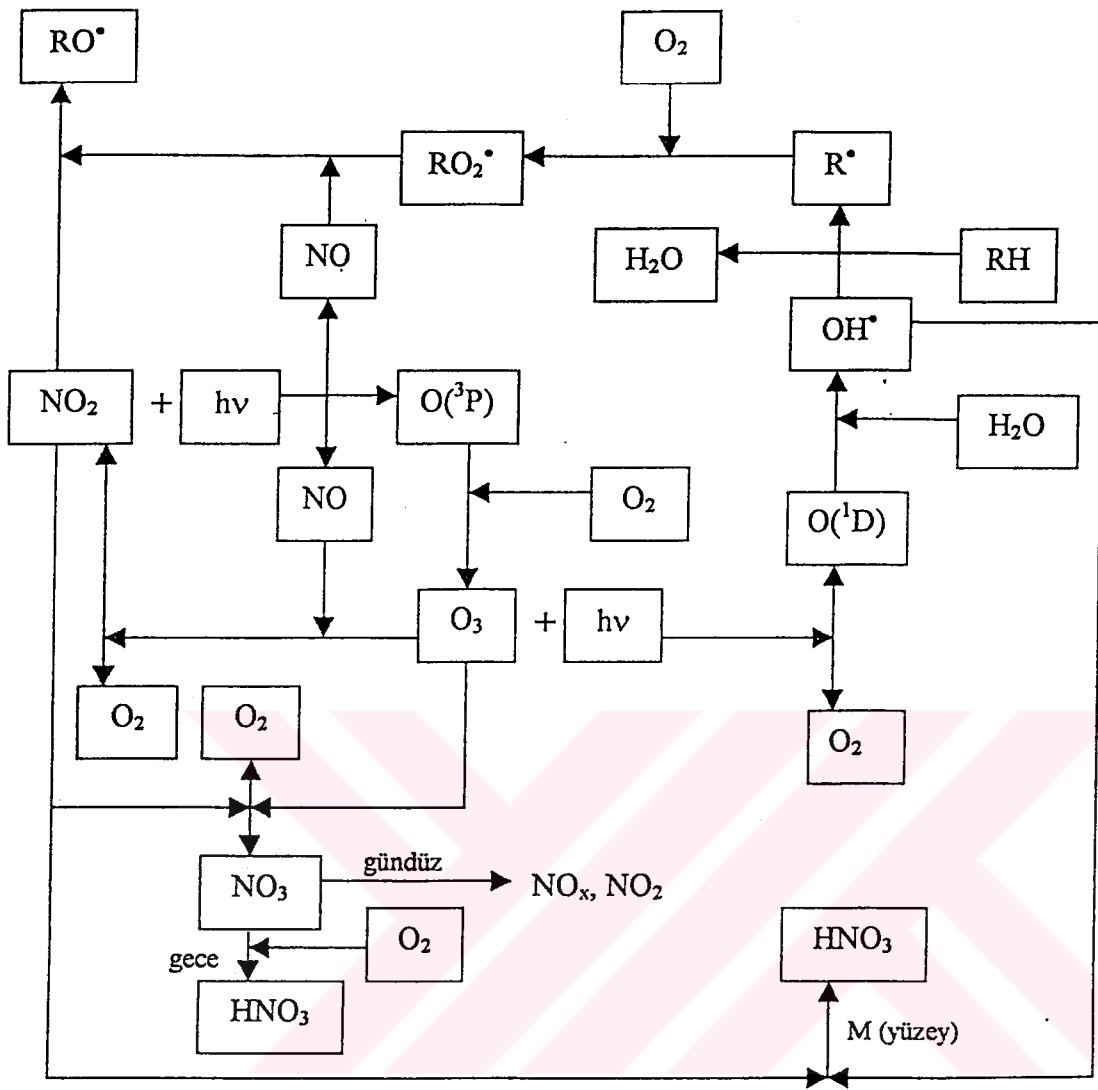
reaksiyon zincirleriyle hidrokarbonların etkisiyle meydana gelen ozon oluşum reaksiyonları tamamlanır.

[3.30], [3.31], [3.32], [3.33], [3.34], [3.35], [3.36] reaksiyonlarının toplamı



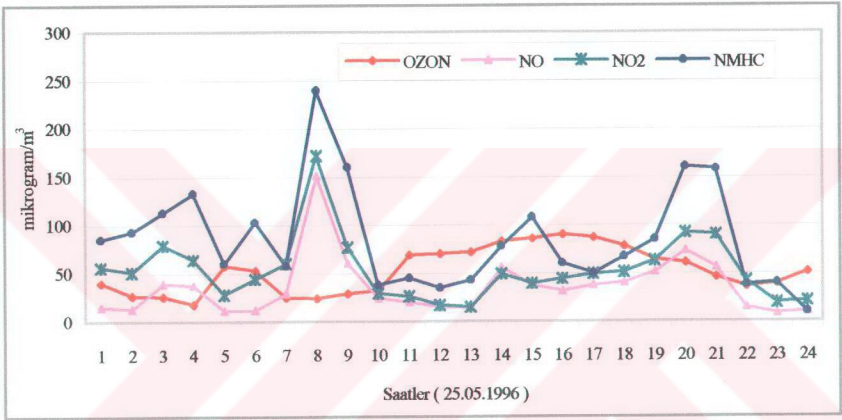
şeklindedir. Bu toplam ifadeden de anlaşıldığı gibi herbir CH₄ molekülü 2 ozon molekülü oluşturmaktadır. Bu CH₄'ün oksidasyon zincirinde, HO₂ ve CH₃O₂ peroksi radikalleri NO'dan başka bir madde ile reaksiyona girerse ozon üretimi durur.

Yer seviyesi ozon oluşumu, yayılan organik bileşiklerin birbirleri ile ve NO_x'ler ile gaz-faz reaksiyonlarından ve güneş ışığının varlığından kaynaklanır. VOC'ların her birisi bunların atmosferik reaksiyon hızlarının farklılıklarından ve ozonu etkileyen reaksiyon şekillerinin farklarından dolayı ozon oluşumunu farklı şekilde etkilerler.



Şekil 34 Hidrokarbon Etkisiyle Atmosferik NO_2 Fotolitik Çevrimi

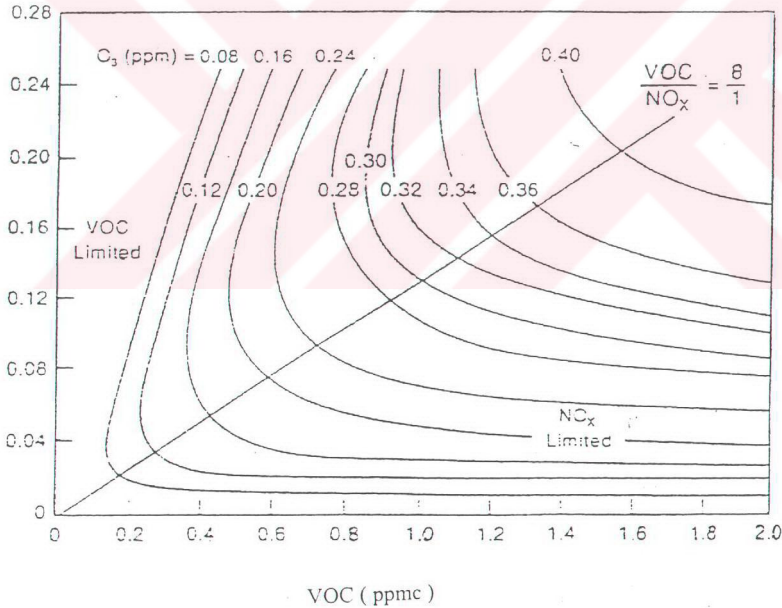
Toplam hidrokarbonlar yüksek reaktiviteden, düşük reaktivitedeki hidrokarbonların tamamından oluşmaktadır. Düşük reaktiviteli hidrokarbonların NO'yu NO₂'ye dönüştürümü daha azdır. Örneğin CH₄ atmosferde organik bileşiklerin en çok bulunandır. Ancak çok düşük reaktiviteye sahip olduğundan hidrokarbonların ozon oluşumu üzerine etkisinin değerlendirilmesinde nMHC ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Şekil 3.5'de İstanbul'daki O₃ – NO – NO₂ – nMHC ilişkisi görülmektedir. [25]



Şekil 3.5 O₃ – NO – NO₂ – nMHC değişim grafiği.

Şekil 3.6'da Los Angeles şehrine ait NO_x, VOC ve ozon değişimleri görülmektedir.[21]
Öğle saatlerine kadar artış gösteren azotoksit ve hidrokarbon grafikleri Öğleden sonraki saatlerde düşüş gösterirken, smog oluşumuyla ozon grafiğinde artış olmaktadır.

Şekil 3.7 NO_x ve VOC karışımlarından oluşacak ozon konsantrasyonlarını göstermektedir. VOC/ NO_x = 8 çizgisinin altında kalan bölümde NO_x sınırlıdır. VOC'da oluşacak değişimler ozon konsantrasyonuna az yansiyacaktır. NO_x konsantrasyonundaki bir değişim ozonda belirgin değişimlere yol açmaktadır. VOC/ NO_x = 8 çizgisinin üstünde kalan bölümde ise VOC konsantrasyonu sınırlı olup; NO_x konsantrasyonundaki değişimler ozon konsantrasyonuna fazla etki etmemektedir. Bununla birlikte VOC konsantrasyonundaki azalma ozon konsantrasyonuna düşüş olarak yansiyacaktır. Anlaşılabacağı gibi VOC konsantrasyonunun artması daha fazla O₃ üretimi demektir. VOC/ NO_x oranının oldukça yüksek olduğu yerlerde NO_x kaynağı azlığından NO_x giderimi hızlıdır. Optimum VOC/ NO_x oranında ise ozon üretimi maksimumdur. Bu da VOC/ NO_x = 8 çizgisine tekabül eden bölgededir.



Şekil 3.7 VOC/ NO_x Oranı. [21]

Bazı VOC'lar için VOC/ NO_x oranına göre hesaplanmış hidrokarbon reaktivlik değerleri Çizelge 3.5'de verilmiş olup; hidrokarbon reaktivliğinin VOC/ NO_x = 8 oranına kadar yükseldiği bu değerden sonra ise düşmeye başlayıp VOC/ NO_x = 40 olduğu zamanda da hidrokarbon reaktivliğinin sıfıra yaklaştığı görülmektedir.

Çizelge 3.5 VOC/ NO_x oranına göre hesaplanmış hidrokarbon reaktivlik değerleri [26]

Bileşikler	VOC/ NO _x oranı, (ppbc/ppb)			
	4	8	16	40
Karbonmonoksit	0.11	0.022	0.012	0.005
Ethan	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 peroksidikül 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 azotoksitlerle reaksiyona girer. Bu açıklamalarda hidrokarbon reaktivliğinin ozon oluşumu üzerine etkisini net olarak göstermektedir.

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.

4.1 İstanbul ve Hava Kirliliği

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 hızı değişimi de beraberinde getirmiştir. Bu değişimlerin en önemlilerinden biri kentin atmosfer bileşimindeki değişimdir.

İstanbul'da hava kirliliği modern yaşamın getirdiği önemli sorunlardan biridir. Hızlı nüfus artışı, göçün neden olduğu nüfus yoğunlaşması, şehirleşme ve sanayileşmede yanlış yer seçimi, kalitesiz yakıt kullanımı, sanayide eski yakma teknolojilerinin kullanımı, baca gazı arıtımlarının yapılmayıp, trafikten kaynaklanan egzoz emisyonları gibi nedenler hava kirliliği problemine neden olmuştur.

İstanbul'da hava kirliliğinin en önemli kaynaklarını konutlarda ısınma maksadıyla kullanılan yakıtların yakılmasından ileri gelen ve alan kaynak olarak sınıflandırılan kaynaklar teşkil etmektedir. 1960 – 1990 yılları arasında 1980'li yıllara kadar fuel – oil, 1980'den sonra linyit kömürü ısınma amaçlı tüketilen yakıtlar arasında öncelik almıştır. 1998 yılına kadar özellikle kış aylarında yoğun kirlilik problemi yaşanmıştır. 1990'lı yıllarla beraber doğalgaz kullanımı yaygınlaşmıştır. Yaz aylarında sabit kaynaklardan meydana gelen kirlilik azalırken hareketli kaynaklardan meydana gelen ön plana çıkmaktadır.

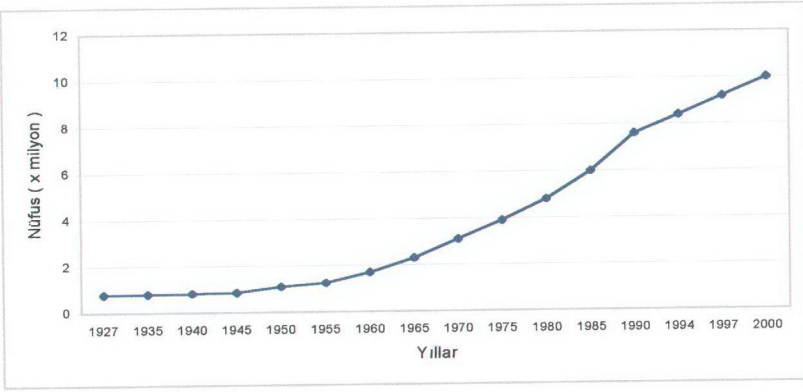
Çizelge 4.1 de İstanbul'da 1990 yılındaki kirleticiler emisyonları dağılımı gösterilmektedir. İstanbul'da hava kirlenmesine büyük ölçüde sabit kaynaklarda yakıt yanması sebep olmaktadır. Taşıtların hava kirliliğindeki payı ise %10'dur. [10] Ancak bu dağılım kış ayları için geçerlidir. Yaz aylarında ısınma amaçlı yakıt yanmasının olmayışıyla hareketli kaynakların hava kirleticileri dilimindeki yeri daha büyük paya sahip olmaktadır.

Çizelge 4.1 İstanbul'da 1990 yılına ait kirletici emisyon dağılımı.
(Goncaloğlu, B.İ, 1999) [10]

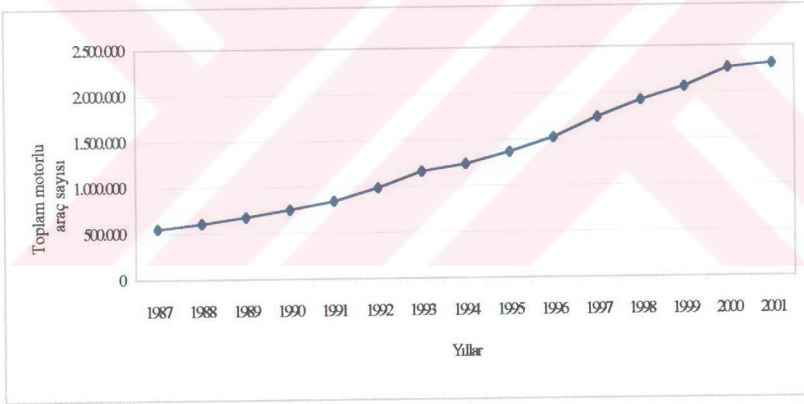
Kirletici	Toplam emisyon (%)	Sabit kaynaklar (%)	Taşıtlar (%)
PM	48.2	47.5	0.66
SO _x	29.4	29.1	0.26
CO	16.3	10.1	6.24
NO _x	3.1	1.6	1.44
HC	3.0	1.6	1.40
Toplam	100.0	90.0	10.00

İstanbul 10.033.478 nüfuslu (2000 yılında yapılan nüfus sayımına göre İstanbul İlinde ikamet eden nüfus sayısı) metropolitan bir şehirdir.[28/ 5] Nüfusun %65'i Avrupa yakasında, %35'i Asya yakasında ikamet etmektedir. İstanbul Türkiye'nin en çok nüfusa sahip ili olup; son nüfus sayım sonuçlarına göre ilde ortalama yıllık nüfus artışı binde 33.2'dir.

Sürekli artış trendinde olan nüfus, yaşam ulaşımına dayandığından beraberinde trafik problemlerini de getirmektedir. Karayolu ile ulaşım en uç noktalara kadar erişebilme olanağı sağladığından ulaşım kentin dolaşım sistemi olup; İstanbul'da ulaşım bugün karayolu ağırlıklıdır. Günlük ulaşımın %90'ı karayoluyla gerçekleşmektedir. Şekil 4.1'de İstanbul'un yıllara göre nüfus değişimi [28/ 1], Şekil 4.2'de ise yıllara göre toplam motorlu araç sayısı [27] grafik ortamında verilmiştir.



Şekil 4.1 Yıllara göre İstanbul İli nüfus dağılımı. [28/ 1]



Şekil 4.2 İstanbul ilinde yıllara göre motorlu araç dağılımı. [27]

Şekil 4.1'deki 2000 yılı nüfus sonucu ile Şekil 4.2'deki aynı yıla ait taşıt sayısını birlikte değerlendirdiğimizde 2000 yılı itibariyle bin kişiye yaklaşık 225 adet araç düştüğü görülmektedir. İstanbul'da trafik yoğunluğu nedeni ile 1 dakikada gidilebilecek yere 9.5

dakikada gidilmektedir. Bu süre zirve saatlerde 10.5 dakikaya çıkmaktadır. Görüldüğü gibi araç sayısının artması yoğun trafik, uzayan yolculuk süresi, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonunda artış da demektir.

Çizelge 4.2’de İstanbul da ki yıllara göre petrol ürünleri satış miktarları ve Çizelge 4.3’da 100 lt.’lik benzin sarfiyatı ile oluşan egzoz emisyonları verilmektedir. Artan taşıt sayısıyla petrol ürünleri miktarlarında da artış gözlenmektedir.

Çizelge 4.2 İstanbul iline ait yıllar itibariyle petrol ürünleri satışları (m. Ton) [22]

Yıl	LPG	Normal Benzin	Süper Benzin	K.süper Benzin	Gazyağı	Motorin	Kalarifer Yakıtı	Fuel-oil No:6	TOPLAM
1996	532860	487378	571889	109221	15421	1258332	582250	403638	3428129
1997	660387	467929	607019	210016	12380	1326677	561409	509335	3694765
1998	729748	353789	574475	339573	8996	1488375	562429	1160823	4488460
1999	729290	262028	499861	434572	5876	1546943	384422	751785	3885487

Çizelge 4.3 100 lt’lik benzin sarfiyatındaki HC ve NO_x değerleri. [7]

Kirlетici maddeler	100lt’lik benzin sarfiyatındaki emisyon değerleri
HC	0.3 – 0.6 kg
NO _x	0.3 – 1.5 kg

100 lt.’lik benzin sarfiyatı ile egzozda ölçülen emisyonu ait değerler ve İstanbul’da ki yakıt satışları ile birlikte değerlendirildiğinde taşıtlardan kaynaklanan kirliliğin boyutu da ortaya çıkmaktadır.

4.2 İstanbul İçin Taşıt Emisyon Miktarı Hesapları

Taşıt emisyonları aşağıda belirtilen genel formülü kullanarak hesaplanabilmektedir.[10]

$$\text{Kirletici madde emisyon değeri (kütle/ zaman)} = \text{Kirletici madde için(kullanılan yakıt türüne göre değişen) emisyon faktörü * günde ortalama katedilen yol * belli bir mesafede taşıtın ortalama yakıtı } * (\text{Taşıt modellerine göre değişen EF/ standart EF değeri }) * \text{bozulma faktörü} \quad [4.1]$$

Kirletici madde miktarı hesabında;

Yakıt cinsi olarak otomobil için benzin, otobüs ve kamyon için dizel kabul edilmiştir.

Taşıtların bir gün içinde katettikleri mesafe 50 km/ gün; sarf ettikleri ortalama yakıt miktarı benzinli araçlarda 100 km için 10 lt, dizel motorlu araçlar için 100 km de 25 lt olarak alınmıştır.

[4.1] formülünde;

Emisyon faktörleri, birim hammadde veya yakıt başına çıkan kirletici miktarlarıdır. Bu faktörler her bir kaynak için proses ve işletme şartları incelendikten sonra geliştirilen rakamlardır. Çizelge 4.4'de benzin ve dizel motorlu araçlar için emisyon faktörleri verilmiştir.[10]

Çizelge 4.4 Benzin ve dizel motorlar için emisyon faktörü değerleri. [10]

	PM	SO _x	CO	HC	NO _x
Benzin (kg/m ³)	1.4	1.1	275	24	14
Dizel (kg/m ³)	13.2	4.8	7.2	16.3	26.6

Bozulma Faktörü (Deterioation Factor) taşıtların modeline bağlı olan bir değerdir. Eski model taşıtlarda, yeni model taşıtlara oranla bu değer daha büyüktür. [10]

EF (Emission Factors), sabit bir hız ve sabit bir sıcaklıkta taşıt modellerine bağlı olarak değişen bir parametredir. Birimi gram/mil (g/mi)'dir. Eski model taşıtlarda, yeni model taşıtlara oranla daha yüksek bir değere sahiptir. Standart EF (EF_0) olarak alınan değer, nisbeten daha yeni taşıt modelleri için EF değeridir. EF, taşıtların modellerine, motor yapılarına, trafiğin durumuna göre değişebilen bir parametredir. Hesaplarda EF'nin, taşıt modellerine göre değiştiği kabul edilmiştir. [10]

İstanbul trafiğinde %75'lik payla en çok otomobillere rastlanmaktadır. Bu da İstanbul'da bireysel ulaşımın ağırlıklı olduğunu göstermektedir. Otomobillerden sonra otobüsler ve minibüsler bu sıralamada yer bulmaktadır. Çizelge 4.5'de araç türlerinin yıllara göre dağılımı verilmiştir.

İSTANBUL İLİNDE CİNSLERİNE GÖRE MOTORLU ARAÇ DURUMU

(1990 – 2001 YILLARI ARASI YIL SONLARI İTİBARIYLA)

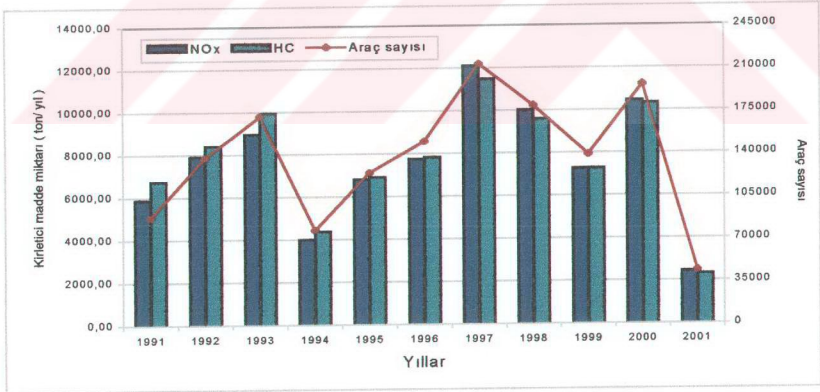
Araçlar	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Motosiklet	15.160	17.257	20.129	24.312	27.135	29.243	31.797	35.290	39.190	42.904	47.618	49.168
Otomobil	559.807	631.804	736.898	872.066	933.149	1.025.484	1.133.921	1.275.561	1.395.041	1.492.268	1.629.347	1.657.986
Jeep	3.332	3.687	4.354	5.884	6.094	5.418	6.658	9.040	12.220	14.937	17.706	18.893
Minibüs	22.952	26.300	32.333	31.152	34.649	47.554	52.806	59.974	68.003	74.763	84.282	86.355
Otobüs	17.391	19.651	24.318	30.863	34.011	37.357	42.190	48.588	53.571	56.324	61.084	61.780
Kamyonet	60.645	66.022	77.454	93.109	98.102	105.082	120.768	157.474	183.306	207.470	241.198	249.809
Kamyon	64.947	69.748	77.278	87.760	92.514	101.399	115.111	132.723	142.600	146.682	152.749	154.071
Diğer	10.159	10.582	12.737	15.142	16.330	28.462	18.276	19.695	27.642	28.660	31.274	32.276
TOPLAM	754.393	845.051	985.501	1.161.288	1.241.984	1.368.739	1.521.527	1.738.345	1.921.575	2.064.008	2.265.258	2.310.338

Çizelge 4.5 İstanbul'da araç türlerinin yıllara göre dağılımı. [27]

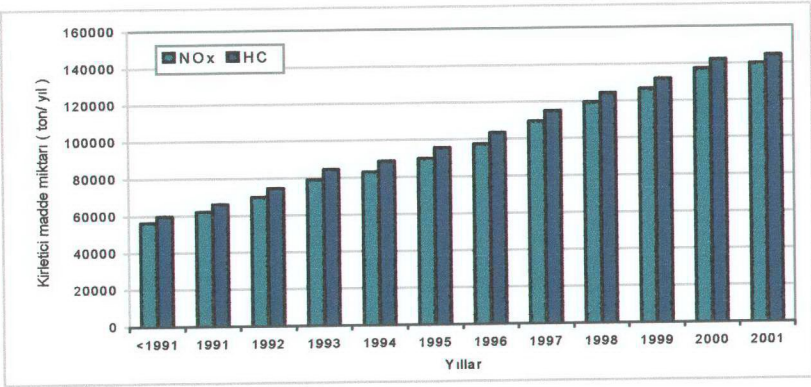
Çizelge 4.6'daki araç model yıllarına göre hesaplanmış NO_x ve HC emisyon olan değerler Şekil 4.3'de grafikte sunulmuştur. Şekil 4.4'de ise taşıt modellerine göre eklenik emisyon sonuçları bulunmaktadır. Araç sayısındaki artış ile o yıllara ait emisyon değerlerinde de artış olmuştur. Şekil 4.5'de yıllara göre ozon değişimi yaz ayları örnekleri ile verilmiştir. (60µ/m³ ozon için koku sınırı, 240µ/m³ ise sağlığa başlama değeri idi. Şekil bu değerler ile değerlendirilmelidir.)

Çizelge 4.6 Araç model yıllarına göre hesaplanmış NO_x ve HC konsantrasyonları.

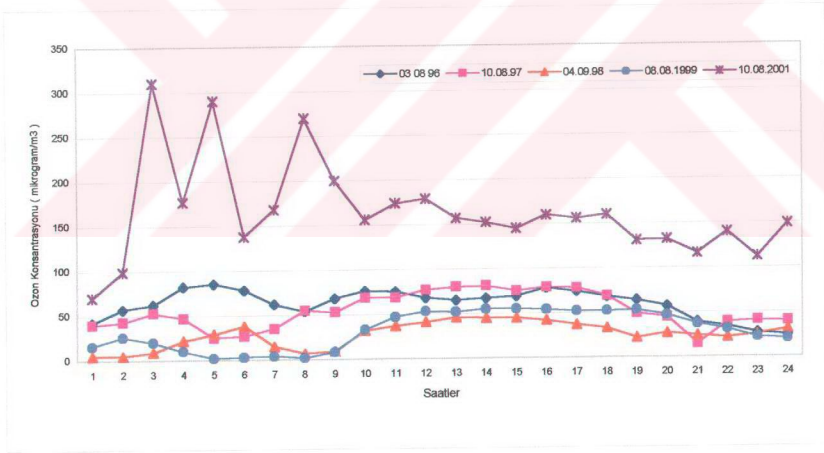
YIL	Bozulma Faktörü	EF Değeri	Toplam araç sayısı [27]	NO _x miktarı ton/ yıl	HC miktarı ton/ yıl
<1991	1.23	15	739.233	56305,1	59473,7
1991	1.20	12	88.561	5875,30	6739,20
1992	1.16	12	137.578	7887,90	8404,00
1993	1.12	12	171.604	8959,40	9942,20
1994	1.07	12	77.873	3996,20	4377,60
1995	1.00	12	124.647	6795,70	6907,20
1996	1.00	12	150.234	7731,70	7823,80
1997	1.00	12	213.325	12103,20	11468,50
1998	1.00	12	179.330	10022,00	9592,10
1999	1.00	12	138.719	7266,50	7264,70
2000	1.00	12	196.536	10463,20	10346,30
2001	1.00	12	43.530	2427,80	2326,80



Şekil 4.3 Araç model yıllarına göre HC ve NO_x emisyonları.



Şekil 4.4 Yıllara göre araç emisyon durumu. (eklenik sonuçlarla)



Şekil 4.5 Ozon değişim eğrileri. [25]

4.3 İstanbul’da Araç Yaşı ve Emisyon İlişkisi

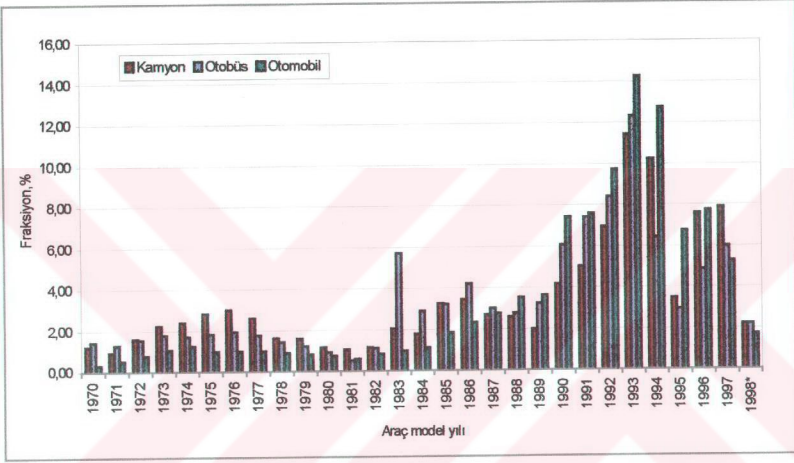
Araç yaşının taşıt emisyonuna etkisinin iki şekilde olmaktadır. Yaşlı araçlarda aşınma gibi nedenlerle verimde düşme, emisyonda artış olmaktadır. Yaşı küçük araç ise düzgün ayarlara, yanma sisteminde yeni parçalara sahiptir. Ayrıca her yeni model araçta emisyonu önlemek için yeni donanımlar, etkin tasarımlar mevcuttur.

Çizelge 4.7 İstanbul’da trafiğe kayıtlı taşıtların model ve türlere göre dağılımı. [10]

Model yılı	Çöp kamyonu	Damperli kamyon	Kamyon	Kamyonet	Kapalı kasa kamyon	TOPLAM KAMYON	Otobüs	Otomobil	Jeep	TOPLAM OTOMOBİL
1970	4	137	447	1144	28	1760	301	2548	4	2552
1971	2	94	364	879	19	1358	269	4327	9	4336
1972	2	151	630	1473	35	2291	330	6360	5	6365
1973	6	262	840	2098	33	3239	379	8751	30	8781
1974	4	169	719	2536	46	3474	360	10460	48	10508
1975	10	266	908	2870	44	4098	384	8067	47	8114
1976	11	363	1238	2689	56	4357	406	8261	28	8289
1977	12	346	1236	2085	62	3741	371	8150	58	8208
1978	8	182	764	1359	38	2351	302	7471	29	7500
1979	8	161	707	1411	33	2320	261	6628	15	6643
1980	6	132	488	1033	25	1684	193	6231	14	6245
1981	8	245	679	575	34	1541	105	4762	8	4770
1982	13	253	847	477	52	1642	236	6596	20	6616
1983	54	458	1301	1061	96	2970	1204	8139	24	8163
1984	10	364	1118	1056	80	2628	611	9271	45	9316
1985	44	869	1562	2102	139	4716	678	15278	83	15361
1986	128	855	1316	2525	152	4976	886	19345	140	19485
1987	100	639	1105	1899	159	3902	634	23085	116	23201
1988	10	698	1115	1743	172	3738	586	29412	154	29566
1989	15	300	759	1710	128	2912	685	30413	88	30501
1990	70	507	1415	3866	185	6043	1284	62196	189	62385
1991	117	563	1418	4960	245	7303	1566	63612	114	63726
1992	93	758	1989	6927	308	10075	1774	81653	129	81782
1993	110	769	3048	12385	284	16596	2609	119340	496	119836
1994	101	462	2385	11717	198	14863	1359	106465	372	106837
1995	42	204	1002	3689	75	5012	618	56182	425	56607
1996	12	227	1619	9013	166	11037	1023	64194	822	65016
1997	25	642	1408	9081	305	11461	1267	43171	787	44358
1998	29	172	421	2390	173	3185	464	13937	336	14273

(NOT: 1998 yılı sonuçları mart ayına kadar olan sonuçlardır.)

Çizelge 4.7'deki İstanbul trafiğindeki araç sayısına baktığımızda İstanbul Trafik Tescil Müdürlüğü kayıt sonuçları kent trafiğinde (Mart 1998 itibariyle) en çok 10 yaşın altında araç olduğunu bu grup içinde de 5 – 8 yaşındakilerin yoğunlukta olduğunu göstermektedir. Bunu Şekil 4.6'deki İstanbul'da trafiğe kayıtlı araç sayısının (Mart 1998 itibariyle) modellere göre fraksiyonları grafiğinden de görmekteyiz.



Şekil 4.6 Araç yaşı fraksiyonu.

Araç yaşı emisyonu etkileyen bir etkidir. Ancak araçların yaşı ve kirlenme emisyonları arasındaki değişimle ilgili olarak aralarında tam oranların verilmesi bu değişimin pek çok faktöre bağlı olmasından dolayı zordur.

Araç model yıllarına göre formül [4.1] kullanılarak araç emisyon (NO_x ve hidrokarbon emisyonları) hesabı yapılmış bir çalışmanın sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir. Çalışmada, sarfedilen ortalama yakıt miktarı benzinli taşıtlarda 100 km'de 10 lt, dizel motorlu taşıtlarda 100 km'de 5 lt, taşıtların bir gün içinde katettikleri mesafe 30 km/gün alınmış ve kullanılan bozulma ve emisyon faktörleri Çizelge 4.8'dedir. [10] Yakıt cinsi olarak hesaplarda

otomobil için benzin, otobüs ve kamyon için dizel kabul edilmiştir. Kullanılan yakıt türüne göre kirletici madde için emisyon faktörleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

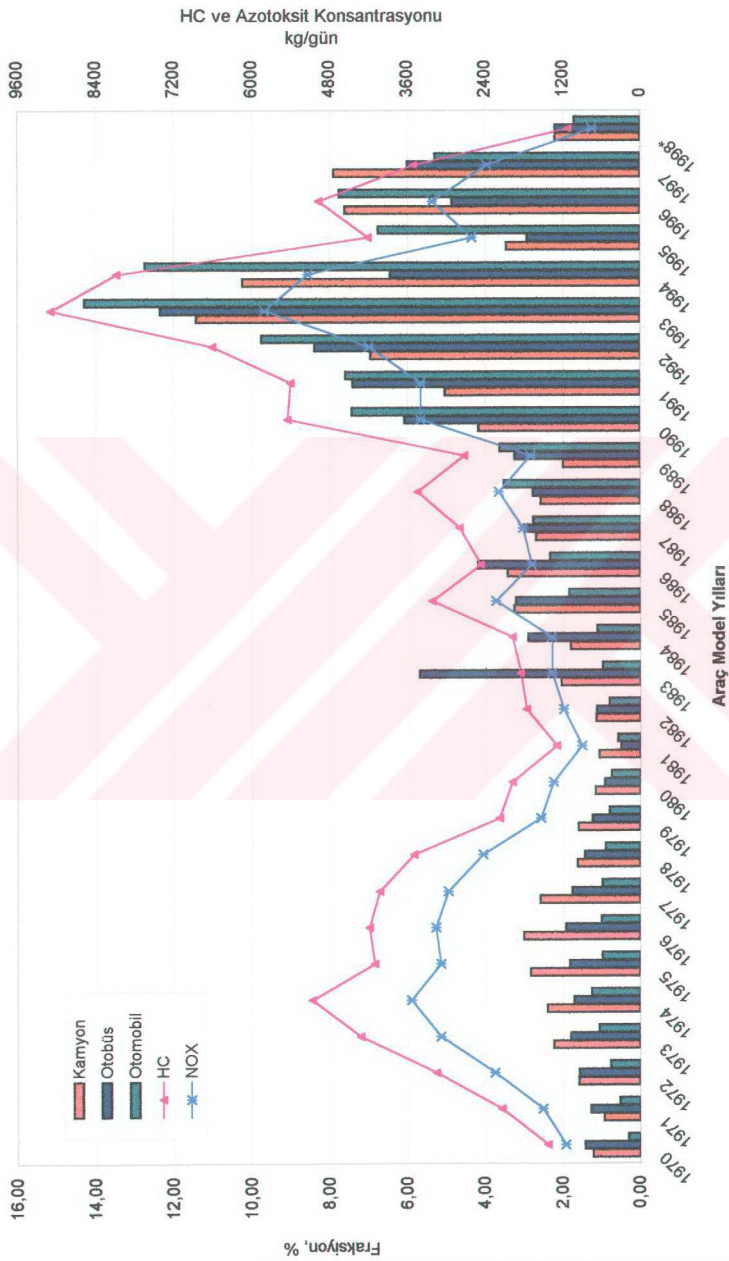
Çizelge 4.8 Taşıt modelleri için bozulma ve emisyon faktörleri. [10]

MODEL YILI	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Bozulma faktörü	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37
EF (gr/mil)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	35	35

MODEL YILI	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Bozulma faktörü	1.36	1.35	1.34	1.32	1.30	1.28	1.26	1.23	1.20	1.16	1.12
EF (gr/mil)	30	30	24	24	24	15	15	15	12	12	12

MODEL YILI	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Bozulma faktörü	1.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
EF (gr/mil)	12	12	12	12	12	12	12

Şekil 4.7’da İstanbul’da trafiğe kayıtlı araç sayısının (Mart 1998 itibariyle) modellere göre hesaplanmış olan HC ve NO_x emisyonları ve fraksiyonları grafik ortamında gözükmektedir. Taşıtların modellerine göre dağılımına baktığımızda araç yaşı arttıkça emisyon miktarında da artışın olduğunu görmekteyiz. Örneğin; trafiğe kayıtlı 1975 ve 1983 model otomobil sayıları birbirine çok yakın değerlerde iken HC ve NO_x emisyonlarının 1975 model araçlarda 1983 modellere nispeten çok daha fazla olması araç yaşındaki artışla emisyon miktarındaki artışın paralellliğini göstermektedir.



Şekil 4.7. Araç modellerinin yıllara göre dağılım yüzdeleri ve araç model yıllarına göre emisyon dağılım eğrileri.

4.4 İstanbul'da Araç Hızı – Emisyon İlişkisi

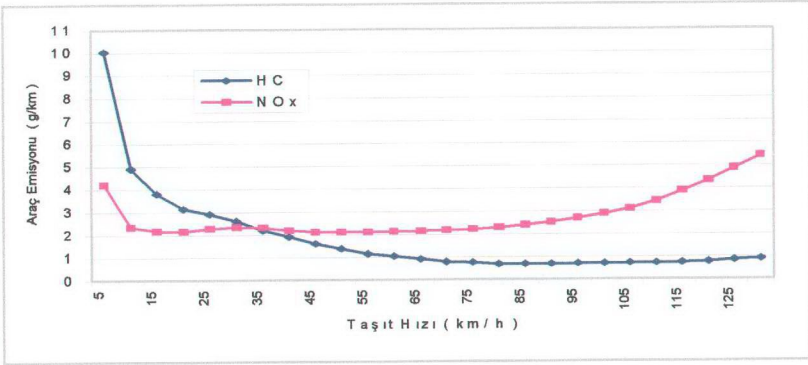
İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin hazırlamış olduğu ulaşım raporunda kent trafiğinde günde 1.023.139 adet motorlu aracın seyrettiği rapor edilmiştir.[28/ 5] Bunun %75'ini benzin motorlu araçlar oluşturmaktadır.

Şehir trafiğinde ortalama araç hızı 60 – 90 km/h, ara sokaklarda ise 60 – 30 km/ h dir. Trafik yoğun olduğu sabah saatlerinde (8 – 9 saatleri arasında) bu hız boğaz köprüsü giriş – çıkışlarında 40 km/h, köprü üzerinde 20 km/ h, ana arterlerde 20 – 40 km/h ye düşmektedir. Benzinli taşıtların hız – emisyon değişimi Çizelge 4.9'da, grafik olarak da Şekil 4.8'de verilmiştir. [28/ 8]

Çizelge 4.9 Araç hızı – emisyon ilişkisi. [28/ 8]

Taşıt hızı (km/ h)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
HC (g/ km)	10.03	4.90	3.82	3.15	2.92	2.61	2.19	1.91	1.61	1.37	1.15	1.05	0.92
NO _x (g/ km)	4.21	2.34	2.17	2.16	2.28	2.34	2.31	2.19	2.11	2.12	2.11	2.14	2.16

Taşıt hızı (km/ h)	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
HC (g/ km)	0.79	0.76	0.68	0.68	0.69	0.71	0.71	0.72	0.73	0.75	0.77	0.84	0.90
NO _x (g/ km)	2.19	2.23	2.30	2.40	2.52	2.70	2.90	3.11	3.15	3.88	4.35	4.87	5.42



Şekil 4.8 Araç hızı – emisyon ilişkisi.[28/ 8]

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi düşük hızlarda emisyon miktarları oldukça yüksektir. Araç hızı arttıkça emisyon değerinde düşüş olmaktadır. Ancak hız 90 km/h’i geçtiği zaman emisyon miktarlarında tekrar yükselişe geçilmektedir.

Araç hızının İstanbul trafiğindeki etkisini görmek için 10,15,20,25,30,35 km/h’lik hızlar için tahmini HC ve NO_x değerlerini hesaplayalım. Hesaplama trafikte seyreden araç sayısı 1.023.139 olarak alınmış ve bunun da %75’inin benzin motorlu taşıt olduğu, haftada 5 gün taşıtların trafiğe çıktığı ve yaz aylarının 5 ay sürdüğü kabul edilmiştir. (2.17 g/km NO_x için, 3.82 g/ km HC için 15 km/h’de grafikten [Şekil 4.8] okunan değerlerdir.)

15 km/h hız için:

NO_x hesabı

$$(2.17 \text{ g/ km}) * (1.023.139) * (\%75) * (52 \text{ hafta}) * (5 \text{ gün}) = 432.9 \text{ ton/ yıl}$$

$$\text{Yaz ayları için : } 180.4 \text{ ton/ ay(5 ay)}$$

HC hesabı

$$(3.82 \text{ g/ km}) * (1.023.139) * (\%75) * (52 \text{ hafta}) * (5 \text{ gün}) = 762.1 \text{ ton/ yıl}$$

$$\text{Yaz ayları için : } 317.6 \text{ ton/ ay(5 ay)}$$

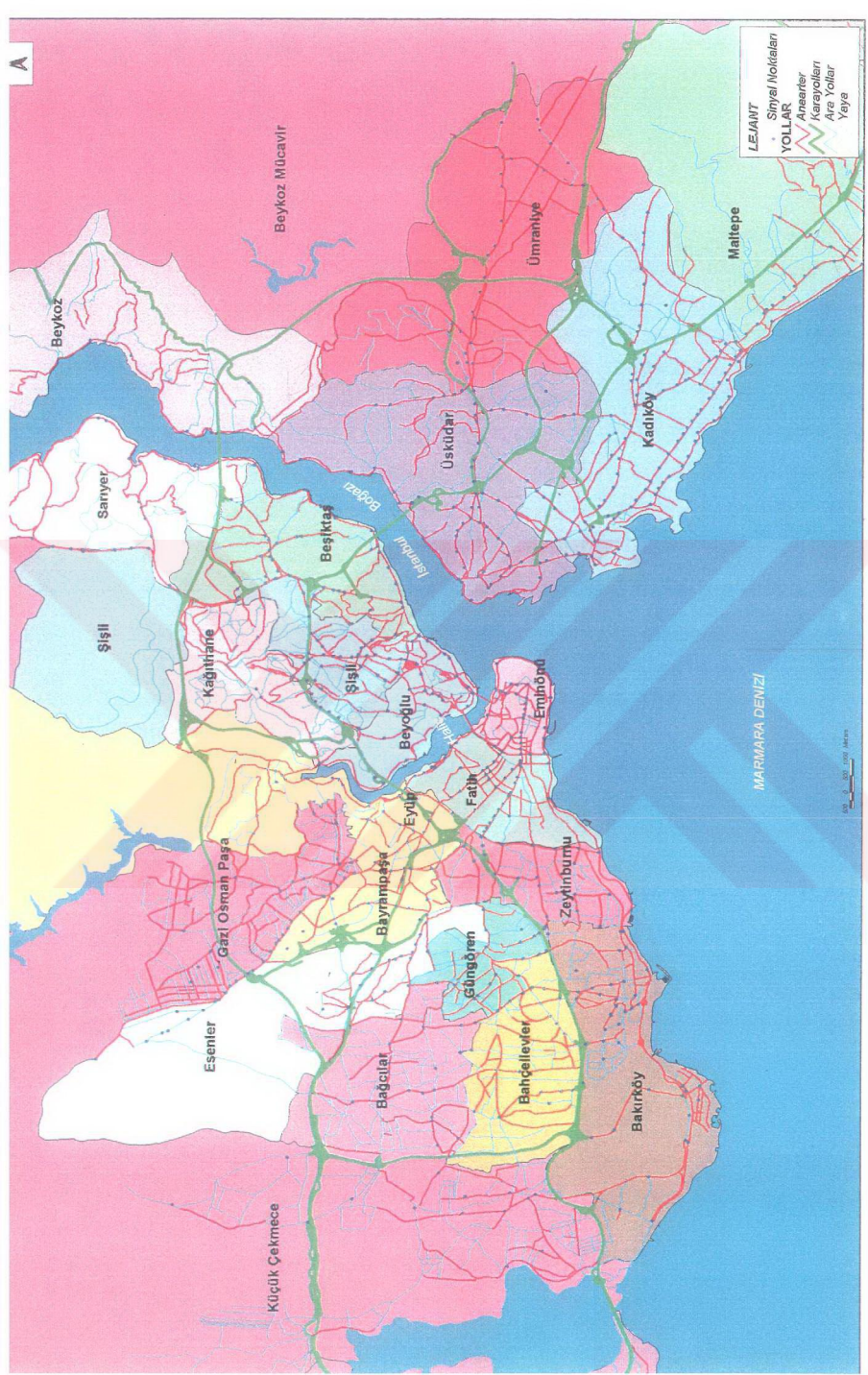
Çizelge 4.10 Taşıt hızına göre hesaplanmış NO_x ve HC Konsantrasyonları.

Hız (km/ h)	NO _x konsantrasyonu		HC konsantrasyonu	
	ton/ yıl	yaz ayları için- ton	ton/ yıl	Yaz ayları için- ton
15	432.9	180.4	762.1	317.6
20	430.9	179.6	628.5	261.8
25	454.8	189.5	582.6	242.7
30	466.8	194.5	520.7	216.9
35	436.9	182.1	460.8	192.0

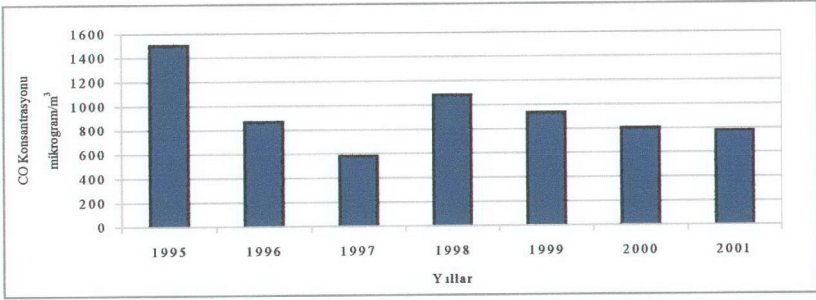
İstanbul'da taşıt yaşı genç ancak taşıt sayısının fazla olması trafik yoğunluğu oluşturmaktadır. Trafik yoğunluğunun zirve saatlerinde düşük hız ve rölantide çalışma daha çok olduğundan bu durum araç emisyonlarını daha da artırmaktadır. Hesaplarda çıkan rakamlar da düşük hızda trafik seyrinin HC ve NO_x emisyon oluşumunu artırdığını göstermektedir. Görüldüğü gibi rölantide veya sürekli düşük hızda seyreden trafik ozon oluşumunda etkili olabilmektedir.

4.5 İstanbul'daki Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirmesi

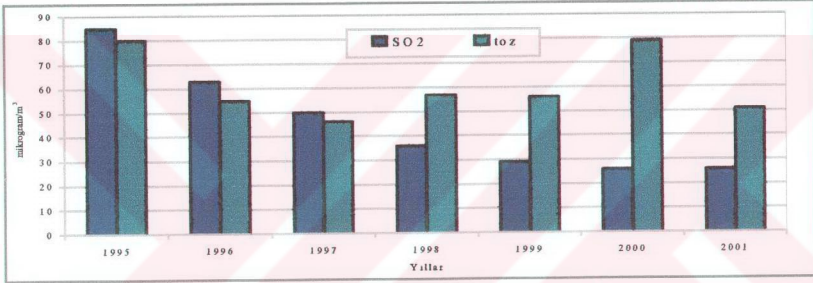
İstanbul'da ozon ölçüm çalışmaları ilk kez İstanbul Büyükşehir Belediye'sinin temin ettiği iki adet mobil cihazla başlatılmıştır. Gün içinde Avrupa ve Anadolu yakasında hava kirliliğinin yoğun olduğu farklı ilçelerde saatlik ölçümler alınmak suretiyle çalışmalar yapılmıştır. İstanbul ilinde sürekli ve detaylı emisyon ölçüm çalışmaları ise 1998 yılında yine Büyükşehir Belediyesince yapılmaya başlanmıştır olup; ölçüm çalışmalar devam etmektedir. Ölçüm istasyonları Avrupa yakasında Alibeyköy, Esenler, Saraçhane, Yenibosna, Beşiktaş ve Sarıyer'de, Anadolu yakasında ise Kadıköy, Kartal ve Ümraniye'de bulunmaktadır. Bu istasyonlarda SO₂, toz, CO, NO, NO_x, NO₂, THC, CH₄, nMHC ölçümleri yapılmaktadır. İstanbul'a ait Şekil 4.9'daki 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.



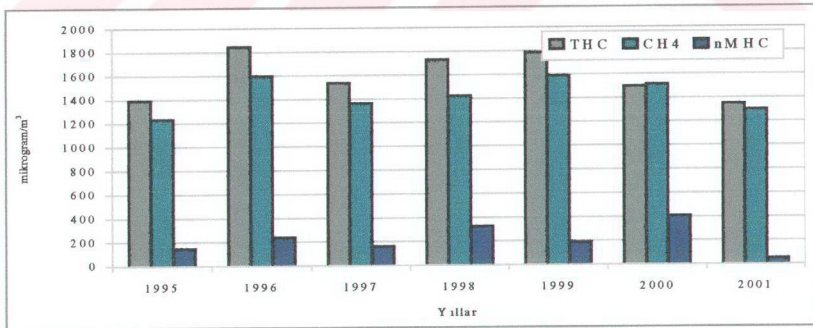
Şekil 4.9 İstanbul'un sinyalizasyon haritası.



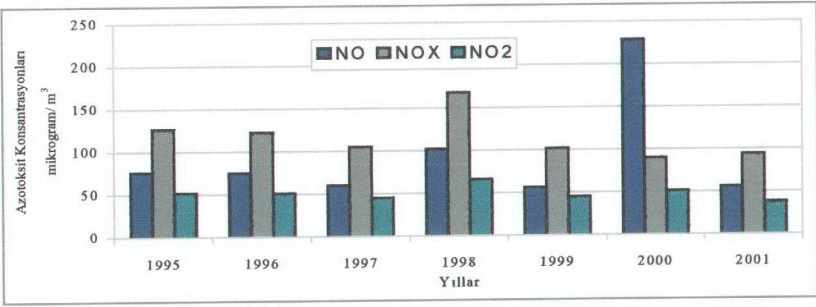
Şekil 4.10 CO konsantrasyonunun yıllara göre değişimi. [25]



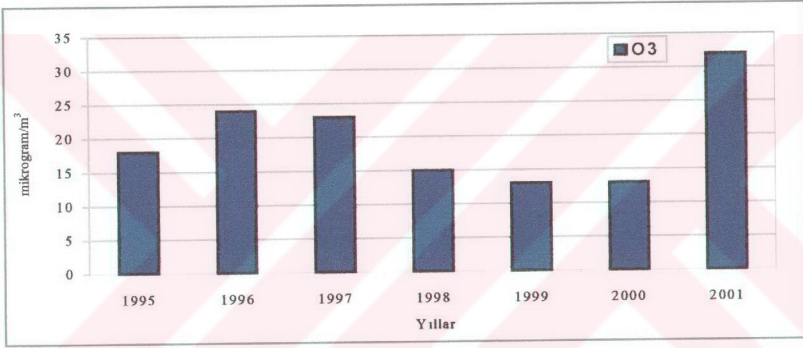
Şekil 4.11 SO₂ ve toz konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi. [25]



Şekil 4.12 Hidrokarbon konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi. [25]



Şekil 4.13 Azotoksit konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi. [25]



Şekil 4.14 Ozon konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi. [25]

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü'nce ölçülmüş olan 1995-2001 yılları arasındaki kirletici parametre konsantrasyonlarındaki değişimi incelediğimizde SO₂ konsantrasyonlarında hızlı bir düşüş seyredilmektedir. CO konsantrasyonunda da yine 1995 yılına nispeten düşük değerler okunmaktadır. 1995 yıllarında SO₂, toz parametreleri etkin kirletici iken ilerleyen yıllarda konsantrasyonlarındaki düşüş yerlerini NO_x, HC ve ozona bıraktığını göstermektedir.

4.6 İstanbul'da Yer Seviyesi Ozon Ölçüm Sonuçlarına Etki Eden Parametrelerin Değerlendirmesi

4.6.1 Ozon – Zaman İlişkisi

İstanbul'da 1995 – 2001 yılları arasında ölçülmüş olan ozon konsantrasyonlarının yıllar arası, mevsimlere göre ve gün içindeki değişimleri grafik ortamına aktararak ozonun zamana bağlı değişimini İstanbul'a ait ölçüm sonuçlarıyla görelim. [25]

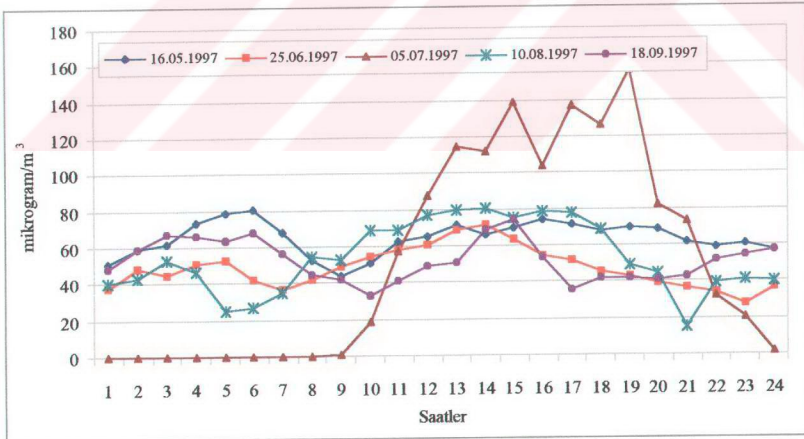
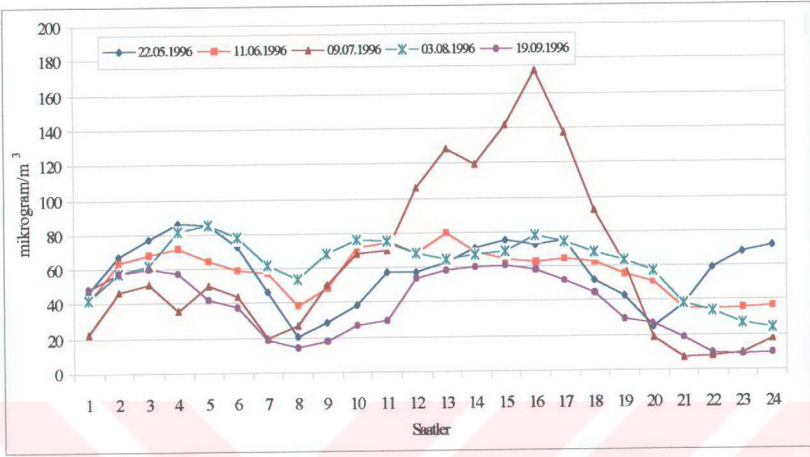
İstanbul'da ölçülmüş olan sonuçlarını (Şekil 4.14) 1995 yılına göre kıyaslayacak olursak; 1996 yılına ait yıllık ortalama ozon miktarının 1995 yılına nispeten daha yüksek, 2001 yılında ise diğer yıllara oranla maksimum değerini bulduğunu görmekteyiz. 1999 yılının yaz ayında yaşanan deprem ve bu olayın tatil mevsiminde olması ile kent dışına çıkmalarla trafikteki araç sayısı ve ozon ölçümlerinde düşüş olmuştur. 2000 yılı yaz aylarında ise ozon ölçümleri yapılmadığından kış ayları ortalamaları ile grafikte düşük değerler okunmaktadır.

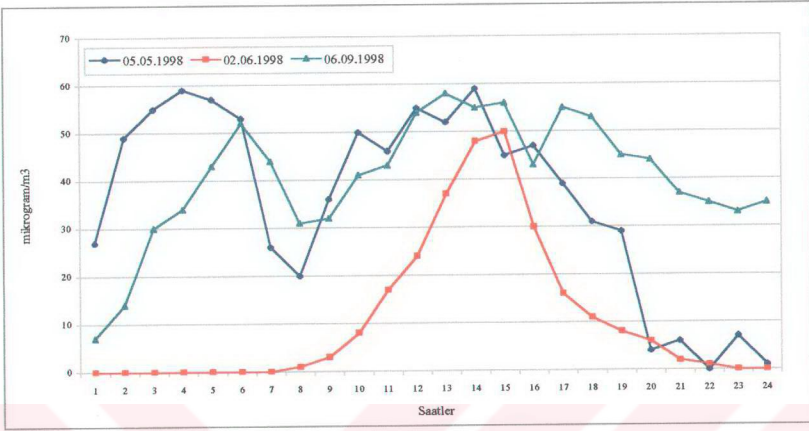
İstanbul iline ait 1996 – 2001 yıllarına ait aylık ortalama sonuçlarına bakarak ozonun mevsimsel değişimini Şekil 4.15'den takip ettiğimizde incelediğimizde ozonun yaz mevsimlerinde kış mevsimlerine oranla daha yüksek konsantrasyonlarda olduğunu görüyoruz. Bunun nedeni yaz sezonunda gün daha uzun olduğundan 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 hâlâ hissedilmekte olduğundan yaz günlerinde ozon oluşumu için daha fazla zaman vardır.

Şekil 4.16, 4.17, 4.18, 4.19'de yıllara göre yaz mevsiminde ozonun maksimum olduğu günlerin saatlik ozon değişimleri grafikleri verilmiştir.

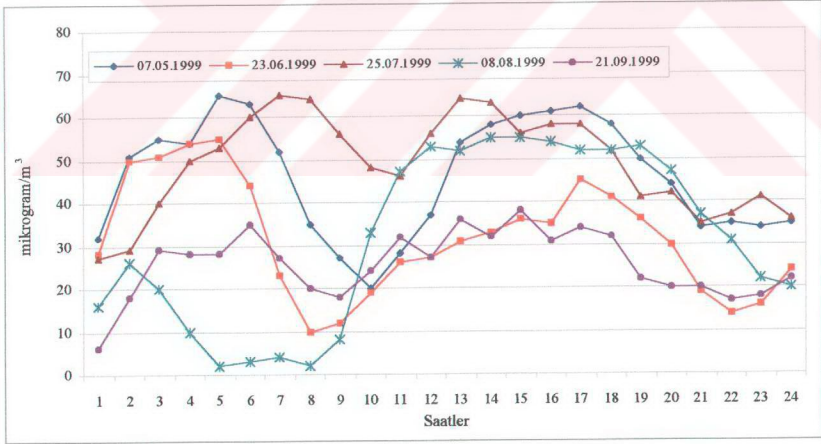


Şekil 4.15 Ozon konsantrasyonlarının aylık ortalama değerleri. (1996 - 2001)





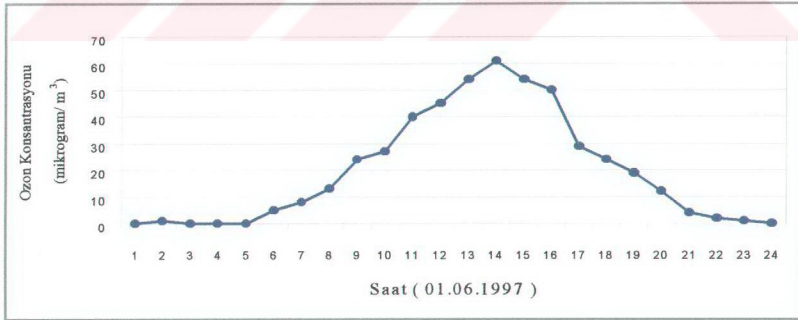
Şekil 4.18 1998 yılına ait yaz ayları karakteristik ozon grafikleri.



Şekil 4.19 1999 yılına ait yaz ayları karakteristik ozon grafikleri.

İstanbul'da bir gün içinde ölçülmüş ozonun saatlik değişimlerini Şekil 4.20, 4.21, 4.22'de görmekteyiz. 1997 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.

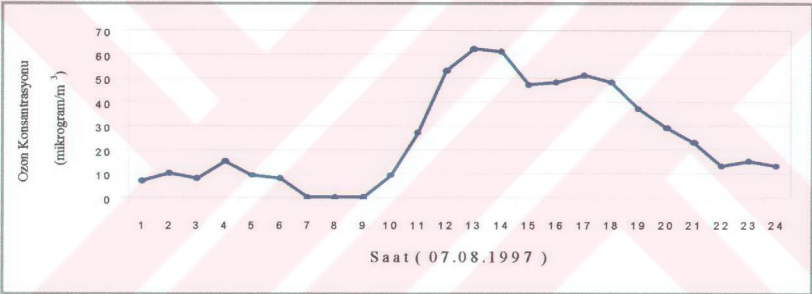
Şekil 4.23'de 29 – 31 Ağustos 1997 tarihlerine ait saatlik ozon değişimleri verilmiştir. 29.08.1997 günü hava açık ve durgun olup ozon oluşumuna müsait hava kompozisyonuna sahip iken onu takip eden günlerdeki kuvvetli rüzgar ve şiddetli yağış ozon konsantrasyonlarını düşürmüştür. Bu sebeple 29 Ağustos'a göre 30 ve 31 Ağustos 1997 tarihlerinde maksimum ozon konsantrasyonu düşüktür. Şekil 4.24'de ise 07 – 10 Eylül 1997 tarihleri arasındaki saatlik ozon değişimi verilmiştir. 08-10 Eylül 1997 günlerinde hava açık ve stabil bir durum gösterdiği için ozon konsantrasyonları yüksek çıkmıştır. Bu şekillerden de görüldüğü gibi ozon gün içinde gece saatlerinde oldukça düşük değerler verirken, 12 – 14 saatleri arasında en yüksek değerlerini bulmaktadır.



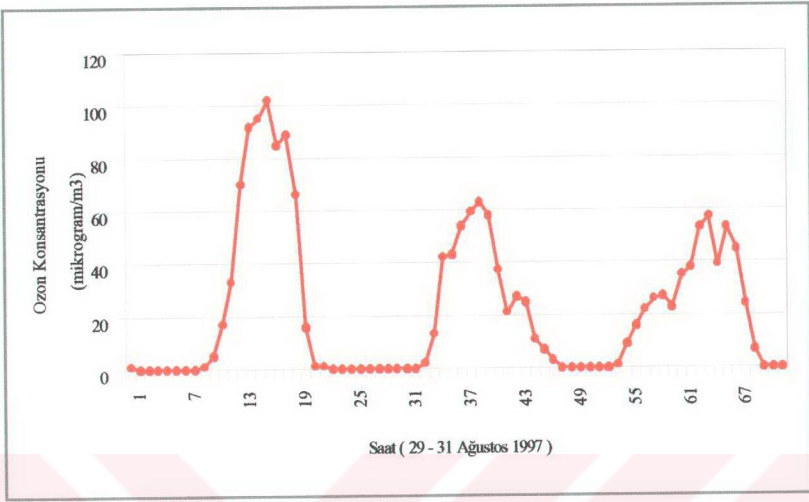
Şekil. 4.20 Ozonun gün içindeki saatlik değişimi. (01.06.1997)



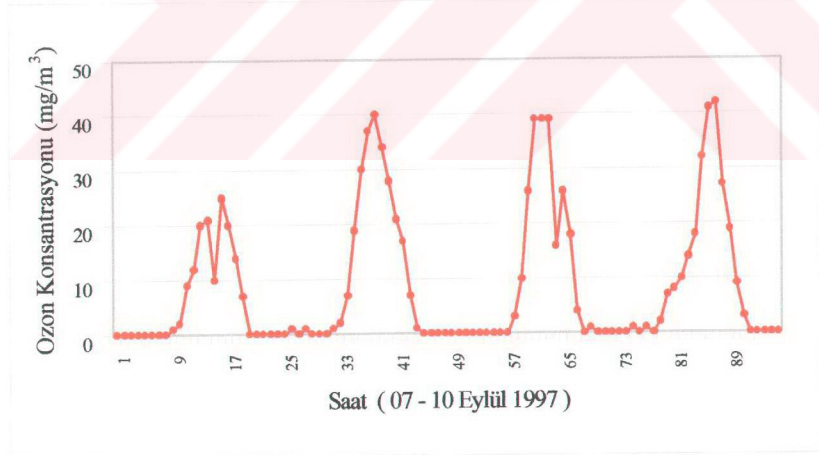
Şekil. 4.21 Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.(31.07.1997)



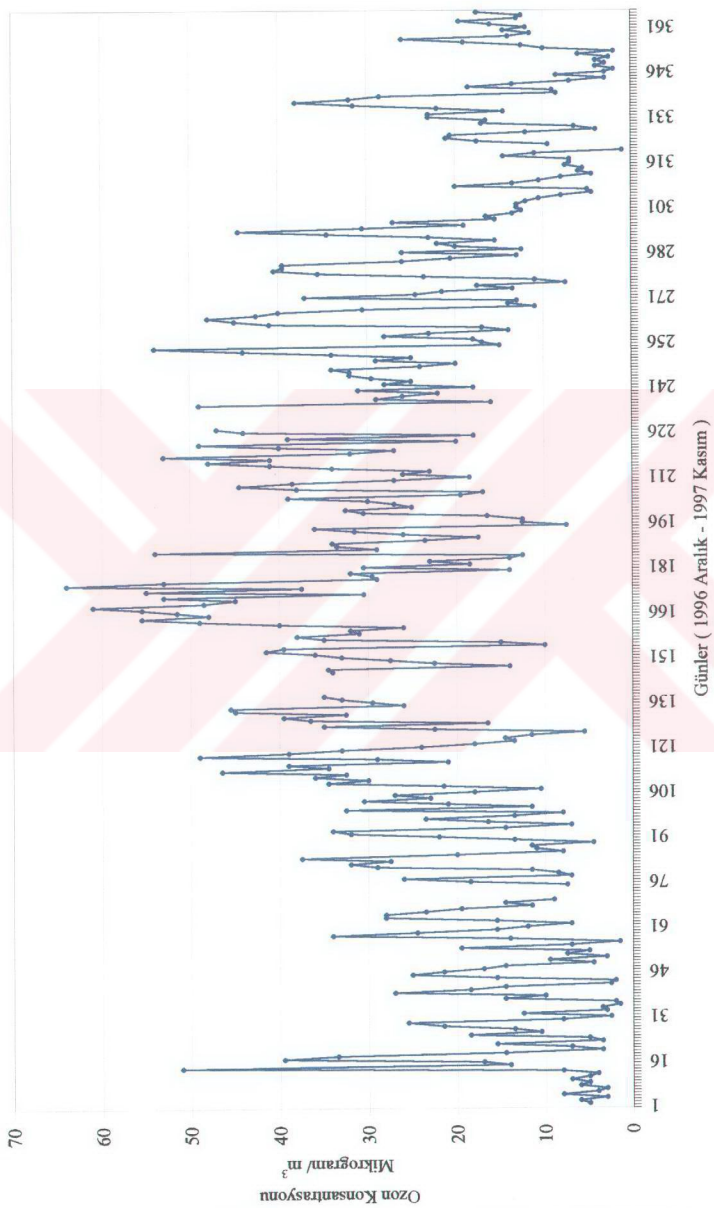
Şekil. 4.22 Ozonun gün içindeki saatlik değişimi.(07.08.1997)



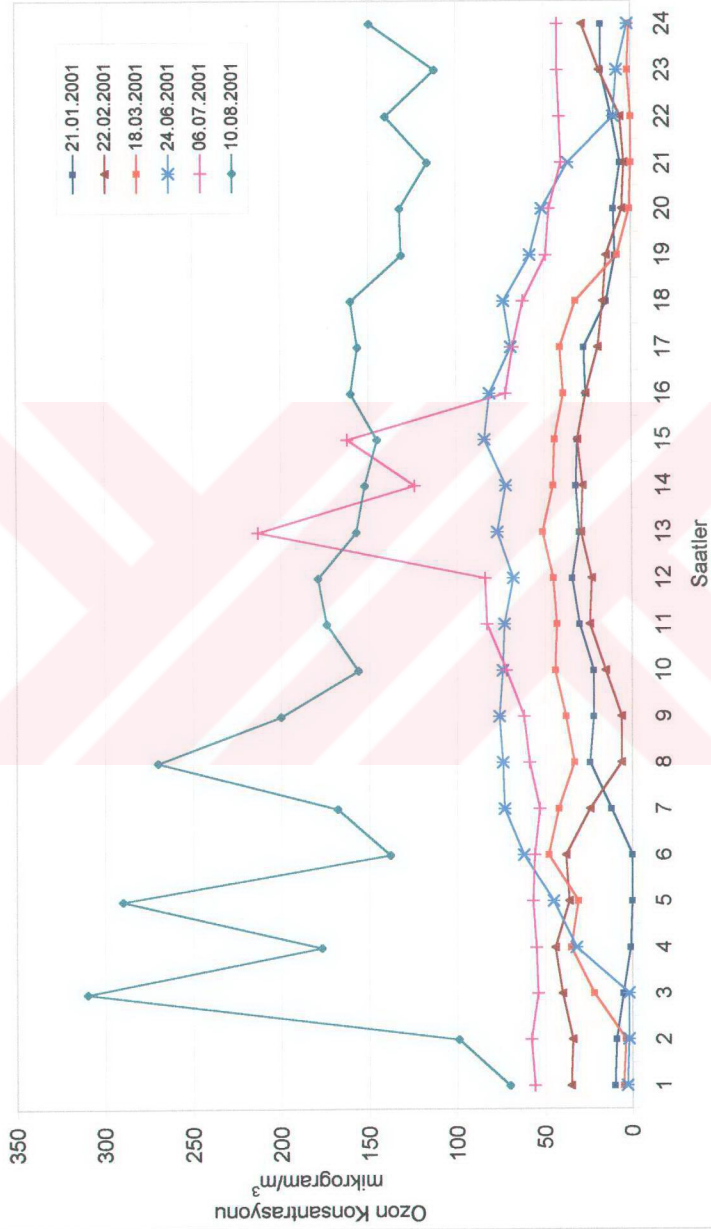
Şekil.4.23 Ozonun 72 saatlik periyottaki değışim eğrişi.(29–31 / 08 / 1997)



Şekil. 4.24 Ozonun 96 saatlik periyottaki değışim eğrişi. (07 – 10 Eylül 1997).



Şekil 4.25 Bir yıl içindeki ozon konsantrasyonu değişim grafiği. (1997)



Şekil 4.26 Ozon karakteristik eğrileri.

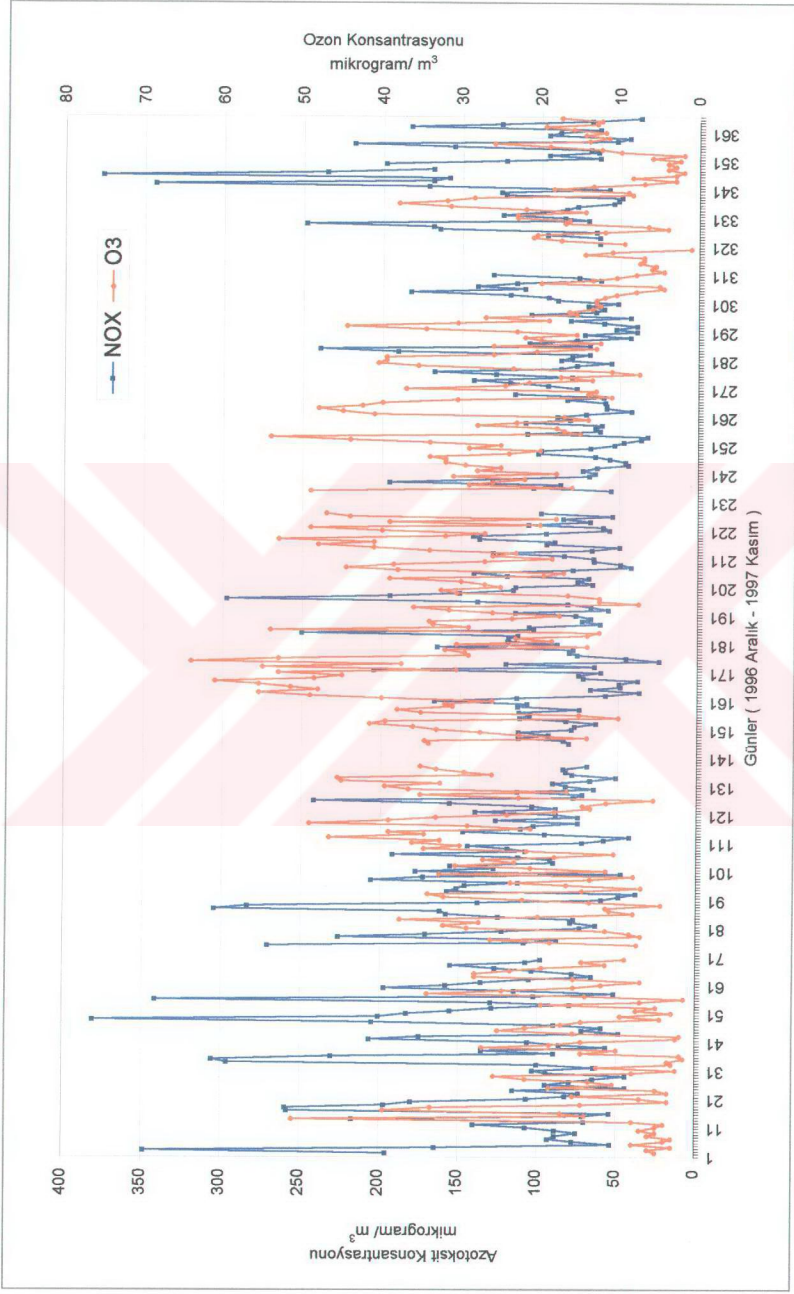
4.6.2 Ozon – Azot İlişkisi

Ozon oluşumunda en kritik parametrelerden olması nedeniyle azotoksitlerin ozon ile olan ilişkisi iyi incelenip değerlendirilmelidir.

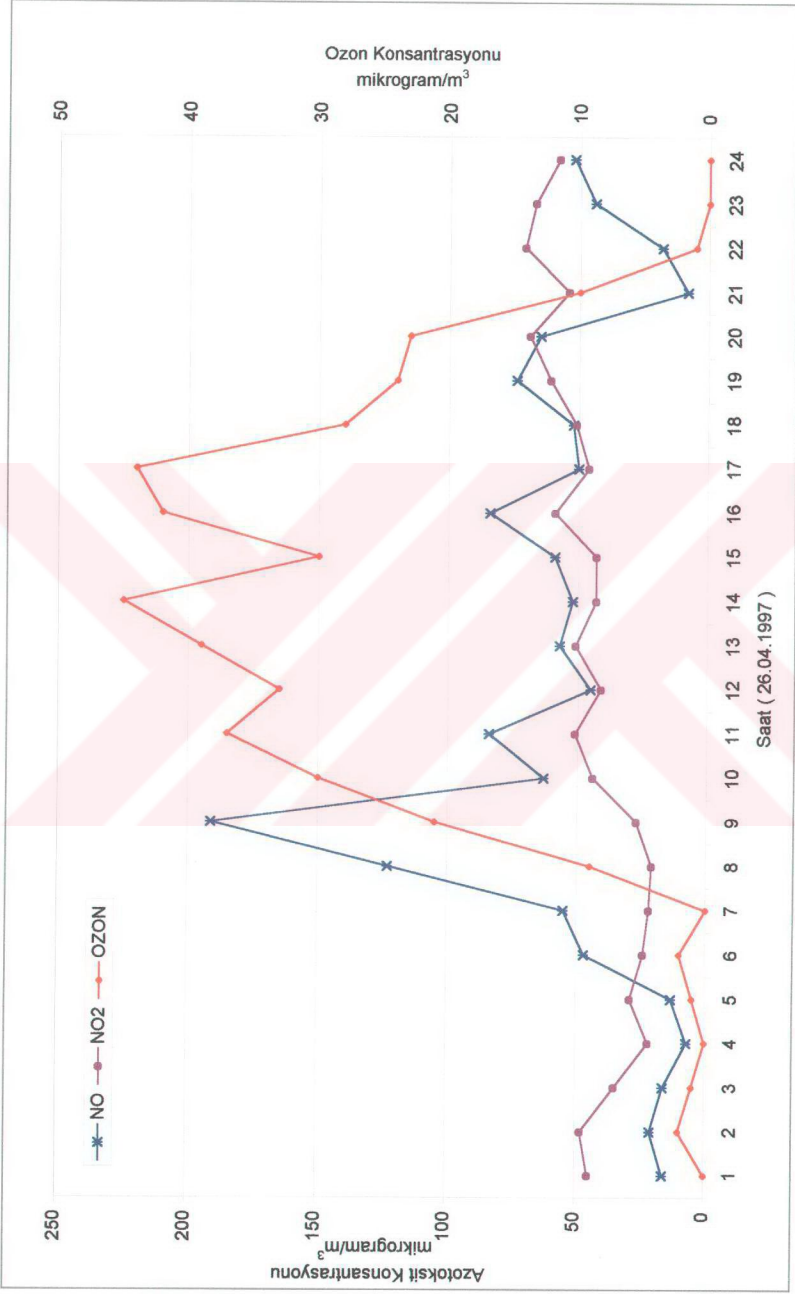
İstanbul'da yapılmış olan azotoksit ve ozon ölçüm sonuçlarına baktığımızda bu parametrelerin birbiri ile ters ilişki içinde olduklarını görüyoruz. Gerek mevsimsel gerekse gün içindeki sonuçların tetkiki NO_x ve O_3 'ün negatif ilişkisini göstermektedir. Şekil 4.27'de İstanbul İlindeki yıllara göre ölçülmüş aylık ortalama $\text{NO} - \text{NO}_2 - \text{O}_3$ değişimleri grafikte verilmektedir. (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü emisyon ölçüm verileri kullanılmıştır.)

Şekil 4.27'de de görüldüğü gibi 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 itibarıyla ısınma amaçlı yakıt tüketiminin kalkmasıyla şehirde ölçülen NO_x emisyonunda hakim pay ulaşım kaynaklı olan NO_x emisyonlardır. Yaz aylarında NO_x konsantrasyonunun az olmasına rağmen fotokimyasal reaksiyonu başlatacak meteorolojik şartların sağlanmasıyla yaz mevsiminde daha yüksek ozon konsantrasyon ölçümleri alınmaktadır.

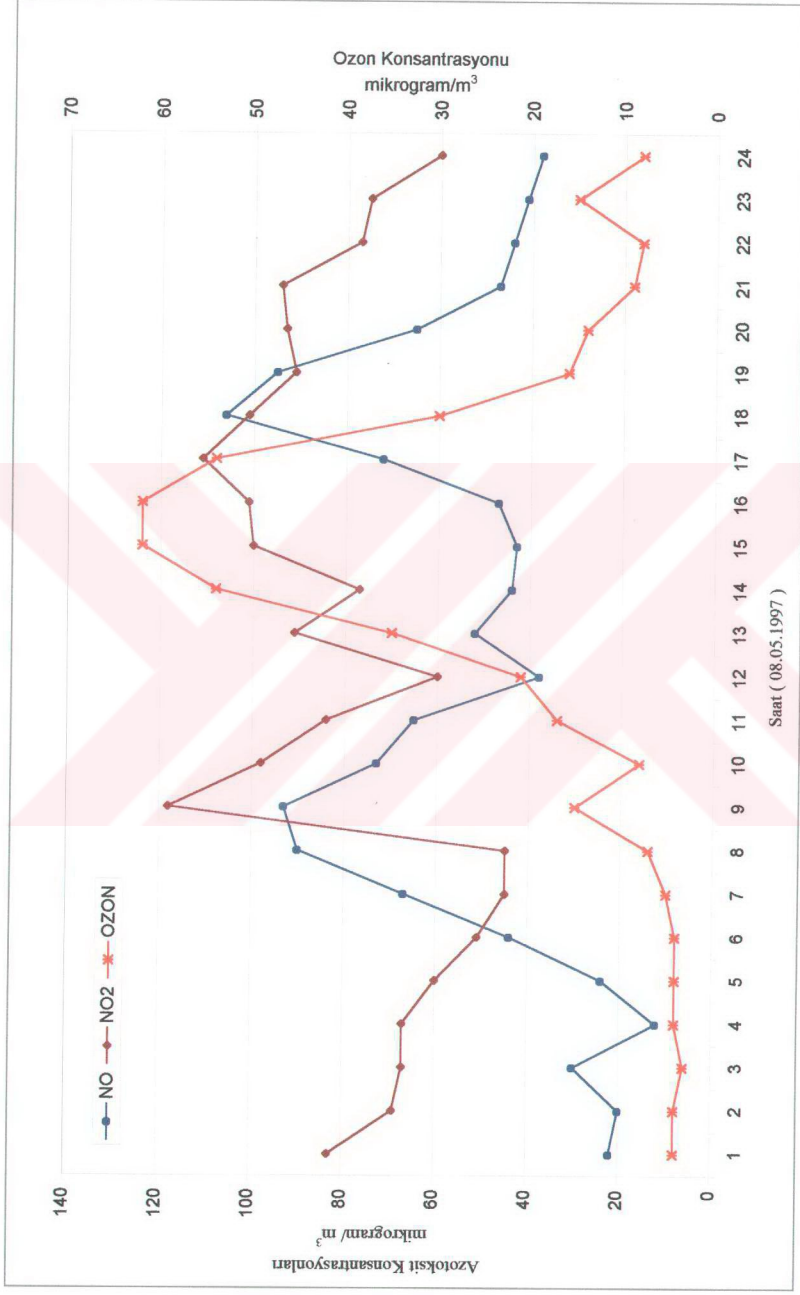
İstanbul'daki ölçülmüş olan gün içindeki saatlik azotoksit – ozon değişim sonuçlarını Şekil.4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36'daki grafik ortamlarında incelediğimizde tüm mevsimlerde gün içinde öğle saatlerine kadar yükseliş gösteren NO , NO_2 konsantrasyonlarının öğle saatlerinde ozon oluşumunun artmasıyla düştüğünü görmekteyiz. Azotoksitlerin güneş radyasyonu ile fotokimyasal reaksiyonunun neticesinde azotoksitler ozon meydana gelirken tükenmektedir.



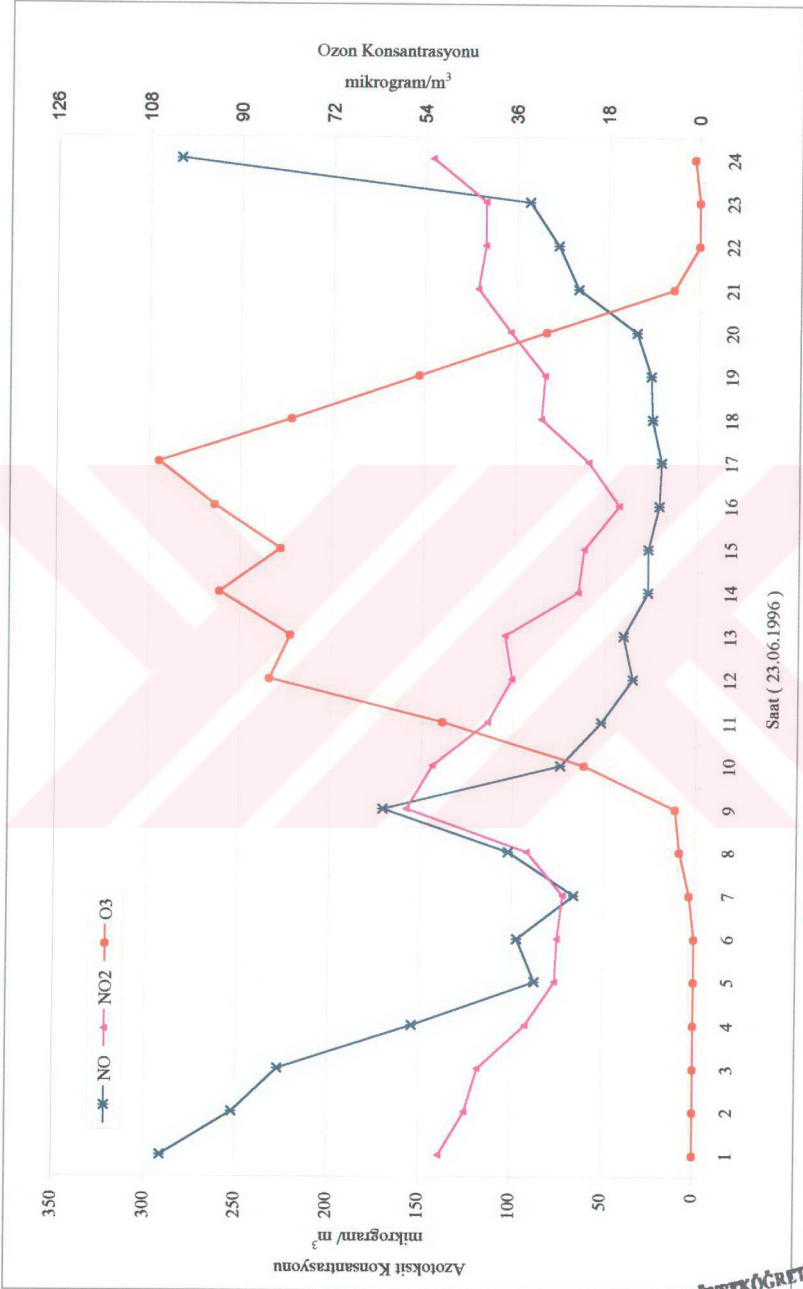
Şekil 4.28 Bir yıllık periyot içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.



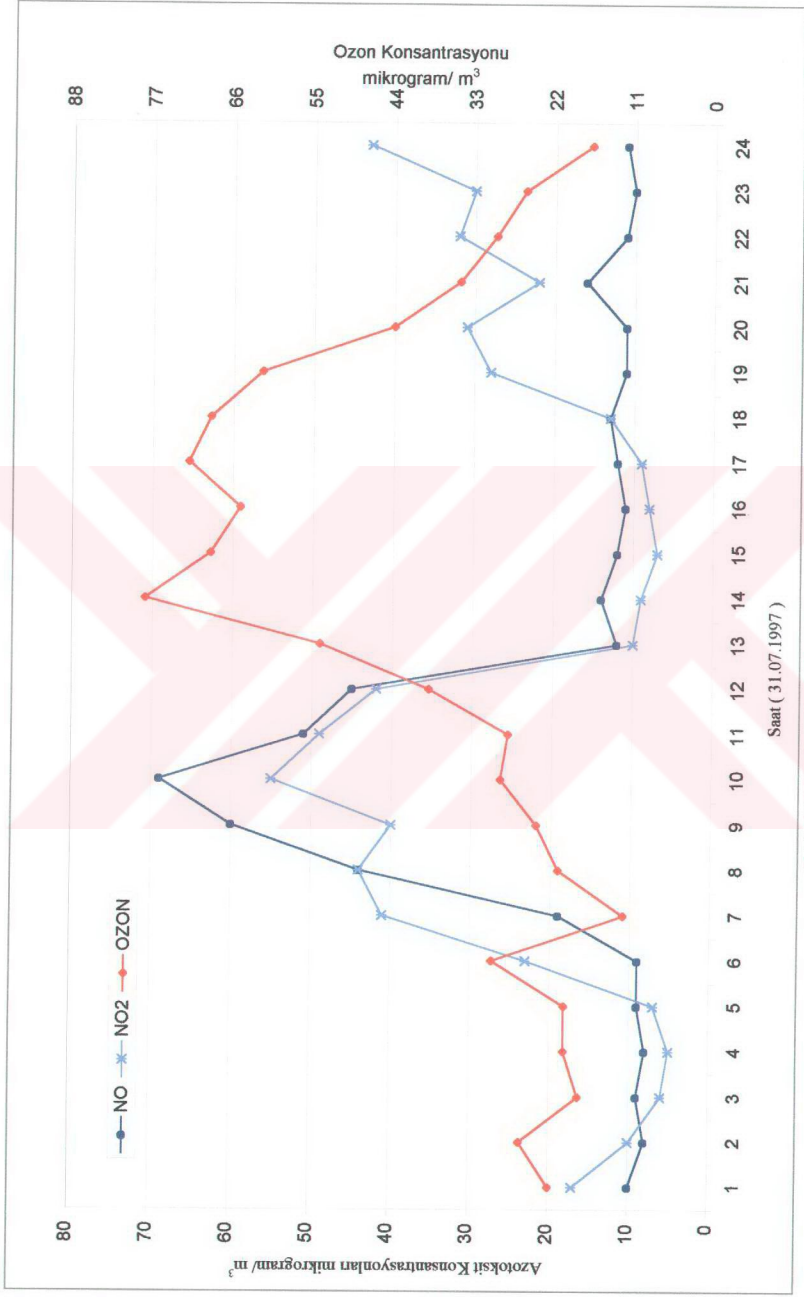
Şekil 4.29 Gün içindeki saatlik azotoksit-ozon değişimi.



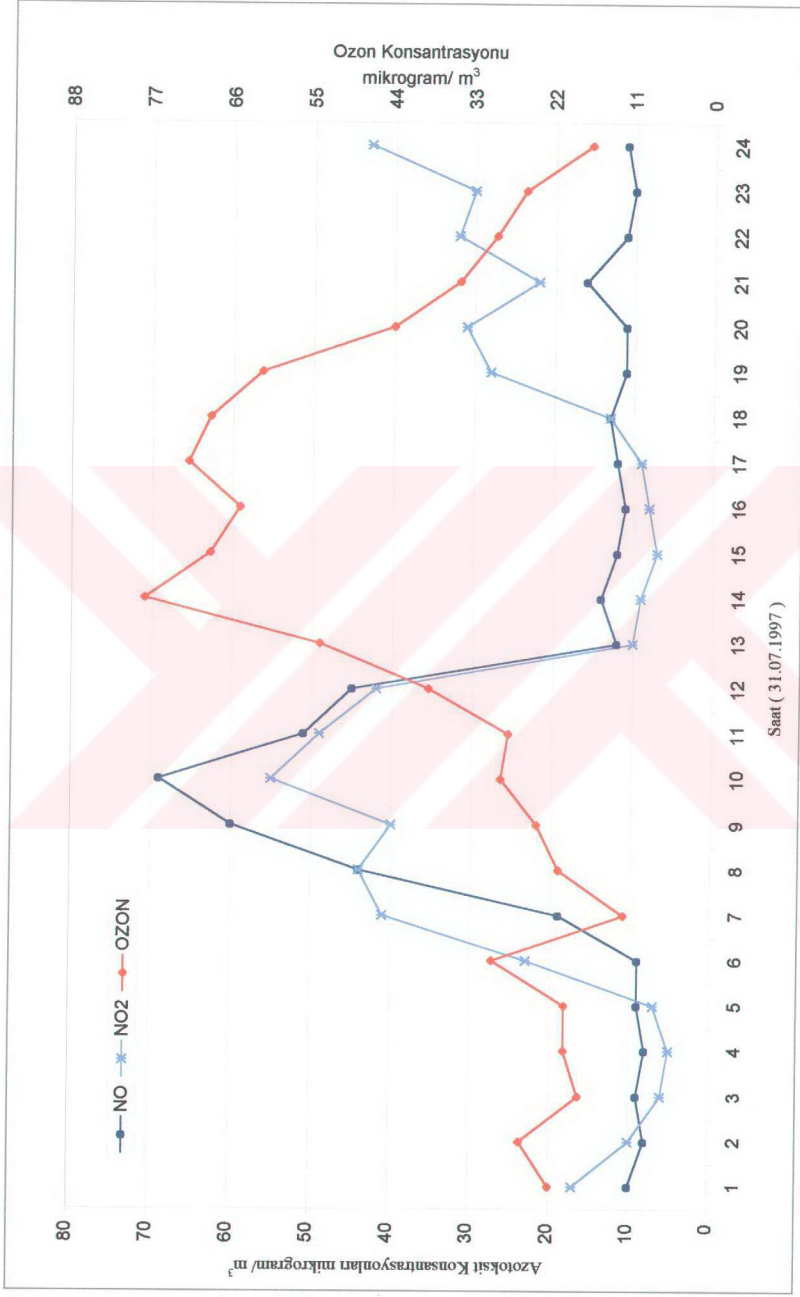
Şekil 4.30 Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.



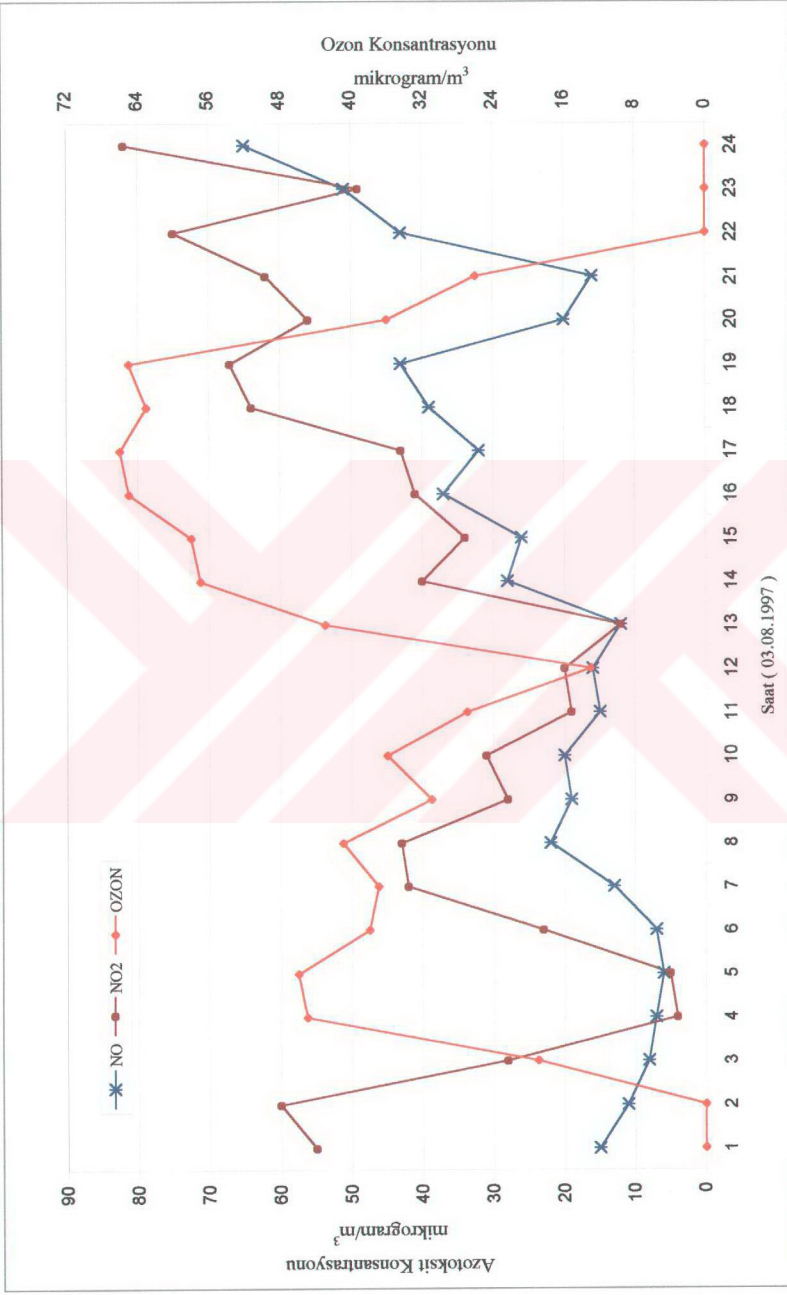
Şekil 4.31 Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi (23.06.1996)



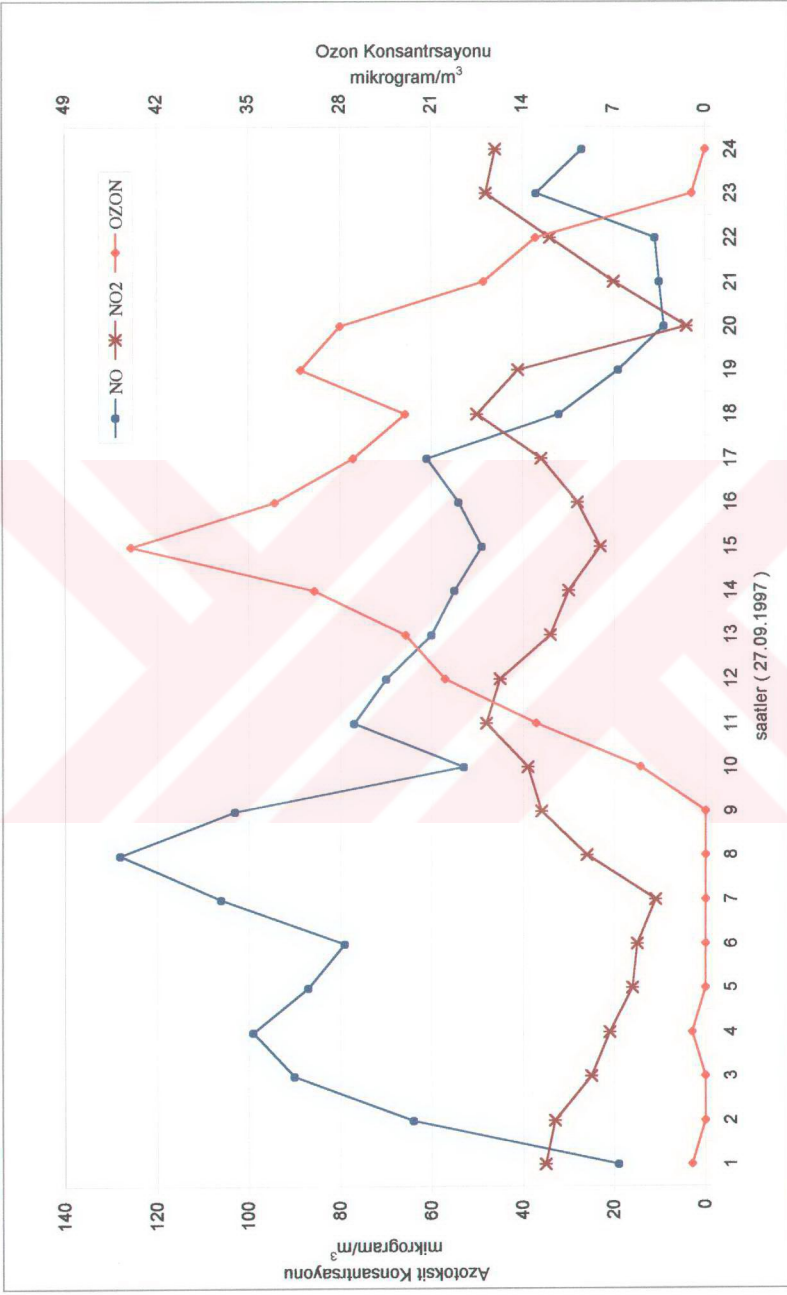
Şekil 4.32 Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi



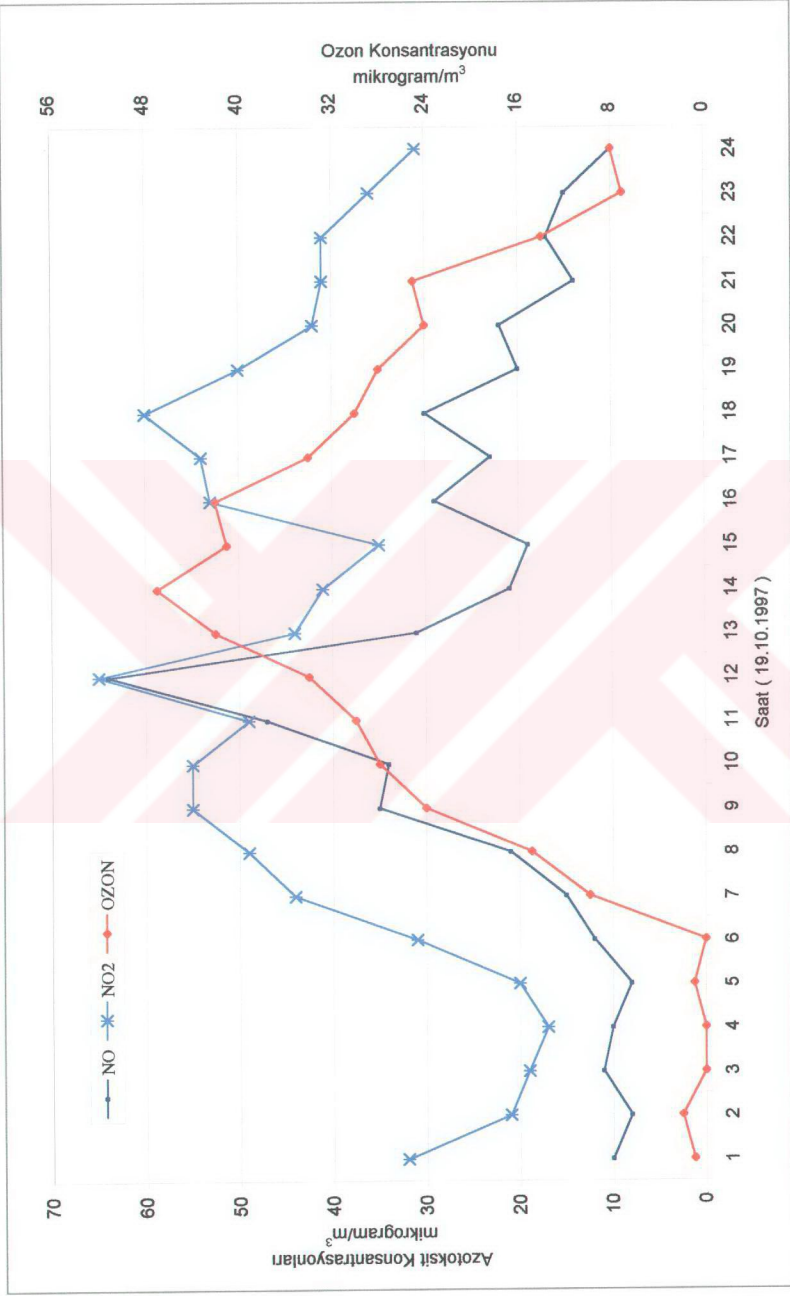
Şekil 4.32 Gün içindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi



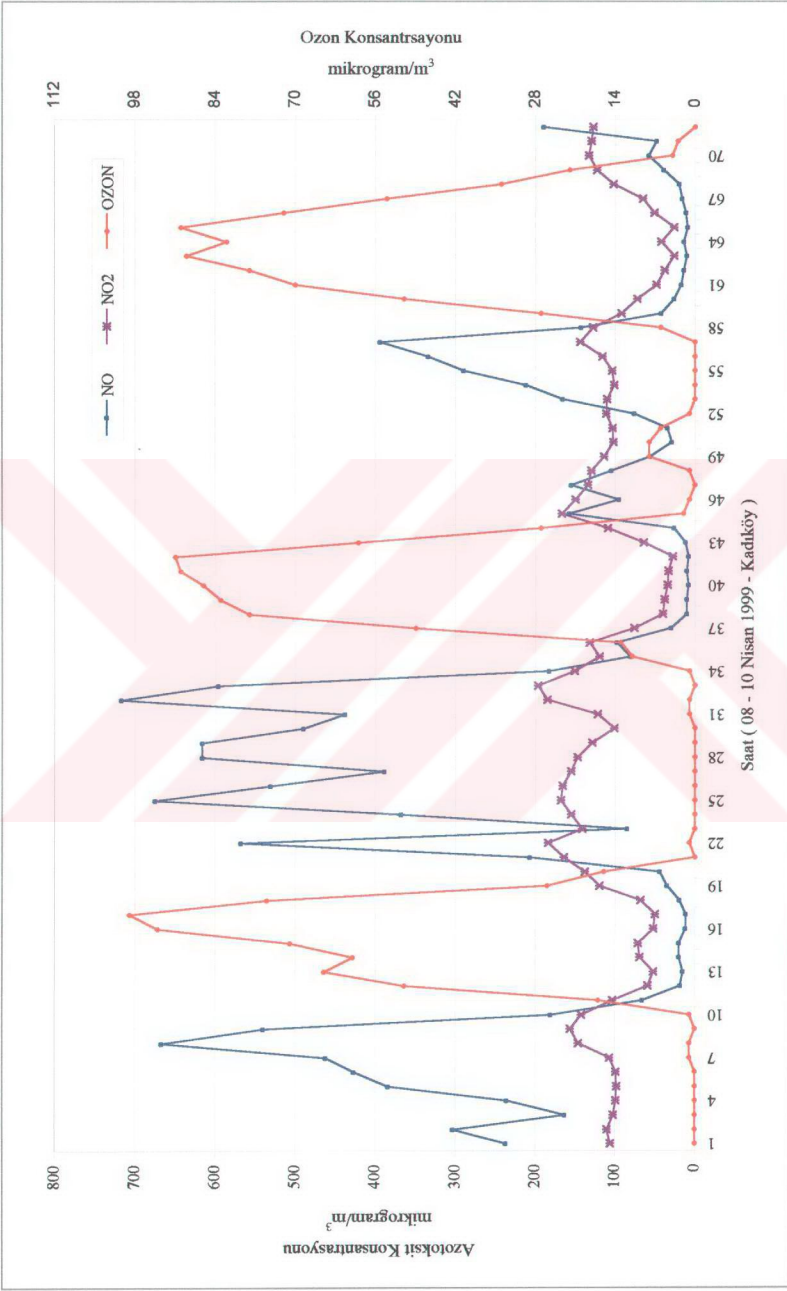
Şekil 4.33 Güncindeki saatlik azotoksit - ozon değişimi.



Şekil 4.34 Gün içindeki saatlik azotoksit- ozon değişimi.



Şekil 4.35 Güniçindeki saatlik azotoksit- ozon değişimi.



Şekil 4.36 72 saatlik ortalama azotoksit - ozon değişimi

4.6.3 Ozon – Hidrokarbon İlişkisi

Ozon oluşumunda etkili parametrelerden olan hidrokarbonların ozon ile vermiş olduğu reaksiyonlar Bölüm 3’de anlatılmıştı. Bu bölümde ise İstanbul’daki ölçüm sonuçlarıyla (*İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü emisyon ölçüm verileri kullanılarak*) hidrokarbon değişimlerinin ozon konsantrasyonuna etkisi değerlendirilmiştir.

Şekil 4.37’de 1997 yılına ait günlük ortalama sonuçlarından elde edilen aylık ozon ve hidrokarbon değişimleri verilmiş olup; şekil bize bu parametrelerin mevsimsel değişimini göstermektedir. Yaz aylarına girişte ozon konsantrasyonu artarken hidrokarbon eğrilerinde azalış görülmektedir. Eğrilerin bu karakteristik özelliğini bir aylık periyottaki günlük ortalamalardan oluşan grafikte de görmekteyiz. (Şekil 4.38) [25]

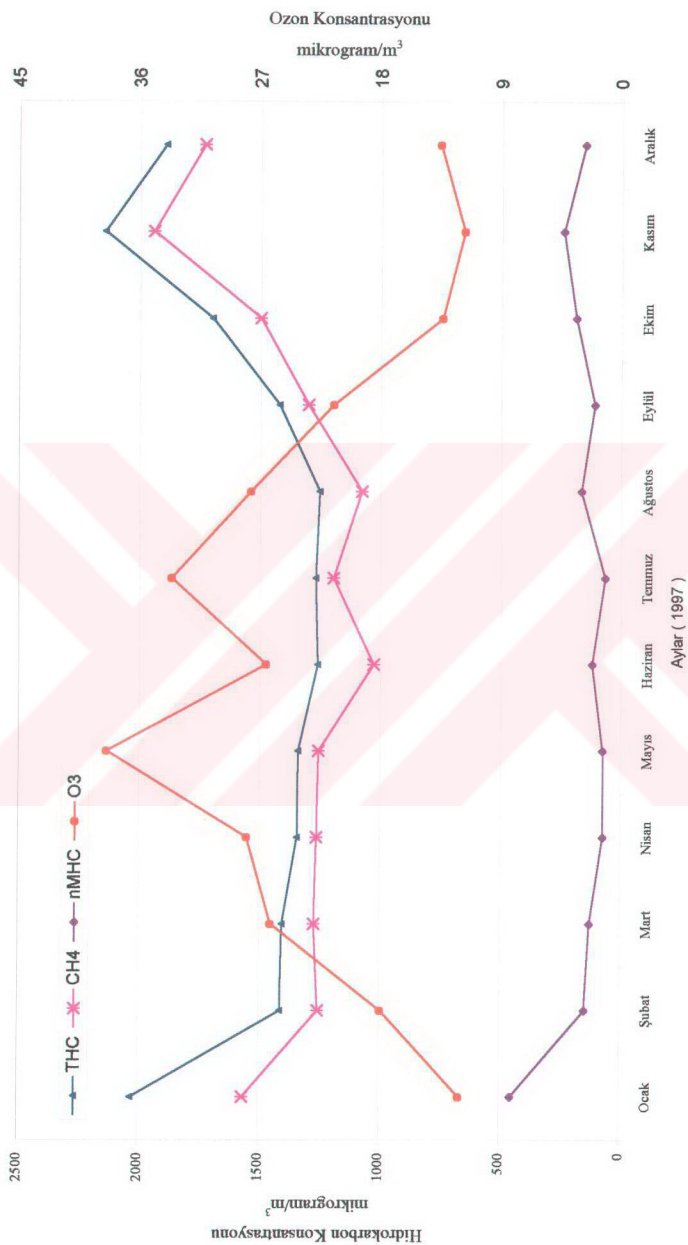
İstanbul’da ölçülmüş hidrokarbon ve ozon konsantrasyonlarının saatlik değişimleri Şekil 4.39, 4.40, 4.41, 4.42, 4.43’de verilmektedir.[25] Grafiklerden de anlaşıldığı üzere hidrokarbon ve ozon negatif ilişkilidir. Ozon konsantrasyonunda artış kaydedildiği saatlerde hidrokarbonunda azalma görülmektedir.

48 saatlik zaman diliminde takip edilmiş olan ozon ve hidrokarbon değişimi Şekil 4.44, 4.45,4.46’de [25] 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.

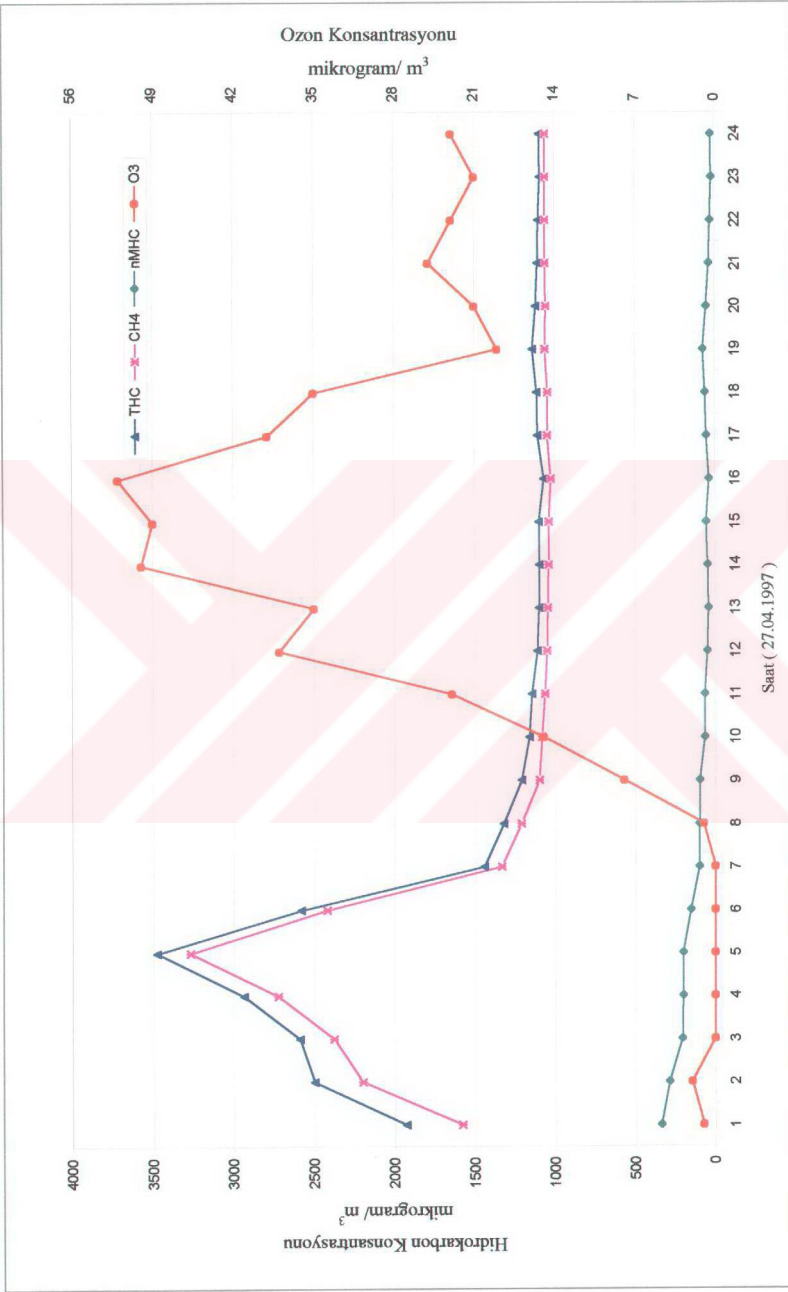
Şekil 4.47’de 27.04.1997 tarihinde ölçülmüş olan azotoksit, hidrokarbon ve ozon konsantrasyonlarının 24 saatlik periyottaki değişimi görülmektedir. Öğle saatlerine ozon konsantrasyonunun yükselmesine karşın azotoksit ve hidrokarbon konsantrasyonları azalmaktadır.



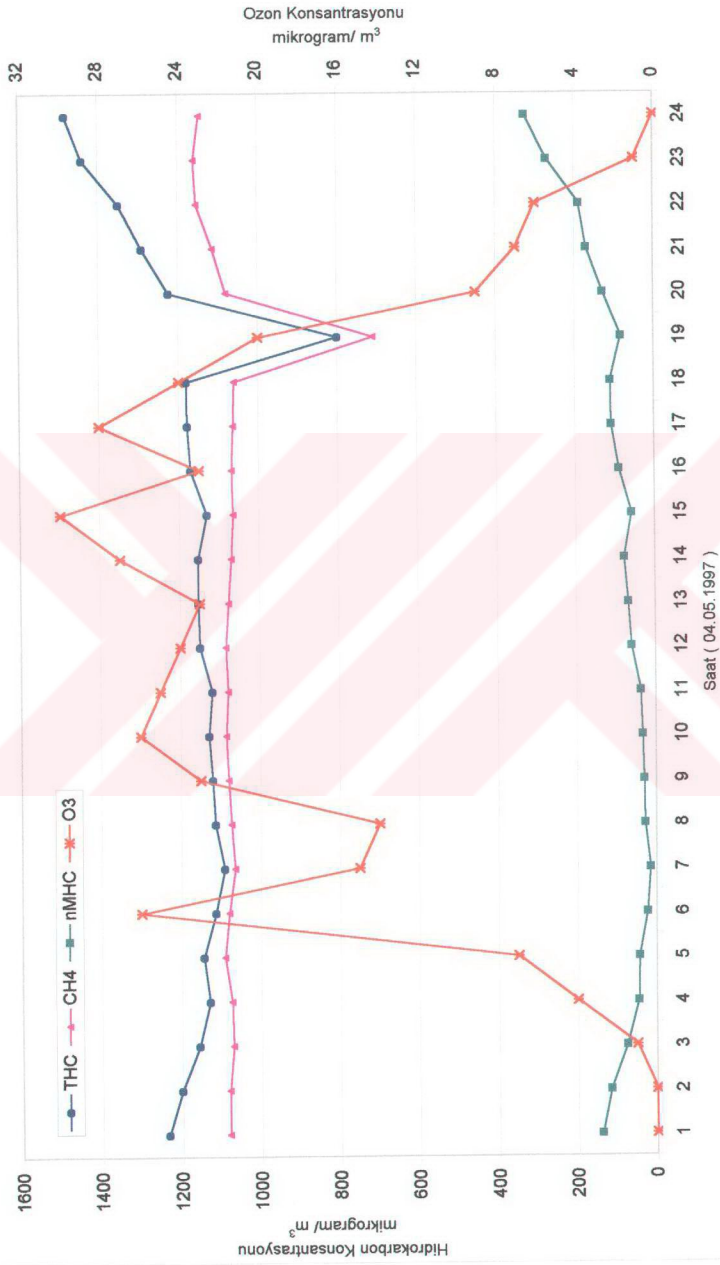
Şekil 4.37 Aylara göre ozon ve hidrokarbon değişimi



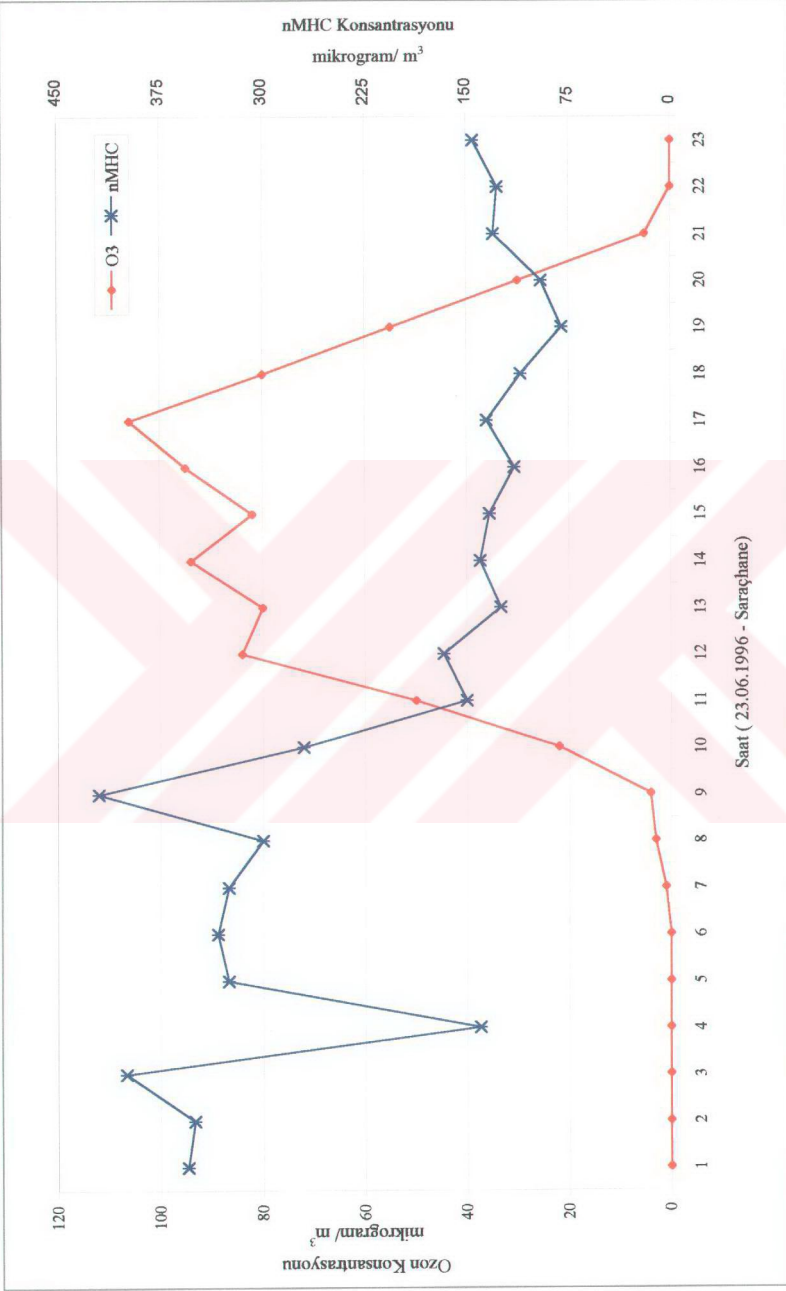
Şekil 4.38 Hidrokarbon ve ozon değişim eğrileri.



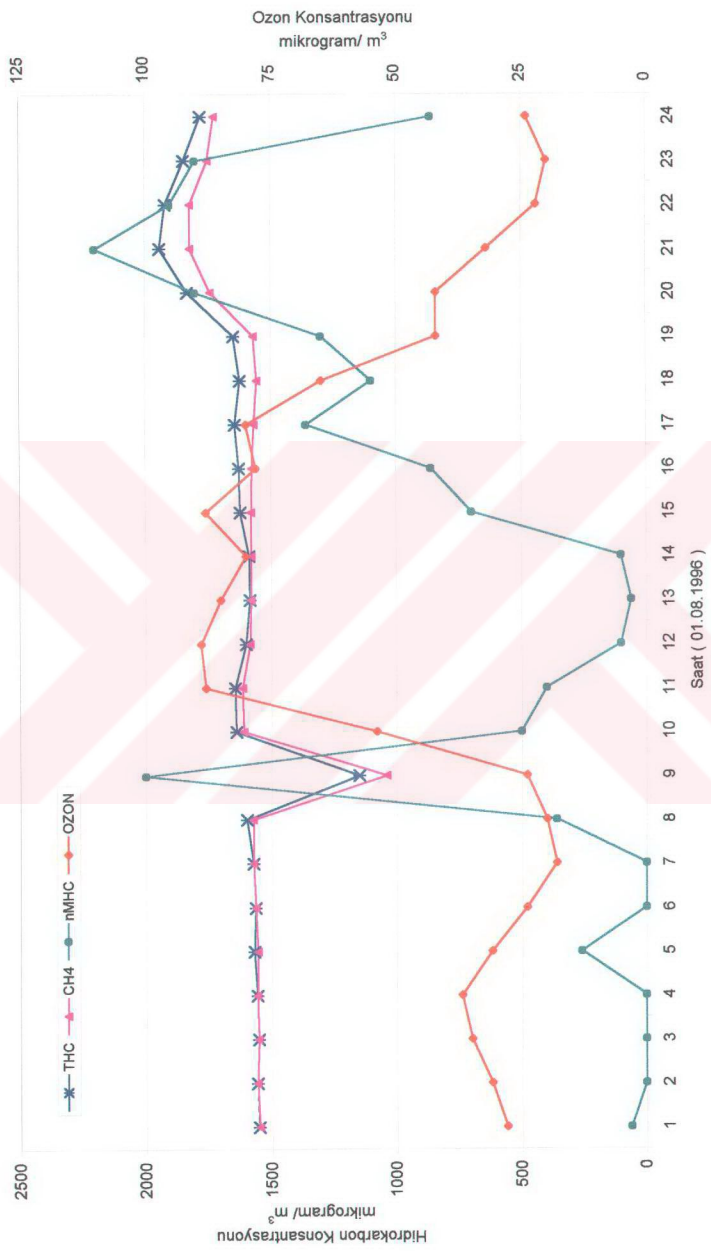
Şekil 4.39 24 saatlik periyotta saatlik hidrokarbon ozon değişimi



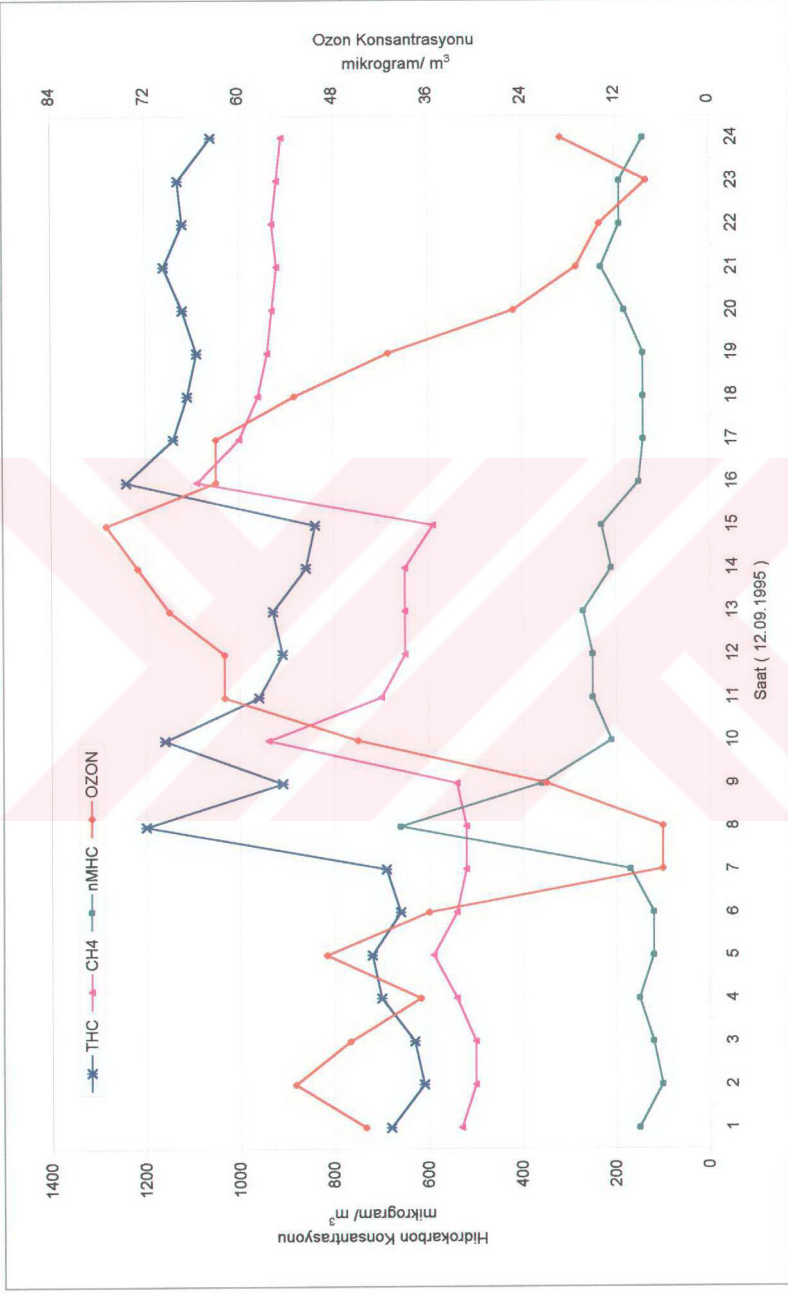
Şekil 4.40 24 saatlik periyotta saatlik hidrokarbon ozon değişimi



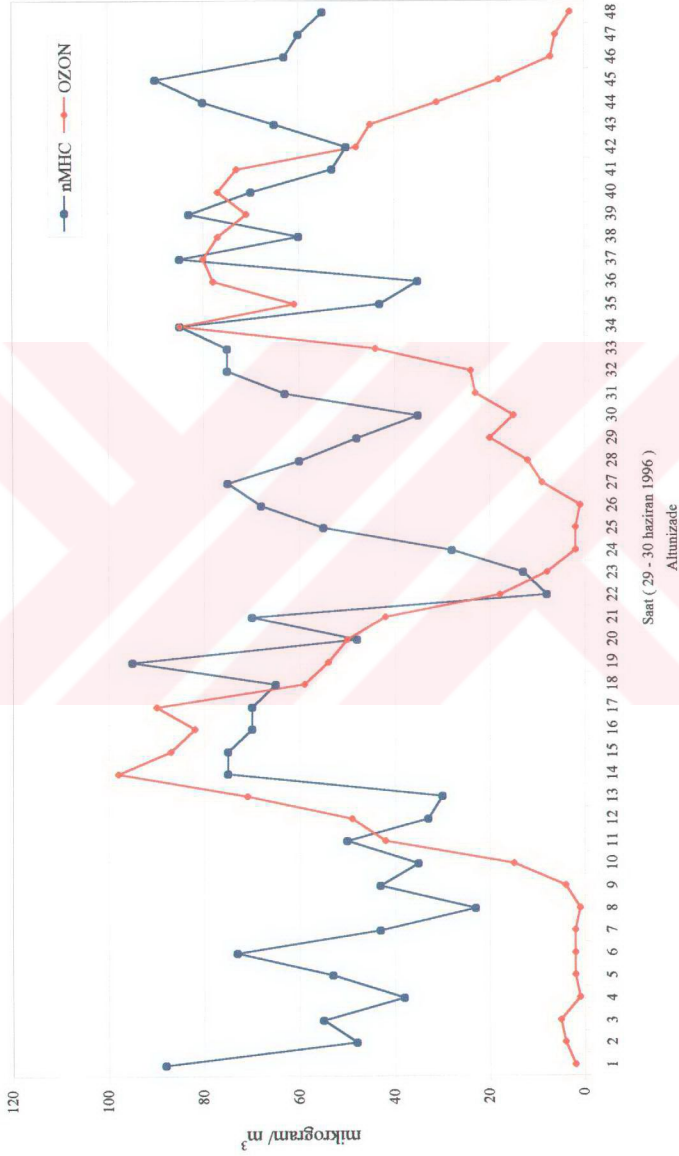
Şekil 4.41 24 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon ozon değişimi.



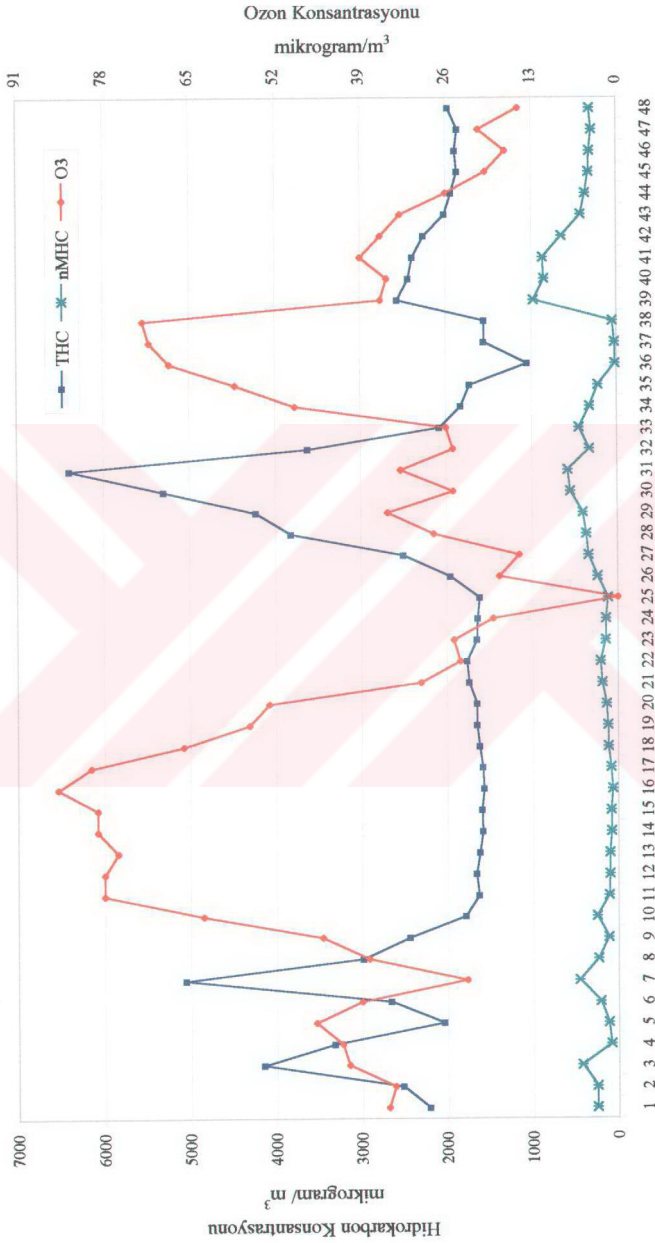
Şekil 4.42 24 saatlik periyottaki hidrokarbon ozon değişimi.



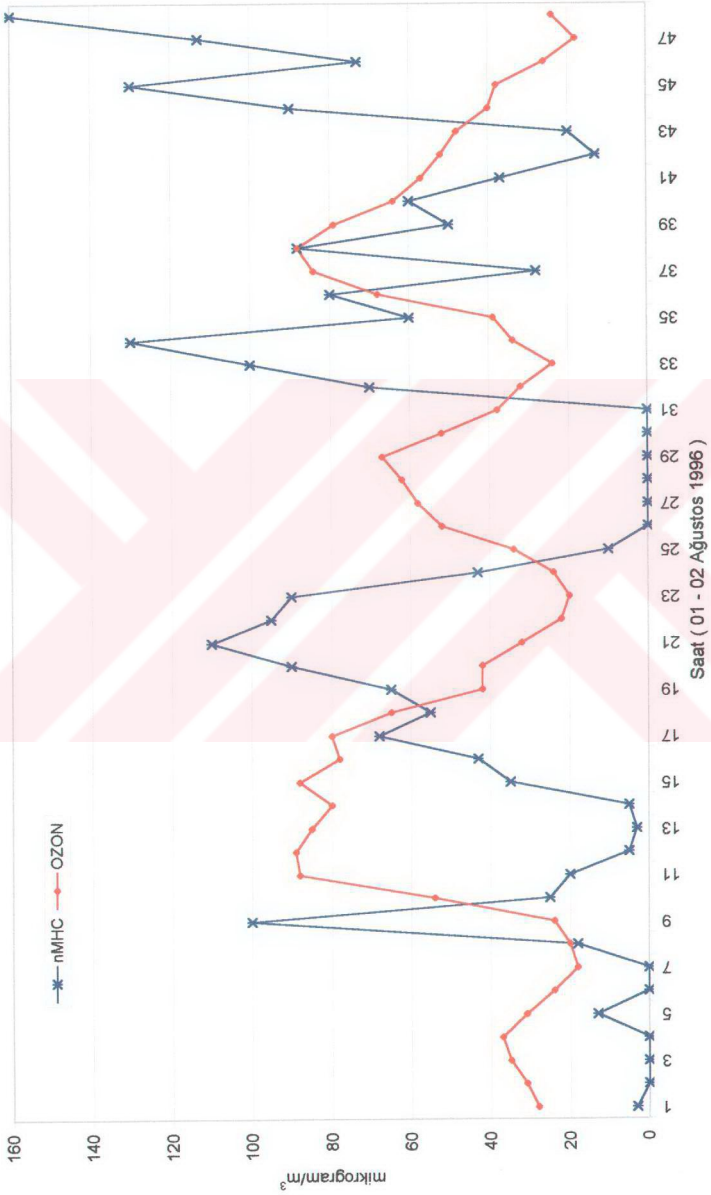
Şekil 4.43 24 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon ozon değişimi.



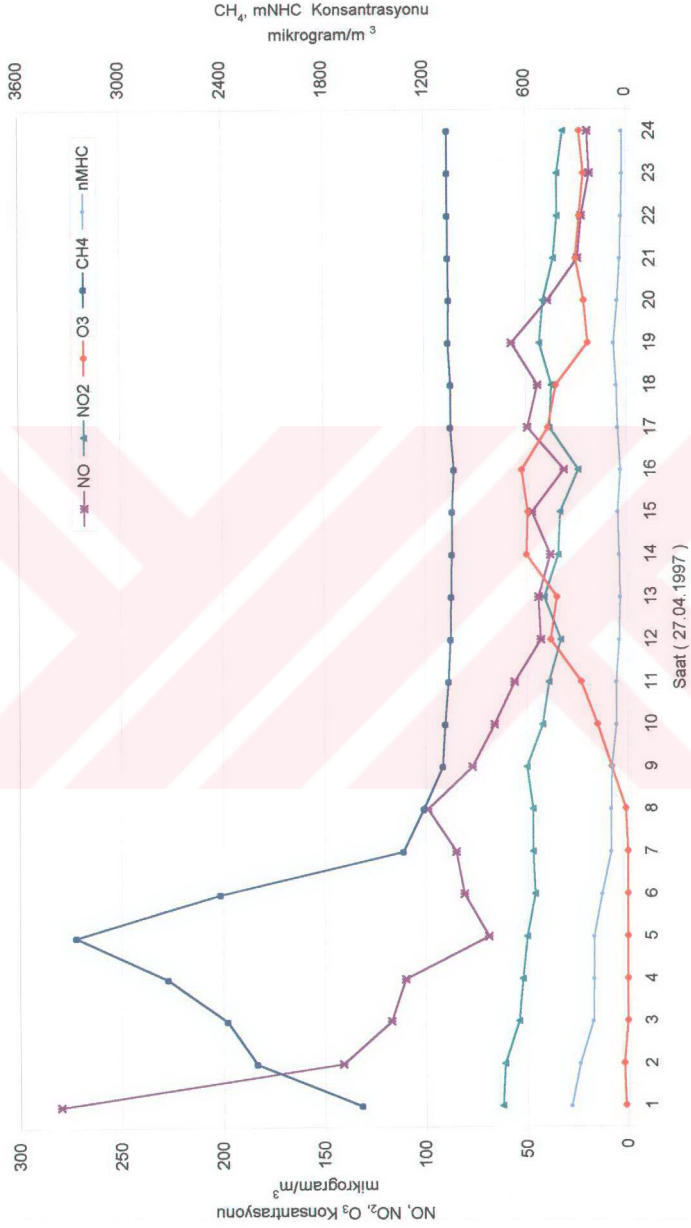
Şekil 4.44 48 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon ozon değişimi.



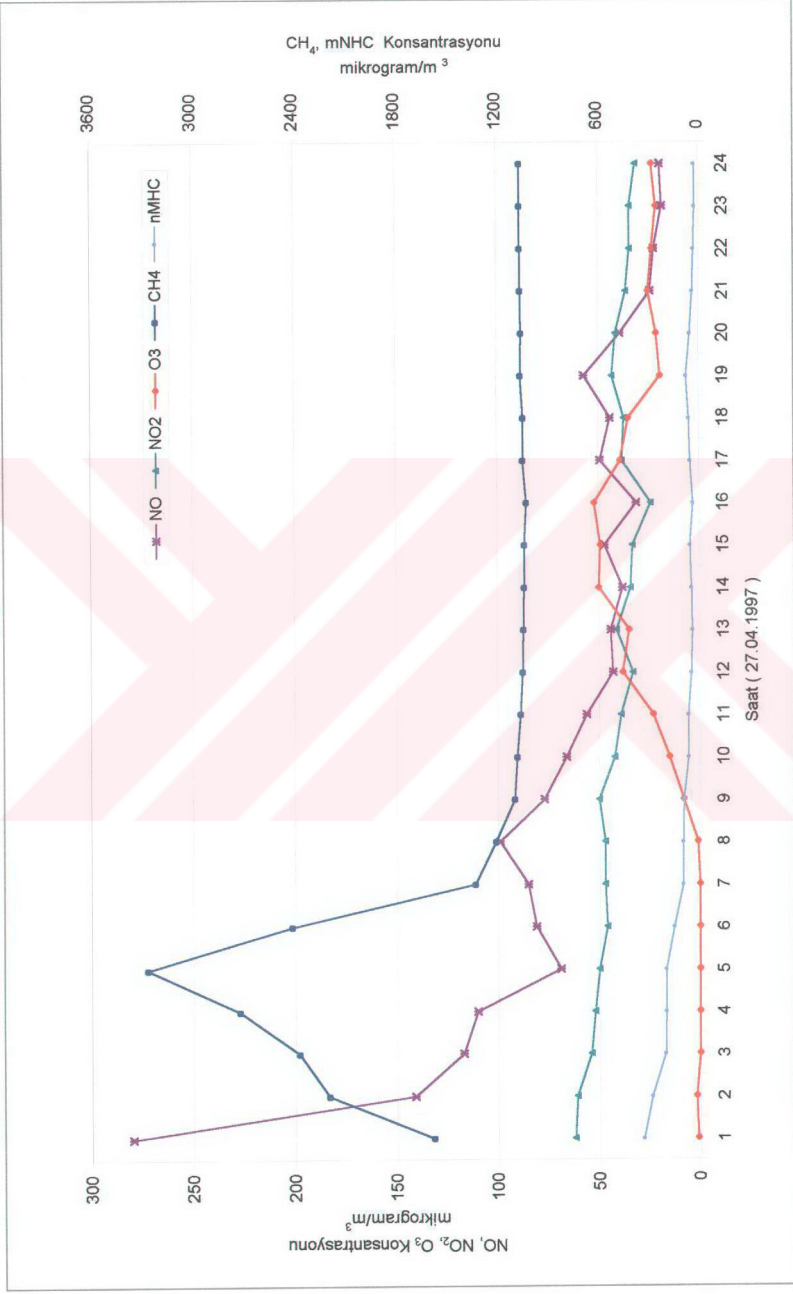
Şekil 4.45 48 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon ozon değisimi.



Şekil 4.46 48 saatlik periyottaki saatlik hidrokarbon ozon değişimi.



Şekil 4.47 24 saatlik periyottaki saatlik azotoksit hidrokarbon ozon değişimi.



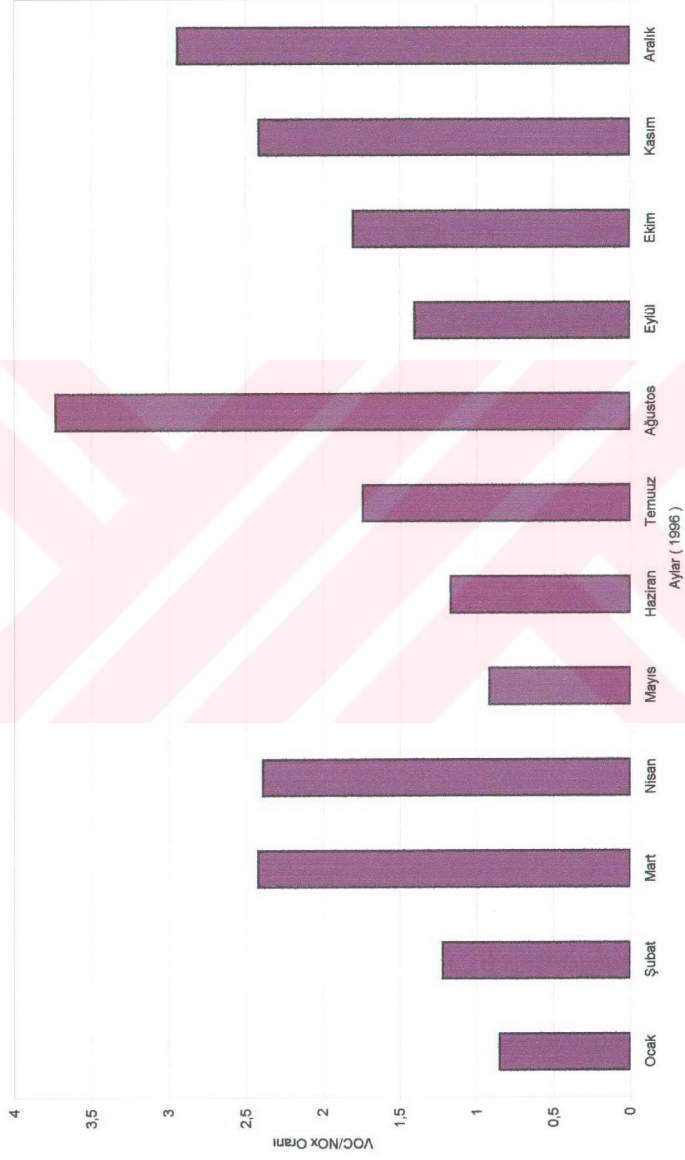
Şekil 4.47 24 saatlik periyottaki saatlik azotoksit hidrokarbon ozon değişimi.

Şekil. 4.48, 4.50, 4.52, 4.54'de yıllara göre aylık NO_x/VOC oranları, Şekil 4.49, 4.51, 4.53, 4.55'de ise VOC/NO_x oranlarının değişimleri verilmiştir. Şekil 4.56, 4.57, 4.58'de NO_x/VOC oranları ile ozon konsantrasyonları birlikte görülmektedir. [25]

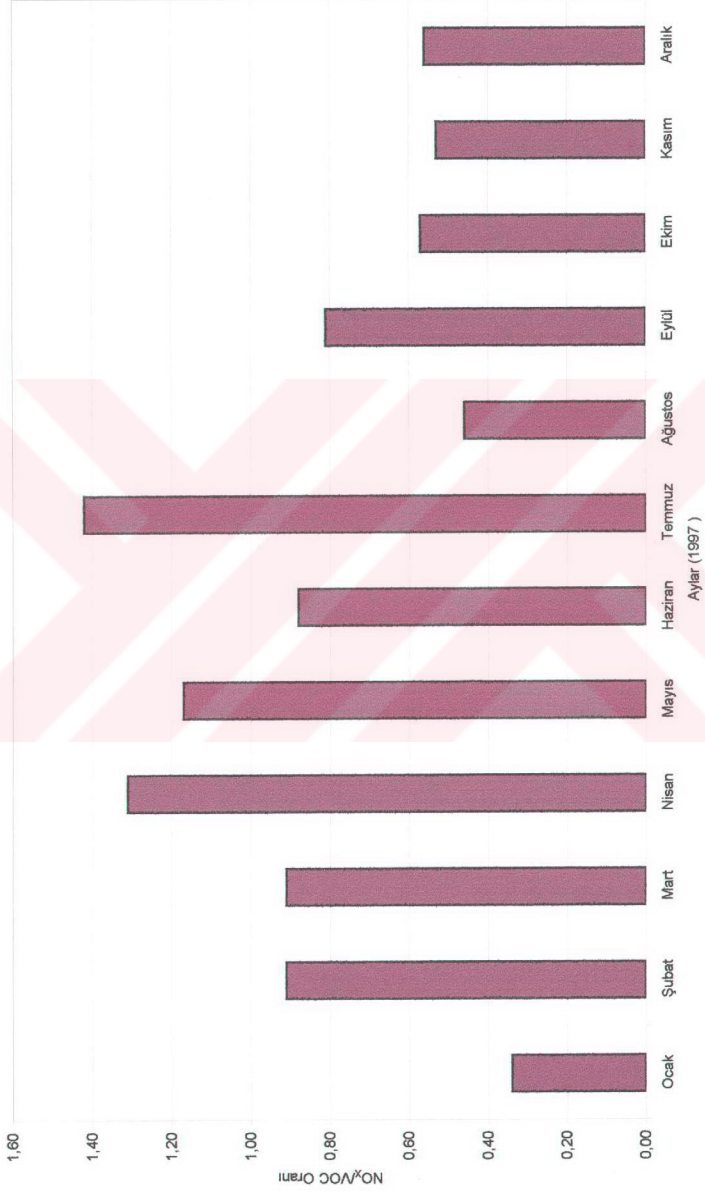
NO_x/VOC oranının ozon konsantrasyonuyla artması azot oksitlerin reaktivliklerinin daha yüksek olduğunu gösterir. Dolayısıyla ozon oluşumunda etkili kaynak bu durumda azotoksitlerdir. VOC/NO_x oranlarının artmasıyla ozon konsantrasyonunun arttığı durumlarda ise hidrokarbonların reaktivlikleri daha yüksektir ve ozon oluşumunda azotoksitlerden daha etkili konumdadırlar.



Şekil 4.48 NOx/ VOC oranının aylara göre dağılımı (1996).



Şekil 4.49 VOC/ NOx oranının aylara göre dağılımı (1996)



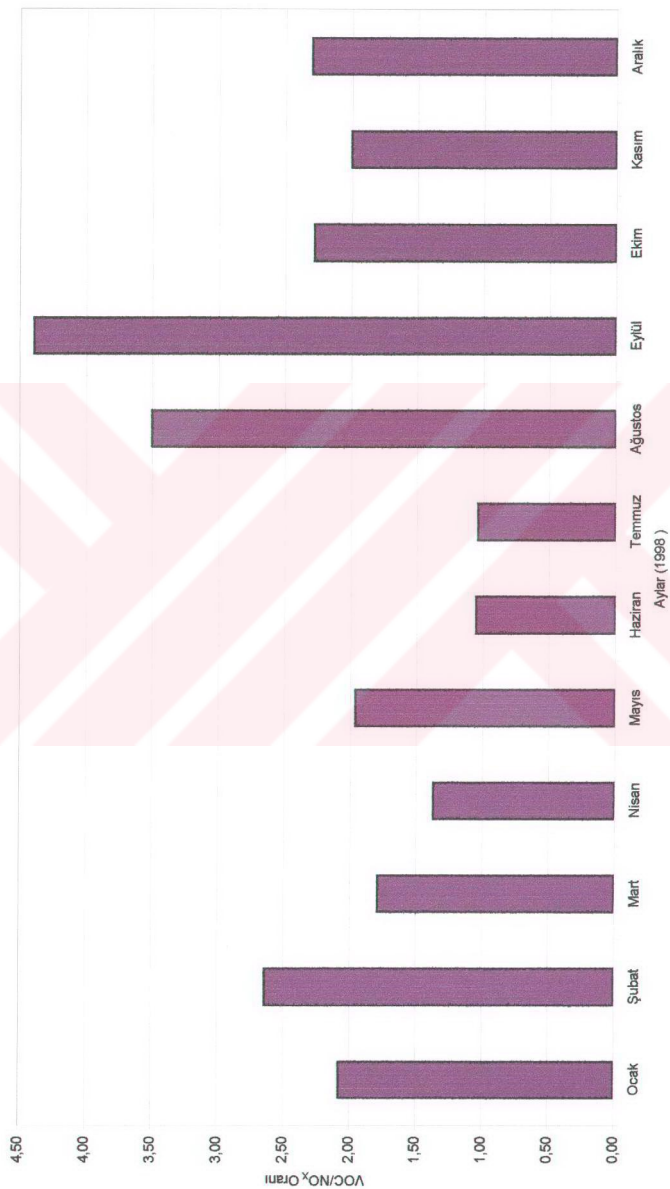
Şekil 4.50 NO_x/ VOC oranının aylara göre dağılımı (1997).



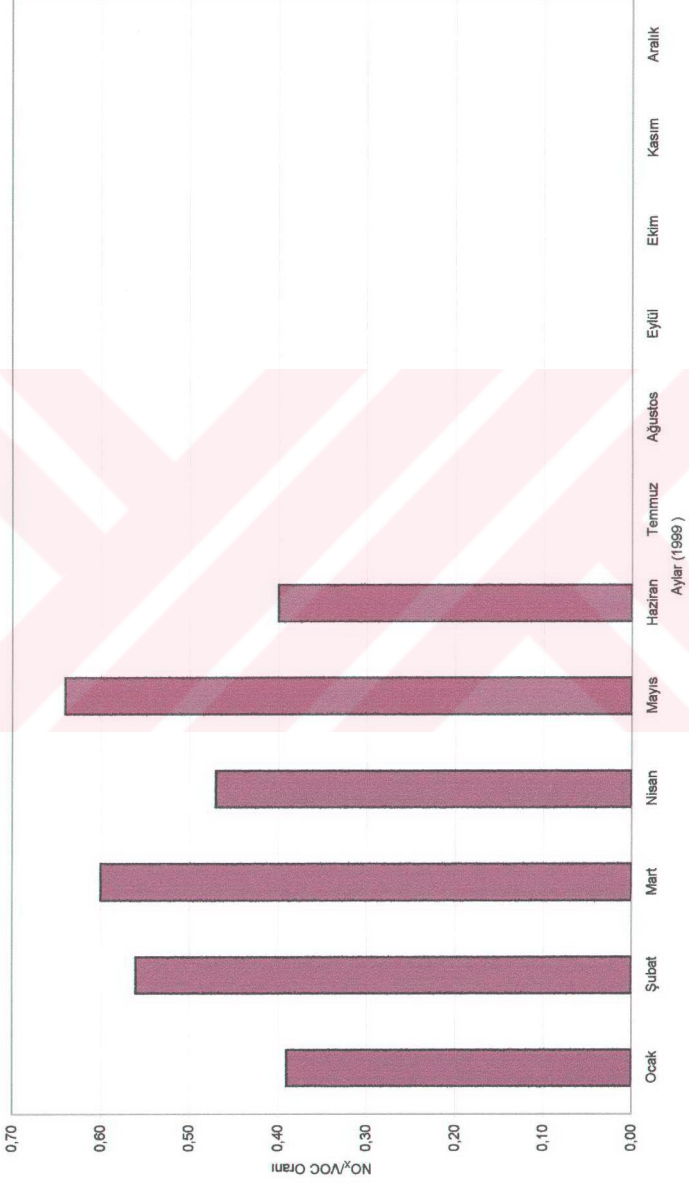
Şekil 4.51 VOC/ NO_x oranının aylara göre dağılımı (1997).



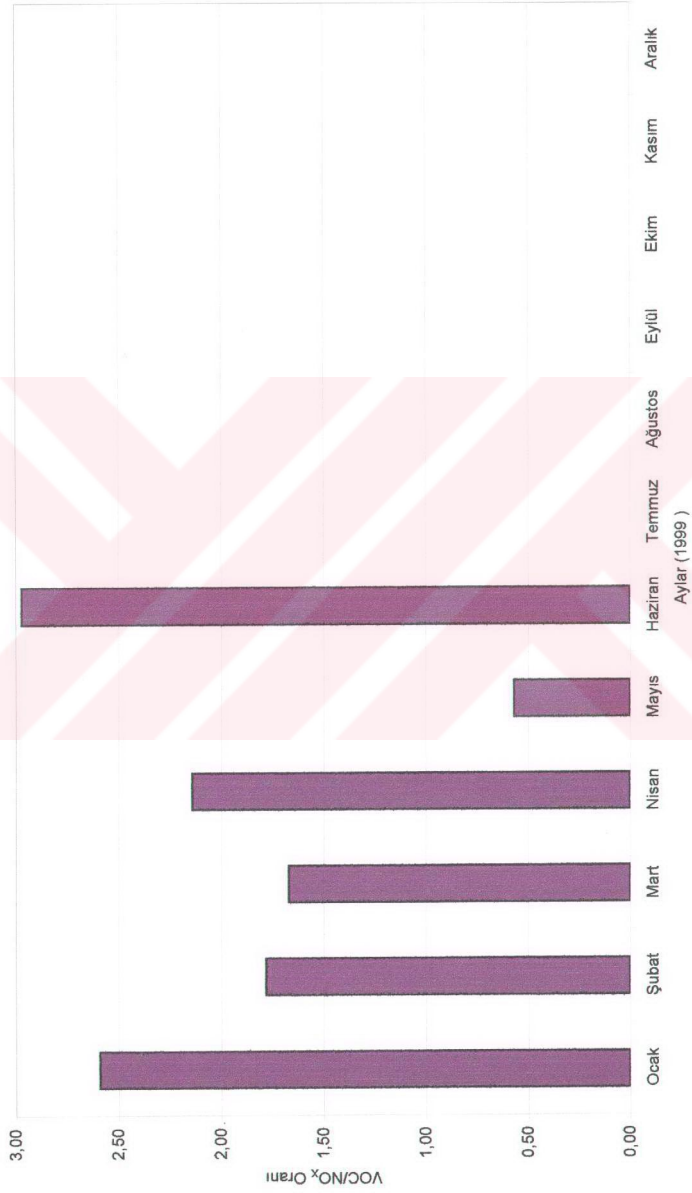
Şekil 4.52 NO_x/ VOC oranının aylara göre dağılımı (1998).



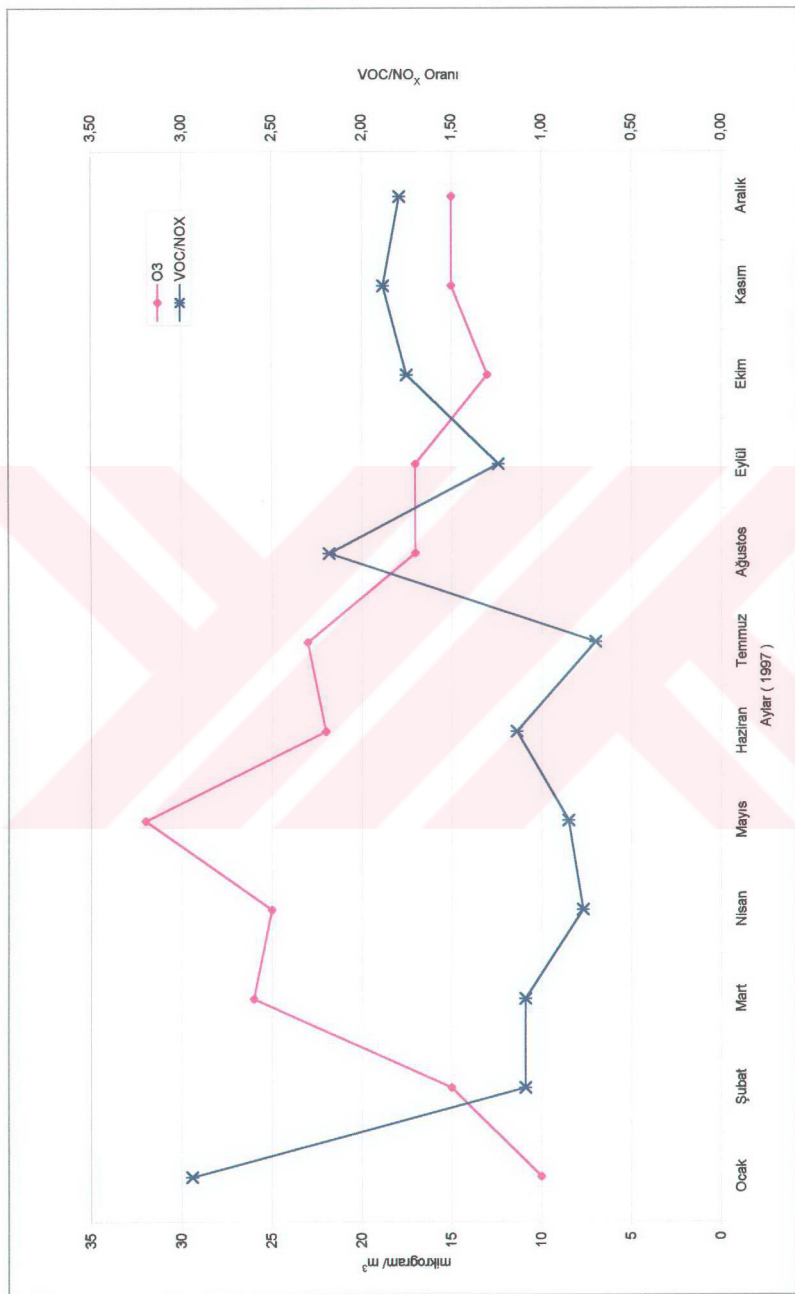
Şekil. 4.53 NO_x/ VOC oranının aylara göre dağılımı (1998)



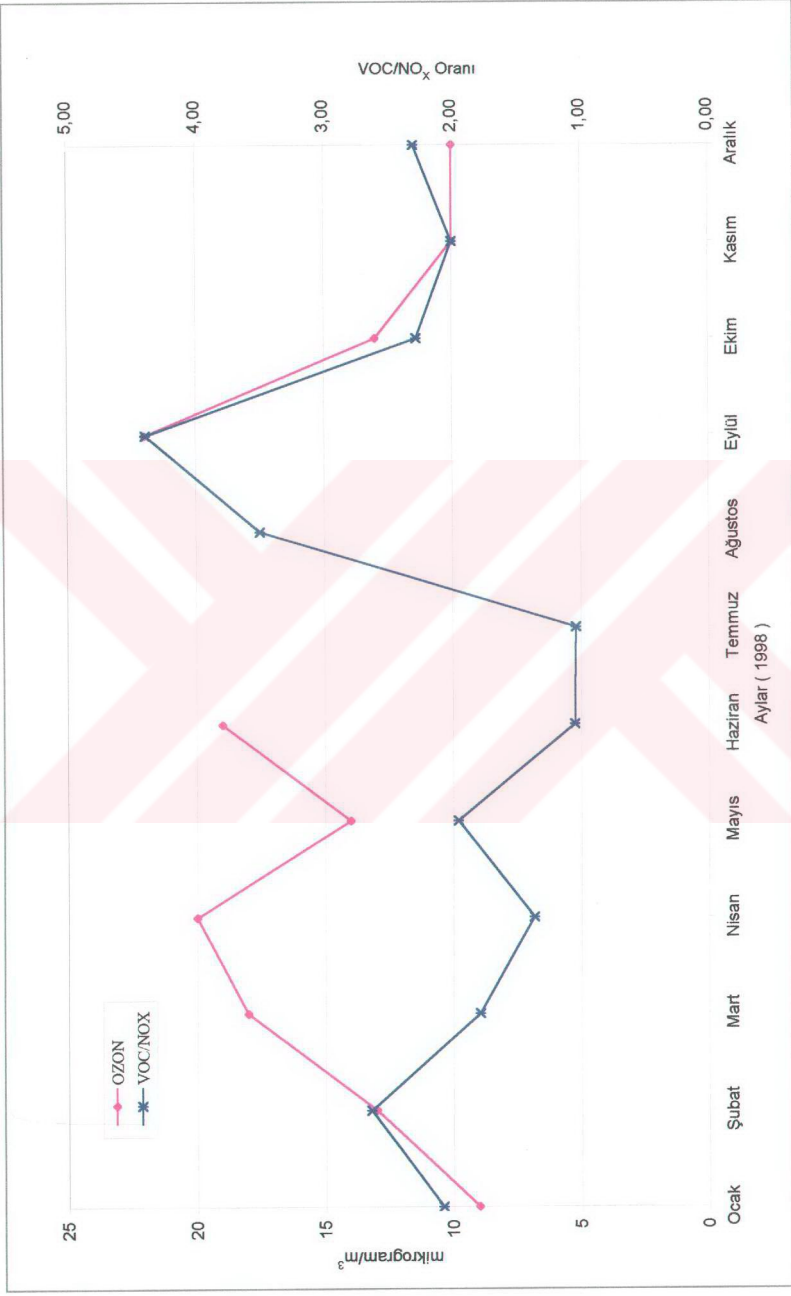
Şekil 4.54 NO_x/VOC oranının aylara göre dağılımı (1999).



Şekil 4.55 VOC/ NO_x oranının aylara göre dağılımı (1999).



Şekil 4.56 NO_x/ VOC oranları ile ozon konsantrasyonları.



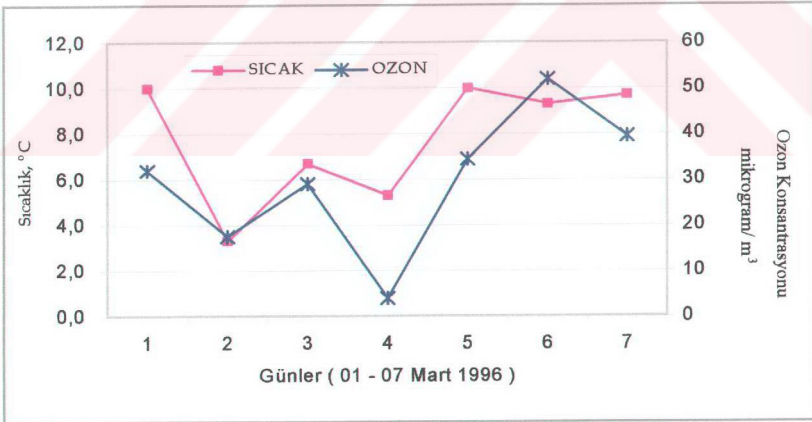
Şekil 4.57 NO_x/ VOC oranı ile ozon konsantrasyonları.



Şekil 4.58 NO_x/ VOC oranları ile ozon konsantrasyonları değerleri.

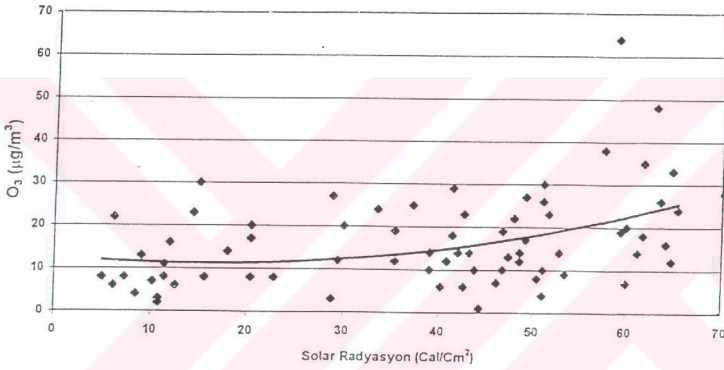
4.6.4 Ozon – Sıcaklık – Solar Radyasyon İlişkisi

Sıcaklık ve solar radyasyon ozon oluşumunu etkileyen önemli parametrelerdendir. Bunun nedeni fotokimyasal reaksiyonların sıcaklığa oldukça duyarlı olmalarındandır. Sıcaklık, ozon oluşum hızını, hidrokarbon ve azotoksitlerin tükenme hızlarını, $\text{NO} - \text{NO}_2$ 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 yükseliş trendine girmektedir. Bu sebeptendir ki yaz günleri ozon oluşumu için ideal zamanlardır. Sıcaklık ozonun fotokimyasal reaksiyonları üzerine etkili bir meteorolojik değişkendir. Şekil 4. 59'da 1996 yılı Mart ayına ait ilk 5 günün ozon ve sıcaklık değerleri grafikte verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklığın arttığı günlerde ozon konsantrasyonun da artmıştır. Bununla birlikte hava raporlarına geçen kar yağışı ve kuvvetli rüzgar 6 – 7 Mart günlerindeki sıcaklık – ozon arasında negatif ilişki nedeni olabilir.

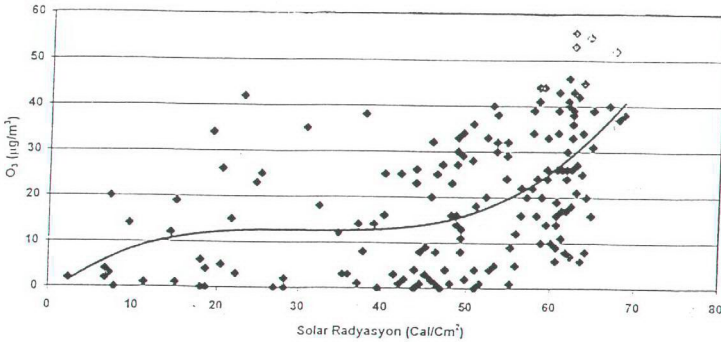


Şekil.4.59 Ozonun sıcaklıkla değişimi. [25]

Ozon, hidrokarbonlar ve azot oksitlerin fotokimyasal reaksiyonu ile oluşmakta olup; solar radyasyon bu reaksiyonların başlaması için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Diğer bir değişle güneş radyasyonu ozon üretim reaksiyonlarını başlatan ve sürdüren bir etkiye sahiptir. Ortamda güneş radyasyonu ve NO_2 'nin varlığı ya da artması ozon miktarını da arttırmaktadır. Bu da gösteriyor ki ozon ve solar radyasyon arasında pozitif bir ilişki vardır. Kış aylarında düşük güneş radyasyonu ve sıcaklık nedeniyle ozon üretimi nispeten düşük olmaktadır. Yaz aylarında Nisanda başlayarak Ekim ayına kadar maksimum seviyede olmaktadır. Şekil 4. 60 ve Şekil 4.61'de ozon ve solar radyasyon ilişkisi saçılım grafikleriyle verilmiştir.



Şekil 4.60 Ozon – Solar radyasyon dağılımı (Ocak – Nisan 1999).

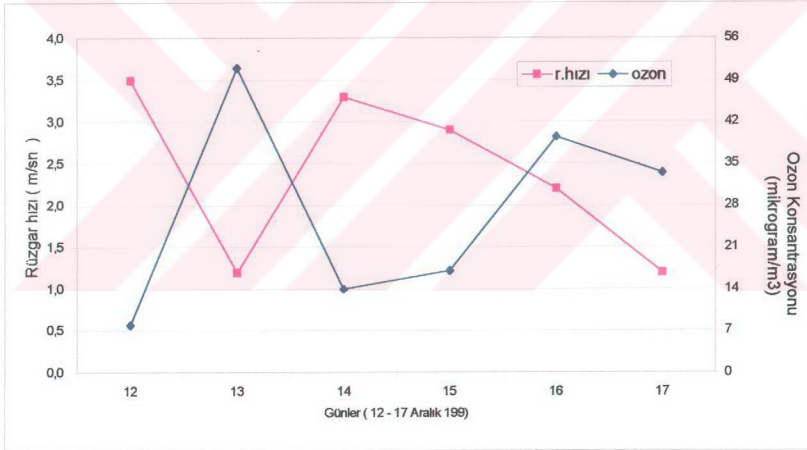


Şekil 4.61 Ozon – Solar radyasyon dağılımı (Mayıs - Ekim 1999).

4.6.5 Ozon – Rüzgar Hızı İlişkisi

Rüzgar hızı kirleticilerin difüzyonunu, seyrelmesini ve taşınımını sağlar. Ozon oluşumunda azotoksitler ve hidrokarbonların rüzgarla, bölgesel taşınımı da ozonun önemli kaynaklarından. Bu özelliği ile rüzgar hızı ve esme yönü direkt olarak ozon oluşumuna etki etmez; ozon ve ozon oluşumuna etkisi olan parametrelerin taşınımı ile ozon konsantrasyonu ikinci dereceden etkilenmektedir. Düşük rüzgar hızlarındaki taşınımında ozon daha kararludur.

Teorik bilgiler rüzgar hızı ve ozonun Şekil.4.62’de de görüldüğü gibi ters ilişki içinde bulunduğunu belirtmektedir. Ancak bazı günlere ait ölçüm sonuçları İstanbul’da rüzgar hızının artmasıyla ozon seviyesinin arttığını göstermektedir.



Şekil 4.62 Rüzgar hızı ve ozon ilişkisi.[25]

İstanbul’da hakim rüzgar yönü olan kuzey – kuzeybatı olduğundan bu yönlerden estiği günlerde ozon konsantrasyonu ölçüm değerleri diğer zamanlara nispeten daha yüksektir ve

ozonun bu yönlerden taşındığı söylenebilmektedir. Çizelge 4.11’de ozon – rüzgar hızı – rüzgar yönü ilişkisi görülmektedir.

Çizelge 4.11 01 – 14 Ağustos 1997 tarihleri arasında İstanbul İline ait ölçüm sonuçları. [25]

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ozon	32	32	34	24	20	29	25	34	44	54	15	17	18	28
Rüzg. hızı	2,8	2,1	1,5	1,4	2,1	2,5	2,5	2,7	3,2	3,0	1,7	2,2	1,8	1,8
Rüz. yönü	N	NE	WNW	NNW	NNE	N	NNE	N	N	NW	N	NNW	WNW	NNW

BÖLÜM.5 EGZOZ EMİSYON STANDARTLARI

Egzoz emisyonlarından kaynaklanan kirliliğin yadsınılmayacak değerlerde olduğunun görülmesiyle sınırlama çalışmaları yapılmaya başlanmış, sınırların ne mertebede olacağı, halk sağlığı, mevcut teknoloji ve teknolojinin gelişme olanakları, ekonomik açıdan uygulanılabilirliği, emisyon artış hızı göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Egzoz emisyonlarına getirilen ilk ciddi ve sistematik temele dayalı çalışmalar 1968 yılında California'da başlamıştır. Çizelge 5.1'de ABD'deki yıllara göre emisyon sınır değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.1 ABD'de yıllara göre emisyon sınır değerleri. [18]

YIL	HC (g/mil)	CO (g/mil)	NO _x (g/mil)	Partikül (g/mil)
1975	1.5 (0.91)*	15 (0.91)*	3.1 (1.90)	-
1977-1979	1.5 (0.91)	15 (0.91)	2 (1.25)	-
1980	0.41 (0.25)	7 (4.30)	2 (1.25)	0.373 (0.225)
1981	0.41 (0.25)	3.4 (2.10)	1 (0.65)	0.2 (1.250)

*(g/km)

ABD'de 1996 yılından itibaren TLEV (Transitional Low Emission Vechiles) standardı ile NO_x için 0.4 g/mil, HC için 0.125 g/mil standartları uygulanırken, 49 eyaletin dışında, California eyaleti 2003 yılından itibaren düşük yüzdelerle de olsa ULEV (Ultra Low Emission Vechiles) sınırlarını yürürlüğe sokmayı planlamaktadır. Çizelge 5.2'de ABD'de mevcut ve gelecek yıllara ait emisyon sınırlamalarını göstermektedir.

Çizelge 5.2 ABD'de Emisyon Sınırları. [18]

	Egzoz emisyonları (g/mil)		
	HC	CO	NO _x
TLEV (1996)	0.125	3.4	0.4
LEV (2001)	0.125	3.4	0.2
ULEV (2003)	0.04	1.7	0.2

Avrupa devletlerinde ise sınırlamalar 1970 yılında karar altına alınan 70/220/EEC direktifi gereği Avrupa ekonomik komisyonu (ECE) tarafından 1972 yılında uygulamaya konan ECE.15.00 regülasyonu ile başlamıştır. Çizelge 5.3'deki emisyon sınır değerlerine baktığımızda günümüz tarihine yaklaştıkça emisyon sınır değerlerinin ileriki tarihlerde problem yaşamamak için kadem kadem alt değerlere çekilmiş olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3 Avrupa Topluluğu ülkelerinde araçlar için uygulanan egzoz emisyon sınır değerleri gelişimi. [1]

Uygulama başlangıç yılı	Uygulanan yönetmelik	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	Partikül	Yakıt buharı
1972	ECE. R.15.00 EEC 70/ 220	100 – 220	8.0 – 12.8				
1975	ECE. R.15.01 EEC 74/ 290	80 – 176	6.8 – 10.9				
1977	ECE. R.15.02 EEC 77/ 102	80 – 176	6.8 – 10.9	10 - 16			
1979	ECE. R.15.03 EEC 78/ 665	65 – 143	6.0 – 9.6	8.5–13.6			
1984	ECE. R.15.04 EEC 83/ 351	58 – 110			19 – 28		
1989	ECE. R.15.05 EEC 88/ 76						
	Benzinli	25 – 45			6.5 – 15		
	Ön yanma odalı	30			8	1.1	
	dizel						
	Direkt püskürtmeli	58 – 110			19 – 28	1.1	
	dizel						
1993 ⁽¹⁾	EURO 93 EEC 91/ 441						
	Benzinli	2.72			0.97		2
	Ön yanma odalı	2.72			1.36	0.14	
	dizel						
	Direkt püskürtmeli	2.72			1.36	0.14	
	dizel						
1996	EURO 96	1.00			0.7 – 0.9	0.08–0.1	-

(1) 1993 yılından başlayarak sıcak motorlu benzinli bir taşıtın yakıt deposundan buharlaşan benzin miktarı da sınırlanmıştır. Sınır değeri belli bir süre içinde buharlaşan miktar olarak gr/test olarak verilmiştir.

Ülkemizde, Başbakanlığın 02.06.1982 tarihli genelgesi ile zorunlu ve sürekli uygulanacak otomotiv emisyon standartlarını hazırlama görevi verilen Türk Standartları Enstitüsü çalışmalarını 2 yıl içinde tamamlayarak TS 4236 sayılı “Motorlu Karayolu Taşıtlarının Egzoz Gazındaki Hava Kirleticiler İçin Emisyon Sınır Değerleri” standardını, Mayıs 1984 tarihinde yayımlamıştır. TS 4236 Emisyon sınır değerleri, üretim (ruhsat) standartları denetim ve yol testi şeklinde ayrı ayrı saptamıştır.

Motorlu taşıtlarının üretimini ilgilendiren ve TS 4236 da “Ruhsat İçin Emisyon Sınır Değerleri” olarak tanımlanan standartlar, trafikte olan taşıtlar için değil, sadece yeni üretilecek olanlar için söz konusudur.

TS 5648/ Mart 1988’de üretici firmaların, üretilen araç üzerinde gerçekleştirecekleri laboratuvar çalışmalarında ve ilk çıkış emisyon değerlerinden bahsetmekte olup trafiğe çıkmamış araçlar için ECE.R 15.04 standardı kabul edilip hazırlanmıştır.

Trafikteki benzin motorlu araçlarda egzoz emisyonlarını denetlemek amacıyla Çevre Bakanlığınca 25.09.1992 tarih 92/1 sayılı “Motorlu Taşıt Egzoz Gazlarının Yol Açtıkları Kirlenmenin Önlenmesine İlişkin Tebliğ” yayımlanmıştır.

Çevre Bakanlığı ve Otomotiv Sanayicileri Derneğinin ortaklaşa yayımladıkları deklârasyon ile 1995 yılında başlanarak ağırlığı 3500 kg’ın altındaki taşıtlarda EURO 93 normlarına uygunluk sağlanması kararlaştırılmıştır. Buna göre 1995 yılından başlanarak motor hacmi 1800 cm³ den büyük yeni taşıtlara üç yollu katalizör takılması zorunlu hale getirilmiştir. 1996 da ise 1800 - 1600 cm³ motor hacmindeki taşıtların tümü EURO 93’ü sağlaması istenmektedir.

BÖLÜM. 6 OZON OLUŞUMUNU AZALTMA METODLARI

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 Benzin 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.

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

İkincil (Sekonder) önlemler – Kaynağında önlemler: Kirletici bileşenlerin motorda yanma sırasında ve diğer motor içi kaynaklarda oluşumunu azaltmak.

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 ya da 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 alına başlıca önlemler şunlardır:

1. Emme manifoldunun yapısal özellikleri geliştirilerek karışımın akışı ve silindirlere dağılımı belirli oranda iyileştirilmektedir.
2. Emme manifoldu, özellikle soğuk ortamlarda ısıtılarak karışımın yanabilirliği artırılmaktadır.
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 ya da gaz keleşbeği kapanma hızı yavaşlatılarak hızlı kapanmadan doğan sakıncalar belli oranda azaltılmaktadır.
5. Mekanik karbüratörler yerine vakum kontrollü ya da 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 keleşbeği konumu, akü gerilimi, ateşleme avansı, egzoz oksijeni gibi değişkenler bir bilgisayar tarafından değerlendirilir. Sonra da 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 stokimetric sınıra yakın oranlarda tutularak karışım ve yanma daha iyi kontrol edilir. Bunun sonucunda çok zengin ve fakir karışımlar nedeniyle oluşan eksik ya da yetersiz yanma önlenmekte, CO ve HC emisyonlarının yanı sıra yakıt tüketimi de alt seviyeye indirilmekte ve motor performansı artırılmaktadır.

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

resürkülasyonu, buji sayısı gibi çeşitli değişkenler de etkiler. Bu faktörlerden bazıları motorun yapısal özelliklerinin olduğu bölümde anlatılmıştı.

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 emisyonlar da 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, karışındaki fazla oksijen, aşırı sıcak ortamlarda azotla birleşerek NO_x oluşturmaya başlar.

Azotoksitleri 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.[1]

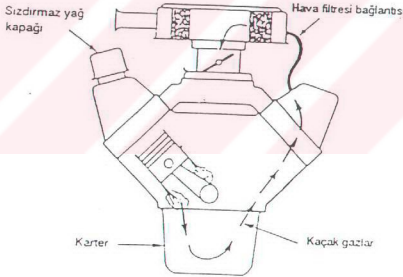
Emme manifoldunda verilen egzoz gazı arttıkça, sıcaklık, yanma hızı ve NO_x düşmekte, buna karşın sıcaklığın düşmesine bağlı yetersiz ve eksik yanma , hava içindeki oksijen miktarının

azalması sebebiyle CO ve HC emisyonlarında ,yakıt tüketiminde bir miktar artış olmakta karışım azalmasıyla motor gücünde düşme görülmektedir.

Bu yöntemde en son eğilim ise “dahili ERG” diye de anılan sıcak egzoz gazlarının bir kısmının silindir içine bırakılmasıdır. Benzin motorunda bu yöntemin yakın 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 ve oksitlenme ve indirgenme esaslıdır. İşlemler termik (ısı) reaktörler ve katalitik konvertörlerle yapılmaktadır.

6.1.3.1 Termik (Isıl) Reaktörler

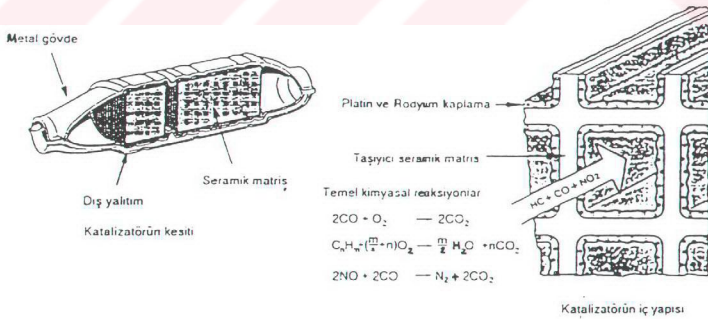
Termik (ısı) reaktörler sisteminde bir pompayla basılan ya da vakumla emme kanalından sağlanan ek hava, egzoz subabı kapandıktan sonra akmakta olan egzoz gazının arkasına sevk edilerek hava ile CO ve HC'ların okside olması sağlanır. Oksitlenmenin gerçekleşmesi için havanın sevk edildiği manifold içindeki sıcaklığın 1050 °K den aşağı olması gerekmektedir. Yanma sonunda karbonmonoksitten karbondioksit, hidrokarbanlar dan 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 konvertörlerde alınmıştır. Termik reaktörlerin, NO_x için uygulanamamaları, motor gücünü azaltmaları ve ya yakıt tüketimini arttırmaları kısıtlı uygulamaları katalitik konvertörlere yönelimi sağlanmıştır. Katalitik konvertörlerle egzoz emisyonları % 90 – 95'e varan oranlarla dönüşümle zararsız hale getirilmektedir.

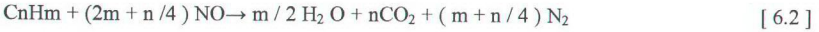
Egzoz gazları 3 yollu katalitik konvertörün içinden geçerken sağlığa zararlı olan NO_x 'ler indirgenerek O_2 ve N_2 'ye dönüştürülür. Aynı anda NO_x 'lerin indirgenmesinden elde edilen O_2 yardımıyla CO ve HC okside olarak sağlığa doğrudan zararı olmayan CO_2 ve H_2O 'ya dönüştürülür.

Katalitik konvertörlerde genellikle petek şeklinde, yüzey alanı çok geniş, seramikten (magnezyum - alüminyum silikat) ve ya metalden yapılmış taşıyıcı bir eleman bulunmaktadır. Petek yapıdaki kanal sayısı yoğunluğu 60 - 70 kanal / cm^2 kadardır. Bu taşıyıcının yüzeyi ayrıca pürüzlü ara tabaka (Mg - Al_2O_3) ile kaplanır. Böylece yüzey alanı 1lt konverter hacmi başına 20000 m^2 ye ulaşır. Taşıyıcının üstünde bulunan yüzey genişletici ara tabakanın üstü ise, egzoz gazlarındaki kirleticileri katalitik etkiyle 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 soy metallerin 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 [4] :



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 tolerans sınırlarının dışına çıkıldığında dönüşüm verimi düşmektedir. Üç yollu katalizörler 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 düşürecek egzoz gazı geri dolaşımı gibi önlemler almak gerekir.

6.2 Ozon Azaltım Çalışmalarında Diğer Önlemler

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

Motorlu taşıt emisyonlarının kaynağında azaltılması konusu bu bölüm içinde anlatılmıştı. Trafik üzerinde alınacak önlemlerin bir kısmını ise şöyle sayabiliriz:

1. Kurşunsuz benzin, LPG, CNG gibi yakıtların kullanım 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; Fatif 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 iş yerlerine giden çalışanların tek tek araçlarla değil de servisler konulması suretiyle ulaşımının 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 tükettikleri 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. Buharlaşımdan kaynaklanan emisyonların ozon oluşumunu artıracak etkilerinin azaltımı için dolumlarda akşam saatleri (18:00'dan sonrası) beklenmelidir.

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

7. BÖLÜM SONUÇLAR

Artan ihtiyaçlarımız yüksek yaşam düzeyi isteğimize cevaben, teknolojiye ilerlerken bu ilerlemede uzak gelecek değil de bugünü ve yakın yarınları hedefledik ve yaptıklarımızın olumsuz yan etkilerini bazen tahmin edemedik, bazen de ufak boyutta deyip önemsemedik. Şimdiyse onların olumsuz etkilerini yaşarken tehlikelerin kaynaklarını bulup tedbir almaya, kötü sonuçlarını azaltmaya çalışıyoruz.

Ozon ölçümünde yıllara göre ozon miktarlarının arttığını, yaz aylarında özellikle de öğle saatlerinde ölçüm sonuçlarının daha yüksek değerlerde olduğunu görüyoruz. Neydi ozon değerini arttıran ve değişik değerlerde ölçümler verdiren?

Atmosfer kirliliğini diğer kirliliklerden ayıran en önemli özellik, kimyasal reaksiyonların güneş radyasyonu ile başlamasıdır. Ozon, azot oksitler ve hidrokarbonların güneş radyasyonu ile fotokimyasal reaksiyonuyla oluşmaktadır. Ozon oluşum reaksiyonlarını incelerken atmosferin doğal yapısı ve davranışları, güneş radyasyonu, nem, sıcaklık, bulutluluk gibi fiziksel faktörlerin etkisinin göz ardı edilmesi yanlış yorumlamalara yol açacaktır.

Yaz aylarında ısınma amaçlı yakıt tüketiminin kalkmasıyla motorlu araçlardan kaynaklanan emisyonlar hakim kirliletiçi konumundadır. Yaz sezonunda kirliletiçi emisyonu azalmasına rağmen ozon ölçümleri yükselmektedir. Motorlu araçlardan kaynaklanan azot oksitler güneş radyasyonu etkisiyle fotokimyasal reaksiyona girerek ozon oluşturmaktadırlar. Hidrokarbonlar ise azotoksit konsantrasyonunu arttırarak ozon konsantrasyonunu daha da arttırmaktadır.

Artan nakliye talebi ve nüfus karşısında araç sayısı, buna bağlı olarak da yakıt tüketimi ve emisyon miktarı, trafiğe kayıtlı araç sayısı da artmıştır. Benzin motorlu araçta yakıt yanması

ve yakıt buharlaşmasıyla da oluşan emisyonlar CO, NO_x ve HC'lerdir ve bu parametreler ozon oluşum reaksiyonlarında en önemli parametrelerdir.

Önceleri hava kirliliğinin en önemli kaynağının endüstri olduğu düşünülürken İstanbul ili üzerinde yapılan çalışmalarda taşıt sayısındaki artmalarla, ozon miktarındaki artışın paralel olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümlerde Trafığın 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.

Ozonla ilgili reaksiyonların kontrolü azotdioksitler ve hidrokarbonların kontrolünden geçmektedir. Öyleyse ozon reaksiyonlarına en çok malzeme veren benzin motorlu araçlar olduğundan bu taşıtlarda emisyon kontrolü yapılmalıdır.

Çalışmamızda da anlatıldığı gibi taşıtta emisyon kontrolü; hava yakıt karışımında stokiyometrik orana gidiş, motor dizaynı, motorda yanma sırasında önlem ve oluşumuna engel olunamayan emisyonlara ise egzoz gazına müdahale ile yapılmalıdır. Ayrıca şehir içi trafikte beklemelerin azaltılması, aracın çalışma şartlarında düzenleme (gereksiz hızlanma ve yavaşlama egzoz emisyonunu arttırmaktadır), trafik akışında süreklilik sağlanması, sinyalizasyonun dikkatli yapılması trafikteki araç sayısının azaltımı (en azından ozon mevsimleri ve sıcak saatlerde), toplu ulaşım sağlanması ile de emisyon kontrolüne yardım edilmelidir.

Farklı yerleşim yerlerinde trafik yoğunluğu farklı olduğundan bu bölgelerde emisyon seviyesinin aynı olması beklenemez. Bu bölgelerde trafik şartları karakterize edilmeli, emisyon envanterleri hazırlanmalı ve mevcut standartlar bu bulgulara göre düzenlenmeli, eksik yönleri tamamlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] ARSLAN, H. “Taşıt Egzoz Emisyonları ve İTÜ Motor ve Taşıtlar Laboratuvarında 1993- 1995 Yılları Arasında Yapılan Ölçümlerin Değerlendirimi “Yüksek Lisans Tezi (Sakarya ,1996)
- [2] BAYIR, F. “Egzoz Emisyonları ve Yakıt Tüketimi Açısından Karakteristik Taşıt – Şehir Çevrimlerinin Tespiti” Yüksek Lisans Tezi (İstanbul, 1993)
- [3] BESEN, L. (1996) “Dizel Motorlarında Yanma Odası Yalıtımının Emisyon Parametrelerine Etkileri” Yüksek Lisans Tezi (Sakarya, 1996)
- [4] BÜYÜKKAYA, E. “Termal Bariyer Kaplamanın Turbo Doldurmalı Bir Dizel Motorunun Egzoz Emisyonlarına Etkileri”Doktora Tezi (Sakarya, 1997)
- [5] ÇEPEL, N. “Doğa- Çevre –Ekoloji Ve İnsanın Ekolojik Sorunları” (İstanbul, 1992)
- [6] DÜLGER, Z. “ Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Termik Makinalar (motorlar) Ders Notları (Kocaeli)
- [7] ERKAN, E. “Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliği Ve Önlenmesi Bildirisi” (İstanbul, 1986)
- [8] ERTÜRK, F. “Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Hava Kirliliği Ve Kontrolü Ders Notları
- [9] GRAEDEL,T. , CRUTZEN,P. “ Atmosphere, Climate And Change” Newyork

- [10] GONCALOĞLU, B.İ, SARAL A. “İstanbul’da Motorlu Taşıtların Neden Olduğu Hava Kirletic Emisyonlarının Hesaplanması” (Yayınlanmamış makale)
- [11] İŞİKSOLUĞU, M.A. “Benzin Motorlarında Yakıt Düzenleyici Cihazın Egzoz Emisyonları ve Yakıt Tüketimine Etkisi” Doktora Tezi,
- [12] M. HORVARTH, J. HÜTTNER “Ozone”
- [13] MADENİ YAĞLAR ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ “Yakıtlar Yağlar” (Aralık , 1990)
- [14] MAKİNE MÜHENDİSLERİ ODASI “LPG Ve Uygulamaları Konferansı Bildiriler Kitabı) (İstanbul, 1999)
- [15] MUSLU, Y . “Su Temini Ve Çevre Sağlığı cilt-3” (İstanbul, 1985)
- [16] OTOMOBİL SANAYİCİLER DERNEĞİ “Çevre Otomotiv Sanayii” (Mart , 1997)
- [17] ÖZTÜRK, Z. “Otoyol ve Demir Yolun Önemli Çevre Etkilerinin İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi” Doktora Tezi (İstanbul, 1994)
- [18] PARLAK, A. “Katalitik Konverterli Benzin Motorlarında Soğuk İlk Hareket Emisyonlarının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi(Sakarya -1993)
- [19] SCHNEİDER, T. et al “Atmospheric Ozone Research And İts Policy İmplications”(Amsterdam)
- [20] TABGİS BÜLTENİ (İstanbul, Nisan 1990)

[21] TECER L. “İstanbul Kenti Fotokimyasal Smog Mekanizmasının Modellenmesi” Doktora Tezi,2000

[22] TC.PETROL İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ DERGİSİ (NO: 43)

[23] TÜRKİYE ÇEVRE KORUMA VE YEŞİLLENDİRME KURUMU ÇEVRE KORUMA DERGİSİ (20. Yıl Özel Sayısı)

[24] YEŞİL DÜŞÜNCE DERGİSİ (Ocak – Mart 1993)

[25] İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü Emisyon Ölçüm Sonuçları verileri. (1995 – 2001)

[26] KORKMAZ, Ö. “İstanbul’da Yer Seviyesi Ozon Kirlenmesi” (İstanbul, 2000)

[27] İstanbul İli Emniyet Müdürlüğü (Trafik Tescil Müdürlüğü) İstatistik bilgileri, (2002)

[28] YARARLANILAN İNTERNET ADRESLERİ:

1. <http://www.die.gov.tr>
2. <http://www.eia.doe.dov>
3. <http://www.epa.gov>
4. <http://www.engrme.me.psu.edu>
5. <http://www.ibb.gov.tr>
6. <http://www.rahul.net/sufive/enviro/cleanair/ozone>
7. <http://www.mapca.org/agr95/ozone95>
8. <http://www.london-research.gov.uk/emission/petall.htm>
9. <http://www.enviroment-volvocars.com/ch8-2htm>

10. <http://www.acat.co.uk/netcen/airqual/kinetics>
11. [http:// www.bioclup.hacettepe.edu.tr/makales/eko](http://www.bioclup.hacettepe.edu.tr/makales/eko)
12. <http://meteor.gov.tr/webler/arge>



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	07.08.1974	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1988 -1991	İstanbul Bahçelievler Lisesi
Lisans	1991-1995	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Çevre Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1997-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Müh.

Çalıştığı kurumlar

1996-1997	Vadi Mühendislik
1997 - Devam ediyor	İstanbul Büyükşehir Belediyesi