

## İSTANBUL'DA GECE OZONU OLUŞUMU ve DİĞER PARAMETRELERLE İLİŞKİSİ

Kadir ALP<sup>1</sup>, Gülin ERYILMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak-İst.

<sup>2</sup>İSKİ, Plan Proje Daire Başkanlığı, Su Proje Müdürlüğü, Aksaray-İst.

### ÖZET

Gece ozonu (nocturnal ozone), geceleri ortaya çıkan ozon olarak adlandırılabilir. Gece ozonu herhangi bir fotokimyasal reaksiyon olmaksızın meteorolojik mekanizmaların etkisi ile farklı yerlerden yer seviyesine taşınan ozon tarafından oluşturulmaktadır. Yerleşim bölgelerinde ve kırsal alanlarda bütün yıl boyunca ve belirli frekanslarda görülebilmektedir. Gece ozonu oluşumu üzerinde etkin meteorolojik mekanizmaların belirlenmesi bu olayın anlaşılabilmesi bakımından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Hava Kalitesi İzleme Ağı Kadıköy ve Saraçhane İstasyonlarında 1998 -2000 yılları arasında ölçülen yer seviyesi saatlik ozon dataları kullanılarak gece ozonunun oluşumu ve yine aynı istasyon kayıtlarından SO<sub>2</sub>, PM10, NO, NO<sub>2</sub>, CO ve VOC gibi diğer kirletici parametreler ve meteorolojik faktörlerle ilişkisi incelenmiştir. İnceleme sonuçlarına göre gece ozonu konsantrasyonlarındaki artışlara karşılık CO ve SO<sub>2</sub> parametreleri gündüz davranışlarının tersine azalma, metan dışı hidrokarbonlar (nMHC), NO ve NO<sub>2</sub> parametreleri ise gündüz ki davranışları paralelinde yine azalarak karşılık vermektedirler. Gece ozonu, yer seviyesi hava basıncı ve rüzgar hızı ile ters ilişkili olarak değişmektedir.

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

Gece Ozonu, Ozon Piki, Hava Kirliliği, İstanbul.

### ABSTRACT

Nocturnal ozone maxima have been reported from many cities in Europe and North America and can be explained by vertical mixing of high ozone concentrations from higher levels or horizontal transportation from rural areas through local and mesoscale wind systems. In this study the occurrence of nocturnal secondary ozone maxima was investigated by ground level air quality measurement in Istanbul between 1998-2000 years. The relation between nocturnal ozone and ozone precursors and the effect of meteorological factors on the occurrence of nocturnal ozone will be examined about the analysis of ozone pikes.

### GİRİŞ

Geceleri ozon (O<sub>3</sub>) seviyesinin yükselmesi genellikle gece ozonu veya ikinci ozon maksimumu olarak adlandırılır. Kararlı atmosferik stabilite koşullarının mevcut olduğu sıralarda bu olayın değişik coğrafi bölgelerdeki yerleşim yerlerinde görüldüğü çok sayıda araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Eliasson, 2003; Chung, 1977; Samson, 1978; Steinberger, 1980; Zurita,1983 ; Liu et al. 1990; Corsmeier et al.,1997; Baumbach, 1999 and Salmond, 2002; Reitebuch, 2000). Bu çalışmaların çoğunda sekonder ozon piklerinin geç vakitlerde yani gece yarısı ile gün doğumu arasında gerçekleştiği ve pik konsantrasyonların yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu konsantrasyonların mertebeleri Avrupa Birliği Ülkeleri için geçerli bitki korumaya yönelik

direktifteki (EU Directive 92/72/EEC)  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerinin ve İsveç Çevre Sağlığı Enstitüsü'nün tavsiye ettiği 1 saatlik risk değeri olan  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerinin üzerindedir. Amerika Birleşik Devletlerinin kuzeydoğusunda (Samson, 1978) ve İsrail'de (Steinberger, 1980)  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerleri tespit edilmiştir. Gece ozonu pik değerleri içinde  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerinin aşıldığı gecelerin görülme frekansları Tel Aviv'de % 25 ve Kudüs'de % 30 olarak bildirilmektedir (Steinberger, 1980). İstanbul'da bu konu ile ilgili elde edilen ilk bulgularda yıl boyunca gece ozonu görülme frekansının ortalama % 60-70 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir (Eryılmaz, 2001). İstanbul'da gündüz ozonu konsantrasyonu genellikle yıl bazında düşüktür ve  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mertebelerindedir. Gece ozonu konsantrasyonunun bu değerin %90'ı ve daha üstünde olduğu günlerin frekansı ise %13 olarak belirlenmiştir (Alp, 2003).

Troposferik ozon solar radyasyonun etkisi ile azot oksitler yardımı ile oluşur. Gündüz saatlerinde güneşli saatlerde kararlı hal teşekkül eder ve uçucu hidrokarbonlar (VOC) emisyonlarının etkisi ile konsantrasyon olarak yükselir. Ozon azalmasında kırsal alanda deposition mekanizması etkili olurken şehirlerde trafikten kaynaklanan azot monoksit (NO)'in titrasyon etkisi deposition ile birleşir.

Ozon geceleri üretilmez. Gece ozonu oluşumu bu nedenle tamamen taşınım mekanizmalarına bağlıdır. En fazla üzerinde durulan mekanizmalar troposferin üst katmanlarında depolanmış olan yüksek konsantrasyondaki ozonun dikey taşınımı ile veya komşu bölgelerden lokal veya mesoskalalı rüzgarlar yardımıyla yatay taşınım mekanizmalarıdır. Bazı araştırmacılar her iki mekanizmanın aynı anda etkili olduğunu ancak birinin daha baskın konumda olduğunu ileri sürmektedirler. Dikey taşınımında Low Level Jet (LLJ) tarafından üretilen güçlü mekanik türbülansın etkili olduğu çoğu araştırmacı tarafından ileri sürülmüştür (Chung, 1977; Samson, 1978; Liu, 1990; Corsmeier, 1997; Reitebuch, 2000). Diğer taraftan gece ozonunun lokal dağıtım ve deniz-kara rüzgarları tarafından oluşturulması da sıkça görülmektedir (Baumbach, 1999; Eliasson, 2003).

Bu çalışmada 1998-2000 yılları arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı tarafından yürütülen hava kirleticileri izleme çalışması kapsamında Kadıköy ve Saraçhane istasyonlarındaki ölçüm sonuçlarından İstanbul'da gece ozonu oluşumu ve bu oluşumun diğer hava kirletici parametreler ve bir kısım meteorolojik parametrelerle ilişkisi irdelenmeye çalışılmıştır.

## MATERYAL VE METOD

### Ölçüm İstasyonları

İstanbul'da Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı tarafından şehrin Anadolu ve Avrupa yakalarında toplam 10 istasyonda hava kirletici parametrelerin ölçümü çalışması 1998 yılında başlatılmış ve halen sürdürülmektedir. Ozon ölçümleri Anadolu yakasında Kadıköy İstasyonunda, Avrupa yakasında ise Saraçhane İstasyonunda yapılmaktadır. Bu istasyonlarda ozon parametresi yanında azot oksitler (NO ve NO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), metan dışı hidrokarbonlar (NMHC), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), partiküler madde (PM<sub>10</sub>) parametreleri de ölçülmektedir.

İstasyonların koordinatları aşağıda verilmiştir.

Saraçhane X: 28 57 17 Y: 41 00 53

Kadıköy X: 29 02 01 Y:40 59 31

Ozon ve diğer kirletici parametrelerin ölçümleri saatlik bazda elde edilmektedir. İstasyonlarda Environment S.A. firmasına ait Model O3 41M cihazı ile ozon, Model AC31M cihazı ile azot oksitler ölçülmüştür. Saatlik meteorolojik veriler DMİ'den Florya ve Göztepe istasyonlarına ait veriler olarak temin edilmiştir. Florya istasyonu dataları Saraçhane, Göztepe istasyonu dataları da Kadıköy istasyonu ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılmışlardır.

Bu çalışmada ağırlıklı olarak 1998-2000 yılları arası ölçüm sonuçları üzerinde durulmuştur. Ancak 2001-2003 Nisan periyodu dataları da özellikle İstanbul'da hava kirletici kaynakların değişiminin etkisini görebilmek amacıyla değerlendirilmeye alınmıştır.

Gece ozonu oluşumunda karşılaşılan O<sub>3</sub> davranışı ile önce diğer hava kirletici parametrelerin ilişkileri ele alınmıştır. Bu amaçla O<sub>3</sub>-CO, O<sub>3</sub>-NO, O<sub>3</sub>-NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>- NMHC, O<sub>3</sub>- PM10 ve O<sub>3</sub>-SO<sub>2</sub> ikili ilişkileri incelenmiştir. Örnekler kış ve yaz dönemlerine ait seçilmiştir.

Meteorolojik faktörlerin etkisi ayrıca incelenmiştir. Bu incelemede önce örnek olarak seçilen günlere ait saatlik bazdaki meteorolojik faktörlerden yer seviyesi sıcaklığı(<sup>0</sup>C), yer seviyesi basıncı(mbar), yer seviyesi rüzgar hızı(m/s) ve rüzgar yönü(16 sektör) ile O<sub>3</sub> konsantrasyonunun değişimi üzerinde durulmuştur. Ayrıca gece ozonu oluşumunda genel meteorolojik yapılanma ile ilgili analizler yapılmıştır.

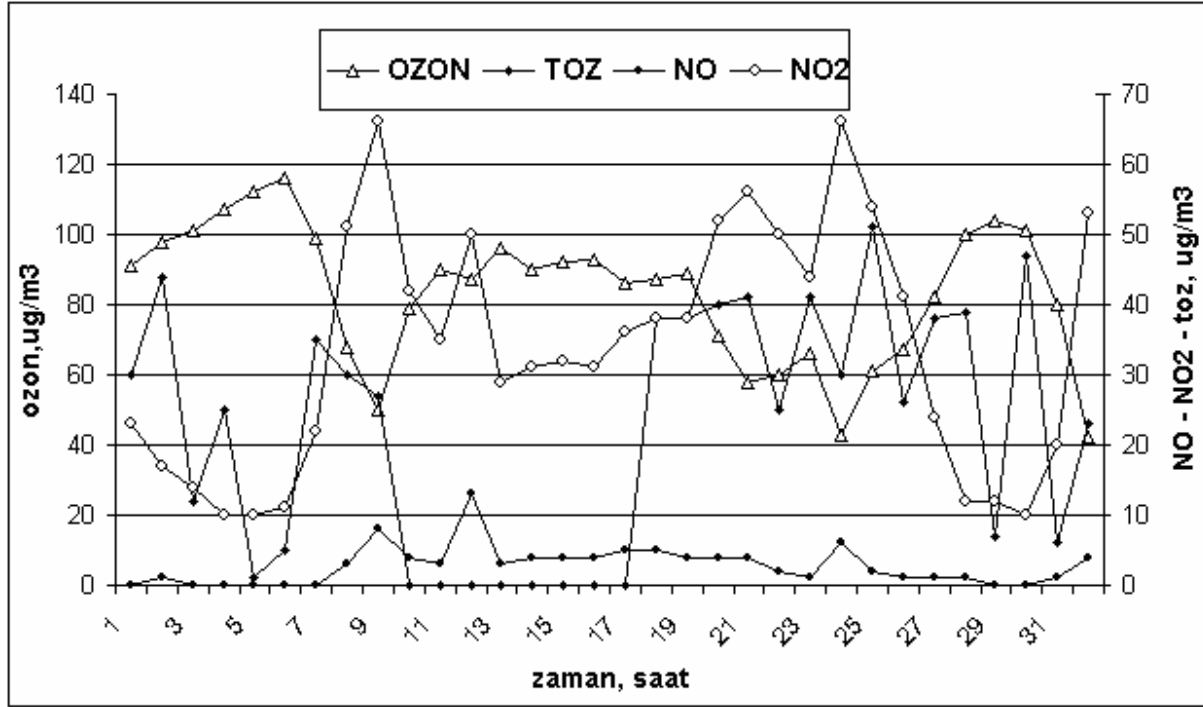
Gece ozonu piklerinin tespiti, incelenen günde gece 01'den başlayan ve bir sonraki gün sabah saat 06'ya kadar olmak üzere toplam 30 saatlik bir süre dilimi içinde gerçekleştirilmiştir.

## SONUÇLAR

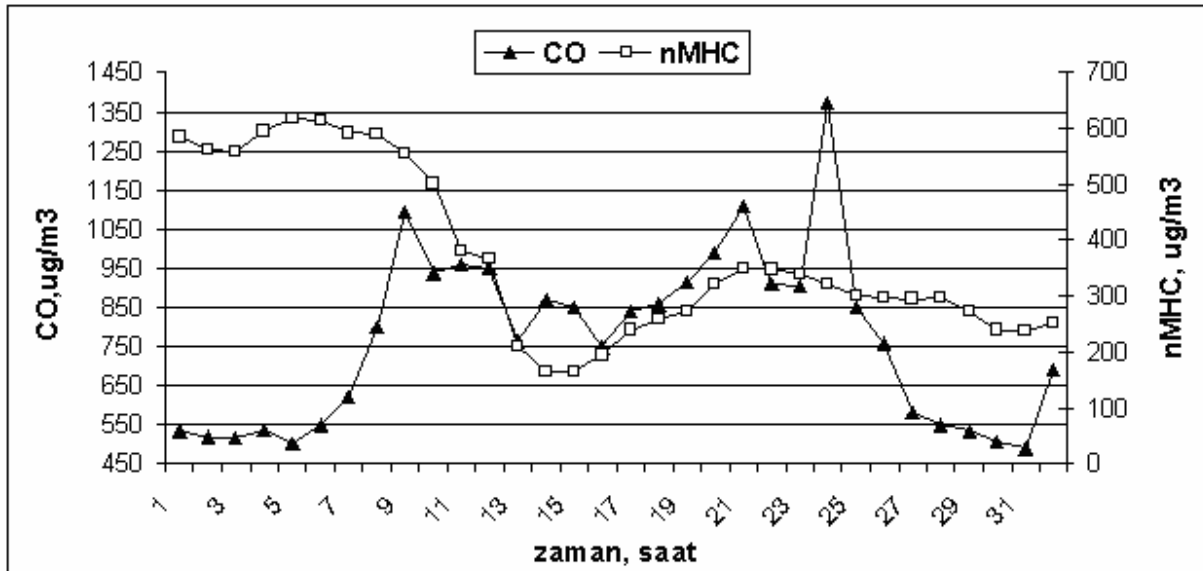
### Ozon ile Diğer Kirletici Parametrelerin İlişkisi

Şekil 1(a)nın incelenmesinden 27/08/2002 günü saat 06.00 da(116 µg/m<sup>3</sup>) son gece ozonu pikini takiben konsantrasyon azalmakta, saat 09.00 da bir minimuma erişmekte(50µg/m<sup>3</sup>) ve ondan sonra solar radyasyonun artması ile yükselmekte ve saat 13.00 de 96 µg/m<sup>3</sup> ile maksimumdeğerini vermektedir. Güneşin lokal olarak batma saati (20.00)den sonra bir minimuma (58 µg/m<sup>3</sup>) erişmektedir. Saat 23.00 deki küçük yükselme ihmal edilirse saat 24.00'dan sonra 28/08/2003'e ait ilk gece ozonu piki gelişimi başlamaktadır. Bu pik saat 04.00'de maksimuma (104 µg/m<sup>3</sup>) ulaşmaktadır. Buna göre her iki gece piki de gündüz pikinden daha yüksek ozon içermektedir. Diğer parametrelerden NO ve NO<sub>2</sub> ozon ile tamamen zıt bir davranış sergilemektedirler. Özellikle 27/08/2002'nin ilk saatlerinde her ikisi de minimum göstermektedirler.Saat 07.00 den itibaren eksoz kaynaklı NO'nun artışı başlamakta ve takiben mevcut ozon ile oksitlenerek NO<sub>2</sub> konsantrasyonunu da yükseltmektedir. Saat 20.00 den sonra ozonun NO ile titrasyonu gerçekleşmekte ve NO<sub>2</sub> yeniden yükselmektedir(Saat 24.00'de 66 µg/m<sup>3</sup>). Bu andan itibaren muhtemelen gece ozonu transferi mekanizması başlamakta ve 28/07/2002 günü saat 05.00 te gece ozonu konsantrasyonu maksimumuna karşılık No ve NO<sub>2</sub>

minimumlarına ulaşmaktadırlar. PM10 parametresinin davranışı derin salınımlarla birlikte ozon parametresi ile uyumluluk göstermektedir. Özellikle gece ozonu piklerini oluşturduğu saatlerde PM10 konsantrasyonu ani sıçrayışlar göstermektedir ki bunun ozon transferinin gerçekleştiği atmosfer tabakasından taşınan PM10 olması ihtimali büyüktür.



(a)

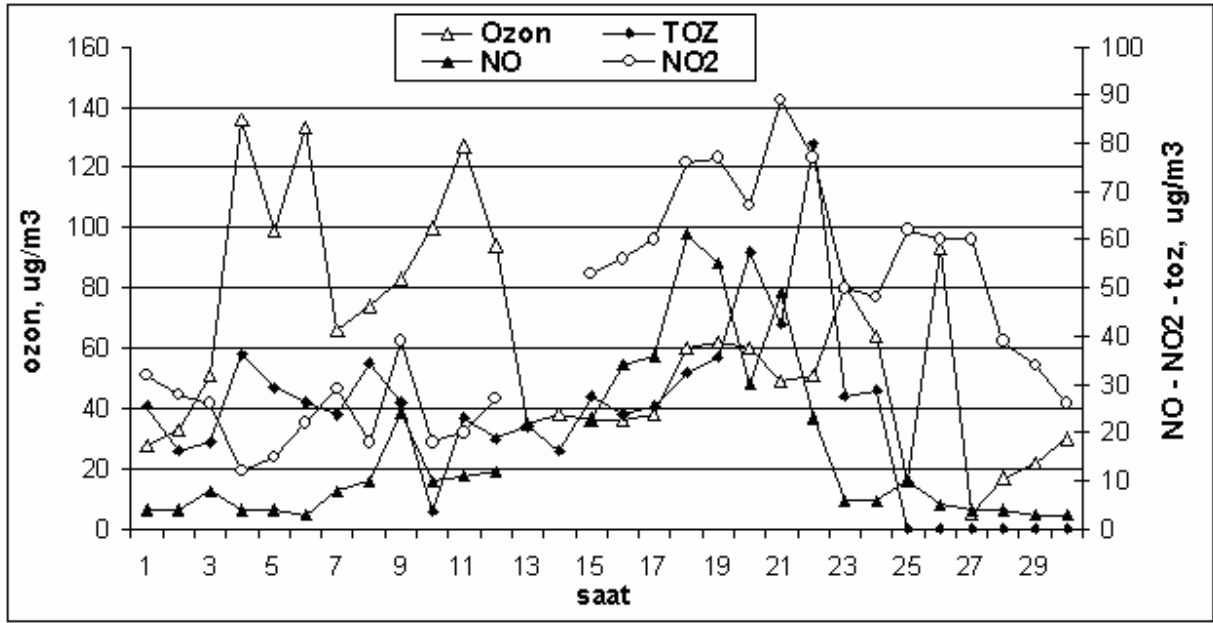


(b)

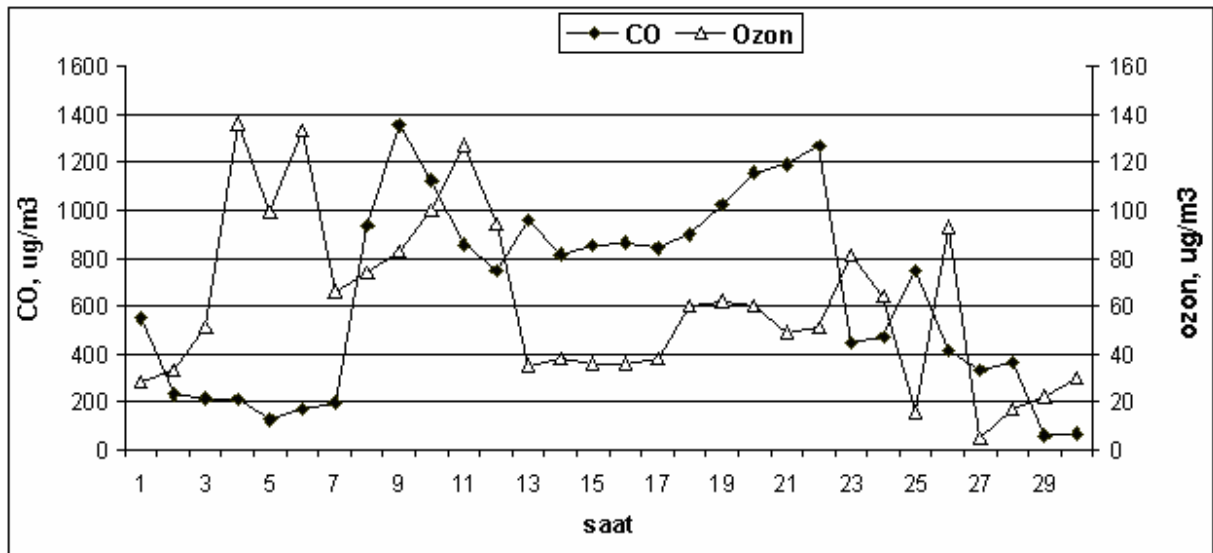
Şekil 1. 27-28/08/2002 Günü Kadıköy İstasyonunda (a) O<sub>3</sub>-NO-NO<sub>2</sub>-PM10, (b) CO-NMHC Parametrelerinin Değişimi

Şekil 1(b) de ise CO ve NMHC parametrelerinin değişimi görülmektedir. Bu iki parametre kendi aralarında ters ilişki göstermektedirler. Buna göre CO ile O<sub>3</sub> ters, NMHC ile O<sub>3</sub> ise nonlineer davranışlar göstermektedirler.

Şekil 2 (a) ve (b) deki değişimler de benzer yapıyı sergilemektedir. Bu grafikte 20/07/2002 gününe ait iki adet gece piki (saat 04.00 da 136 µg/m<sup>3</sup> ve saat 06.00da 133 µg/m<sup>3</sup>) gerçekleşmektedir. Bu davranış kış mevsimine ait aylarda da daha düşük konsantrasyonlarda görülmektedir.



(a)



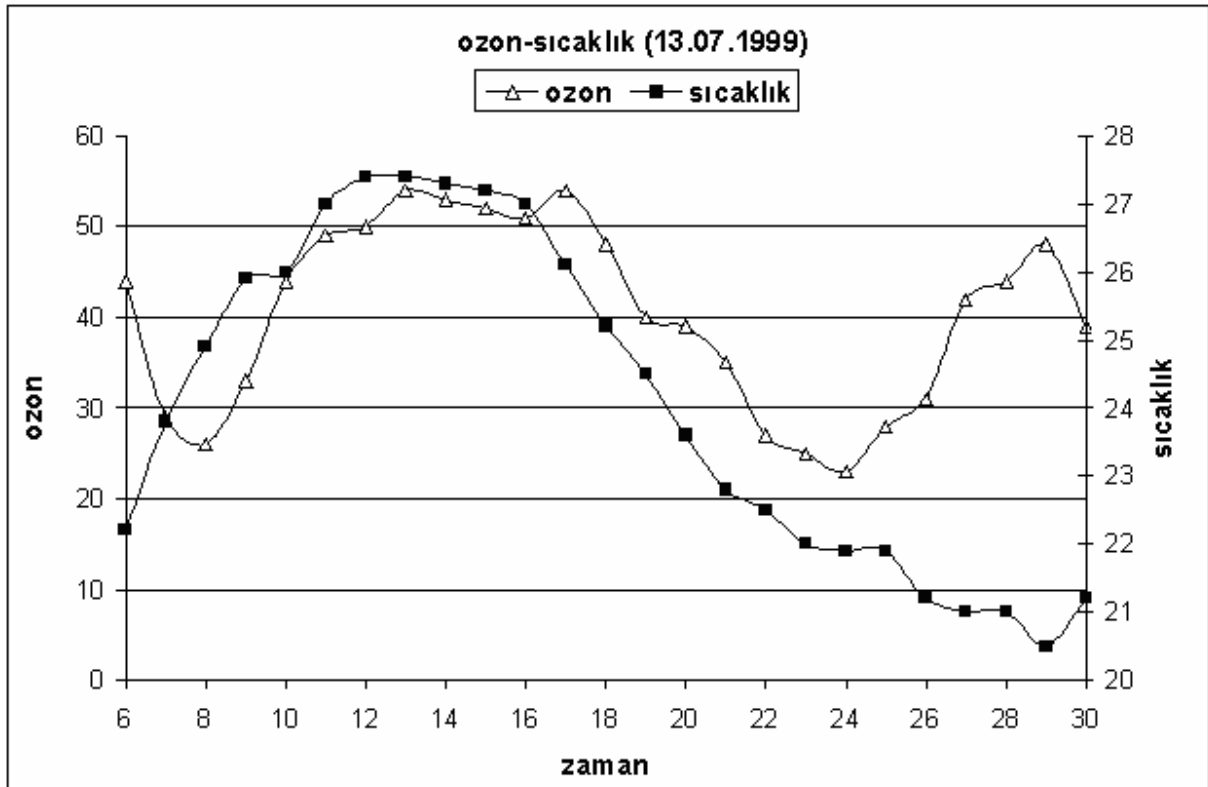
(b)

Şekil 2. 20-21/07/2002 Günü Saraçhane İstasyonunda İstasyonunda (a) O<sub>3</sub>-NO-NO<sub>2</sub>-PM<sub>10</sub>, (b) O<sub>3</sub>-CO Parametrelerinin Değişimi

## METEOROLOJİK PARAMETRELERLE İLİŞKİ

### Meteorolojik Değişkenlerle İlişki

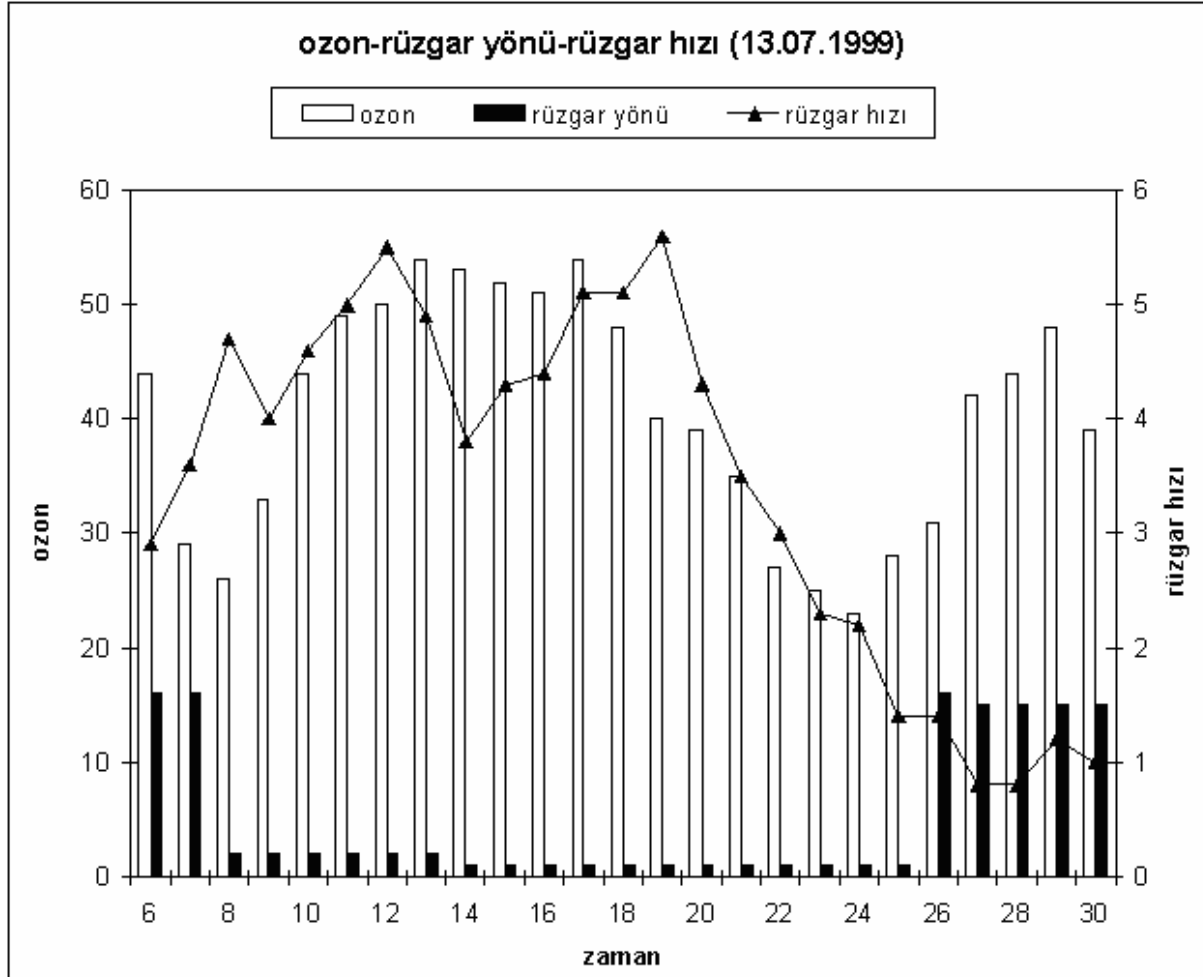
Burada ozon ile yer seviyesi sıcaklığının (Şekil 3) ve yer seviyesi rüzgar hızı ve yönünün(Şekil 4) değişimi üzerinde durulmuştur. Şekil 3 'ün incelenmesinden gece saatlerinde her iki parametrenin birbirleri ile ters değiştikleri,gündüz saatlerinde ise güneşten gelen solar radyasyonun etkisi ile ozon sentezi nedeniyle birlikte artış göstermeleri olağandır. Diğer taraftan gece sat 24.00 den sonra ozon konsantrasyonundaki artış trendi ile sıcaklıktaki azalma trendinde bir duraklama ve hafif bir yükselme dikkati çekmektedir. Sıcaklıkla ilgili saatlik ortalama yerine daha kısa aralıklı ölçüm datalarının kullanılması bu olayın daha net bir şekilde görülmesine olanak verebilir. Bunda ozon transferi esnasında, gece yer kabuğuna yakın kesimlerin hızla ışıma yaparak soğuması ile hemen temas halindeki havada soğumakta iken gelen hava kütlesi içindeki sıcak gazların etkisi ile sıcaklığın düşme trendinde azalma ve gecikme fenomeninin gerçekleştiği tahmin edilmektedir.



Şekil 3. Ozon ile yer seviyesi sıcaklığının değişimi

Şekil 4 deki ise ozon ile rüzgar hızı ve yönünün değişimi incelendiğinde sabah 08.00 den itibaren rüzgar hızının 1-2 sektöründen(N/NNE) esmeye başladığı ve ertesi günün ilk saatleri olan 02.00'ye kadar böyle devam ettiği, takiben hızla değişerek 15 sektörüne(NNW) geçtiği görülmektedir. Gece ozonu pikinin oluşumu da bu aralığa rastlamaktadır. Rüzgar hızı da saat

02.00 den itibaren azalmakta ve saat 04.00 da 0,8 m/s ile en düşük değerlerine inmektedir. Genellikle gece ozonu oluşumunda yer seviyesi rüzgar hızı düşmektedir.



Şekil 4. Ozon ile rüzgar hızı ve yönünün değişimi

## İSTATİSTİK ÖZELLİKLER

1999 yılı dataları üzerinde yapılan incelemelerden gece ozonu oluşumunun belirlendiği günlere ait gündüz ve gece ozonu piklerine ait bazı istatistikî bilgiler Kadıköy istasyonu için Tablo 1'de ve Saraçhane istasyonu için de Tablo 2 de verilmiştir. Kadıköy istasyonuna ait datalardan gündüz ozon piklerinin oluşum saatlerinin genellikle 14.00-16.00 saatleri arasında gece ozon pikleri ise gece yarısından oldukça sonra ve gün doğumuna yakın 04.-06.00 saatlerinde yoğunlaşmaktadır. Yıl boyunca rüzgar hızları düşük periyotlar söz konusudur. Rüzgar hızlarının gündüzleri 1.7-3.1 m/s, geceleri ise 1.2-2.7 m/s aralığında kaldıkları belirlenmiştir. Rüzgar yönleri arasında gece ile gündüz ozon piklerinin oluşum saatlerinde bir miktar farklılıklar oluşmaktadır. Genellikle gece pikinin oluşumunda rüzgar yönü gündüzden 25-50 derece daha kuzeyden olacak şekilde gerçekleşmektedir. Yaz aylarında gece ve gündüz piklerinin oluşum saatlerinde rüzgar yönlerindeki salınım artmaktadır. Gece ozon pikleri konsantrasyonları, gündüz ozon piklerinin kış aylarında %100'e yaz aylarında ise %60-70 'ine tekabül etmektedir.

**Tablo 1. İstanbul'da 1999 yılında Kadıköy İstasyonunda Gündüz ve Gece Ozon Pikleri Oluşumu İle ilgili İstatistik Bazı Özellikler**

Aylar	Gündüz				Gece			
	Oluşum Saat $\pm\sigma_{st}$	Ort. Ozon Kons. $\pm\sigma_{st}$ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rüzgar Hızı $\pm\sigma_{st}$ , m/s	Rüzgar Yönü $\pm\sigma_{st}$ , derece	Oluşum Saat $\pm\sigma_{st}$	Ort. Ozon Kons. $\pm\sigma_{st}$ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rüzgar Hızı $\pm\sigma_{st}$ , m/s	Rüzgar Yönü $\pm\sigma_{st}$ , derece
Ocak	14.30 $\pm$ 1.6	18.2 $\pm$ 11.7	2.4 $\pm$ 1.3	218 $\pm$ 85	04.45 $\pm$ 2.1	18.2 $\pm$ 12.4	2.3 $\pm$ 1.5	275 $\pm$ 80
Şubat	14.30 $\pm$ 1.5	28.2 $\pm$ 10.4	3.1 $\pm$ 1.6	205 $\pm$ 80	05.00 $\pm$ 1.7	31.6 $\pm$ 14.2	2.7 $\pm$ 1.7	220 $\pm$ 85
Mart	14.06 $\pm$ 1.6	28.1 $\pm$ 9.8	2.5 $\pm$ 0.9	198 $\pm$ 92	06.20 $\pm$ 4.7	21.3 $\pm$ 6.1	1.7 $\pm$ 1.1	275 $\pm$ 75
Nisan	16.35 $\pm$ 1.3	60.5 $\pm$ 18.1	1.7 $\pm$ 0.9	170 $\pm$ 95	04.10 $\pm$ 1.5	26.3 $\pm$ 15.4	1.2 $\pm$ 0.8	265 $\pm$ 110
Mayıs	16.10 $\pm$ 1.4	43.9 $\pm$ 13.0	2.5 $\pm$ 1.6	230 $\pm$ 130	04.05 $\pm$ 1.4	32.9 $\pm$ 16.4	1.5 $\pm$ 1.1	275 $\pm$ 120
Haziran	15.35 $\pm$ 1.4	42.7 $\pm$ 12.2	2.2 $\pm$ 1.3	200 $\pm$ 130	04.35 $\pm$ 1.4	25.4 $\pm$ 8.2	1.6 $\pm$ 1.1	195 $\pm$ 155
Temmuz	15.10 $\pm$ 1.9	50.7 $\pm$ 6.5	3.4 $\pm$ 1.3	195 $\pm$ 150	04.05 $\pm$ 1.1	28.7 $\pm$ 9.8	1.2 $\pm$ 0.8	218 $\pm$ 158

Tablo 2 de Saraçhane için verilen bilgiler de Kadıköy İstasyonundaki ile benzerlik taşımaktadır. Mevcut datalardan gündüz ozonu oluşum saatinin muhtemelen yaz aylarının katkısı ile biraz geriye kayarak 15.00- 16.00 saatlerinde, gece ozon piklerinin de tersine erken saatlerde yani 03.00-04.00 saatleri arasında gerçekleştiği görülmektedir. Rüzgar hızları yaz aylarında geceleri biraz daha düşük gerçekleşmekte ve kadıköy istasyonu dataları ile örtüşmektedir. Rüzgar yönleri de kış aylarında (ocak-mart) oldukça uyumludur. Yaz aylarında (nisan-eylül) ise Saraçhane istasyonu için kabul edilen florya meteoroloji istasyonu dataları dolayısı ile rüzgar yönünde 50 dereceye varan azalma bulunmaktadır.

**Tablo 2. İstanbul'da 1999 yılında Saraçhane İstasyonunda Gündüz ve Gece Ozon Pikleri Oluşumu İle ilgili İstatistik Bazı Özellikler**

Aylar	Gündüz				Gece			
	Oluşum Saat $\pm\sigma_{st}$	Ort. Ozon Kons. $\pm\sigma_{st}$ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rüzgar Hızı $\pm\sigma_{st}$ , m/s	Rüzgar Yönü $\pm\sigma_{st}$ , derece	Oluşum Saat $\pm\sigma_{st}$	Ort. Ozon Kons. $\pm\sigma_{st}$ , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rüzgar Hızı $\pm\sigma_{st}$ , m/s	Rüzgar Yönü $\pm\sigma_{st}$ , derece
Ocak	15.10 $\pm$ 1.5	6.3 $\pm$ 3.5	2.0 $\pm$ 1.0	218 $\pm$ 60	04.42 $\pm$ 1.5	13.2 $\pm$ 5.6	2.5 $\pm$ 1.3	248 $\pm$ 120
Şubat	13.30 $\pm$ 1.3	17.4 $\pm$ 7.4	3.6 $\pm$ 1.7	185 $\pm$ 78	04.50 $\pm$ 0.9	26.3 $\pm$ 14.1	3.0 $\pm$ 2.3	215 $\pm$ 68
Mart	14.50 $\pm$ 2.0	26.0 $\pm$ 4.8	2.3 $\pm$ 1.3	175 $\pm$ 75	04.05 $\pm$ 2.2	30.4 $\pm$ 13.1	1.7 $\pm$ 1.1	275 $\pm$ 75
Nisan	15.10 $\pm$ 1.6	34.9 $\pm$ 15.7	2.1 $\pm$ 0.8	170 $\pm$ 47	04.10 $\pm$ 1.9	23.2 $\pm$ 15.5	1.8 $\pm$ 1.8	178 $\pm$ 95
Mayıs	15.50 $\pm$ 1.4	41.0 $\pm$ 11.6	2.4 $\pm$ 1.3	205 $\pm$ 140	03.50 $\pm$ 1.4	27.0 $\pm$ 17.1	1.1 $\pm$ 0.8	230 $\pm$ 148
Haziran	16.00 $\pm$ 1.7	31.2 $\pm$ 13.5	2.2 $\pm$ 1.0	288 $\pm$ 105	04.25 $\pm$ 4.5	19.7 $\pm$ 14.2	1.5 $\pm$ 1.1	190 $\pm$ 153
Ağustos	15.05 $\pm$ 1.7	38.8 $\pm$ 10.6	2.9 $\pm$ 0.8	140 $\pm$ 138	03.05 $\pm$ 2.0	21.7 $\pm$ 13.6	1.4 $\pm$ 0.7	118 $\pm$ 146
Eylül	15.55 $\pm$ 1.5	28.9 $\pm$ 10.2	2.3 $\pm$ 1.2	205 $\pm$ 124	03.40 $\pm$ 1.8	19.2 $\pm$ 10.8	1.1 $\pm$ 0.7	218 $\pm$ 146
Ekim	15.00 $\pm$ 1.2	12.6 $\pm$ 8.2	2.0 $\pm$ 1.1	200 $\pm$ 108	03.55 $\pm$ 1.3	16.7 $\pm$ 10.7	1.9 $\pm$ 1.3	300 $\pm$ 122

Her iki tablodan da gerek gündüz gerekse gece ozon piklerinin oluştuğu saatlerde kuzeyli rüzgar sektörlerinin etkinliği görülmektedir. İstanbul'un hakim rüzgar yönleri dikkate alınırca bu normal bir sonuçtur. Diğer taraftan özellikle gece ozonunun oluştuğu saatlerin İstanbul'da lokal

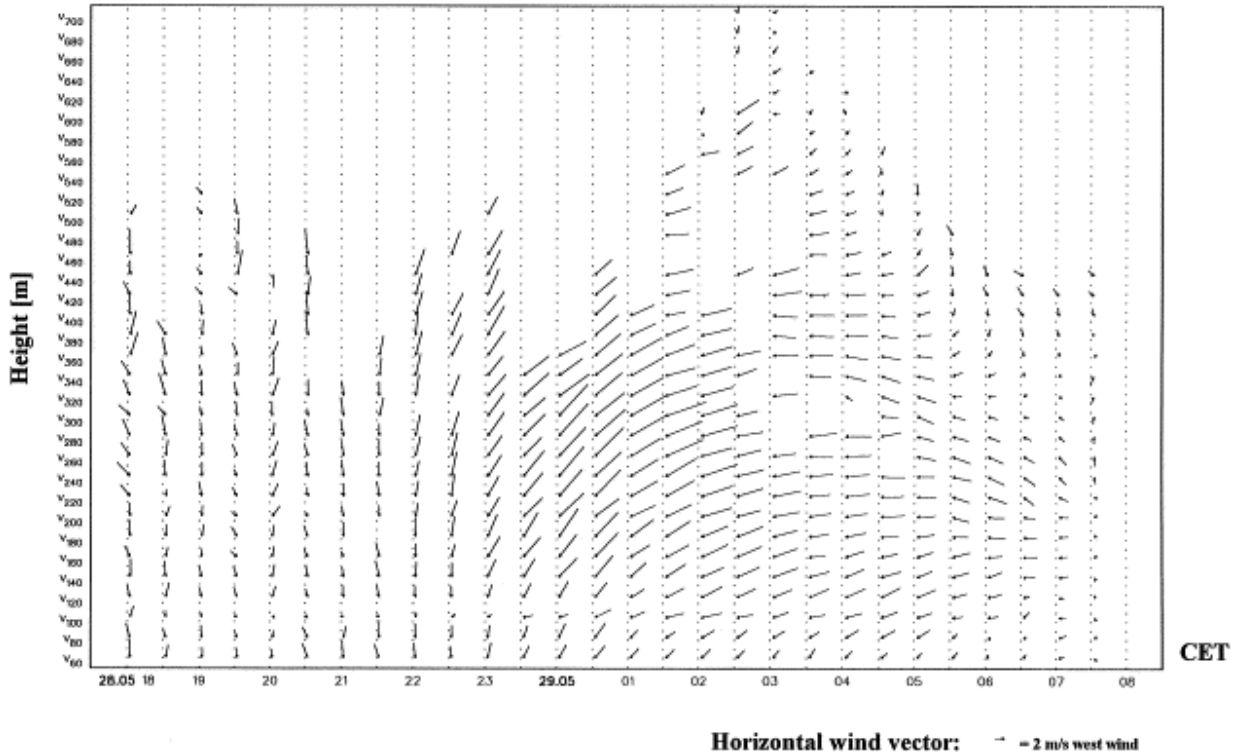


rüzgarların hızının  $< 2.0$  m/s olması bu saatlerde atmosferik stabilitenin kararlı veya oldukça kararlı yapıda olmasını göstermesi bakımından oldukça önemlidir.

Bu sonuçlara göre gece ozonu kararlı atmosferik yapının gerçekleştiği saatlerde oluşmaktadır denebilir.

## SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Gece ozonu oluşumu ile ilgili araştırmalarda farklı taşınım mekanizmalarının bu fenomende etkili olduğu belirtilmiştir. Bunların içinde LLJ fenomeninin özellikle stabil atmosferik yapının etkili olduğu gecelerde atmosferin yukarı katmanlarından ozon bakımından zengin hava kütlelerinin dikey yönde taşınımına imkan verdiği çok sayıda araştırmacı tarafından kabul edilmiştir. (Reitebuch,2000) bu konuyu en çeşitli yönleri ile ortaya koymuştur. NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and CO konsantrasyonlarının günlük çevrimleri, hava sıcaklığı ve su buharı basıncı ile rüzgar yönü ve rüzgar hızı parametrelerin birbirleri ile ilişkisi verilmiştir. Bu ilişkiler bu çalışmada verilenlerle uyum içindedir.



Şekil 6. SODAR ile LLJ Fenomeni esnasında atmosferin dikey tarama sonuçları: Yatay rüzgar vektörü yerden 60-700 m yukarıya kadar, 20 m yükseklik çözünürlüğünde, 30 dak. ortalamalıdır, 28/29 Mayıs 1997, Grugapark Essen.

Şekil 6'da ise LLJ oluşumuna bağlı olarak dikey taşınımın ozonun yer seviyesine inmesi incelenmektedir. Burada saat 20.00 civarında rüzgar vektörlerinin düşük hızda ve yere doğru yönelmiş olmaları dikey taşınımın söz konusu olduğunu göstermektedir. Kararlı atmosferik yapı LLJ tarafından kuvvetlendirilen mekanik türbülans etkisi ile kısa bir an için kırılmakta ve dikey

taşınım gerçekleşmektedir. Bu olay 22.00'ye kadar etkilidir. Bu esnada gelen ozon, NO ile titrasyonla harcanmakta ve bu reaksiyonun tamamlanmasından sonra da saat 24.00 da gece ozonu pikini oluşturmak üzere yükselmektedir. Daha sonra LLJ fenomeni kaybolmakta ve rüzgar vektörleri yön değiştirmekte ve gecenin ilerleyen saatlerinde normal konumuna yönelmektedir. LLJ oluşumu gece boyunca birkaç kez tekrarlanabilir. Bu durumda ardışık gece piklerinin görülmesi mümkündür.

Gece ozonu oluşumunda diğer mekanizmalar kapsamında lokal rüzgarlar, soğuk cephesi geçişi, gravite dalgalarının kırılma etkisi sayılabilir.

### TARTIŞMA ÖNERİLER

İstanbul'da bulunduğu coğrafik bölge itibarı ile gece ozonu olayının incelendiği bu ilk çalışmada olayın potansiyel anlam ve önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Özellikle yakıt kalitesi değişimine bağlı olarak İstanbul'da hava kirletici parametrelerin içinde fotokimyasal reaksiyon ürünleri daha bir önem kazanmaya başlamışlardır. Yakın bölgelerde de yakıt bazlı değişimlerin bu olayı kuvvetlendirici yönde etkileyecekleri tahmin edilmektedir. Bu nedenle bölgede hem gündüz ozonu hem de gece ozonu oluşumu konusunda zaman geçirilmeden gerekli araştırmaların yapılması planlanmalıdır. Bu kapsamda hava kalitesi ve meteorolojik ölçüm ağlarının genişletilmesi ve dikey atmosfer hareketlerini izlemeye elverişli konuma kavuşturulması gerekmektedir. Özellikle LLJ fenomeni için İstanbul'da ayrıntılı araştırmaların gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

Ozon standartları gittikçe daha düşük değerlere indirgenmektedir. İnsan sağlığı kadar doğal ortamda mevcut türlerin korunması bakımından bu gereklidir. İstanbul başta olmak üzere ülkemizdeki hava kalitesi problemi yaşanan diğer bölgeler içinde yer alan korumaya muhtaç türler üzerinde ozon parametresinin olumsuz etkilerinin minimize edilebilmesi için Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde verilen ozon standardının (1 saatlik maksimum  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) değerinin Avrupa Birliği Ülkeleri standardı ile uyumlu hale getirilmesi tavsiye edilir.

### KAYNAKLAR

- Alp, K., Eryılmaz G., 2003. İstanbul'da Gece Ozonu. III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı 19-21 Mart 2003, s.30-41. Editörler: Orhan Şen, Levent Şaylan, Kasım Koçak, Hüseyin Toros. İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Baumbach, G. and Vogt, U., 1999. Experimental determination of the effect of mountain–valley breeze circulation on air pollution in the vicinity of Freiburg. *Atmospheric Environment* **33**, pp. 4019–4027.
- Chung, Y.-S., 1977. Ground-level ozone and regional transport of air pollutants. *Journal of Applied Meteorology* **16** 11, pp. 1127–1136
- Corsmeier, U., Kalthoff, N., Kolle, O., Kotzian, M. and Fiedler, F., 1997. Ozone concentration jump in the stable nocturnal boundary layer during a LLJ-event. *Atmospheric Environment* **31** 13, pp. 1977–1989

Eliasson, I., Thorsson, S., and Andersson-Sköld, Y.2003. Summer nocturnal ozone maxima in Göteborg, Sweden, *Atmospheric Environment, Volume 37*, pp. 2615-2627.

Eryılmaz, G., 2001. İstanbul'da Gece Ozonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa İnan Kitaplığı.

Liu, C-M., Liu, S. and Shen, S.-H., 1990. A study of Taipei ozone problem. *Atmospheric Environment* **24A**, pp. 1461–1472

Reitebuch, O., Strassburger, A., Emeis, S., and Kuttler, W. 2000. Nocturnal secondary ozone concentration maxima analysed by sodar observations and surface measurements, *Atmospheric Environment, Volume 34*, pp. 4315-4329

Salmond, J. A. , and McKendry, I. G. , 2002. Secondary ozone maxima in a very stable nocturnal boundary layer: observations from the Lower Fraser Valley, BC . *Atmospheric Environment* **36** pp. 5771-5782

Samson, P.J., 1978. Nocturnal ozone maxima. *Atmospheric Environment* **12**, pp. 951–955.

Steinberger, E.H. and Ganor, E., 1980. High ozone concentrations at night in Jerusalem and Tel-Aviv. *Atmospheric Environment* **14**, pp. 221–225

Zurita, E. and Castro, M., 1983. A statistical analysis of mean hourly concentrations of surface ozone at Madrid (Spain). *Atmospheric Environment* **17** 11, pp. 2213–2220.