

## ERZURUM KENT MERKEZİNDE KRİTER HAVA KİRLETİCİLERİN İZLENMESİ

Sevda OCAK<sup>1(\*)</sup>, F.Sezer TURALIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi, 25240 Erzurum,

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Müh. Böl., 25240 Erzurum,

### ÖZET

Kriter hava kirleticilerin (CO, SO<sub>2</sub>, TSP, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>) konsantrasyonları 1995-97 kış sezonu için Erzurum kent merkezinde izlenmiştir. Bu süre için kirleticilerin ortalama değerleri O<sub>3</sub> 25 µg m<sup>-3</sup>, NO<sub>x</sub> 77 µg m<sup>-3</sup>, SO<sub>2</sub> 252 µg m<sup>-3</sup>, TSP 112 µg m<sup>-3</sup> ve CO 1400 µg m<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır. Kriter kirleticiler ile meteorolojik parametreler (rüzgar hızı, sıcaklık, nem) arasındaki ilişki istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Kirleticilerle meteorolojik parametreler arasında düşük bir korelasyon bulunmuştur. Kirletici kaynaklarının bulunması amacıyla, kriter kirleticiler birbiri (CO-NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>-TSP) ile ilişkilendirilmiştir. O<sub>3</sub> seviyelerinin meteorolojik parametreler yanında, NO<sub>x</sub> ve bir önceki gün O<sub>3</sub> konsantrasyonundan etkilendiği bulunmuştur. Adımsal regresyon analizi ile belirlenen bu modele ilişkin determinasyon katsayısı 0,92 olarak hesaplanmıştır.

### ABSTRACT

Criteria air pollutants such as CO, TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> concentration were monitored during 1995-97 winter seasons in Erzurum. The average concentrations for the monitoring period were calculated 25µg m<sup>-3</sup> for O<sub>3</sub>, 77 µg m<sup>-3</sup>for NO<sub>x</sub>, 252 µg m<sup>-3</sup> for SO<sub>2</sub>, 112 µg m<sup>-3</sup> for TSP and 1400 µg m<sup>-3</sup> for CO. The relation between the criteria pollutants and meteorological parameters (wind speed, temperature, relative humidity) were statistically evaluated. Correlations among pollutant concentrations and meteorological parameters showed weak relations almost in all data. Pollutants were associated with each other (CO-NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>-TSP) in order to have information about their origin. It was found that O<sub>3</sub> levels was affected meteorological parameters with NO<sub>x</sub> and previous day's O<sub>3</sub> concentration. The determination coefficient is 0.92 for the developed model using stepwise multiple linear regression analysis.

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava Kirliliği, Kriter Kirleticiler, Meteorolojik Parametreler, Bir Önceki Gün Konsantrasyonu, Regresyon Analizi

### GİRİŞ

Atmosfer kimyası ve bileşimini değiştiren hava kirleticileri, küresel ısınma, ozon tabakasının incelmesi, asit yağışları, insan, canlı sağlığı ve malzemeler üzerine olumsuz etkileri gibi küresel boyuttan kentsel boyuta farklı zararlara neden olmaktadır.

\*sevdaocak@atauni.edu.tr

Hava kalitesini korumak amacıyla; USEPA, kriter hava kirleticileri olarak isimlendirilen altı hava kirleticisi, O<sub>3</sub> (ozon), Pb (kurşun), TSP (toplam partikül madde), CO (karbonmonoksit), SO<sub>2</sub> (kükürtdioksit), NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>) (azotoksitler), için hava kalitesi standartlarını oluşturmuştur (USEPA,2000). Kentsel alanlarda; ısınma, taşıtlar ve endüstriyel kaynaklı olarak kriter hava kirletici seviyelerinde artışlar gözlenmektedir.

CO, hem doğal hem de antropojenik kaynaklı olup atmosferdeki önemli eser gazlardandır. CO, ozon üretimi ve tüketimi üzerine etkisi olduğundan troposferin önemli bileşenlerinden biridir. OH radikalleri ile reaksiyonu CO için ana tüketimdir. Bu atmosferdeki kalış süresinin nispeten uzun olmasına, 1-4 ay, neden olmaktadır. Nispeten uzun kalış süresi, troposferin tüm bölgelerinde bulunan CO arkazemin seviyelerini etki etmektedir. Başlıca antropojen CO kaynağı motorlu araçlardır(Cardenas vd., 1998).

NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>) troposferdeki reaksiyonlarda çok önemli bir rol oynamaktadır. O<sub>3</sub>, üretimi/tüketimini dengeler, OH radikallerinin konsantrasyonunu da etkiler. NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>) lerin ana kaynağı yakma tesisleri olarak gösterilmektedir. NO<sub>x</sub> için başlıca antropojen kaynak, CO gibi, motorlu taşıtlar gösterilmektedir (Cardenas vd, 1998). Troposferde NO<sub>x</sub> kalış süresi, yaz mevsiminde bir günden daha az aktif fotokimyasal şartlar olmadığında ise birkaç gün olabilir (Seinfeld, 1986).

Kükürtoksitlerin (SO<sub>x</sub>) başlıca kaynağı, kükürt içeren yakıtların yakılmasıdır. Bunlar sabit kaynaklardan (yakma tesisleri) salınmaktadır. Yakma tesislerinde SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> oranı %90 üzerindedir. Atmosferde, SO<sub>2</sub> katalitik veya fotokimyasal olarak SO<sub>3</sub> oluşturmak üzere diğer bileşiklerle reaksiyona girer. Küresel ölçekte SO<sub>2</sub> kömür yakma tesislerinden %60, petrol rafinerileri ve yakmadan %30 kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Taşdemir vd., 2005). SO<sub>2</sub>, kış mevsiminde ısınmadan kaynaklanan önemli bir antropojen kirleticidir. SO<sub>2</sub> sülfirik asit ve sülfat aerosollerinin oluşumuna, sülfat ve SO<sub>2</sub> in birikimine katkıda bulunmaktadır (Aneja vd., 2001). SO<sub>2</sub> kirleticisi, yağışların asiditesinin artması ile ilişkilendirilmektedir. 2002-2003 kış sezonunda Erzurum kent merkezinde toplanan kar örneklerinde, pH değerinin 4,7-7,3 arasında değiştiği bulunmuştur (Ocak ve Ocak, 2007).

Havada disperse halde bulunan katı ve sıvıları içeren partikül maddeler (PM), farklı kaynak ve farklı kimyasal bileşime sahip olabilmektedir. Partiküller kaynaktan direk salınabildiği gibi atmosferde öncü gaz emisyonlarının (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) dönüşümü ile de oluşmaktadır. Kaba partiküller (>10 µm) mekanik prosesler, öğütme ve rüzgar erozyonundan kaynaklanabilir. İnce partiküller (<1 µm) başlıca yakma tesislerinden kaynaklanmaktadır (Aneja vd., 2001). Sağlık etkileri partikül boyutu ile ilişkilendirilmektedir. Daha küçük partiküllerin solunumla akciğerlerde alveollere kadar taşınması ve kimyasal olarak daha aktif olmaları daha nedeniyle daha tehlikeli olduğu bilinmektedir (Mouli v.d., 2004). Ayrıca, partiküller çevre havasında görüş netliğini de etkilemektedir (Elminir H, 2005). Partikül kirliliği seviyeleri yoğun trafik, zayıf lokal atmosferik dispersiyon şartlar (sakin rüzgar, sıcaklık inversiyon), partiküllerin uzun menzilli taşınmaları, kontrol edilemeyen doğal kaynaklı kaba partiküllere (rüzgarla gelen tozlar, deniz suyu) bağlı olarak artabilmektedir (Vardoulakis ve Kassomenos, 2008)

Troposferde ozon, troposferik/stratosferik değişimler ve troposfer içinde oluşan fotokimyasal reaksiyonlar ile meydana gelmektedir (Duenas C vd., 2002). Ozon atmosferde en çok bulunan fotokimyasal oksidandır. Ozon genellikle kentsel ve endüstriyel alanların civarında antropojen kaynakların fazla olması ile oluşmaktadır. Ayrıca ozon ve onun oluşmasını sağlayan

reaktanların bu alanlardan uzun menzilli taşınımı ile rüzgar altı yöndeki kırsal alanlarda da ozon seviyelerinin yükselmesine katkıda bulunabilmektedir (Aneja vd., 2000).

Meteorolojik parametrelerin tam ve doğru izlenmesi atmosfer kalitesinin anlaşılması için başlıca gereksinimlerden biridir. Kirleticilerin kimyasal reaksiyonları hava şartlarından (kısa dalga boylu radyasyon, hava sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, ve relative nem) etkilenmektedir (Elminir, 2005). Kentlerdeki hava kalitesinin çeşitli meteorolojik faktörlerin kombinasyonu ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Hava kalitesi sadece kirletici emisyonlardan değil meteorolojik faktörlerden de etkilenmektedir (Gupta vd., 2007).

Hava kirliliği ölçümlerinden ve meteorolojik istasyonlardan elde edilen gözlem setinde, değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkinin hesaplanması, regresyon analizi gibi bazı istatistiksel teknikler kullanılarak mümkündür. Atmosferde hava kirleticilerin meteorolojiye ve diğer kirleticilere bağımlılığını araştıran farklı çalışmalar bulunmaktadır.

Witz ve Moore (1981) hava kirleticileri (CO, NO, NO<sub>x</sub>, HCs) ve meteorolojik parametreler (rüzgar hızı, ve yönü, sabah hava sıcaklığı ve inversiyon sıklığı) arasındaki stepwise (adım adım) çoklu lineer regresyon analizini kullanarak yakın bir ilişki bulmuştur. Ocak S ve arkadaşları (1997) Erzurum'da 1989-1996 yılları kış sezonları için SO<sub>2</sub>, TSP kirleticileri ile meteorolojik parametreler (toplam yağış, sıcaklık, güneşlenme süresi, nispi nem, rüzgar hızı) arasında orta seviyede bir korelasyon bulmuştur. Ocak ve Demircioğlu (2002), çoklu lineer regresyon analizi ile meteorolojik parametreler (nispi nem, sıcaklık, rüzgar hızı) ve bir önceki gün kirletici konsantrasyonunu kullanarak, SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarını tahmin etmiştir. Kirletici konsantrasyonları ve ilgili kirleticiye ait bir önceki gün konsantrasyonu arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Turalioğlu ve arkadaşları (2005) SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarını bir önceki gün konsantrasyonu ve meteorolojik parametreleri (rüzgar hızı, sıcaklık, nispi nem, basınç ve yağış) içeren çoklu regresyon denklemi ile tahmin etmiştir. Kükürtdioksitin (SO<sub>2</sub>) gerçek konsantrasyonu ile meteorolojik parametreler ve önceki gün SO<sub>2</sub> konsantrasyonu arasında iyi seviyede bir korelasyon bulunmuştur. Trafik kaynaklı kirleticilerin en yüksek seviyelere düşük rüzgar hızında ulaşıldığı belirlenmiştir (Elminir, 2005). Spellman (1999), ozon konsantrasyonunun maksimum sıcaklık, güneşlenme süresi ve bir önceki günün ozon konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu bulmuştur. Cardenas ve arkadaşları (1998) CO ile NO<sub>x</sub> arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ancak CO ile O<sub>3</sub> arasında ise kuvvetli negatif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Vardoulakis ve Kassomenos (2008) PM<sub>10</sub> ile SO<sub>2</sub> arasındaki ilişkinin soğuk sezonlarda daha yüksek olduğunu bulmuştur.

Bu çalışmada CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM, O<sub>3</sub> kriter kirletici konsantrasyonları Erzurum kenti için değerlendirilmiştir. Kirletici konsantrasyonları meteorolojik faktörlere göre analiz edilmiştir. Kirletici konsantrasyonları kirletici kaynakları hakkında bilgi edinmek amacıyla diğer kirleticilerle ilişkilendirilmiştir. Ozon kirleticisi için meteorolojik faktörler ve diğer kirleticilere ek olarak bir önceki gün konsantrasyonun etkisi, diğer modellerle karşılaştırılarak irdelenmiştir.

## **MATERYAL ve METOD**

### **Çalışma Alanı**

Erzurum 40°15' ve 42°35' boylamlarında, 40°57' ve 39°10' enlemlerinde Türkiye'nin doğusunda bulunan etrafı doğu, kuzey ve güneyden dağlarla çevrili bir kenttir. Kent rakımı 1950 m'dir. Ortalama yıllık sıcaklık 6°C ve sıcaklığın sıfırın altında olduğu gün sayısı 161 dir.

Kentte altı ay boyunca ısınma gereksinimi bulunmaktadır. Şehrin sert iklimi, uygun olmayan jeomorfolojik yapısı ve topoğrafik özellikleri sebebiyle hava kirliliği problemleri yaşanmaktadır. Kentteki hava kirliliğinin başlıca kaynakları ısınma amaçlı yakıt tüketimi ve trafik olarak düşünülmektedir. Kent merkezine ait (20km\*5km) alan Şekil 1. de gösterilmiştir.



Şekil 1. Erzurum ilinin topoğrafik haritası

### Hava Kalitesi Ölçümleri

Kriter hava kirleticileri (CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> ve TSP) ile birlikte meteorolojik parametreler (rüzgar hızı (WS), nispi nem (RH) ve sıcaklık (T), Çevre İl Müdürlüğü'nün mobil hava kirliliği (HKÖA) ölçüm aracı ile izlenmiştir. Ölçümler trafiğin ve binalaşmanın yoğun olduğu, Yakutiye parkı, mevkiinde yapılmıştır (Şekil 1). Ölçümler ardışık iki kış sezonuna (1995-96, 1996-97) aittir. İstatistiksel sınama için hem kriter kirleticiler hem de meteorolojik değişkenlerin günlük ortalama değerleri kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan cihazlar, Fransız menşeli Environnement S.A markalı cihazlardır. Tüm cihazlar Çevre Bakanlığı'nın onayladığı ölçüm metotlarına göre ölçüm yapmaktadır. Tüm meteorolojik sensörler (rüzgar hızı, sıcaklık ve nem) İtalyan menşeli Lastem markalıdır.

### Veri Analizi

Birçok çevre probleminde, iki (yada daha çok sayıda) rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden istatistik bakımdan bağımsız olmadığı, dolayısıyla bu değişkenler arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir. Değişkenler arasındaki muhtemel olan anlamlı ilişkinin belirlenmesi, regresyon analizi ile mümkündür. Regresyon analizi ilişkilendirilecek değişkenlere göre, basit lineer regresyon analizi ve çoklu lineer regresyon analizi olarak sınıflandırılabilir. Birden fazla bağımsız değişken olması durumunda ise çoklu lineer regresyon analizi kullanılır. Üç bağımsız değişken için regresyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + E \quad (1)$$

Burada A sabit, B ise regresyon katsayısıdır. Burada sabit ve katsayılar, regresyon denkleminde E ile gösterilen hatayı en aza indiren en küçük kareler yöntemi kullanılarak belirlenmektedir (Akkaya ve Pazarlıoğlu,1998). Liner modelin uygunluğu, yaygın bir şekilde kullanılan, determinasyon katsayısına ( $R^2$ ) göre belirlenmektedir. Tüm verilerin regresyon çizgisi üzerine düştüğü ideal durumda  $R^2=1$ , bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişki olmadığı durumda  $R^2=0$  değerini almaktadır (Koutsoyiannis, 1989). Aynı değişken setinden farklı regresyon modelleri oluşturulabilir. Bu çalışmada stepwise (adımsal) regresyon modeli kullanılmıştır.

**Stepwise (adımsal) regresyon.** Çok sayıda bağımsız değişkenin ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) bulunması durumunda, Y bağımlı değişkenini en iyi açıklayan regresyon denkleminin ortaya çıkarılması oldukça önemlidir. Bu durumda en önemli bağımsız değişkenler setini belirleyecek bir süreç kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle adımsal regresyon analizi yöntemine başvurulmaktadır. İlk adımda her bir bağımsız değişken (n sayıdaki) ayrı ayrı olmak üzere,

$$Y = A + B_1 X_1 + E \quad (2)$$

biçimindeki basit regresyon denkleminde uyarlanır. Bu tekli regresyonlar içinde t değeri en anlamlı olanı seçilir. Önceden belirlenen anlamlılık düzeyine ulaşmamış değişken varsa işlem durdurularak bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkeni açıklamadığı sonucuna varılır. İkinci adımda, bir önceki adımda seçilen en anlamlı değişkene sahip basit regresyon modeline, geride kalan (n-1 sayıdaki) bağımsız değişkenler teker teker dahil edilerek,

$$Y = A + B_1 X_1 + B_2 X_2 + E \quad (3)$$

şeklindeki regresyon modellerinin tahmini yoluna gidilir. Önceden seçilen önem düzeyine göre t istatistiklerine bakarak bazı değişkenler denklemden dışlanırken, bazı değişkenlerin denklemden kalmasına karar verilir. Bu iki bağımsız değişkenli regresyonlar içinden  $R^2$  si en büyük olan, en iyi regresyon modeli olarak seçilir. Ayrıca basit regresyona yeni değişkenlerin eklenmesi önceki değişkenin anlamlılığını etkileyebilir. Bu adımda önceki değişkenin denklemden kalması da söz konusu olabilir. Son adımda, en iyi olarak seçilen regresyon denkleminde, geride kalan (n-2 sayıdaki) bağımsız değişken teker teker dahil edilerek ikinci adımdaki işlemler tekrarlanır. Benzer şekilde işlem, tüm bağımsız değişkenler bitinceye kadar sürdürülür. Bunun sonucunda bağımlı değişken Y yi en iyi açıklayan bağımsız değişkenler tarafından tanımlanmasına çalışılır (Bowerman ve O'Connell, 1987).

Bu çalışmada ozon kirleticisi ile diğer kirleticiler ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için adımsal regresyon analizi kullanılmıştır.

## SONUÇLAR

### Hava Kirleticilerin ve Meteorolojik Parametrelerin Değerlendirilmesi

1995-96 ve 1996-97 kış sezonu için ölçüm alınan günlere ait kriter hava kirleticileri ve meteorolojik parametreler ait değerler Tablo 1'de verilmiştir. Kriter hava kirleticileri için Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde verilen sınır değerler Tablo 2'de gösterilmiştir (Çevre ve Orman Bakanlığı,1986).

**Tablo 1.** 1995-97 yılları arasında ölçülen kriter kirletici konsantrasyonları ve meteorolojik parametre değerleri

	Ortalama	Maksimum	Minimum	Standart Sapma	Gözlem sayısı
CO konsantrasyonu ( $\text{mg m}^{-3}$ )	1,4	11,8	0	1,3	185
NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> ) konsantrasyonu ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	76,9	305	9,1	57	185
O <sub>3</sub> konsantrasyonu ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	24,8	67,8	0,3	15,8	185
SO <sub>2</sub> konsantrasyonu ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	252	1915	13	317	185
TSP konsantrasyonu ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	112	749	0,72	116	185
Sıcaklık (°C)	-5,1	9	-26	7,5	185
Nispi Nem (%)	60	98	18	21	185
Rüzgar hızı (m/s)	0,8	6,8	0	0,9	185

**Tablo 2.** Hava Kalitesi Korunması yönetmeliğinde kriter kirleticiler için verilen sınır değerler

Kriter kirletici	Birim	UVS (uzun vadeli sınır değer)	Kış Sezonu (Ekim-Mart) Ort.	KVS (kısa vadeli sınır değer)
CO konsantrasyonu	( $\text{mg m}^{-3}$ )	10		30 (günlük maksimum)
NO <sub>2</sub> konsantrasyonu	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	100		300 (günlük maksimum)
NO konsantrasyonu	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	200		600 (günlük maksimum)
O <sub>3</sub> konsantrasyonu	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	-		240 (saatlik maksimum)
SO <sub>2</sub> konsantrasyonu	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	150	250	400(günlük maksimum)
TSP konsantrasyonu	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	150	200	300(günlük maksimum )

CO, NO<sub>x</sub> kirleticileri KVS sınır değerlerini geçmemiştir. Ancak SO<sub>2</sub> ve TSP değerleri toplam yedi gün için KVS sınır değerini aşmıştır. Bu günlere yönelik değerler Tablo 3’de gösterilmiştir. Bu günlere ait ortalama sıcaklık -13°C ve rüzgar hızı 0.18 m s<sup>-1</sup> olarak görülmektedir. Ortalama sıcaklık ve ortalama rüzgar hızı değerlerinin altında olan bu günlerde kirletici seviyelerinde artış görülmüştür. Sıcaklığın düşük olması ısınma amaçlı yakıt tüketiminin artmasına ve dolayısıyla havaya salınan SO<sub>2</sub> ve TSP miktarının artmasına neden olmuştur. Bu episod günlerine olumsuz meteorolojik şartlarında etkisi bulunmaktadır. Özellikle kış aylarında sık oluşan inversiyon olayı, hava kirleticilerin dağılımını engellemektedir.

**Tablo 3.** KVS değerinin aşıldığı günler için kirletici seviyeleri

	Ortalama	Maksimum	Minimum	Standart Sapma	Gözlem sayısı
SO <sub>2</sub> konsantrasyonu (µg m <sup>-3</sup> )	1310	1915	417	512	7
TSP konsantrasyonu (µg m <sup>-3</sup> )	380	476	306	65	7
Sıcaklık (°C)	-12,9	1,1	-23,4	9,6	7
Nispi Nem (%)	83	89	77	4	7
Rüzgar hızı (m/s)	0,18	0,63	0,10	0,18	7

### Kirleticiler ile Meteorolojik Parametrelerin Korelasyonu

Tüm kirleticiler ayrı ayrı meteorolojik parametrelerle ilişkilendirilmiştir. Modellerin uygunluğu determinasyon katsayısına (r) göre belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4. de verilmiştir.

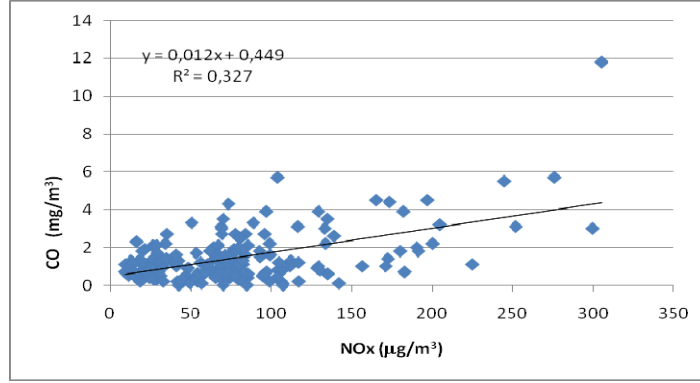
**Tablo 4.** Kirleticiler ve meteorolojik parametrelerden elde edilen korelasyon katsayısı değerleri

	CO	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM	SO <sub>2</sub>
Sıcaklık	-0,08	-0,36	0,17	-0,37	-0,45
Rüzgar hızı	-0,01	-0,39	0,31	-0,30	-0,31
Nispi Nem	0,09	0,09	0,13	0,09	-0,46

Kirleticiler ile sıcaklık arasında ilişki incelendiğinde, ozon hariç diğer kirleticilerde negatif bir ilişki bulunmaktadır. Ozon oluşumunda sıcaklığın pozitif bir etkisi bulunmaktadır. Sıcaklık arttıkça ozon seviyelerinde artışlar beklenmektedir. Benzer sonuçlar (Dueñas vd., 2002)' da görülmektedir. Sıcaklık azaldıkça, özellikle konut ısınmasına bağlı olarak kirletici seviyelerinde artışlar beklenmektedir. Nispi nem ile kirleticiler arasında pozitif ve düşük bir korelasyon görülmüştür. Taşdemir ve arkadaşları (2005) kirleticiler ile nispi nem arasında yetersiz bir ilişki olduğunu açıklamıştır. Ancak bu çalışmada, SO<sub>2</sub> konsantrasyonu azalan nem miktarı ile artmaktadır. Rüzgar hızının, esme yönüne bağlı olarak kirletici seviyelerini azaltacağı bilinmektedir (Ocak ve Barlık, 2002). Bu çalışmada da kirletici seviyelerinde, O<sub>3</sub> hariç, rüzgar hızı arttıkça azalma görülmektedir.

### CO-NO<sub>x</sub> Korelasyonu

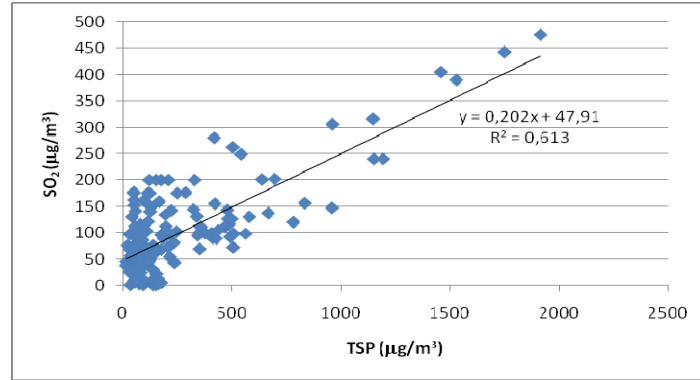
CO karşı NO<sub>x</sub> kirleticisinin dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. CO ve NO<sub>x</sub> kirleticileri genellikle hareketli kaynaklarla ilişkilendirilmektedir (Aneja vd., 2001). CO aynı zamanda yanma verimi yüksek olmayan sobalı konutlardan ve yakma şartlarının dikkat edilmediği merkezi ısıtma tesislerinden de yayılmaktadır. CO ve NO<sub>x</sub> için benzer konsantrasyon örneklerinin, bu kirleticilerin ortak kaynak(lardan) yayıldığını gösterebilir (Cardenas,1998; Taşdemir vd., 2005). Bu çalışmada CO-NO<sub>x</sub> arasında R<sup>2</sup>=0,33 makul bir doğrusal ilişki gözlenmiştir. CO ve NO<sub>x</sub> arasında pozitif bir ilişki belirlenmiştir. Ancak R<sup>2</sup> değeri, her iki kirleticinin aynı kaynaktan olduğu sonucuna varacak kadar yüksek değildir.



Şekil 2. CO-NOx dağılım grafiği

### SO<sub>2</sub>-TSP Korelasyonu

SO<sub>2</sub> karşı TSP kirleticisinin dağılımı Şekil 3. de verilmiştir. SO<sub>2</sub>-TSP arasındaki yüksek korelasyon kirlenici kaynaklarının büyük olasılıkla (büyük ölçekte) aynı kaynaktan olacağı şeklinde ifade edilmektedir (Taşdemir vd., 2005). Kirleniciler arasındaki ilişki Bursa için 0,55 (Taşdemir vd., 2005), İstanbul için 0,87 (Tayanç, 2000) olarak hesaplanmıştır. Kirleniciler arasındaki bu korelasyon yüksek kükürt ve kül içeren kömürlerin yakılması ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada kuvvetli bir SO<sub>2</sub>-TSP ilişkisi bulunmuştur ( $R^2=0,61$ ). Ölçümlerim yapıldığı bölgede, kükürt ve kül içeren katı yakıtların (kömürlerin) ısınma amacı ile yaygın olarak kullanılması, bu kirlenicilerin miktarlarının artmasına neden olmaktadır.

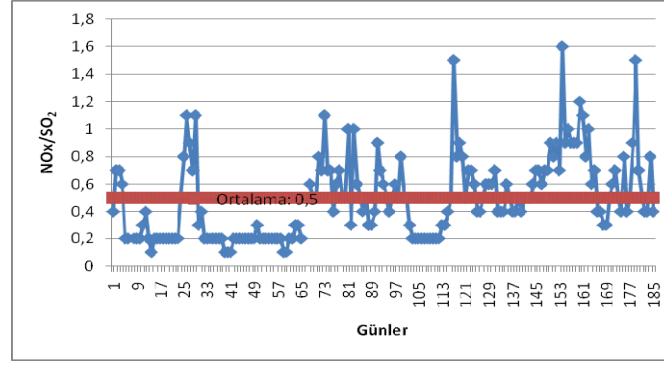


Şekil 3. SO<sub>2</sub>-TSP dağılım grafiği

### NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> değişimi

NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> kirlenicileri örnekleme yapılan alanda genellikle trafik ve konut ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Basit bir indeks olan NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranı kirlenici kaynakların belirlenmesi için kullanılabilir (Aneja vd., 2001). NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranı genellikle meteorolojik şartlara bağlı değildir. Düşük NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranı yüksek kükürt içeriğine sahip kömürlerin yakıldığı nokta kaynakları tanımlamaktadır (Taşdemir vd., 2005). Bu çalışmada günlük NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan oranlar Şekil 4'te verilmiştir. NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranı Bursa için 0,3-3,4 arasında değişmektedir. Bu çalışmada ise 0,1-1,6 arasında olup ortalaması  $0,5\pm 0,2$  olarak hesaplanmıştır. Sıcaklığın düşük olduğu ve ısınma amaçlı yakıt tüketiminin arttığı günlerde NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranının düştüğü görülmektedir.





Şekil 4. NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranının değişimi

### Çoklu Regresyon Denklemleri

Ozon kirleticisi için adımsal regresyon analizi kullanılarak çıkarılan modeller ve literatürde geçen bazı regresyon modelleri Tablo 5. de verilmiştir.

Tablo 5. Ozon kirleticisine ait çeşitli çoklu regresyon denklemleri

	Çoklu regresyon denklemi	R	Referans
O <sub>3</sub>	4.7*WS+0.4*T+0.2*RH-0.1*NO <sub>x</sub> +(0.6*bir önceki gün O <sub>3</sub> )	0,92	Bu çalışma
O <sub>3</sub>	5.3*WS+0.4*T+0.1*RH+(0.7*bir önceki gün O <sub>3</sub> )	0,87	Bu çalışma
O <sub>3</sub>	42.2+(0.39*bir önceki gün O <sub>3</sub> )+1.27*T+0.02*NO <sub>2</sub> -(4.37*log WS)	0,67	Prybutak vd, 2000
O <sub>3</sub>	44.4+0.70*T+0.02*SR+(0.3*bir önceki gün O <sub>3</sub> )	0,69	Spellman, 1999
O <sub>3</sub>	67.1+0.004*NO <sub>x</sub> +1.94*T	0,58	Olszyna vd, 1997
O <sub>3</sub> (max)	18.1+0.44*(bir önceki gün O <sub>3</sub> )+0.31*ışık yoğunluğu-5.8*10 <sup>-2</sup> *NO+5.53*(-cos((2πd/365)+0.44))+0.25*O <sub>3</sub> +0.22*NO <sub>2</sub>	0,77	Barrero vd., 2006
O <sub>3</sub>	84.1+0.97*T(0.19*RH)+0.03*SR	0,65	Akdemir ve Ergun, 2007
O <sub>3</sub>	74.5(0.01*NO <sub>2</sub> )+0.05*GR+0.33*WS	0,60	Akdemir ve Ergun, 2007

Analiz sonuçlarına göre ozon kirleticisini en iyi açıklayan parametreler; rüzgar hızı, sıcaklık ve nem gibi meteorolojik parametrelerin yanında NO<sub>x</sub> kirleticisi ve bir önceki gün ozon konsantrasyonu olarak sıralanmaktadır. Artan NO<sub>x</sub> konsantrasyonu ozon miktarını azaltmaktadır. Bir önceki gün ozon konsantrasyonu ile meteorolojik parametrelerin ise ozon üzerine pozitif bir etkisi olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen ozon denklemleri verilen diğer modellere nispeten ozon seviyelerini daha iyi ifade etmektedir (Tablo 5).

### SONUÇ DEĞERLENDİRME

Kent merkezinden alınan ölçüm sonuçları ulusal kriterlere göre değerlendirildiğinde CO, NO<sub>x</sub> ve O<sub>3</sub> kirleticilerinin sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür. SO<sub>2</sub> ve TSP değerleri, sıcaklığın ve rüzgar hızının mevsim ortalamasının altında olduğu günlerde sınır değerlerini aşmıştır.

Sıcaklık, rüzgar hızı ve nispi nemin kirletici seviyelerini azaltıcı etkiye sahip olduğu görülmektedir. Kriter kirletici seviyelerinde, kış aylarında konut ısınması ve trafiğe bağlı olarak artışlar görülmüştür. CO-NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub>-TSP korelasyon sonuçları emisyon kaynakları arasındaki bağıllığı göstermektedir. NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> oranı ise sıcaklık değişimine göre kaynakların değişimini göstermektedir. Sıcaklığın daha düşük olduğu (Aralık, Ocak, Şubat) aylarda konut ısınmasının trafik yüküne oranla daha etkin bir kaynak olduğu bulunmuştur. Ozon derişimlerinin hesaplanmasında, meteorolojik parametrelerin yanında diğer kirleticiler ve ozona ait önceki gün konsantrasyonun da etkili olduğu görülmüştür.

## ÖNERİLER

Hava kirliliği yönetim planları ve eylem stratejilerinin oluşturulmasında, hava kirletici kaynaklarının ve emisyonlarının ve bunların atmosferdeki etkileşimlerinin anlaşılması önemlidir. Kirletici kaynaklarının belirlenmesinde CO-NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub>-TSP dağılımları ve NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> indeksi kullanılabilir. Ayrıca atmosferdeki etkileşimlerin belirlenmesinde meteorolojik parametreler ile kirleticiler arasındaki istatistiksel ilişki önemlidir. Kirleticiler ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki, hava kirliliği hakkında önemli bilgi sağlamaktadır. Bu nedenle kirlilik seviyelerinin tahmin edilmesinde bu tip modellerin kullanımı önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

Akdemir A., Ergun O.N. Şehir merkezinin dışında kalan alanlarda ortam havası kalite parametrelerinin izlenmesi, Ulusal Çevre Sempozyumu, Mersin Ü. Çevre Müh. Böl., Mersin, 2007.

Akkaya, Ş., Pazarlıoğlu, M.V. Ekonometri II, Erkam Yayınevi, İzmir, 1998.

Aneja V.P., Adams A.A., Arya S.P. An observational based analysis of ozone trends and production for urban areas in North Carolina, Chemosphere-Global Science 2 (2) 157-165, 2000.

Aneja V.P., Agarwal A., Roelle P. A., Philips S. B., Tong Q., Watkins N., Yablonsky. Measurements and analysis of criteria pollutants in New Delhi, India, *Environment International* 27(1): 35-42, 2001.

Bowerman B.L. and R.T. O'Connell. Time Series Forecasting Unified Concepts and Computer Implement, Duxbury Pres., Boston, 1987.

Cardenas L.M., Austin J. F., Burgess R. A., Clemitshaw K. C., Dorling S., Penkett S. A and Harrison R. M. Correlations between CO, NO<sub>y</sub>, O<sub>3</sub> and non-methane hydrocarbons and their relationship with meteorology during winter 1993 on the North Norfolk Coast, UK, *Atmospheric Environment* 32(19) 3339-3351, 1998.

Çevre ve Orman Bakanlığı, Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği, Resmi Gazete 19269, Ankara, 1986.

Dueñas C., Fernández M.C, Cañete S., Carretero J. and Liger E. Assessment of ozone variations and meteorological effects in an urban area in the Mediterranean Coast, *The Science of the Total Environ.* 299(1-3), 97-113, 2002.

Elminir H.K. Dependence of urban air pollutants on meteorology, *Science of The Total Environment* 350(1-3): 225-237, 2005.

Gupta A.K., Karar K., Ayoob S. and John K. Spatio-temporal characteristics of gaseous and particulate pollutants in an urban region of Kolkata, India, *Atmospheric Research* 87(2): 103-115, 2007.

Koutsoyiannis A. *Ekonometri Kuramı, Ekonometri Yöntemlerinin Tanıtımına Giriş.* Verso Yayıncılık, Ankara, 1989.

Mouli P.C., Kumar M.P, and Reddy J. Monitoring of air pollution in Indian metropolitan cities: modelling and air quality indexing, *Int. J. Environment and Pollution* 21(4): 365-382, 2004.

Ocak S., Oğuz E., Erhan E., Emsen E., Turalıoğlu S., Keskinler B. Erzurum'da kış sezonu hava kalitesi profili, Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu II, Gebze Yüksek Tek. Enst. ve TÜBİTAK MAM, Kocaeli. 1997.

Ocak S., Demircioğlu N. Erzurum ili Kasım 1995-Nisan 1996 hava Kalitesi profili. I.Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu, Atatürk Univ. Çevre Sor. Arş. Mer., Erzurum, 2002.

Ocak S ve Barlık N. SO<sub>2</sub> ve PM derişimlerinin hakim rüzgar yönü ile ilişkilendirilmesi, I.Ulusal Çevre Sempozyumu, Atatürk Ü. Çevre Sor. Araş. Mer., Erzurum, 2002.

Ocak S., Ocak A. Erzurum İli ıslak birikim profili ve etkileri. VII. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2007.

Olszyna K. J., Luria M., Meagher J.F. The concentration of temperature and rural ozone levels in Southeastern USA, *Atmospheric Environment* 31(18) 3011-3022, 1997.

Prytubak V.R., Yi J., Mitchell D. Comparisan of neural network models with ARIMA and regression models for prediction of Houston's daily maximum ozone concentration, *European Journal of Operational Research*, 122(1) 31-40, 2000.

Seinfeld, J.H. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley and Sons, New York, 1986.

Spellman G. An application of artificial neural networks to the prediction of surface ozone concentrations in the United Kingdom, *Applied Geography* 19: 123-136, 1999.

Taşdemir Y., Cindoruk S.S. ve Esen F. Monitoring of criteria air pollutants in Bursa, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 110 (1-3) 227-241, 2005.

Tayanç M. An assessment of spatial and temporal variation of sulphur dioxide levels over Istanbul, Turkey, *Environmental Pollution*, 107(), 61-69, 2000.

Turalioglu F.S., Nuhoglu A., Bayraktar H. Impacts of some meteorological parameters on SO<sub>2</sub> and TSP concentrations in Erzurum, Turkey, *Chemosphere* 59(11): 1633-1642, 2005.

USEPA National Air Quality and Emissions Trends Report.

Website: <http://www.epa.gov/airs/criteria.html>.2000

Vardoulakis S. and Kassomenos P. Sources and factors affecting PM10 levels in two European cities: implication for local air quality management, *Atmospheric Environment*, 42(17) 3949-3963, 2008.

Witz S and Moore A.B. Effect of meteorology on the atmospheric concentrations of traffic-related pollutants at a Los Angeles site. *JAPCA* 31(10)1098-1101, 1981.