

BURSA ATMOSFERİNDE ÖLÇÜLEN KLASİK HAVA KİRLİTİCİLERİN BİRBİRLERİ İLE OLAN İLİŞKİLERİ

*Tuncay ERBAŞLAR**

*Yücel TAŞDEMİR**

Özet: Bir şehirdeki hava kirliliği evsel ısınma, endüstriyel aktiviteler, motorlu taşıtlar ve arkaplan seviyelerini içeren farklı kaynakların katkısından oluşur. CO, NO_x, SO₂, HK ve PM gibi bazı hava kirleticilerin konsantrasyonları Aralık 2001 ve Kasım 2002 periyotları arasında Bursa'nın iki semtinde ölçülmüştür. Genelde, düşük konsantrasyonlar sıcak mevsimlerde gözlenmiştir. Kirletici konsantrasyonları arasında korelasyonlar uygulanmış ve bazı kuvvetli ilişkiler belirlenmiştir. CO/NO_x ve NO_x/SO₂ oranları hava kirliliğine kaynak etkisini açığa çıkarmak için değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Hava Kirliliği, SO₂, NO_x, PM, HK, CO.

The Relationships Among Classic Air Pollutants Measured in the Atmosphere of Bursa

Abstract: Air pollution in a city occurs due to the contributions from different sources including motor vehicles, residential heating, industrial activities and background level. The concentrations of some air pollutants such as CO, NO_x, SO₂, HC and PM were measured in the period of December 2001 and November 2002 from two districts in the city of Bursa. In general, lower concentrations were observed in hot seasons. Correlations among pollutant concentrations were studied and some strong relationships were determined. CO/NO_x and NO_x/SO₂ ratios were also assessed to bring out the source origin contributing on air pollution.

Key Words: Urban Air Pollution, SO₂, NO_x, PM, HC, CO.

1. GİRİŞ

Hava kirliliği çeşitli doğal ve/veya antropojenik (İnsan kaynaklı) emisyon kaynaklarından oluşabilmektedir (Müezzinoğlu 2000, Finlayson Pitts ve Pitts 1986). Klasik hava kirleticiler genellikle antropojenik faaliyetler sonucu atmosfere deşarj edilirler. Başlıca klasik hava kirleticiler, kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), partikül madde (PM) ve hidrokarbonlar (HK)'dir. Bunların yanında çok daha küçük konsantrasyonlarda bile insan sağlığı için tehlikeli olabilen toksik hava kirleticiler de diğer önemli hava kirletici grubunu oluşturmaktadır (Finlayson Pitts ve Pitts 1986). Kirleticiler atmosfere ulaştıklarında dispersiyon ve taşınmaya maruz kalırlar. Ayrıca bunlardan bazıları kimyasal ve fiziksel dönüşümlere uğrayarak gaz ve partikül formdaki ikincil kirleticileri oluştururlar (Finlayson Pitts ve Pitts 1986).

Kükürt oksitlerin (SO_x) başlıca kaynakları arasında kükürt içeren fosil yakıtların yakılması, bazı kimyasal tesisler, metal işleme tesisleri ve çöplerin yakılması sayılabilir (Müezzinoğlu 2000, Özer ve ark. 1996, Taşdemir ve ark. 1998). Azot oksitlerin (NO_x) doğal kaynakları bakteri faaliyetleri, insan kökenli kaynakları ise yanma ve ulaşım başta olmak üzere endüstriyel faaliyetlerdir (Tünay ve Alp 1996). Karbon monoksitin (CO) en önemli kaynakları ulaşım ve yakma işlemleridir (Tünay ve Alp 1996). Partikül madde (PM) kaynakları, yakma prosesinin gerçekleştirildiği endüstriler, maden çıkarma ve inşaat yapım aktiviteleri, motorlu araçlar ve çöp yakmadır (Müezzinoğlu, 2000, Taşdemir 1999, Zırhlıoğlu 1999). Hidrokarbonların (HK) önemli doğal kaynakları bulunmaktadır. Bunlar arasında, biyolojik aktiviteler, kömür yatakları, doğalgaz ve petrol çıkarma alanları sayılabilir.

Taşıtlardan ve sabit kaynaklardan yanma son ürünü olarak atmosfere deşarj edilen CO ve NO_x kirleticileri arasında bir ilişkinin olması muhtemeldir (Erbaşlar, 2005, Stein and Toselli 1996). Yakıt türüne ve kullanım miktarına göre bu kirleticilerin konsantrasyonlarında bölgesel ve mevsimsel farklılıklar gö-

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa.

rılmektedir (Erbaşlar, 2005). Olcese ve ark. (2001) yaptıkları ölçümler sonucunda bu iki kirleticisi arasında lineer bir bağıntı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Başka bir çalışmada ise yanma kökenli NO_x ve NMHK kirleticilerinin birbirleri ile etkileşimi incelenmiştir (Saito ve ark., 2002). Kış mevsiminde kaynakların şiddetine paralel olarak daha yüksek korelasyon değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca, NO_x/NMHC oranlarının mevsimlere bağlı değişimleri de incelenmiş ve bu oranın kışın daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Saito ve ark. 2002). Farklı bir çalışmada, CO, SO₂ ve NO_x kirleticilerinin kaynaklarının mobil veya noktasal karakterde olmaları belirlenmeye çalışılmıştır (Goyal ve Sidharta, 2003). Bu amaçla, kirleticilerin birbirlerine oranları değerlendirilmiştir (Aneja ve ark., 2001). Yüksek CO/NO_x ve düşük SO₂/NO_x oranların mobil kaynakları karakterize ettiği savunulmuştur (Goyal ve Sidharta, 2003).

Bu çalışmada, Bursa'da Aralık 2001-Kasım 2002 dönemleri arasında konsantrasyonları ölçülen klasik hava kirleticilerinin birbirleri ile etkileşimleri incelenmiş ve sonuçlar literatürde yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Ölçümlerin Alınması

Ölçümler HORIBA marka otomatik cihazlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Karbon monoksit (CO) ölçümleri dispersiyonsuz çapraz modüllü infrared analiz metodu ile çalışan APMA-360 model, ozon (O₃) ölçümleri çapraz akış modüllü infrared absorpsiyon metodu ile çalışan APOA-360 model, azot oksitler (NO_x) ölçümleri çapraz akış modüllü yarı genişmeli kemilüminesans metodu ile çalışan APNA-360 model, kükürt dioksit (SO₂) ölçümleri ultraviyole floresans analiz metodu ile çalışan APSA-360A model, toplam hidrokarbon (THK) ölçümleri çapraz akış modülasyonlu seçici tür yakma metodu ve hidrojen iyonizasyon dedeksiyon metodu ile çalışan APHA-360 model ve partikül madde (PM) ölçümleri filtre üzerindeki toz örneğinin sürekli kütle belirlemesinin radyometrik elektronik sensor- compensation metodu ile belirlendiği FH 62-1 model cihazlar ile gerçekleştirilmiştir.

2.2. Ölçüm Bölgeleri

Bursa 40 derece boylam ve 28 - 30 derece enlem daireleri arasında Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan, toplam nüfusu 2000 Yılı Genel Nüfus Tespit sonuçlarına göre 2.106.687 kişi olan Türkiye'nin 4. büyük kentidir. Denizden ortalama yüksekliği 150 metre olan Bursa, genelde ılıman bir iklime sahiptir. Ancak, iklim bölgelere göre de değişiklik göstermektedir. Kuzeyde Marmara Denizi'nin yumuşak ve ılık iklimine karşılık, güneyde Uludağ'ın (2543 m) sert iklimi ile karşılaşmaktadır. 52 yıllık gözlem süresi itibari ile yıllık ortalama yağış miktarı 706 mm'dir. İlde ortalama nisbi nem % 69 civarındadır. İlin yüzey şekilleri, birbirlerinden eşiklerle ayrılmış çöküntü alanları ile dağlar halindedir. Çöküntü alanlarının başlıcalarını İznik ve Uluabat gölleriyle, Yenişehir, Bursa ve İnegöl ovaları oluşturmaktadır. Toplam yüzölçümü 10.891 km² olan Bursa ili topraklarının % 17'sini ovalar oluşturmaktadır (T.C. Bursa Valiliği Resmi İnternet Sitesi 2003).

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

Duaçınarı, Bursa-Ankara karayoluna yakın bir mesafede ve 40° 11' 29" boylam, 29° 06' 09" enlem dairelerinde bulunmakta olup, Bursa'nın 3 merkez ilçesinden biri olan Yıldırım ilçesine bağlıdır. Semtin sosyo-ekonomik yapısı Heykel'e nazaran daha zayıftır. Bölgede doğalgaz bulunmadığından yakıt olarak katı ve sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Bölge şehirler arası yola yakın olduğundan her tür araç trafiğine maruz kalmaktadır. Bölge, Heykel'e göre daha çukurda yer almaktadır. En yakın yükseklik semtin güneyinde uzanan Uludağ'ın sırtlarıdır. Heykel semti şehir merkezinde ve 40° 11' 02" boylam, 29° 03' 53" enlem dairelerinde yer almaktadır. Bölgede yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Şehrin en işlek caddelerinden olan Atatürk Caddesi Heykel'de yer almaktadır. Şekil 1'de Bursa haritası üzerinde Duaçınarı ve Heykel bölgeleri gösterilmiştir.

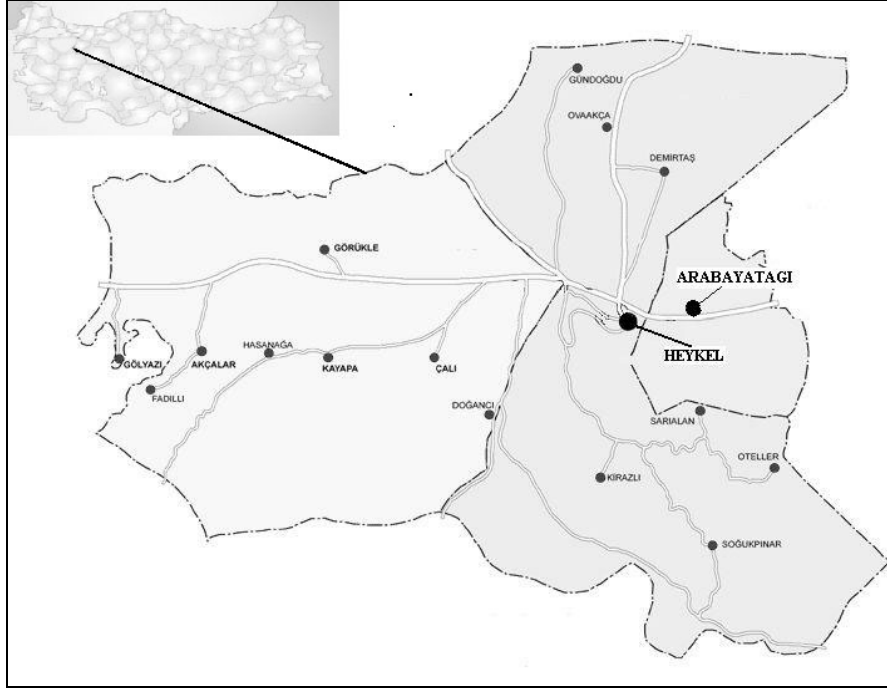
Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından Duaçınarı ve Heykel semtlerinde SO₂, PM, NO_x, THK, CO ve O₃ (Sadece Heykel'de) kirleticilerinin ölçümleri rutin olarak yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Aralık 2001 ve Kasım 2002 ayları arasında ölçülmüş olan konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. Bu

periyod, bir yıllık süreyi ve tüm mevsimleri içermesi bakımından seçilmiştir. Her 30 dakikada bir alınan veriler kullanılarak günlük ve aylık ortalamalar hesaplanmıştır.

2.3. Meteorolojik Veriler

Duaçınarı ve Heykel ölçüm istasyonlarında Aralık-2001 ve Kasım-2002 yılları arasında ölçülmüş olan meteorolojik verilerin aylık ortalamaları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de özetlenmiştir.

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



Şekil 1:
Örnek Alma Noktaları (Heykel ve Arabayatağı)

Tablo 1.
Duaçınarı Semti'nin Aralık 2001-Kasım 2002 Dönemi Aylık Meteorolojik Veri Ortalamaları

Aylar	Rüzgar Yönü*	Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
Aralık 01	DKD	2,63±3,16	5,66±4,56	79,96±14,23
Ocak 02	DGD	1,76±1,24	4,07±4,92	70,64±13,35
Şubat 02	GGD	1,49±1,5	10,97±4,15	59,45±16,83
Mart 02	GGD	1,52±1,02	11,55±5,48	66,24±18,63
Nisan 02	GB	1,32±0,61	12,00±3,83	74,91±17,10
Mayıs 02	GGB	1,45±0,79	18,82±4,43	59,24±17,26
Haziran 02	GGB	1,55±0,85	24,16±4,52	54,84±14,85
Temmuz 02	GGB	1,36±0,63	27,67±3,70	57,22±14,38
Ağustos 02	GB	1,39±0,69	25,74±3,96	57,97±13,57
Eylül 02	G	1,11±0,76	21,89±3,78	64,02±16,20
Ekim 02	GD	1,13±1,11	17,43±4,19	69,88±15,40
Kasım 02	DGD	1,23±0,96	13,43±4,23	65,58±15,73

*: Hakim rüzgar yönü

Tablo 2.
Heykel Semt'i'nin Aralık 2001-Kasım 2002 Dönemi Aylık Meteorolojik Veri Ortalamaları

Aylar	Rüzgar Yönü*	Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
Aralık 01	GD	0,89±0,63	5,68±4,06	78,48±12,25
Ocak 02	G	0,74±0,46	4,50±4,79	69,43±11,19
Şubat 02	G	0,68±0,44	11,45±3,64	55,84±14,16
Mart 02	GGD	0,75±0,54	12,04±5,39	63,23±17,74
Nisan 02	DGD	0,62±0,38	12,69±3,90	70,22±16,43
Mayıs 02	GD	0,70±0,40	19,87±4,43	53,35±15,42
Haziran 02	DGD	0,82±0,52	25,20±4,47	49,67±12,98
Temmuz 02	GGD	0,68±0,36	28,58±3,77	51,76±12,41
Ağustos 02	G	0,73±0,41	26,37±3,95	53,80±11,35
Eylül 02	G	0,62±0,34	22,41±3,37	58,82±13,81
Ekim 02	G	0,63±0,35	17,98±3,77	64,05±12,74
Kasım 02	GGD	0,60±0,31	14,09±3,68	59,46±13,37

*: Hakim rüzgar yönü

3. SONUÇLAR VE YORUM

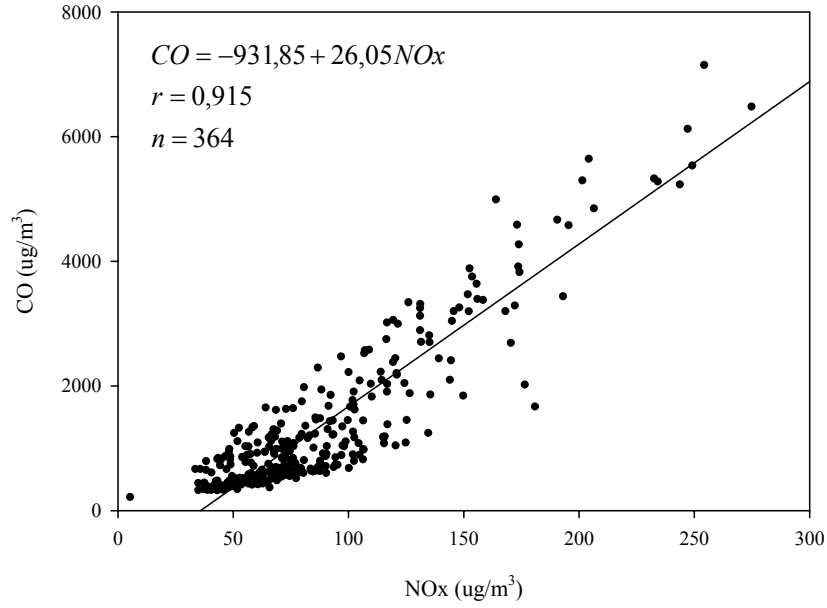
Bu çalışma kapsamında her 30 dakikada bir alınan veriler kullanılarak elde edilen değerlerden hareketle kirlenmelerin birbirleriyle olan ilişkileri bir yıllık periyot için değerlendirilmiş ve aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir. İlişkileri incelenen kirlenmelerin mevsimsel konsantrasyonları Tablo 3'de verilmiştir.

3.1. CO ve NO_x Kirlenmelerinin Birbirleri İle Etkileşimi

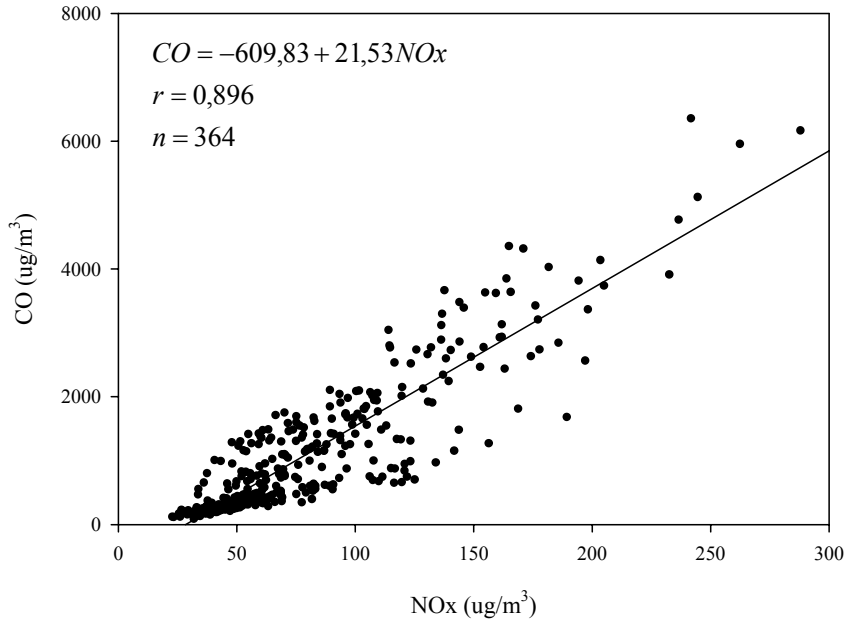
Bursa'da özellikle ölçümlerin yapıldığı bölgelerde taşıt trafiği oldukça yoğundur. Dolayısıyla taşıtlardan kaynaklanan CO ve NO_x kirlenmeleri örnekleme noktalarında kırsal kesimlere göre daha büyük seviyelerde gözlenmektedir (Baumbach 1996, Seinfeld 1986). Örneğin, NO₂ konsantrasyonları kırsal bölgelerde 1-2 ppb iken, kirlenmelerde 2-100 ppb, CO konsantrasyonu da kırsal bölgelerde 100-200 ppb iken, kirlenmelerde 1000-50000 ppb seviyelerinde olmaktadır (Baumbach 1996, Seinfeld 1986).

Tablo 3.
Duaçınarı ve Heykel'de Ölçülen Mevsimsel Kirlenme Konsantrasyonları (µg/m³)

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



Şekil 2:
Duanınarı Bölgesi İçin Belirlenen CO ve NO_x Kirleticileri Arasındaki İlişki



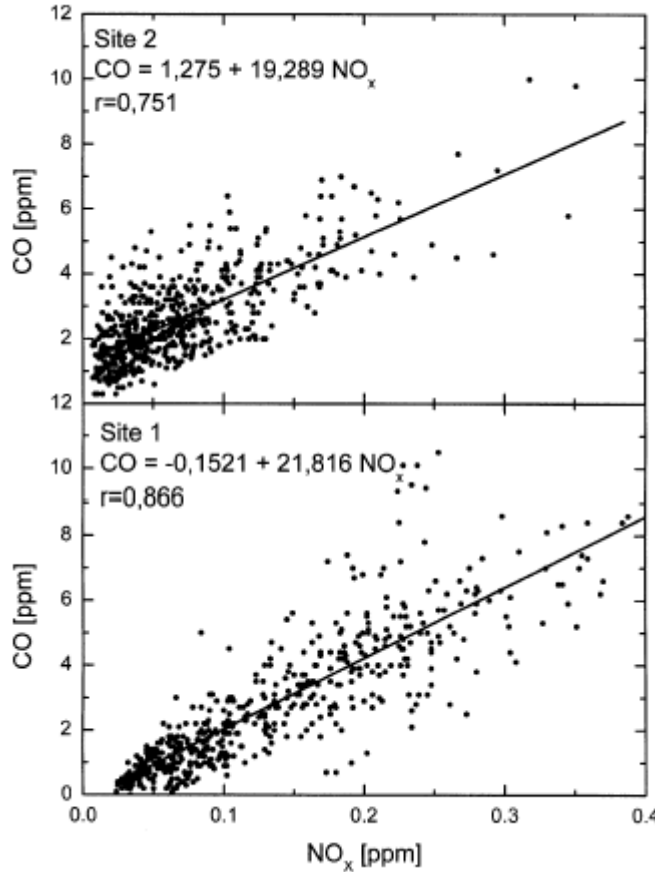
Şekil 3:
Heykel Bölgesi İçin Belirlenen CO ve NO_x Kirleticileri Arasındaki İlişki

CO ve NO_x'lar yanma son ürünü olarak atmosfere deşarj edildiklerinden, ölçüm periyodunda Aralık 2001-Kasım 2002 döneminde Duanınarı ve Heykel'de ölçülen ortalama günlük CO ve NO_x kirleticilerinin birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Duanınarı ve Heykel'de yoğun bir trafik vardır. Ancak Duanınarı'nda ağır tonajlı araçların oranı daha fazladır. Kamyon, otobüs ve minibüslerden yayılan kirleticilerin emisyon faktörleri, otomobillerden yayılan kirletici emisyon faktörlerinden daha farklı ve büyüktür (Kılıç ve Gemci 1999, Odabaşı 1993, Tırıs ve ark. 1993). Dolayısıyla Duanınarı'nda trafik kaynaklı CO ve NO_x kirliliği, Heykel'den daha fazladır. Ayrıca, Duanınarı'nda ısınma amaçlı katı ve sıvı yakıtlar ağırlıklı olarak kullanılırken, Heykel'de doğalgaz yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu durum, Duanınarı'nda daha yüksek CO konsantrasyonlarının oluşumuna sebep olabilecek niteliktedir. Ancak, Heykel ölçüm bölgesi rüzgarlara karşı daha korunaklıdır. Dolayısıyla, seyrelmeler Heykel'de daha düşük oranlarda gerçekleşmektedir. Erbaşlar (2005) tarafından Bursa'nın Heykel semtinde

yapılan bir çalışmada, ölçülen CO ve NO_x konsantrasyonlarının çok büyük bir oranının trafikten kaynaklandığı belirlenmiştir. CO ve NO_x kirleticilerinin kaynakları genelde benzer olduklarından yüksek korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Toplam kirlenici konsantrasyonlarının önemli bir bölümü mobil kaynaklardan ileri gelmektedir (Stein and Toselli 1996).

Arjantin'in Cordoba şehrinde Haziran 1995-Nisan 1996 tarihleri arasında yapılan çalışma ile mobil kaynaklardan atmosfere yayılan CO ve NO_x konsantrasyonları ölçülmüştür. Karbon monoksit infrared absorpsiyon esasına göre çalışan bir cihazla, NO_x ise gaz fazında ozonla reaksiyona giren kemilüminesans metod ile çalışan sensörler yardımıyla ölçülmüştür. İki ayrı bölgede ölçümler gerçekleştirildikten sonra CO konsantrasyonunun NO_x konsantrasyonuna bağlı lineer regresyon modeli oluşturulmuş ve sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir (Olcese ve ark. 2001).

Seçilen her iki örnekleme noktası da cadde üzerinde yer almaktadır. Korelasyon katsayıları (r) bu bölgeler için 0,751 ve 0,866 olarak bulunmuştur (Olcese ve ark. 2001). CO ve NO_x kirleticilerinin başlıca kaynakları trafikte seyreden araçlardır. Bulunan sonuçlar, CO ile NO_x kirlenici yoğunlukları arasında yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir. NO_x konsantrasyonu arttıkça, aynı kaynaktan CO de çıktığı için CO konsantrasyonu da artmaktadır (Olcese ve ark. 2001). Bu sonuçlar, bizim çalışmamızda bulunan CO-NO_x ilişkisine paralel olup makul seviyede yüksektir.



Şekil 4:
İki Ayrı Noktada Ölçülen CO ve NO_x Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

3.2. NO_x ve NMHK Kirleticilerinin Birbirleri İle Etkileşimi

Bursa ilinin Duaçınarı ve Heykel semtlerinde Aralık 2001-Kasım 2002 arasındaki ölçümler ile yapılan korelasyonlar sonucunda elde edilen veriler Tablo 4'de özetlenmiştir.

Bu çalışmada bulunan sonuçlar, Saito ve ark. (2002) tarafından Japonya'daki ölçümlerde bulunan sonuçlara benzer niteliktedir. Çalışmamızda ilkbahar mevsiminde bulunan düşük r değerleri, yaz ve kış aylarında daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Japonya'nın yerleşim bölgelerinde ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde ölçülmüş olan günlük ortalama NO_x (azot oksitler) ve NMHC (non-metan hidrokarbon) kirlenici-

cilerinin birbirlerine bağlı değişimini ve istatistiksel sonuçlarını içeren ilişki Şekil 5’te verilmiştir (Saitoa ve ark. 2001). Japonya’da 1991-2001 yılları arasında bu iki kirleticinin saatlik bazlarda mevsimsel değişimleri ve fotokimyasal potansiyelleri incelenmiş ve deney sonuçları aralarında ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Buna göre kış mevsiminde görülen nispeten yüksek korelasyon değerine ($r^2=0,60$) karşılık, ilkbahar ve yaz aylarında daha düşük korelasyonlar ($r^2= 0,38$ ve $0,33$) bulunmuştur.

Tablo 4.
Duaçınarı ve Heykel Semtlerindeki NO_x ve NMHC Kirleticilerinin Lineer İlişkileri

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

y: NO_x konsantrasyonu, x: NMHC konsantrasyonu

Tüm mevsimlerde NO_x konsantrasyonu ile NMHC konsantrasyonu değişimi doğru orantı göstermiştir. NO_x/NMHC oranları Heykel’de yaz mevsimi için ~0,25, kış mevsimi için 0,1-0,3 arasında ortalama değerine sahipken, Duaçınarı’nda yaz mevsimi için ~0,5, kış mevsiminde 0,3-0,4 ortalama oran değerlerini almıştır. Heykel’de NO_x/NMHC oranları mevsimlere göre önemli bir değişim göstermezken, Duaçınarı’nda yaz mevsimi oranları daha yüksek bulunmuştur. Yani yaz mevsiminde NO_x konsantrasyonlarında bir artış söz konusu olmaktadır. Kış aylarında ise yakmanın da etkisiyle bu ilişki maskelenmektedir.

Şekil 5’te verildiği gibi NO_x konsantrasyonu NMHC konsantrasyonuna bağlı olarak artış göstermektedir. Yapılan çalışmada ayrıca, NO_x/NMHC oranlarının mevsimlere bağlı değişimleri de incelenmiş ve şu sonuçlar bulunmuştur (Saitoa ve ark. 2002):

- Yaz aylarında NO_x/NMHC oranları ~0,1 iken, kış aylarında bu oran ~0,2’dir.
- Bu oranın yaz aylarında azalmasının sebebi; NMHC’ye bağlı olarak NO_x konsantrasyonunun nispeten azalması yada NO_x’a bağlı olarak NMHC konsantrasyonunun nispeten artmasıdır.
- NO_x konsantrasyonunun azalmasında OH radikalının de önemli bir rolü vardır ($\text{OH}+\text{NO}_2\rightarrow\text{HNO}_3$).

3.3. CO/NO_x ve SO₂/NO_x Konsantrasyonlarının Karakterizasyonu

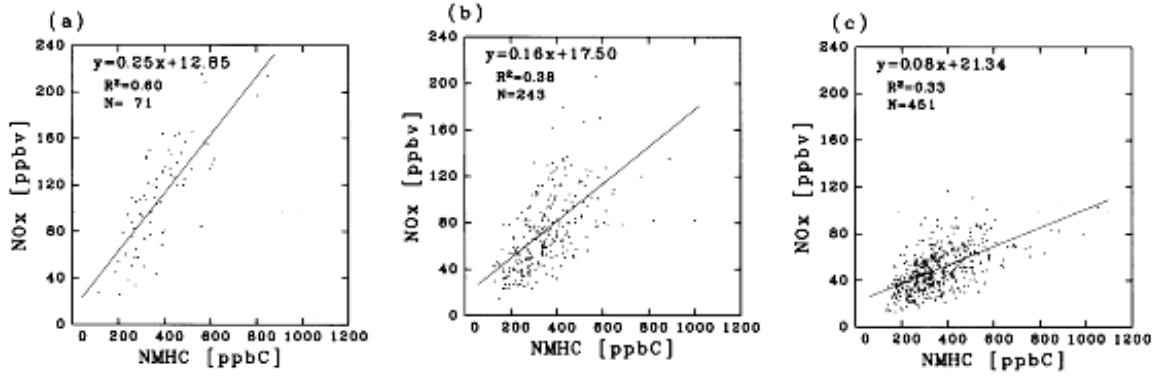
Goyal ve Sidharta (2003) tarafından Delhi’de yapılan çalışmada CO, SO₂ ve NO_x kirleticilerinin kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre genelde CO ve NO_x kirleticilerinin mobil emisyon kaynaklarından, SO₂ ve NO_x kirleticilerinin de noktasal kaynak emisyonlarından oluştuğu sonucuna varılmıştır. Yani yüksek CO/NO_x ve düşük SO₂/NO_x oranları mobil kaynakları, düşük CO/NO_x ve yüksek SO₂/NO_x oranları da noktasal kaynakları karakterize etmektedir.

Delhi’de aylık konsantrasyonlardan hareketle CO-NO_x ve SO₂-NO_x ilişkileri lineer regresyon modeli kullanılarak belirlenmiştir (Goyal ve Sidharta 2003). Benzer şekilde Heykel ve Duaçınarı’nda lineer regresyon modeli kullanılmış ve sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5.
CO ve NO_x ile SO₂ ve NO_x Arasındaki Lineer Regresyon Modeli

Bölge	CO-NO _x ilişkisi			SO ₂ -NO _x ilişkisi		
	Denklem	n	r ²	Denklem	n	r ²
Delhi	$\text{CO}=100,21\text{NO}_x-1729,9$	13	0,76	$\text{SO}_2=0,30\text{NO}_x+5,75$	12	0,79
Duaçınarı	$\text{CO}=28,14\text{NO}_x-1100,5$	24	0,81	$\text{SO}_2=0,52\text{NO}_x+0,48$	24	0,64
Heykel	$\text{CO}=24,53\text{NO}_x-744,04$	21	0,82	$\text{SO}_2=0,70\text{NO}_x-20,21$	21	0,66

n: Aylık değerler gözönüne alınarak belirlenmiştir.



Şekil 5:
 NO_x ve NMHC kirleticilerinin kentsel yerleşim bölgelerindeki mevsimsel değişimleri
 (a) Kış, (b) İlkbahar, (c)Yaz

CO ve NO_x konsantrasyonları arasında Duaçınarı ve Heykel'de bulunan r^2 değerleri Delhi'de bulunan değerlerden biraz daha yüksektir. SO_2 ve NO_x konsantrasyonları arasında Duaçınarı ve Heykel'de bulunan r^2 değerleri Delhi'de bulunan değerden nispeten küçüktür. Ayrıca Duaçınarı ve Heykel'de CO- NO_x modeli ile bulunan korelasyonlar ve SO_2 - NO_x modeli ile bulunan korelasyonlardan daha büyüktür. Bu sonuçlar da Bursa'daki kirleticilerin oluşumunda mobil kaynakların (Araç trafiği), noktasal kaynaklara (Isınma vb.) göre daha önemli olduğunu göstermektedir.

Aneja ve ark. (2001) tarafından Yeni Delhi'de yapılmış bir başka çalışmada, ortalama günlük konsantrasyonlar kullanılarak CO ve NO_x değerleri arasında lineer regresyon modeli uygulanmış ve r^2 değeri 0,27 olarak bulunmuştur. Heykel ve Duaçınarı'nda ölçülmüş günlük CO ve NO_x konsantrasyonları arasında model ile bulunmuş r^2 değerleri sırasıyla 0,79 ve 0,80'dir. Aynı çalışmada CO/ NO_x oranı ~50 iken, bizim çalışmamızda bu oran ~13 olarak bulunmuştur. Yeni Delhi'de bulunan sonuçlar, bölgedeki meteorolojik koşullar ve fotokimyasal aktiviteler ile açıklanabilir. Kış sezonu boyunca genel meteoroloji olarak bölgede yüksek basınç oluşmakta ve bunun sonucunda atmosferik stabilite artmaktadır. Bu da atmosferde genel sirkülasyonu azaltmakta ve kirleticiler dağılamamaktadır. Ayrıca kış mevsiminde OH radikalinin etkisiyle CO konsantrasyonunda azalma gözlenmediğinden, bu konsantrasyonlarda artış görülmektedir. Tüm bu etkenlerden dolayı Yeni Delhi'de düşük r^2 değerlerine rastlanmıştır.

NO_x , NO ve NO_2 'nin birleşiminden oluşmaktadır. Bursa için yüksek seviyelerde hesaplanan CO ve NO_x arasındaki korelasyonlar biraz daha detaylandırılmak istenmiş ve bu bağlamda CO ile NO, NO_2 ve NO_x ayrı ayrı her bir mevsim için hesaplanmıştır.

Duaçınarı ve Heykel'de CO ve SO_2 kirleticili konsantrasyonlarının NO, NO_2 ve NO_x konsantrasyonları ile aralarında mevsimlere göre oluşturulmuş lineer regresyon modelleri ve r değerleri Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir.

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

Tablo 6.
CO ile NO, NO₂ ve NO_x Değerleri Arasındaki Lineer Regresyon Modelleri

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

n: Saatlik değerler gözönüne alınarak belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen benzer sebeplerle, CO ve NO₂ konsantrasyonlarının regresyon modellerinde en yüksek r değerlerine yaz mevsimlerinde (Duaçınarı için 0,76, Heykel için 0,79) rastlanmıştır. En düşük r değerleri de bahar aylarında belirlenmiştir.

CO ve NO_x kirleticilerinin ana kaynakları motorlu araçlardır (Cardenas ve ark. 1998). CO ve NO_x kirleticileri arasındaki regresyon modellerinde yüksek korelasyonlara rastlanmıştır. Yine en yüksek korelasyonlara her iki semtte kış mevsiminde rastlanırken, en düşük korelasyonlara ilkbahar (0,82) ve sonbahar (0,76) mevsimlerinde rastlanmıştır.

CO'ın NO ve NO_x ile olan ilişkileri NO₂'ye oranla daha yüksek r değerleri vermiştir. Bu durum CO ile NO ve NO_x kirleticilerinin daha yakın bir ilişkide olduklarını göstermektedir. CO ile NO, NO₂ ve NO_x kirleticileri arasında pozitif korelasyon vardır. Çeşitli meteorolojik ve antropojenik etkenler ve kimyasal reaksiyonlar bunda rol oynamaktadır. Atmosferdeki NO₂ miktarı hava sıcaklığına bağlı olarak değişim gösterirken, taşıt egsozlarından ve yanmadan kaynaklanan NO₂ miktarı da kış mevsimlerindeki değişime maskeleyerek yapılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı atmosferdeki NO₂ konsantrasyon salınımı daha çok olmakta ve CO ile olan korelasyon katsayıları daha düşük çıkmaktadır.

Tablo 7.
SO₂ ile NO, NO₂ ve NO_x Değerleri Arasındaki Lineer Regresyon Modelleri

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

n: Saatlik değerler gözönüne alınarak belirlenmiştir.

SO₂ kirleticisinin NO, NO₂ ve NO_x kirleticileri ile ilişkileri mevsimsel bazda incelendiğinde, pozitif yönde korelasyonlar kurulmasının yanında, CO'ın bu kirleticilerle ilişkisinin daha yüksek r değerleri verdiği görülmüştür.

Duaçınarı ve Heykel'de SO₂ ile NO konsantrasyonları arasındaki ilişkilere bakıldığında, en yüksek korelasyon katsayılarına kış mevsimlerinde rastlandığı görülmüştür (0,61 ve 0,60). En düşük korelasyon katsayısı Duaçınarı'nda yaz mevsiminde (0,30), Heykel'de sonbahar mevsiminde (0,37) görülmüştür. Kış mevsiminde, özelliğinden dolayı, kirleticiler emisyonları ve atmosferik stabilite artmakta ve kirleticiler dağılımları azalmaktadır. Dolayısıyla kirleticiler konsantrasyon salınımları daha düşük seviyelerde olmaktadır. Bahar aylarından başlayarak yaz mevsimine doğru bu salınım artmakta ve korelasyon değerleri düşüş kaydetmektedir. Çünkü yaz mevsimine doğru yakma kaynaklı kirlilik ortadan kalkmaktadır. Ayrıca NO_x değerleri yaz mevsiminde sıcaklık dalgalanmasına bağlı olarak salınım göstermekte, bu da r değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır.

SO₂ ile NO₂ kirleticileri arasındaki regresyon modellerinde Duaçınarı ve Heykel'de en büyük r değerleri yine kış sezonunda görülmüştür (0,78 ve 0,80). Bu semtlerde kış mevsiminde ölçülen SO₂ ve NO₂ kirleticileri arasında, diğer mevsimlerde ölçülen değerlerine göre daha yakın bir ilişki vardır. SO₂ ve NO₂ arasında en düşük korelasyon katsayıları Duaçınarı'nda yaz mevsiminde 0,27, Heykel'de sonbahar mevsiminde 0,47 olarak hesaplanmıştır.

Duaçınarı ve Heykel'de ölçülen SO₂ ve NO_x konsantrasyonları arasında lineer regresyon modelleri incelendiğinde en yüksek r değerleri kış mevsiminde görülmüştür (0,76 ve 0,73). En düşük r değerlerine ise Duaçınarı'nda yaz mevsiminde (0,28), Heykel'de sonbahar mevsiminde (0,44) rastlanmıştır.

Genel olarak bakıldığında SO₂ ile NO, NO₂ ve NO_x kirleticileri arasında kış mevsiminde diğer mevsimlere oranla daha yakın bir ilişki bulunmuştur. Bu kirleticiler arasında en zayıf ilişki Duaçınarı'nda yaz mevsiminde, Heykel'de sonbahar mevsiminde görülmüştür. Kış mevsiminde korelasyon katsayısının yüksek çıkmasının en önemli sebebi, yakmadan kaynaklanan SO₂ miktarındaki artıştır.

4. KAYNAKLAR

1. Aneja, V. P., Agarwal, A., Roelle, P. A., Philips, S. B., Tong, Q., Watkins, N., Yablonsky, R. (2001) Measurements and analysis of criteria pollutants in New Delhi, India. *Environment International*, 27, 35-42.
2. Baumbach, L. G. (1996) *Environmental Engineering*. Förstner, U., Murphy, R.J., Rulkens, W.H. (Editors), Stuttgart Üniversitesi, Almanya.
3. Cardenas, L. M., Austin, J. F., Burgess, R. A., Clemitshaw, K. C., Dorling, S., Penkett, S. A., Harrison, R. M. (1998) Correlations between CO, NO_x, O₃ ve non-methane hydrocarbons during winter 1993 on the North Norfolk Coast, U.K. *Atmospheric Environment*, 19, 3339-3351.
4. Erbaşlar, T. (2005). *Bursa Atmosferi'ndeki Klasik Hava Kirleticiler Konsantrasyon Seviyeleri ve Birbirleri ile İlişkilerinin Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, FBE.
5. Finlayson-Pitts, B. J., Pitts, J. N. (1986) *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*, John Wiley & Sons.
6. Goyal, P., Sidhartha (2003) Present scenario of air quality in Delhi: A case study of cng implementation. *Atmospheric Environment*, 37, 5426-5431.
7. Kılıç, M., Gemci, T. (1999) Adapazarı Şehir Merkezi'ndeki Bir Kavşaktan Yayılan CO Konsantrasyonunun CAL3QHC Programı ile Tahmin Edilmesi. *Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu*, İzmir, 150 – 158.
8. Müezzinoğlu, A. (2000) *Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları*. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir.
9. Odabaşı, M. (1993) İzmir'de Motorlu Taşıtların Emisyonlarının Hava Kalitesine Etkisi. *I. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu*, İzmir, 137 - 146.
10. Olcese, L. E., Gustavo, G. P., Beatriz, M. T. (2001) An inexpensive method to estimate CO and NO_x emissions from mobile sources. *Atmospheric Environment*, 35, 6213-6218
11. Özer, U., Cebe, M., Güneş, M., Aydın, R. (1996) Air pollution profile of Bursa. *J. of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 15, 2-4, 129-133.
12. Saito, S., Nagao, I., Tanaka, H. (2002) Relationship of NO_x and NMHC to photochemical O₃ production in a coastal and metropolitan areas of Japan. *Atmospheric Environment*, 36, 1277-1286.
13. Seinfeld, J. H. (1986) *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. John Wiley and Sons, ABD.
14. Stein, A. F., Toselli, B. M. (1996) Street level air pollution in Cordoba City, Argentina. *Atmospheric Environment*, 30, 3491-3495.

15. Taşdemir, Y., Payan, F., Uygur, A., Başkaya, H. S., Pınarlı, P. (1998) Assessment and measurement of SO₂ and NO_x pollutants in Bursa. *SECOTOX'98 International Conference on Ecotoxicology and Environmental Safety*, Antalya, 54.
16. Taşdemir, Y. (1999) Havadaki Partikül Maddelerin Su Kütleleri Üzerine Çökmesinin Miktar ve Etkileri. 3. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, İzmir, s. Taşdemir.
17. Tırıs, M., Kalafatoğlu, E., Okutan, H. (1993) *Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü*. TÜBİTAK MAM, Gebze, Kocaeli.
18. Tünay, O., Alp, K. (1996) *Hava Kirlenmesi Kontrolü*. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
19. Zırhhoğlu, N. (1999) *Bir Su Yüzeyi Örnekleyicisinin Atmosferik Partiküllerin Çökmesinin Belirlenmesi için Geliştirilmesi*. Uludağ Üniv., Müh.-Mim. Fakültesi, Bitirme Çalışması.

5. TEŞEKKÜR

Ölçüm verilerini temin ettiğimiz Bursa Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma Daire Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

Makale 20.04.2005 tarihinde alınmış, 03.10.2005 ve 14.08.2007 tarihlerinde düzeltilmiş, 14.08.2007 tarihinde kabul edilmiştir. İletişim Yazarı: Y. Taşdemir (tasdemir@uludag.edu.tr).