

Araştırma Makalesi / Research Article
TEMPORAL FLUCTUATION OF SULFUR DIOXIDE (SO₂) AND PARTICULATE MATTER (PM) LEVELS MEASURED IN BURSA**Tuncay ERBAŞLAR, Yücel TAŞDEMİR ****Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Görükle-BURSA***Geliş/Received: 16.07.2004 Kabul/Accepted: 21.11.2005****ABSTRACT**

Because of residential heating in winter months air quality may be negatively affected in big cities. In this study, the annual and seasonal distribution of sulfur dioxide (SO₂) and particulate matter (PM) concentrations, measured between 1988 and 2003 in seven districts of Bursa, have been studied. Average concentration values were determined based on measurements taken from these 7 districts and these values fluctuated between 90,2±59,1 µg/m³ and 23,5±20,8 µg/m³ for PM, 218,4±159,3 µg/m³ and 44,8±39,9 µg/m³ for SO₂. Improvements in air quality after 1992, when natural gas usage was started, was discussed. Measurements of PM and SO₂ taken from Bursa were compared with the limits in Turkish Air Quality Control Regulation (TAQCR) and measurements from different locations.

Keywords: Bursa, air pollution, SO₂, PM.

BURSA'DA ÖLÇÜLEN KÜKÜRT DİOKSİT (SO₂) VE PARTİKÜL MADDE (PM) SEVİYELERİNİN ZAMANA BAĞLI DEĞİŞİMİ**ÖZET**

Büyük şehirlerde evsel ısıtma etkisiyle özellikle kış aylarında hava kalitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Bu çalışmada, Bursa'da 7 semtte ölçülmüş olan kükürt dioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) konsantrasyonlarının 1988-2003 yılları arasındaki yıllık ve mevsimlik dağılımları incelenmiştir. 7 semtin ölçümleri göz önüne alınarak Bursa için ortalama konsantrasyon değerleri belirlenmiştir ve bu değerler PM için 90,2±59,1 µg/m³ ile 23,5±20,8 µg/m³, SO₂ için 218,4±159,3 µg/m³ ile 44,8±39,9 µg/m³ arasında salınım göstermiştir. 1992 yılında doğalgaza geçiş yapılmasıyla hava kalitesinde gözlenen iyileşme tartışılmıştır. Bursa'da ölçülen PM ve SO₂ değerleri, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY) ve diğer bölgelerde ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Bursa, hava kirliliği, SO₂, PM.

1. GİRİŞ

Atmosfer değişik kaynaklardan kirlenebilmektedir ve bunların en önemlilerinden birisi yanmadır. Yanma reaksiyonu, fosil yakıt içeriğinde bulunan safsızlıklar, hava yakıt oranı, yanma sıcaklığı ve bekleme süresi gibi çeşitli nedenlerle farklı tür ve miktarlarda hava kirleticiler oluşur [1,2]. Kükürt dioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) bu kirleticilerden en önemli iki tanesidir.

Taşıma ve yakma kolaylığı, yüksek ısı değeri, katı içermemesi, safsızlıkların az olması veya kolay arındırılabilir olması gaz yakıtları hava kirliliğini önlemede avantajlı hale

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: tasdemir@uludag.edu.tr, tel: (0224) 442 81 77 / 116

Temporal Fluctuation of Sulfur Dioxide (SO₂) ...

getirmektedir. Gaz fazında bulunmaları ve safsızlıkların düşük seviyelerde olması nedeniyle karbon monoksit (CO), SO₂ ve PM miktarları, diğer yakıtlara oranla daha küçük değerlerde beklenmektedir. Yaygın olarak kullanılan yakıtlardan doğalgaz ve kömürlerin bazı özellikleri Çizelge 1 ve Çizelge 2’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Doğalgazın İçeriği (Chenier, 1992)

Kimyasal Kompozisyon	Oran
Metan	% 85
Etan	% 9
Propan	% 3
Bütan	% 1
Azot	% 1
Diğerleri	% 1

Çizelge 2. Linyit ve Taşkömür Elementer Analiz Sonuçları

Kömür Türü	%C	%H	%N	%O	%S	Nem	Kül	Üst Kalorifik Değer
Linyit	76,5 ^a	5,8 ^a	2,5 ^a	13,8 ^a	1,5 ^a	45 ^b	10 ^b	4500 ^b
Taşkömür	85,73 ^c	5,49 ^c	7,03 ^c	1,75 ^c	VY ^c	<4 ^d	<10 ^d	7650 ^d

a ve c: [4]

b ve d: [5]

VY: Veri Yok

Doğal afetler ve insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan hava kirleticileri arasında en yaygınlarından biri SO₂’dir. Kükürt dioksitin başlıca kaynakları yanma sistemleri, izabe tesisleri (Bakır, kurşun ve çinko üretiminde kullanılan cevherler kükürtlüdür), rafineriler ve katı atık yakılmasıdır [6].

Diğer önemli bir kirletici türü olan partikül madde (PM), ortalama gaz molekül büyüklüğü 0,0002 µm çaptan iri olan ve havada bir süre askıda kalabilen katı veya sıvı her türlü madde olarak adlandırılabilir [2]. Atmosferde bulunan partiküllerin büyük kısmını oluşturan yapay partikül maddeler, antropojenik (İnsan kaynaklı) kaynaklı olup bunlar, yakma prosesinin gerçekleştirildiği endüstriler, maden çıkarma ve inşaat yapım aktiviteleri ve motorlu araçlardır [7].

Bursa, sınırları içerisinde yerleşik altı adet sanayi bölgesinin bulunduğu, gıda ürünlerinden tekstile, otomotivden makine ve teçhizat üretimlerinin yapıldığı pek çok endüstriyel kuruluşun faaliyet gösterdiği, nüfus ve araç sayılarının sürekli artmakta olduğu bir sanayi şehri olup, şehrin çevre sorunları arasında meteorolojik ve topoğrafik şartların da etkili olduğu evsel, endüstriyel ve taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği önemli bir yer tutmaktadır [7-9].

Bu çalışmanın başlıca amaçları, Bursa’daki SO₂ ve PM konsantrasyon seviyelerini belirlemek ve zaman içindeki salınımlarını ortaya koymaktır. Bununla beraber, bu konsantrasyonları HKKY ve diğer bölgelerde ölçülen değerlerle karşılaştırarak tartışmaktır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örneklerin Alınması

Ölçümler Bulab 201/1, 201/2 ve 201/8 model yarı otomatik cihazlarla yapılmıştır. 8 kanallı yarı otomatik SO₂ ve PM ölçer cihazda 8 filtre kağıdı ve 8 Dreschel şişesi mevcuttur. Model 201/1 ve

201/2, 8 kanallı cihaz ile aynı çalışma prensiplerine sahip 1 ve 2 şişeli cihazlar olup daha çok günlük ve kısa süreli ölçümler için uygundur. Ölçüm aralığı 0,003 ile 0,3 ppm arasındadır. Zaman ayarlama ünitesi yardımıyla 8 gün süre ile herhangi bir kullanıcı müdahalesi olmaksızın ölçüm yapılabilmesini sağlayan sisteme (Model 201/8) giren belli hacimdeki (~3 m³/gün) hava önce filtre kağıtlarından, sonra Dreschel şişesinden geçerek sistemden ayrılır [10].

Filtre kağıtları tarafından tutulan toz bir leke halinde belirir. Yüzeysel konsantrasyonu reflektometrede yapılan ölçümden sonra standart kalibrasyon eğrisinden mg/m³ olarak bulunur. Dreschel şişesinde hidrojen peroksit mevcut olup, bunun örnekleme sırasında havadaki SO₂ ile reaksiyona girmesi amaçlanır. Oluşan sülfürik asitin standart alkali (0,01N Na₂CO₃) ile titrasyonu sonucu SO₂ konsantrasyonu belirlenir [10]. Titrasyon işleminde belirleyici olarak BDH indikatörü kullanılmaktadır. SO₂ ve PM konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılan bu metodlar HKKY'nde tavsiye edilen metotlardandır [11].

2.2. Ölçüm Bölgeleri

SO₂ ve PM kirleticilerinin ölçümleri Bursa İl Sağlık Müdürlüğü tarafından Tophane, Santral Garaj, Eğitim, Arabayatağı, Küçük Balıklı, Karaman ve Çekirge semtlerinde yapılmıştır. Bu bölgelerdeki verilerden hareketle Bursa için ortalama değerler belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan ölçüm sonuçları, 1988-2003 yılları arasında kapsamaktadır. Günlük verilerden hareketle aylık, mevsimlik ve yıllık ortalamalar hesaplanmıştır.

2.3. Meteoroloji Verileri

Bursa ilinde 1975 ile 2003 yılları arasında istatistiği tutulan meteoroloji verilerinin aylık ortalamaları Çizelge 3'de verilmiştir. Buna göre ortalama rüzgar hızları ~2 m/s iken, sıcaklıklar 5,5 ila 24,5 °C arasında değişkenlik göstermiştir.

Çizelge 3. 1975-2003 Yılları Arası Aylık Meteorolojik Veri Ortalamaları [12]

Aylar	Ort. Rüzgar Hızı (m/s)	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Bağıl Nem (%)	Ort. Bulutluluk	En Hızlı Esen Rüzgar Yönü	En Hızlı Esen Rüzgar Hızı (m/s)
Ocak	2,3	5,5	71	6,0	S	29,9
Şubat	2,3	5,9	69	6,2	SW	25,2
Mart	2,2	8,3	69	5,8	S	29,2
Nisan	2,0	12,9	68	5,3	SSW	26,7
Mayıs	1,9	17,6	65	4,2	SW	22,9
Haziran	2,0	22,3	58	2,8	SW	18,0
Temmuz	2,2	24,5	57	2,0	NNE	16,3
Ağustos	2,1	24,1	60	2,1	NE	15,3
Eylül	1,7	20,1	65	2,7	W	18,0
Ekim	1,5	15,3	72	4,2	SW	23,7
Kasım	1,7	10,4	72	5,3	SSW	26,7
Aralık	2,2	7,2	71	6,1	SSW	30,7
Yıllık	2,0	14,5	66	4,4	SSW*	30,7

*: Hakim rüzgar yönü

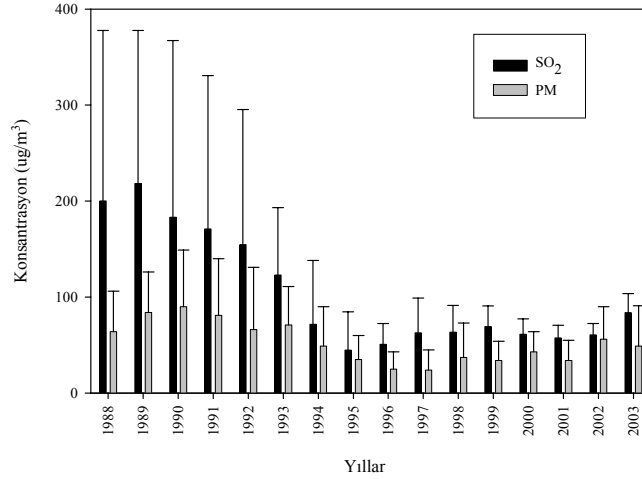
3. SONUÇLAR VE YORUM

Bursa'da 1992 yılında doğalgaz kullanımına geçilmiş ve her yıl kademeli olarak bu oran artmıştır [7,10]. 1992 yılına kadar ısınma amaçlı kullanılan kömürler yüksek kükürt içeriklerinden dolayı atmosferdeki SO₂ konsantrasyonlarının kış aylarında HKKY sınır değerlerini aşmasına sebebiyet

Temporal Fluctuation of Sulfur Dioxide (SO₂) ...

vermiştir. Nispeten yüksek kül ve kükürt içeriğine sahip yerli kömür kullanımının hava kalitesine olumsuz etkisi yüksek seviyelerde olmaktadır. 15 Ocak 1998 tarihinde “Mahalli Çevre Kurulu (MÇK)” tarafından çıkarılan bir kararla Bursa’da kömür olarak yalnızca ithal kömür kullanılması kararlaştırılmıştır. 1998 yılında ithal kömür yaklaşık 220.000 ton kullanılırken, bu kullanım miktarı Bursa’da doğalgaz kullanımının da yaygınlaşması ile birlikte 2003 yılında 160.000 ton olacak şekilde kademeli olarak azalma kaydetmiştir.

Doğalgazın geçtiği güzergahlarda sadece doğalgaz kullanılması MÇK tarafından zorunlu hale getirilmiştir [13]. Şekil 1’de görüldüğü gibi özellikle SO₂ ve PM kirlenmelerinin 1994’ten sonraki seviyeleri makul mertebelere inmiştir. Doğalgaz kullanımına geçilmesinden sonraki ilk yıl (1993) kullanımın yeterince yaygınlaşmamasına rağmen SO₂ konsantrasyonunda %20’lik bir iyileşme gözlenmiştir. En yüksek ortalama yıllık SO₂ konsantrasyonu 1989 yılında ~210 µg/m³ olarak bulunmuş, daha sonra azalma eğilimine giren konsantrasyon 1995 yılında ~50 µg/m³ ile en düşük değerine ulaşmıştır.



Şekil 1. SO₂ ve PM Kirlenmelerinin Yıllara Bağlı Değişimi

PM konsantrasyonları da 1992 yılından itibaren bir azalma eğilimi göstermiştir. 1988-2003 periyodundaki ortalama yıllık maksimum PM konsantrasyonu 90,2 µg/m³ ile 1990 yılında görülürken, 1997 yılında 23,5 µg/m³ ile minimum ortalama yıllık PM konsantrasyon değerini almıştır. Özellikle 1994’ten sonraki yıllarda görülen düşük SO₂ ve PM konsantrasyonlarının en önemli sebebi; evsel ısınma amacıyla kullanılan yakıtların iyileştirilmesidir. Bu bağlamda doğalgaz kullanımının yanında ithal kömür kullanımının da yaygınlaştırılması SO₂ ve PM kirliliğinin azaltılmasında etkili olmuştur.

HKKY’nde SO₂ ve PM UVS (Uzun Vadeli Sınır Değer) değerleri 150 µg/m³’tür. Bu standart değerler dikkate alındığında, Bursa’da evsel ısınma için kullanılan yakıtların iyileştirilmesi sonucunda PM ve SO₂ yıllık ortalama konsantrasyonlarının, standartların altında kaldığı tesbit edilmiştir. Ancak ölçülen değerler yine de yüksektir.

Çizelge 4’de bazı dış kaynaklarda verilmiş olan PM ve SO₂ yıllık ortalama standart değerleri yer almaktadır.

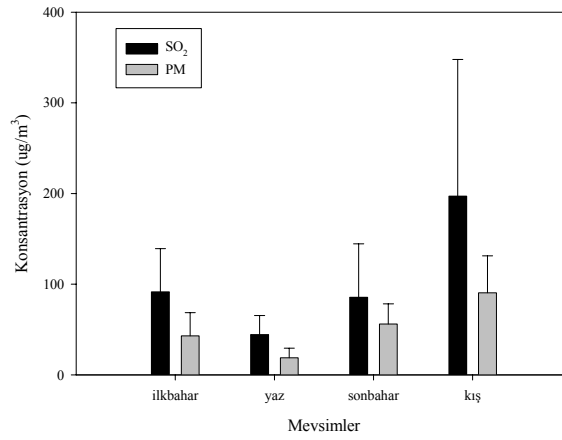
Çizelge 4’de verilen sınır değerler, HKKY sınır değerlerinden daha küçüktür. Bursa’da ölçülen yıllık konsantrasyon ortalamaları bu değerlerle karşılaştırıldığında SO₂ değerlerinin tüm sınır değerlerini aştığı görülmektedir. PM konsantrasyonları da 1994 yılından itibaren EPA ve WHO sınır değerlerinin (50 µg/m³) altında kalmıştır.

Çizelge 4. Bazı SO₂ ve PM Sınır Değerleri [14,15]

Kirletici Türü	Ülke	Konsantrasyon (µg/m ³)
SO ₂	WHO	50
	EPA	80
	NAAQS	80
PM	WHO	40-60
	EPA	50
	Kanada	70
	İsveç	75
	NAAQS	75

NAAQS: National Ambient Air Quality Standards (Ulusal Dış Hava Kalitesi Standartları, ABD)
 WHO: World Health Organization (Dünya Sağlık Teşkilatı)
 EPA: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Acentesi, ABD)

Bursa'da 1988-2003 yılları arasında ölçülen SO₂ ve PM konsantrasyonlarından yola çıkarak hesaplanan mevsimlik imisyon değerleri Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2. 1988-2003 Periyodundaki Mevsimsel SO₂ ve PM Ortalama Değerleri

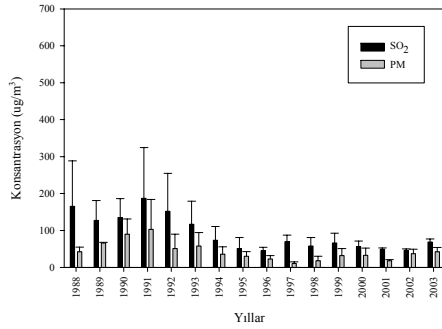
SO₂ kirleticisinin 1988-2003 yılları arasındaki kış ayları konsantrasyonlarının ortalaması (197,2±150,6 µg/m³) yaz ayları ortalamasının (44,5±20,9 µg/m³) yaklaşık 5 katıdır. Aynı şekilde, PM kirleticisinin bu zaman aralığındaki kış ayları konsantrasyon ortalaması (90,6±40,71 µg/m³) yaz ayları ortalamasının (18,9±10,63 µg/m³) yaklaşık 5 katıdır. Bu sonuçlar, Bursa'da gözlenen SO₂ ve PM kirliliklerinin büyük oranda ısınma amaçlı yakmalardan kaynaklandığını göstermektedir. SO₂ ve PM kirletici konsantrasyonlarının ilkbahar ve sonbahar ayları ortalamaları ise birbirlerine yakın ve yaz mevsimi ortalamasından büyüktür.

SO₂ kirleticisinin 1988-2003 yılları arasında ilkbahar mevsimlerindeki konsantrasyonlarının yıllara bağlı değişimi incelendiğinde konsantrasyonların 45-187 µg/m³, PM konsantrasyonlarının da 11-103 µg/m³ arasında değiştiği gözlenmektedir (Şekil 3). Her iki kirletici de 1991 yılına kadar yüksek ve sonrasında düşük seviyelerde seyretmiştir. Yıllık değişimlerde açıklandığı gibi bu azalmanın en önemli sebebi, Bursa'da 1992 yılında doğalgaz kullanımına geçilmesidir.

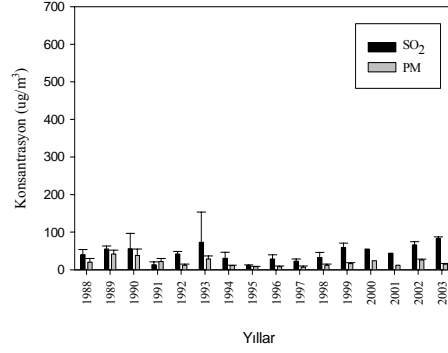
Yaz mevsimlerinde gerek SO₂ gerekse PM konsantrasyonları oldukça düşük seviyelerdedir (Şekil 4). Yıllar içerisinde en yüksek SO₂ konsantrasyonu 1993 yılında

Temporal Fluctuation of Sulfur Dioxide (SO₂) ...

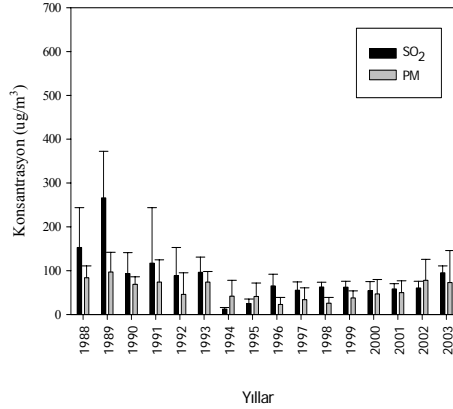
83,33±94,04 µg/m³ olarak bulunmuştur. Standart sapmasının yüksek olması, yıl içinde de konsantrasyonda ani değişimlerin olduğunu göstermektedir. SO₂'de olduğu gibi PM konsantrasyonu da yıllara bağlı olarak değişken bir grafik izlemektedir (7-42 µg/m³).



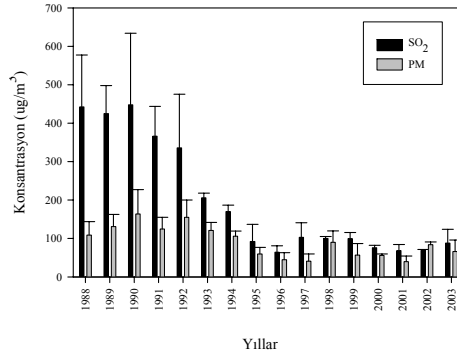
Şekil 3. SO₂ ve PM Konsantrasyonlarının İlkbahar Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi



Şekil 4. SO₂ ve PM Kirlenici Konsantrasyonlarının Yaz Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi



Şekil 5. SO₂ ve PM Konsantrasyonlarının Sonbahar Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi



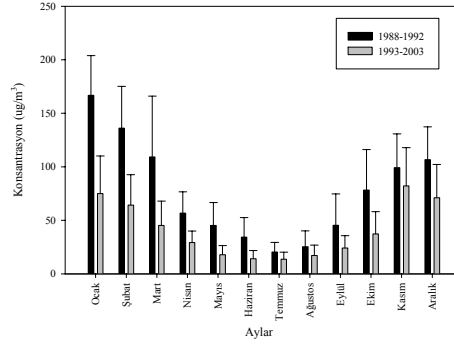
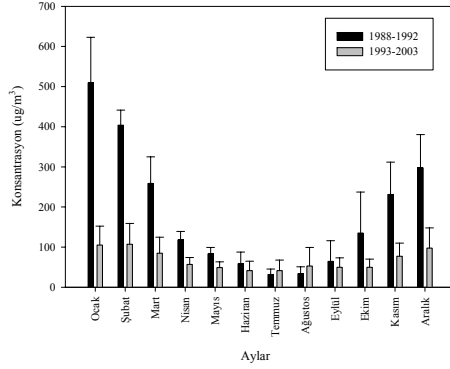
Şekil 6. SO₂ ve PM Konsantrasyonlarının Kış Mevsiminde Yıllara Göre Değişimi

1988-2003 yılları arasındaki sonbahar mevsimlerinin ortalama yıllık SO₂ konsantrasyonları 12-266 µg/m³ değerleri arasında değişmektedir (Şekil 5). 1989 yılında SO₂ konsantrasyonu en yüksek değerini alırken, 1994 yılında en düşük değerini almıştır. Sonbahar mevsimi ısınma amaçlı yakıtların kullanılmaya başlandığı mevsimdir. Bu nedenle yaz mevsimine göre daha yüksek konsantrasyon değerleri gözlenmektedir. Benzer şekilde 1988-2003 yılları arasında ölçülen ortalama yıllık PM konsantrasyonları ise 23 ila 97 µg/m³ değerleri arasında bulunmuştur.

Bursa atmosferinde 1988-2003 yılları arasında kış mevsimlerinde ölçülen ortalama SO₂ ve PM kirlenici konsantrasyonlarının değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Mevsimler arasındaki konsantrasyon farklarının daha iyi görülebilmesi için y- eksenleri (Konsantrasyon) sabit tutulmuştur.

Kış mevsimi ortalama SO₂ konsantrasyonları 448 µg/m³ (1990) ile 64 µg/m³ (1996) arasında değişmiştir. Doğalgazın yaygın olarak kullanılmaya başlandığı yıllara kadar kış mevsiminde genelde yüksek konsantrasyonlar görülmüştür. Aynı periyotta ortalama PM konsantrasyonları da 164 µg/m³ (1990) ile 40 µg/m³ (2001) arasında salınım göstermiştir. HKKY’nde kış sezonu ortalama SO₂ sınır değeri 250 µg/m³, kış sezonu ortalama PM sınır değeri ise 200 µg/m³ olarak verilmiştir. 1988-2003 yılları arası kış mevsimi ortalama konsantrasyonları HKKY sınır değerleri ile karşılaştırıldığında PM değerleri sınırı aşmazken; SO₂, 1992 yılına kadar HKKY sınırının üzerinde seyretmiş, sonrasında doğalgaz kullanımı ile birlikte % 85'lere varan oranlarda konsantrasyonda iyileşmeler gözlenmiştir.

Bursa’da doğalgaz kullanımından önceki yıllar (1988-1992) ve doğalgaz kullanımından sonraki yıllar (1993-2003) arasında ölçülen ortalama aylık SO₂ ve PM konsantrasyon değerlerinin değişimi Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. 1988-2003 Yılları Arasındaki Ortalama Aylık SO₂ Konsantrasyonlarının Değişimi

Şekil 8. 1988-2003 Yılları Arasındaki Ortalama Aylık PM Konsantrasyonlarının Değişimi

Ocak 1988 – Aralık 1992 periyodu arasındaki aylık ortalama SO₂ konsantrasyonları dikkate alındığında, en düşük ve en yüksek aylık ortalamaların sırasıyla Temmuz (31,6±13,85 µg/m³) ve Ocak (509,4±113,5 µg/m³), PM konsantrasyonları arasında da en düşük ve en yüksek aylık ortalamaların sırasıyla Temmuz (20,4±9,0 µg/m³) ve Ocak (166,8±37,0 µg/m³) aylarında ölçüldüğü görülmektedir. HKKY’nde kış sezonu için verilen SO₂ UVS değeri (250 µg/m³) 1988-1992 periyodunda tüm kış sezonu boyunca aşılrken, kış sezonu PM UVS değeri (200 µg/m³) hiçbir ayda aşılmamıştır. 1992-2003 periyodunda Bursa’da doğalgaz kullanımının başlaması ve giderek yaygınlaşması ile SO₂ konsantrasyonları da HKKY standartlarının altına inmiştir.

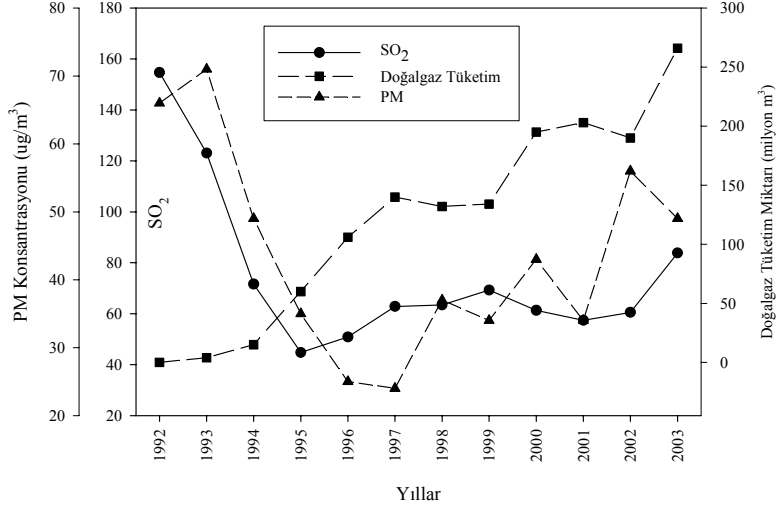
Bursa’da yerleşim bölgelerinde 1992-2003 yılları arasında kullanılan doğalgaz miktarı ile PM ve SO₂ konsantrasyonları ilişkisini gösteren grafik Şekil 9’da verilmiştir.

Doğalgazın kullanılmaya başlaması ile birlikte özellikle ilk yıllarda PM ve SO₂ konsantrasyonlarında büyük bir iyileşme ve sonraki yıllarda konsantrasyonlarda küçük oynamalar gözlenmiştir. Bursa’da 1992 yılında doğalgaz kullanımına geçilmesinin en belirgin etkisi SO₂ konsantrasyonundaki azalma olmuştur. Taşdemir (2001) tarafından yapılan çalışmada, 1988-1992 yılları arasındaki maksimum aylık ortalama SO₂ konsantrasyonu Ocak ayında 509,4±113,5 µg/m³, 1993-1999 yılları arasındaki maksimum aylık ortalama SO₂ konsantrasyonu ise Şubat ayında 127±52,2 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. 1997-2003 yılları arasında konsantrasyonlarda bir miktar salınımlar gözlenmiştir. Bunun muhtemel sebepleri arasında kışların şiddeti, rüzgar hızı ve yönü gibi meteorolojik koşullar ve kullanılan yakıtların içerikleri sayılabilir.

Doğalgaz kullanımının dış ortam konsantrasyonlarına etkisi çeşitli çalışmalarla vurgulanmıştır [7,10,16]. Türkiye’nin en kirli havalarından birine sahip Ankara’da ısınma

Temporal Fluctuation of Sulfur Dioxide (SO₂) ...

amacıyla doğalgaz kullanımı Ekim 1988'de başlamıştır. 1981-1982 kışında Ocak ve Şubat aylarının SO₂ konsantrasyon ortalamaları sırasıyla 675 ve 460 µg/m³'e erişmiştir [16]. PM için de 1980 yılının Ocak ve Şubat aylarındaki aylık ortalamalar 180 ve 150 µg/m³ olmuştur. Bu değerlerin tümü HKKY UVS değerinin (150 µg/m³) üzerindedir. Ankara'da 1988 yılının kışında doğalgaz kullanılmaya başlanmasından sonra SO₂ ve PM konsantrasyonunda yoğun bir iyileşme gözlenmiştir. 1988 yılındaki yıllık ortalama SO₂ konsantrasyonu 234 µg/m³ iken 1996 yılında bu değer %82 azalarak 43 µg/m³ olmuştur. 1988 yılındaki yıllık ortalama PM konsantrasyonu 117 µg/m³ iken 1996 yılında ~% 50 lik bir iyileşme sağlanarak 59 µg/m³ olmuştur [16].



Şekil 9. Doğalgaz Tüketimi ile PM ve SO₂ Konsantrasyonları Arasındaki Değişim

Mevsimsel olarak SO₂ ve PM incelendiğinde, Bursa'daki SO₂ ve PM kirliliğinin kış aylarında yaz aylarındakine oranla daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu da, SO₂ ve PM'nin evsel ısınma ile dış havada arttığını göstermektedir. Bu sonuç, PM ile SO₂ konsantrasyonları arasında bir ilişkinin olacağına işaret etmektedir. PM ile SO₂ arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için 1988-2003 yılları arasında mevsimlere bağlı aylık ortalama SO₂ ve PM kirlileti konsantrasyonları göz önüne alınarak lineer regresyon modeli uygulanmıştır. Her bir mevsimlik çalışma için yaklaşık 48 adet konsantrasyon ortalaması kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar Çizelge 5'de özetlenmiştir.

Çizelge 5. SO₂ ile PM Konsantrasyonları Arasındaki Regresyon Denklemleri ve r² Değerleri

Mevsimler	Denklem	r ²
Yaz	SO ₂ =1,258PM + 20,197	0,254
Sonbahar	SO ₂ =1,198PM + 18,206	0,384
Kış	SO ₂ =2,866PM - 62,333	0,685
İlkbahar	SO ₂ =1,606PM + 22,374	0,654

Yaz ve sonbahar mevsimlerinde hesaplanan r² değerleri, kış ve ilkbahar mevsimlerindeki oranla daha düşüktür. Kış mevsimindeki yüksek r² ve yazın düşük r² değerleri SO₂ ve PM arasındaki ilişkinin evsel ısınma ile yakından alakalı olduğunu göstermektedir.

Bazı illerdeki 2000-2001 kış sezonunda (Ekim-Mart) ölçülen ortalama SO₂ ve PM konsantrasyon değerleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6'da verilmiş olan konsantrasyon sonuçlarına ait ölçümler Devlet İstatistik Enstitüsü'nden (DİE) temin edilmiştir. 2000-2001 yılları göz önüne alındığında 49 il için bulunan ortalama kış sezonu PM konsantrasyonu $63,82 \pm 35,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ortalama SO_2 konsantrasyonu da $86,76 \pm 45,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bursa'nın aynı zaman periyodunda ölçülmüş verilerden bulunan ortalama SO_2 konsantrasyon değeri $67,17 \pm 15,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ortalama PM konsantrasyon değeri $43,33 \pm 23,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bursa için bulunan değerler, Türkiye genelinde ölçülen değerlerin ortalamasının altındadır. Ölçülen konsantrasyon sonuçları, o illerde kullanılan yakıtlarla yakından ilişkilidir. Bunun dışında konsantrasyonlar, ölçüm alınan noktaların o bölgeyi ne derece temsil ettiğine, meteorolojik şartlara, kullanılan yakıtlara, topografyaya vb. bir çok parametreye bağlı olarak değişebilmektedir [7]. HKKY'nde verilmiş olan kış sezonu ortalama SO_2 ve PM sınır değerleri (sırasıyla 250 ve $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ile Türkiye genelinde ölçülen değerler karşılaştırıldığında sadece Kütahya'da SO_2 değeri standartı aşmıştır.

Çizelge 6. Bazı İllerdeki PM ve SO_2 Konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [17]

İl	Kükürt Dioksit	Partikül Madde
Afyon	118	111
Ağrı	173	102
Ankara	55	82
Antalya	61	84
Kütahya	254	160
Balıkesir	67	41
Afyon	118	111
Erzurum	160	105
Çanakkale	89	22
Çankırı	40	74
Çorum	118	119
Denizli	137	108
Trabzon	53	55
Uşak	138	50

4. DEĞERLENDİRME VE GENEL SONUÇLAR

Bursa'da SO_2 ve PM'den kaynaklanan hava kirliliği özellikle kış aylarında artış göstermektedir. SO_2 ve PM kirliticilerinin 1988-2003 yılları arasındaki kış ayları konsantrasyonlarının ortalaması yaz ayları ortalamasının yaklaşık 5 katıdır.

Bursa'da 1992 yılında kömür kullanılan bazı semtlerde doğalgaz kullanımına geçilmesi ve 1993 yılında yaygınlaşmaya başlaması ve diğer semtlerde ithal kömür kullanılmaya başlanması SO_2 ve PM kaynaklı kirliliğin azaltılmasında etkili olmuştur.

SO_2 'den kaynaklanan hava kirliliği, ısınma sezonunu kapsayan Kasım-Mart döneminde özellikle bina ısıtımında kullanılan kükürt yüzdesi yüksek ve kalorifik değeri düşük kömür ve kükürt yüzdesi yüksek fuel-oil kullanımından kaynaklanmaktadır. Hava kalitesinin SO_2 ve PM açısından standartlarda öngörülen seviyeye getirilmesi için yerleşim bölgeleri ve sanayi tesislerinde düşük kükürtlü yakıtların (<% 1) ve partikül madde emisyonu düşük olan kaliteli yakıtların kullanılması ve de özellikle doğalgaz kullanımının tüm bölgelerde yaygınlaştırılması gerekmektedir. Doğalgazda SO_2 ve PM emisyonlarının ihmal edilebilecek kadar düşük olması sebebiyle mevcut şebekenin tam kapasite ile kullanılması, yakıt kullanımından ortaya çıkan ve SO_2 ve PM'den ileri gelen hava kirliliğini önemli ölçüde azaltacaktır. Doğalgazın ulaşamadığı bölgelerde ise kalorifik değeri yüksek, PM emisyonu ve kükürt içeriği düşük kömür ve fuel-oil kullanımına öncelik verilmelidir.

Temporal Fluctuation of Sulfur Dioxide (SO₂) ...

SO₂ ve PM kirliliğinin hava kalitesine olumsuz etkisinin kontrolünde alınması gereken diğer tedbirler şunlardır:

- Kalorifer ateşçileri eğitilmeli,
- Yeni yapılan binalarda proje ve iskan ruhsatı aşamasında ısı yalıtımı zorunluluğu getirilmeli,
- Motorlu taşıtlarda egzoz emisyonlarının denetimi yapılmalı,
- Toplu taşımacılığa önem verilmeli,
- Şehir içinde bina yıkımı ve yapımı kontrol edilerek hava sirkülasyonunu etkileyecek yüksek binaların yapımına izin verilmemelidir [18].

KAYNAKLAR

- [1] Müezzinoğlu A., “Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları”, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 1987, 165-167.
- [2] Tiris M., Kalafatoğlu E., Okutan H., “Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü”, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli, 1993, 7-8.
- [3] Chenier, P.J., “Survey of Industrial Chemistry (2. Baskı)”, VCH Publishers, Inc., ABD, 1992.
- [4] Nakomen E., “Kömür”, Dokuz Eylül Üniversitesi Basım Ünitesi, İzmir, Nisan 1988, 186-187.
- [5] Tünay O., Alp K., “Hava Kirlenmesi Kontrolü”, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 1996, 40.
- [6] Seinfeld J.H., “Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution”, John Wiley&Sons, ABD, 1986.
- [7] Taşdemir Y., “Bursa’da Kükürt Dioksitten Kaynaklanan Hava Kirliliği”, Ekoloji Dergisi, 2001.
- [8] Etemoğlu A.B., Kırbıyık M., “Bursa’da Hava Kirliliğine Genel Bir Bakış”, I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 1996, 561-570.
- [9] Güneş M., Özer U., Cebe M., “Bursa Şehir Atmosferinde Gözlenen Kükürt Dioksitin Çeşitli Faktörlere Göre Değişiminin İrdelenmesi”, Uludağ Üniversitesi’nde Çevre Konulu Bilimsel Etkinlikler Özet Kitabı, Uludağ Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi, Bursa, 1999, 5.
- [10] Akkurt A., “Bursa Şehir Merkezindeki Hava Kirletici Kaynakları ve Miktarları”, Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Uludağ Üniversitesi, 2000.
- [11] Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY), Resmi Gazete (No:19269), 1986.
- [12] Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ), Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Ankara, 2004.
- [13] Bursa Büyükşehir Belediyesi, “Bursa Çevre Durum Raporu 1. Taslak”, 1998.
- [14] WHO Resmi Web Adresi, “<http://www.who.int/inf-fs/en/fact187.html>”, 2003.
- [15] Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N., “Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques”, John Wiley&Sons, ABD, 1986.
- [16] Atımtay A., Ergül C., “Ankara’daki Hava Kirliliğinin Yıllar İçinde Değişimi ve Doğalgaz Kullanımının Etkileri”, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, İzmir, 1999, 39-45.
- [17] Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE), “<http://www.die.gov.tr>”, 2004.
- [18] Tayanç M., Karaca M., Saral A., Ertürk F., “İstanbul’da Hava Kirliliği Modellemesi, Uygulamaları ve Çözüm Önerileri”, I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, 1996, 541-550.