

## ESKİŞEHİR'DE HAVA KİRLİLİĞİ ÖN DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARININ PASİF ÖRNEKLEME YÖNTEMİYLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Özlem ÖZDEN<sup>1(\*)</sup>, Ozan Devrim YAY<sup>1</sup>, Hicran ALTUĞ<sup>1</sup>, Eftade GAGA<sup>1</sup>,  
Gülçin DEMİREL<sup>1</sup>, Tuncay DÖĞEROĞLU<sup>1</sup>, Sermin ÖRNEKTEKİN<sup>2</sup>,  
Kees MELIEFSTE<sup>3</sup>, Wim van DOORN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

<sup>2</sup>Mustafa Kemal Üniversitesi, Kimya Bölümü, Hatay

<sup>3</sup>IRAS, Utrecht, Hollanda

<sup>4</sup>Royal Haskoning, Nijmegen, Hollanda

### ÖZET

Bu çalışmada, Eskişehir'de 9–23 Ocak 2008 tarihleri arasında birer haftalık periyotlarla azot dioksit (NO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve ozon bileşenlerinin pasif örnekleme yöntemiyle ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Örnekleme çalışmaları için, trafik yoğunluğu, ısınma şekli, nüfus yoğunluğu v.b. faktörler dikkate alınarak, daha önceden gerçekleştirilmiş envanter ve ölçüm çalışmalarına dayalı olarak belirlenen şehrin kirliliği ve temiz bölgelerinden toplam 60 ilköğretim okulu seçilmiştir. İl Sağlık Müdürlüğü, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu'nda bulunan ölçüm istasyonları da eklenerek toplam 64 noktada ölçümler yapılmıştır. Örnekleme çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak şehir için kirlilik dağılım haritaları hazırlanmıştır. Ortalama NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon derişim değerleri sırasıyla 33,62 ± 10,49 µg m<sup>-3</sup>, 53,64 ± 8,36 µg m<sup>-3</sup> ve 30,50 ± 11,49 µg m<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur. Şehir merkezine yaklaştıkça NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> seviyeleri artarken, ozon seviyelerinde azalma görülmüştür. İki haftalık ortalama NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> derişimlerinin yasal sınır değerleri (NO<sub>2</sub> için 100 µg m<sup>-3</sup> ve SO<sub>2</sub> için 150 µg m<sup>-3</sup>) aşmadığı gözlenmiştir. Bu çalışma sonuçlarının, ileriye yönelik temiz hava kalitesi planlarının hazırlanmasında ve yeni hava kalitesi izleme istasyonlarının yer seçiminde önemli ölçüde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### ABSTRACT

In this study, weekly NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and ozone measurements were carried out by passive sampling method during 9-23 January of 2008 in Eskişehir. For the sampling studies, 60 elementary schools were chosen by taking into consideration of some parameters such as traffic density, heating system and population density. By adding the monitoring stations located in Provincial Directorate of Health, Provincial Directorate of Environment and Forestry, Anadolu University İki Eylül Campus, measurements were performed in 64 points in total. By using the sampling results, pollution distribution maps were also prepared for the city. Average NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and ozone concentrations were 33.62 ± 10.49 µg m<sup>-3</sup>, 53.64 ± 8.36 µg m<sup>-3</sup> and 30.50 ± 11.49 µg m<sup>-3</sup>, respectively. While NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> levels increased in the city center, ozone levels were higher far away from the city center. The average NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> concentrations did not exceed the national limit values (100 µg m<sup>-3</sup> for NO<sub>2</sub> and 150 µg m<sup>-3</sup> for SO<sub>2</sub>) during the study. In addition, it is thought that the results of this study will be very useful for the preparation of future clean air plans and site selection for the new air quality monitoring stations.

\* oozden@anadolu.edu.tr

## ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava Kirliliği, Azot Dioksit, Kükürt Dioksit, Ozon, Pasif örnekleme

## GİRİŞ

Türkiye'deki kentsel yerleşim bölgelerinde hava kirliliği önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Kent atmosferinde yer alan temel hava kirlenici bileşenler arasında partikül madde (PM), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve uçucu organik bileşikler (UOB) gibi birincil hava kirleniciler ile fotokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ve ikincil bir kirlenici bileşen olan ozon (O<sub>3</sub>) yer almaktadır. Söz konusu bileşenler başta insanlar olmak üzere hayvanlar, bitkiler ve cansız varlıklar üzerinde önemli olumsuz etkilere sahip olabilmektedir (Hecq vd., 1997; Löublod vd., 1997; Ad-Hoc, 1999). Özellikle çocuklar hava kirliliğine karşı en hassas grubu oluşturmaktadır (Walinder vd., 1997; Godwin ve Batterman, 2007). Bundan dolayı, bu çalışma kapsamında hava kirliliğinin çocuklar üzerindeki sağlık etkilerini belirlemeye yönelik ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Geleceğe yönelik temiz hava planlarının oluşturulması ve gerekli önlemlerin alınması açısından söz konusu bileşenlere yönelik mevcut kirlilik durumunun ve hava kalitesinin iyi bir şekilde izlenmesi önem taşımaktadır.

Hava kalitesinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen monitorlama çalışmaları güvenilir bir yöntem olmakla birlikte, ölçüm ağıının kurulması, ağıın sürekli aktif halde tutulması ve işletim masrafları büyük miktarlarda maliyet gerektirmektedir. Özellikle, kırsal ve uzak noktalarda sürekli hava kalitesi ölçümlerinin yapılması, ölçüm cihazlarının yüksek maliyetinden dolayı sınırlı kalmaktadır. Bu aşamada, pasif örnekleme yönteminin kullanılması oldukça önem kazanmaktadır. Pasif örnekleyiciler basit, kolay taşınabilir ve ucuz olmalarının yanı sıra, elektrik gücüne ihtiyaç duyulmaksızın örnekleme imkanı sağlamaları nedeniyle de, bölgesel ölçekli hava kalitesi ölçümlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür örnekleyicilerin kullanımıyla birkaç saatten birkaç haftaya kadar değişen zaman dilimleri için ortalama derişim değerlerini belirleyebilmek de mümkün olmaktadır (Krupa ve Legge, 2000; Buffoni, 2002; Özden, 2005).

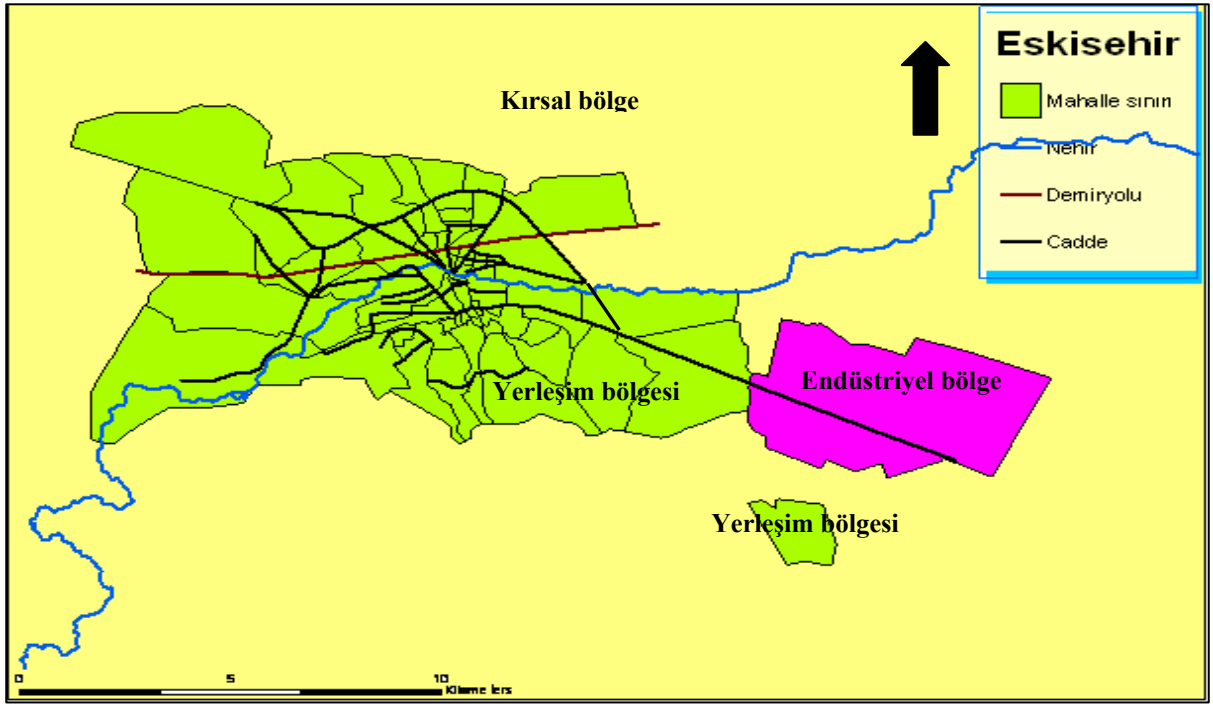
Bu çalışma, Hollanda Hükümeti MATRA programı tarafından desteklenen "Eskişehir ve İskenderun'da Temiz Hava İçin El Ele" isimli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projenin temel amacı, İskenderun ve Eskişehir kentlerindeki hava kirliliği ve buna bağlı sağlık etkilerinin ortaya konulabilmesine yönelik çalışmalar yapılması ve daha temiz hava için hava kalitesi planlarının hazırlanmasıdır. Halkın hava kirliliğine karşı duyarlılığının artırılması da projenin diğer bir önemli amacıdır. Söz konusu amaca yönelik olarak, ölçüm çalışmalarında yukarıda bahsedilen avantajlarından dolayı pasif örnekleme yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir'de kış dönemine ait genel hava kirliliği dağılımını belirleyebilmek amacıyla 9 – 23 Ocak 2008 tarihleri arasında 64 noktada (60 ilköğretim okulu + İl Sağlık Müdürlüğü, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü ve Anadolu Üniversitesi'ne ait 4 ölçüm istasyonu) pasif örnekleme yöntemi kullanılarak NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ölçüm çalışmalarının sonuçları değerlendirilerek kirlilik dağılım haritaları hazırlanmıştır.

## MATERYAL VE METOD

### Çalışma Alanı ve Örnekleme Noktaları

Yaklaşık 570,000 nüfusu (2006 yılı) bulunan Eskişehir kent merkezi hızla gelişen bir yapıya sahiptir. Nüfus yoğunluğuna bakıldığında nüfusun % 25, % 50 ve % 75'inin sırasıyla nüfus yoğunluğunun 6,500, 10,000 ve 20,000 kişi  $\text{km}^{-2}$ 'den daha az olduğu mahallelerde yaşadığı görülmektedir. Kent merkezinde en önemli hava kirletici kaynaklar evsel ısınma (özellikle kömür tüketimi), trafik ve endüstri olarak sıralanmaktadır. Eskişehir merkez ilçeye bağlı olan Büyükşehir, Odunpazarı ve Tepebaşı Belediyeleri sınırları içindeki 65 mahalle (101  $\text{km}^2$ ) ve Organize Sanayi Bölgesi'ni (22  $\text{km}^2$ ) kapsayan çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmektedir.

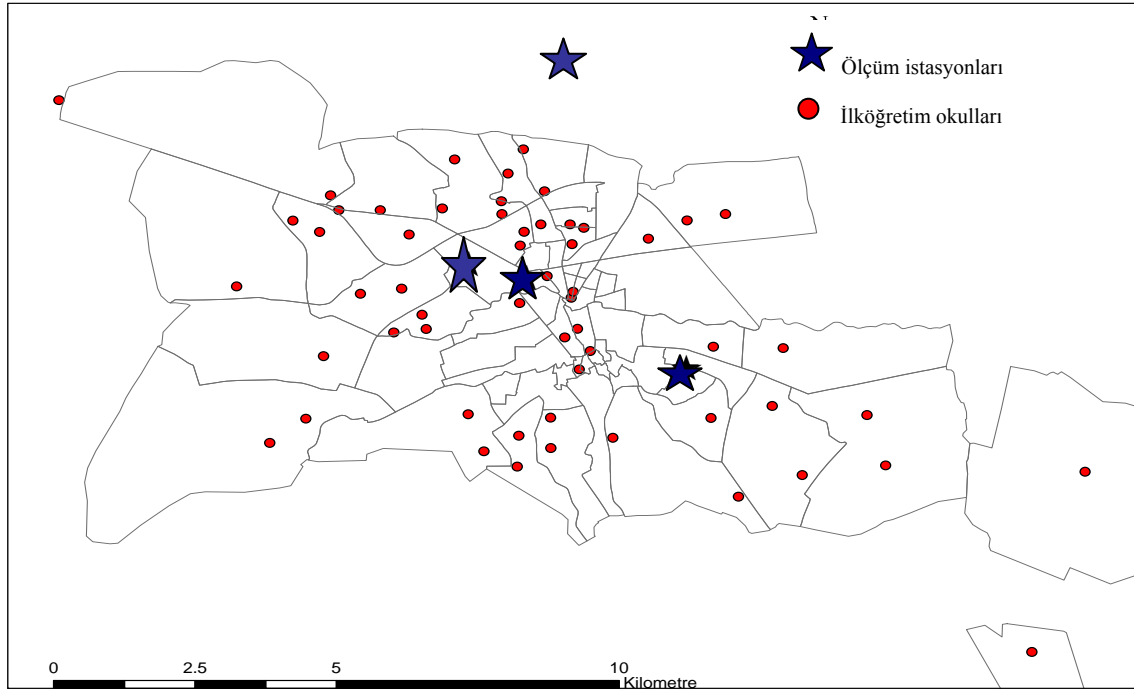


Şekil 1. Çalışma alanı

Örnekleme noktası olarak şehrin farklı bölgelerinde bulunan yaklaşık 60 ilköğretim okulu seçilmiştir (Şekil 2). Bunun nedeni, projenin ileriki aşamalarında hava kirliliğinin çocuklar üzerindeki sağlık etkilerinin belirlenmesine yönelik olarak aynı okullarda akciğer solunum fonksiyon testlerinin gerçekleştirilecek olmasının yanı sıra, örnekleme çalışmalarının güvenli ortamlarda gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır.

Örnekleme noktaları seçilirken, okulların şehrin hava kalitesinin yüksek, düşük ve ortalama seviyelerde olduğu farklı bölgelerde olmasına dikkat edilmiştir. Eskişehir hava kirliliğini belirlemeye yönelik daha önce gerçekleştirilen emisyon envanteri (Çınar, 2003) ve ölçüm çalışmaları (Özden, 2005) sonuçlarına dayalı olarak 20 ilköğretim okulu az kirli bölgelerden, 20 ilköğretim okulu çok kirli bölgelerden, 10 ilköğretim okulu "hot spot" olarak nitelendirilen ve kirliliğin maksimum seviyede olduğu düşünülen bölgelerden ve 10 ilköğretim okulu da "background" olarak nitelendirilen ve minimum kirliliğin görüldüğü bölgelerden seçilmiştir. Okulların konumu ve civarındaki trafik yoğunluğu, bölgenin ısınma şekli v.b. faktörler de örnekleme yapılacak okulların seçiminde önemli faktörleri oluşturmuştur. Ayrıca, diğer yöntemlerle hava kirleticilerin ( $\text{SO}_2$ , PM,  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{O}_3$ ) ölçüldüğü ölçüm istasyonları da (İl

Çevre ve Orman Müdürlüğü, İl Sağlık Müdürlüğü (2 nokta), Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu) örnekleme noktalarına dahil edilmiştir.



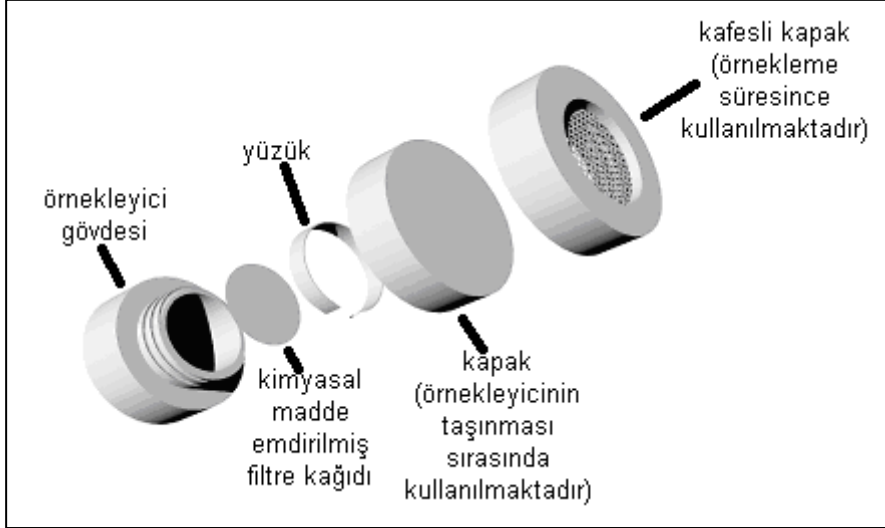
**Şekil 2.** Pasif örnekleme çalışmaları için seçilen ilköğretim okulları ve ölçüm istasyonlarının dağılımı

### Örnekleme Metodu

Bu çalışmada 9–23 Ocak 2008 tarihleri arasında Eskişehir ilinde farklı bölgelerden seçilen 60 ilköğretim okulu ve 4 ölçüm istasyonunda birer haftalık periyotlarla NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon bileşenlerine yönelik pasif örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ArcGIS programı kullanılarak kış dönemine ait kirlilik dağılım haritaları hazırlanmıştır.

Örnekleme çalışmalarında, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> bileşenleri teflon malzemeden yapılmış tek bir örnekleme cihazında, ozon ise delrinden yapılmış ayrı bir örnekleme cihazında toplanmıştır. Pasif örnekleme cihazları 2 cm iç çap ve 2,5 cm yüksekliğe sahip “badge” tip örnekleme cihazlarıdır (Bkz Şekil 3) (Özden, 2005). Söz konusu örnekleme cihazları, Bertoni ve ark. (2000) tarafından ilk kez BTX’lerin (benzen, toluen, ksilen) belirlenmesine yönelik olarak geliştirilmiş ve ANALYST® ismiyle patent almış pasif örnekleme cihazının modifiye edilmiş şeklidir.

Her bir örnekleme periyodunda, tüm örnekleme noktalarına NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> için 2, ozon için 2 adet örnekleme cihazı yerleştirilmiştir. Farklı özellikteki bazı bölgelere de kör örnekleme cihazları yerleştirilmiştir. Her örnekleme cihazı üzerine etiket yapıştırılarak, her bir örnekleme cihazına ait örnekleme periyodu numarası, bileşen adı, örnek numarası ve örnekleme noktası adı bilgileri kaydedilmiştir.



Şekil 3. Plastik pasif örnekleme ve parçaları

Örnekleme süresi boyunca rüzgar hızı etkisi göz önüne alınarak örnekleme cihazlarının girişine paslanmaz çelik telden yapılmış bariyer yerleştirilmiştir. Aynı zamanda yağmur, rüzgar v.b. meteorolojik koşulların pasif örnekleme performansı üzerindeki etkilerini minimuma indirmek amacıyla, örnekleme süresi boyunca örnekleme cihazları koruyucu malzemeler içerisinde açık girişleri aşağıya doğru olacak şekilde dikey konumda yerleştirilmiştir (Bkz Şekil 4). Ayrıca, tüm örnekleme noktalarında örnekleme cihazlarının (yükseklik, nokta kaynaklara uzaklık, derslik yerine idareci odaları v.b'nin seçilmesi, çok yakın mesafede ağaç v.b. engellerin olmaması) mümkün olduğunca aynı olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 4. Pasif örnekleme cihazlarının örnekleme esnasındaki konumları

**Örnekleme cihazlarının hazırlanması ve analizi.** NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> örneklerinin hazırlanmasında, Whatman GF/A filtre kağıtları % 20 TEA sulu çözeltisi ile, ozon örneklerinin hazırlanmasında ise % 1 NaNO<sub>2</sub> + % 2 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + % 2 gliserol sulu çözeltisi ile kaplanmıştır. Kurutulan filtre kağıtları, 5 mm kalınlığındaki yüzüklerle örnekleme cihazlarının tabanına sabitlenmiş ve örnekleme cihazlarının kapakları kapatılıp hazır hale getirilmiştir.

Bir haftalık örnekleme periyodu sonrasında, örnekleme noktalarından toplanan örnekleme cihazları laboratuara ağızları kapalı bir şekilde getirilerek Dionex® 2500 İyon Kromatografi cihazında (IC) ikincil analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde, filtre kağıtları NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> örnekleri

için 10 mL ultra saf su (Milli-Q) + 0,3 mL % 35 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile, ozon örnekleri için 5 mL ultra saf su ile 15 dakika ekstrakte edilmiştir.

Analizlerde NO<sub>2</sub> bileşeni NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, SO<sub>2</sub> bileşeni SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ve ozon NO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonları şeklinde belirlenmiş ve belirlenen iyon derişimleri (µg mL<sup>-1</sup>), ekstraksiyon hacimleri ile çarpılarak örnekleme süresi boyunca tutulan NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> miktarları (µg) hesaplanmıştır. Daha sonra, Fick'in 1. Yayırlık Yasası kullanılarak atmosferdeki NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon derişimleri (µg m<sup>-3</sup>) hesaplanmıştır.

## SONUÇLAR

Tablo 1-3'de birer haftalık periyotlarla gerçekleştirilen iki haftalık örnekleme çalışması boyunca elde edilen minimum, maksimum ve ortalama NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve ozon derişim değerleri yer almaktadır. İki hafta boyunca tüm bileşenler için ortalama derişim değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

**Tablo 1.** NO<sub>2</sub> için elde edilen minimum, maksimum ve ortalama derişim değerleri

	NO <sub>2</sub> (µg m <sup>-3</sup> )		
	9-16 Ocak 2008	16-23 Ocak 2008	9-23 Ocak 2008
<b>Minimum</b>	8,95	11,25	10,16
<b>Maksimum</b>	65,00	76,03	66,42
<b>Ortalama±std sapma</b>	34,83 ± 10,05	32,41 ± 12,74	33,62 ± 10,49

**Tablo 2.** SO<sub>2</sub> için elde edilen minimum, maksimum ve ortalama derişim değerleri

	SO <sub>2</sub> (µg m <sup>-3</sup> )		
	9-16 Ocak 2008	16-23 Ocak 2008	9-23 Ocak 2008
<b>Minimum</b>	36,28	38,97	41,83
<b>Maksimum</b>	88,62	80,59	79,13
<b>Ortalama±std sapma</b>	57,54 ± 10,87	49,73 ± 8,13	53,64 ± 8,36

**Tablo 3.** Ozon için elde edilen minimum, maksimum ve ortalama derişim değerleri

	Ozon (µg m <sup>-3</sup> )		
	9-16 Ocak 2008	16-23 Ocak 2008	9-23 Ocak 2008
<b>Minimum</b>	8,35	14,44	12,02
<b>Maksimum</b>	63,12	63,16	62,58
<b>Ortalama±std sapma</b>	29,60 ± 11,70	31,41 ± 12,09	30,50 ± 11,49

Elde edilen kirletici bileşen derişim değerleri İskenderun'da yapılan kış dönemi örnekleme sonuçlarıyla karşılaştırıldığında (Bkz. Tablo 4), iki şehre ait sonuçların birbirinden farklı

olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, şehirlerin coğrafik konumlarının ve bu şehirlerde örnekleme yapmak amacıyla seçilen noktaların özelliklerinin birbirinden çok farklı olması, farklı tarihlerde örnekleme gerçekteştirilmesi v.b. faktörlere bağlanabilir. Dolayısıyla, oldukça genel bir karşılaştırma söz konusudur ve detaylı bir karşılaştırma yapabilmek için elde edilen veri setinin de daha detaylı incelenmesi gerekmektedir.

Eskişehir NO<sub>2</sub> derişim değerlerinin çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, Eskişehir'deki trafik yoğunluğunun İskenderun'a oranla çok daha fazla olmasıyla ilişkilendirilebilir. Elde edilen maksimum SO<sub>2</sub> seviyelerinin ise İskenderun'da çok daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, İskenderun Payas'da bulunan İSDEMİR demir çelik fabrikası civarında oldukça yüksek derişim seviyelerinin (~200 µg m<sup>-3</sup>) elde edilmesidir. Bu durum şehir genelinde elde edilen ortalama SO<sub>2</sub> seviyelerinin de artmasına neden olmuştur. İskenderun'un bir güney şehri olması ve Akdeniz iklimine sahip olmasından dolayı, bu şehirde çok fazla kış yaşanmamaktadır. Örnekleme çalışmalarının ilk periyodunda yağmurlu ve kapalı bir hava söz konusuyken, ikinci periyotta zaman zaman kapalı olmakla birlikte genel olarak açık ve güneşli bir hava hakim olmuştur. İkinci örnekleme periyodunda güneşlenme durumunun yanı sıra, sıcaklık da artış göstermiş ve bu durum ozon seviyelerinin daha da yükselmesine neden olmuştur. Ortalama ozon derişim değerlerine bakıldığında, İskenderun'da elde edilen değerlerin, Eskişehir ozon seviyelerinden yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.** Eskişehir ve İskenderun örnekleme sonuçlarının (µg m<sup>-3</sup>) karşılaştırılması

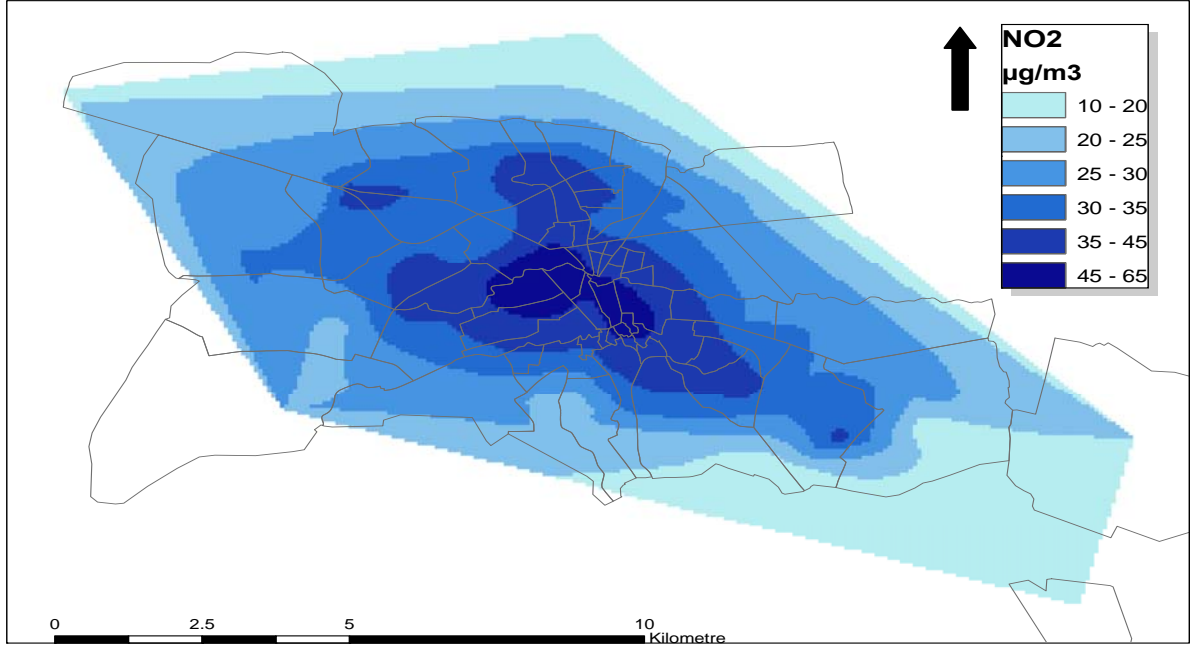
	Eskişehir			İskenderun		
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Ozon	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Ozon
minimum	10,16	41,83	12,02	8,52	37,93	29,46
maksimum	66,42	79,13	62,58	47,27	200,76	230,00
<b>ortalama</b>	33,62	53,64	30,50	19,03	56,25	89,50

Şekil 5'de, örnekleme sonuçları kullanılarak hazırlanan NO<sub>2</sub> kirlilik dağılım haritası yer almaktadır. NO<sub>2</sub>, trafik kaynaklı bir kirletici bileşen olduğundan dolayı, trafiğin yoğun olduğu şehir merkezinde en yüksek NO<sub>2</sub> derişimlerine (~76 µg m<sup>-3</sup>) rastlanırken, şehir merkezinden uzaklaştıkça derişim seviyeleri de gittikçe düşmektedir. Ayrıca, Eskişehir için daha önce gerçekteştirilmiş örnekleme çalışmaları sonucunda kış mevsimi NO<sub>2</sub> seviyelerinin yaz mevsimine oranla daha yüksek olduğu görülmüştür (Özden, 2005). Dolayısıyla, yaz mevsiminin başlamasıyla birlikte trafiğin azalması ve atmosferde gerçekteşen fotokimyasal reaksiyonlara bağlı olarak NO<sub>2</sub> seviyelerinde düşüş olması beklenmektedir.

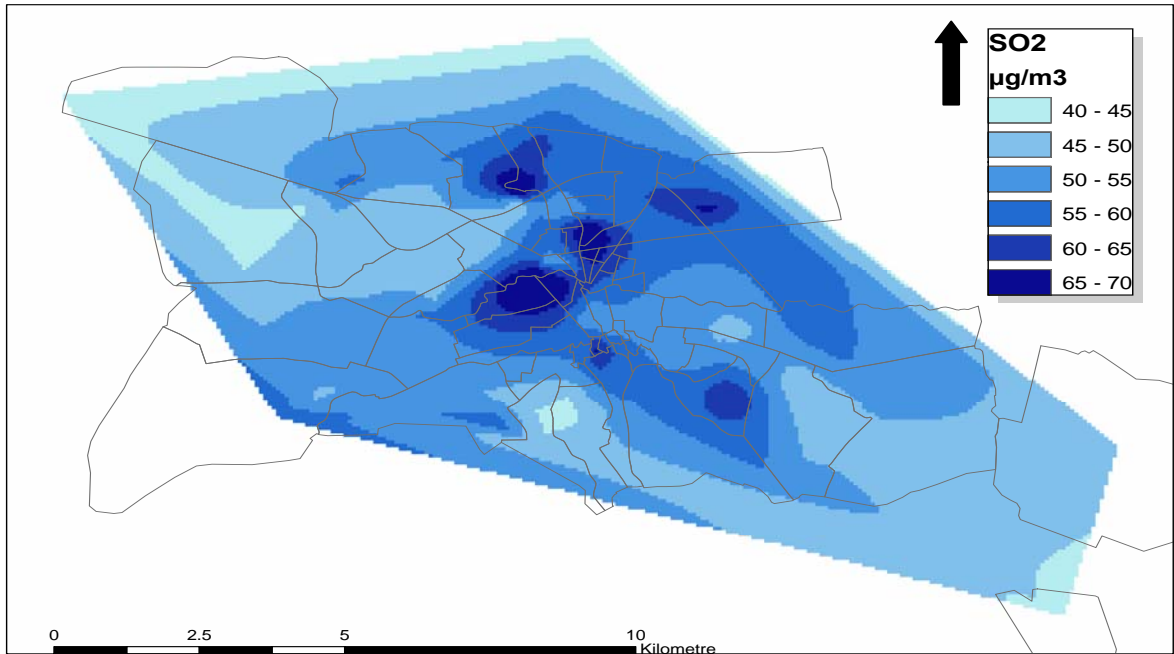
SO<sub>2</sub> bileşeni için kirlilik dağılım haritası Şekil 6'da yer almaktadır. SO<sub>2</sub> seviyelerinin en yüksek olduğu noktalar, kent merkezine yakın, nüfus yoğunluğu yüksek olan bölgelerdir. Ayrıca, özellikle ısınma amaçlı olarak kömür tüketiminin gerçekteştii bölgelerde elde edilen SO<sub>2</sub> derişim değerleri genel olarak, doğalgaz kullanılan bölgelere oranla daha yüksek seviyelerde elde edilmiştir. Bu da, SO<sub>2</sub>'nin mevsimsel bir kirletici bileşen olduğunu göstermektedir.

Ozon derişim değerleri ise, şehir merkezinden uzak noktalarda yüksek gözlenirken, şehir merkezindeki okullarda elde edilen ozon seviyeleri daha düşüktür (Bkz. Şekil 7). Şehir merkezinde gözlenen düşük ozon seviyeleri, bu noktalardaki yüksek NO<sub>2</sub> seviyeleri ile

ilişkilidir. Ayrıca, atmosferde troposferik ozon oluşumu için belli bir süre gerektiğinden, özellikle şehir merkezinde trafik v.b kaynaklardan ortaya çıkan öncül bileşenlerin şehrin dış bölgelerine taşınımı esnasında ozon oluşumu gerçekleşmekte ve bu durum şehirden uzak noktalarda daha yüksek ozon seviyelerinin gözlenmesine neden olmaktadır (Ad-Hoc, 1999). Ayrıca, bilindiği gibi, güneş ışığı ozonun oluşumunda önemli bir faktör olduğundan, Nisan-Eylül ayları arası “ozon mevsimi” olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla, sıcaklıkların ve güneşlenme durumunun artmasına bağlı olarak yaz mevsiminde ölçülecek ozon seviyelerinin daha yüksek olması beklenmektedir.



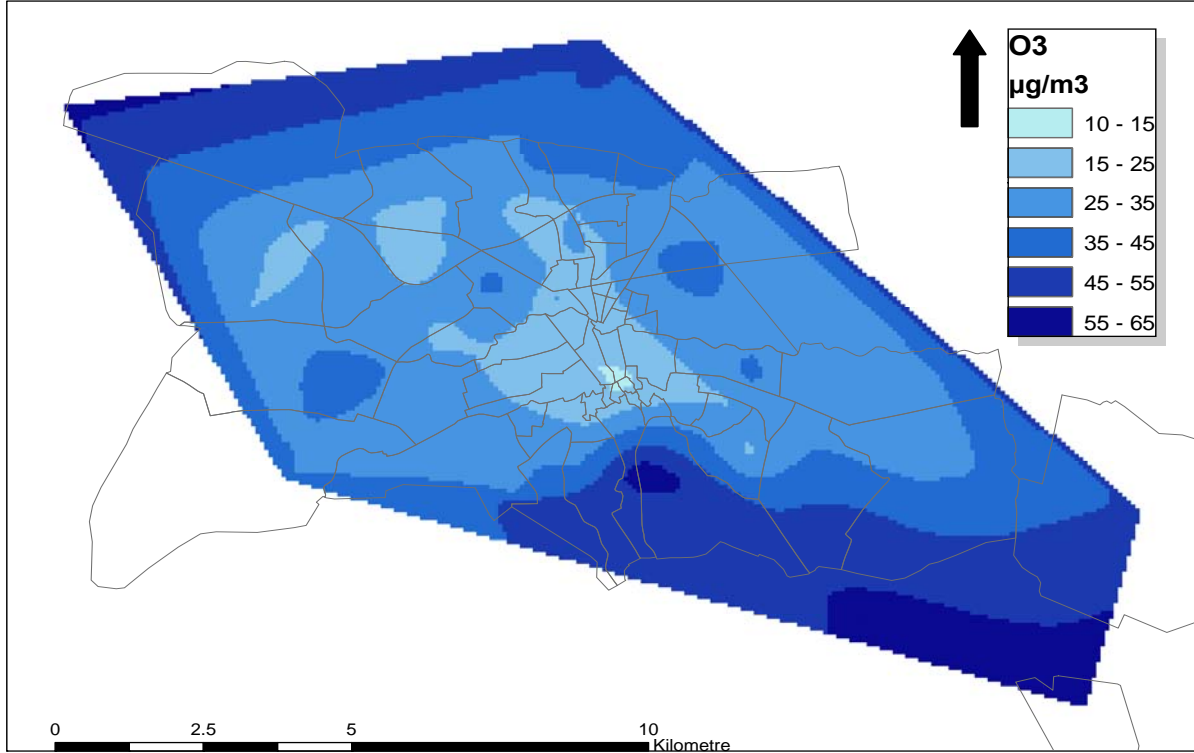
Şekil 5. Eskişehir için NO<sub>2</sub> kirlilik dağılımı



Şekil 6. Eskişehir için SO<sub>2</sub> kirlilik dağılımı



2 haftalık çalışma süresince elde edilen pasif örnekleme sonuçları, ölçüm istasyonlarından elde edilen verilerle karşılaştırıldığında, titrimetrik yöntemle belirlenen SO<sub>2</sub> derişim değerleri ile % 20, otomatik analizör değerleriyle ise % 13'lik bir fark bulunmuştur. NO<sub>2</sub> ve ozon derişim değerlerinin analizör verilerinden farkı ise yaklaşık olarak sırasıyla % 25 ve % 15 olarak bulunmuştur. Elde edilen tüm doğruluk değerlerinin, Avrupa Birliği Kardeş Direktifleri tarafından pasif örnekleme yöntemlerinin referans bir metotla karşılaştırılması durumunda aşılması istenen % 30 doğruluk değerinin altında olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.** Eskişehir için ozon kirlilik dağılımı

Ayrıca, örnekleme çalışmasının sadece ilk periyodunda (9–16 Ocak 2008), iki ölçüm istasyonuna (İki Eylül Kampusu, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü) 3'er adet Passam NO<sub>2</sub> pasif örnekleme cihazları (passam ag, İsviçre) yerleştirilmiş ve plastik pasif örnekleme cihazlarıyla eş anlı örnekleme gerçekleştirilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması Tablo 5'de gösterilmektedir. Passam örnekleme cihazlarının analizör NO<sub>2</sub> değerinden farkı %11,20, çalışmada kullanılan örnekleme cihazlarının ise % 15 civarındadır. Diğer ölçüm istasyonundan iki örnekleme cihazına ait elde edilen NO<sub>2</sub> derişim değeri arasında ise yaklaşık %14'lük bir fark söz konusudur.

**Tablo 5.** Passam ve plastik pasif örnekleme cihazı NO<sub>2</sub> sonuçlarının ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) karşılaştırılması

	Passam	Bu çalışmada kullanılan pasif örnekleme cihazı	NO <sub>x</sub> analizörü
Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu	8,10	10,50	9,13
İl Çevre ve Orman Müdürlüğü	37,50	32,16	-

## TARTIŞMALAR

Kent merkezine yaklaştıkça NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> seviyeleri artmakta, ozon seviyeleri azalmaktadır.

NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> seviyelerinin coğrafi dağılımı benzerlik göstermekte olsa da, trafiğe bağlı bir kirletici olan NO<sub>2</sub>'nin kent merkezindeki yoğunluğu daha belirgindir. SO<sub>2</sub> seviyelerinin en yüksek olduğu noktalar, kent merkezine yakın, nüfus yoğunluğu yüksek ve özellikle ısınma amaçlı olarak kömür tüketilen bölgelerdir.

Bu çalışmada elde edilen ölçüm sonuçları, Eskişehir'deki hava kirliliğini belirlemeye yönelik olarak daha önce gerçekleştirilmiş ölçüm sonuçlarıyla (Altug vd., 2007a; Altuğ vd., 2007b; Ozden vd., 2007; Yay vd., 2007) karşılaştırıldığında;

- ~34 µg m<sup>-3</sup> olarak bulunan ortalama NO<sub>2</sub> derişiminin, 2004, 2005 ve 2006 yılları için sırasıyla elde edilen 35, 29 ve 34 µg m<sup>-3</sup> derişim değerleri ile aynı seviyelerde olduğu görülmüştür.
- ~54 µg m<sup>-3</sup>'lük ortalama SO<sub>2</sub> derişim değeri, 2006 kış dönemi SO<sub>2</sub> derişim değeri (~62 µg m<sup>-3</sup>) ile aynı seviyelerde elde edilmiştir.
- Çalışmada elde edilen ortalama ozon derişimi (~30 µg m<sup>-3</sup>) ile 2006 yılı kış dönemi ortalama ozon derişim değeri arasında fark olmadığı gözlenmiştir.
- 

Çalışmada elde edilen ölçüm sonuçları, Eskişehir için hazırlanmış emisyon envanteri verileriyle (Altug vd., 2007a; Altuğ vd., 2007b; Ozden vd., 2007) uyum göstermektedir. Envanter sonuçlarına göre, trafik, % 50'den daha fazla bir katkıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumundaki en önemli kaynaktır. NO<sub>2</sub> derişimlerinin özellikle trafik yoğun bölgelerde daha yüksek seviyelere ulaşması ile bu sonuç doğrulanmaktadır. SO<sub>2</sub> emisyonlarına ise en büyük katkıyı (> %60) evsel ısınma sağlamaktadır. Özellikle ısınma amaçlı olarak kömürün tüketildiği bölgelerde daha yüksek SO<sub>2</sub> seviyelerinin elde edilmesi bunu doğrulamaktadır.

Çalışma süresi boyunca, HKDYY (2008)'de uzun vadeli sınır değer olarak verilen yasal sınır değerleri (NO<sub>2</sub> için 100 µg m<sup>-3</sup> ve SO<sub>2</sub> için 150 µg m<sup>-3</sup>) aşılmamıştır.

HKDYY (2008)'de ekosistemin korunması amacıyla 2012 yılına yönelik belirlenen 20 µg m<sup>-3</sup>'lük kış dönemine ait SO<sub>2</sub> limit değeri aşılrken, 2021 yılı için insan sağlığının korunmasına yönelik hedeflenen yıllık 40 µg m<sup>-3</sup>'lük NO<sub>2</sub> sınır değerinin aşılmadığı görülmüştür. 2020 yılı için hedeflenen ozon limit değeri ise günlük 8 saat ortalama 120 µg m<sup>-3</sup> olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen ortalama ozon derişim değeri ise, söz konusu limit değerinin oldukça altında bulunmuştur.

Çalışmada, birer haftalık örnekleme periyotlarına ait sıcaklık değerleri (~-4 °C) arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Sıcaklığın oldukça düşük olması, ısınma ihtiyacını artırmakta ve bu da, evsel ısınmanın başta SO<sub>2</sub> olmak üzere kirletici bileşen derişimlerinin artmasında önemli rol oynamasına neden olmaktadır. Kış dönemi olmasından dolayı kapalı, bulutlu ve zaman zaman karlı gözlenen hava koşulları, özellikle düşük ozon seviyelerinin elde edilmesinde etkili olmuştur. İki hafta boyunca hakim rüzgar yönü doğu yönünde belirlenmiştir. Ancak, Eskişehir ilinin topografik yapısını Sakarya ve Porsuk havzalarındaki düzlükler ile bunları çevreleyen dağlar oluşturduğundan, topografyaya bağlı olarak rüzgar yönü zaman zaman şehrin değişik bölgelerinde derişimler gösterebilmektedir. Çalışma süresince, genel olarak düşük rüzgar hızları (~1,5 m s<sup>-1</sup>) gözlenmiş ve buna bağlı olarak hakim rüzgar yönünde etkili bir kirletici bileşen taşınımı söz konusu olmamıştır.

Eskişehir için elde edilen kirletici bileşen derişim değerleri, Ankara (Hamel vd., 2004a) ve Kütahya (Hamel vd., 2004b) illerindeki hava kirliliğinin ön değerlendirilmesi amacıyla 2003–2004 yıllarına yönelik geręekleřtirilen Matra projelerinden elde edilen kiş dönemi verileriyle karşılaştırıldığında; 2004 yılı için ortalama NO<sub>2</sub> derişim değerleri Ankara için 30–60 µg m<sup>-3</sup>, Kütahya için 20-48 µg m<sup>-3</sup> arasında iken, Eskişehir için 10-67 µg m<sup>-3</sup> arasında bulunmuştur. Eskişehir ortalama SO<sub>2</sub> seviyelerinin (40–80 µg m<sup>-3</sup>) iki şehirde elde edilen ortalama değerlerin (Ankara için 20-11 µg m<sup>-3</sup> ve Kütahya için 60-290 µg m<sup>-3</sup>) arasında olduğu görölmektedir. Ortalama ozon derişim değerleri ise (12–63 µg m<sup>-3</sup>) Ankara'ya ait ozon değerleri (10-51 µg m<sup>-3</sup>) ile oldukça benzerlik göstermektedir.

Eskişehir hava kalitesinin ön değerlendirmesi amacıyla geręekleřtirilen pasif örnekleme kampanyası ve daha sonra geręekleřtirilecek mevsimsel örnekleme çalışmalarının, hava kalitesi planlarında hassasiyet alanlarının belirlenmesi ve olası yeni hava kalitesi izleme istasyonlarının yer seçiminde yardımcı olması beklenmektedir.

## AÇIKLAMA VE TEŐEKKÜR

Bu çalışma, Hollanda Hükümeti MATRA programı tarafından desteklenen 9S0635.01 nolu “Eskişehir ve İskenderun'da Temiz Hava İçin El Ele” isimli proje kapsamında geręekleřtirilmiřtir. Örnekleme çalışmalarında bize destek veren Akif Arı, Serhat Koçaker, Ahmet Ali Mert, Yıldız Mine Evcı, Burcu Kadakal, Vesile Özlem Erkan ve Betül Kurada'ya, örnekleme geręekleřtirildięi ilköğretim okullarının yöneticilerine, ayrıca verdikleri destek için Milli Eğitim Müdürlüğü, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi ve ÇEVSAAD'a sonsuz teőekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Ad-Hoc Working Group on Ozone Directive and Reduction Strategy Development. Ozone Position Paper, European Communities, 1999.

Altug, H., Ozden, O. ve Dogeroglu, T. Evaluation of NO<sub>x</sub> Pollution in Eskisehir Urban Area (Turkey), 10th International Conference on Environmental Science and Technology, Kos Adası, Yunanistan, 5-7 Eylül 2007, *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology*, Vol.A, pp.22-29a.

Altuğ, H., Özden, Ö., Döğeroğlu, T. ve Kara, S. Eskişehir'de Hava Kalitesinin PM, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, 24-27 Ekim 2007, *Yaşam Çevre Teknoloji Bildiriler Kitabı*, 144-151b.

Bertoni, G., Tappa, R. ve Allegrini, I. Assessment of a new device for the monitoring of benzene and other volatile aromatic compounds in the atmosphere, *Annali di Chim.*, 90, 249-263, 2000.

Buffoni, A. Ozone and nitrogen dioxide measurements in the framework of the National Integrated Programme for the Control of Forest Ecosystems (CONECOFOR), *J Limnol*, 61, 69-76, 2002.

Çınar, H. Eskişehir İçin Hava Kirliliği Envanterinin ve CBS Destekli Hava Kirliliği Haritalarının Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2003.

Godwin, C. ve Batterman, S. Indoor air quality in Michigan schools, *Indoor Air*, 17, 109-121, 2007.

Hamel, S., Doorn, Wim ve Arpacioğlu, B. Ankara Büyükşehir Alanı için Hava Kalitesi Ön Değerlendirmesi, Matra Katılım Öncesi Projeler Programı (MPAP), Hollanda Uluslararası Ticaret ve İşbirliği Ajansı (EVD), Ekim 2004a.

Hamel, S., Doorn, Wim ve Arpacioğlu, B. Preliminary Assessment Of Ambient Air Quality For The City Of Kütahya, Matra Katılım Öncesi Projeler Programı (MPAP), Hollanda Uluslararası Ticaret ve İşbirliği Ajansı (EVD), Ekim 2004b.

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmi Gazete Sayısı: 26898, Resmi Gazete Tarihi: 06.06. 2008.

Hecq, P., van Aalst, R., Barnes, R., Bauman, R., Edwards, L., van den Hout, D., Hauer, A., de Freitas, C.C.L., van Leeuwen, R., Rea, J., Rudolf, W. ve De Saeger, E. SO<sub>2</sub> position paper, November 1997.

Krupa, S.V. ve Legge, A.H. Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective, *Environmental Pollution*, 107, 31–45, 2000.

Löublod, G., Palmgren, F., Aalst, R., Allegrini, I., Bauman, R., Derauone, A., Edwards, L., Fiala, I., Hauer, A., Hawkins, M., Lahtinen, T., Leeuwen, R., Nilsson, M., Pohjola, V., Saeger, E. ve De Santis, F. Position Paper on Air Quality. Nitrogen Dioxide, European Commission Directorate, 1997.

Ozden, O., Altug, H. ve Dogeroglu, T. Evaluation of SO<sub>2</sub> Pollution in Eskisehir (Turkey) By Using Monitoring and Emission Inventory Studies, 10th International Conference on Environmental Science and Technology, Kos Adası, Yunanistan, 5-7 Eylül 2007, *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology*, Vol.A, pp.1061-1068.

Özden, Ö. Hava Kalitesinin Monitorlanmasında Pasif Örnekleyicilerin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2005.

Walinder, R., Norback, D., Wieslander, G., Smedje, G. ve Erwall, C. Nasal Mucosal Swelling in Relation to Low Air Exchange Rate in Schools, *Indoor Air*, 7, 198-205, 1997.

Yay, O.D., Altuğ, H., Özden, Ö., Döğeroğlu, T. ve Kara, S. Eskişehir’de ozon seviyelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, 24-27 Ekim 2007, *Yaşam Çevre Teknoloji Bildiriler Kitabı*, 555-563.